

УДК 656.212:656.225

Асп. А.В. Кулешов

Postgraduate A.V. Kuleshov

**УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТНИХ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ МАСОВИХ ВАНТАЖІВ**

**IMPROVE INFORMATION OF SOLVING THE PROBLEM
OF MODELING TRAFFIC ROUTING BULK**

Представив д-р техн. наук, професор О.М. Озар

Постановка проблеми у загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Реформування має на меті подальший розвиток і підвищення ефективності діяльності галузі шляхом забезпечення безпеки функціонування та доступності послуг залізниці для всіх суб'єктів господарювання, удосконалення системи управління залізничним транспортом, зростання доходів від перевезень. Однак у наш час потребує розв'язання задача своєчасного забезпечення перевізниками-власниками рухомого складу навантажувальними ресурсами, особливо його дефіцитним родом піввагонів та іншими спеціальними вагонами. Компанії-вантажовласниці згодні переходити на електронний документообіг як у внутрішньо-заводських, так і у зовнішніх перевезеннях вантажів за рахунок доопрацювання програмно-технічних засобів з метою стикування з програмно-

технічними засобами Укрзалізниці. Однією з важливих вимог вантажовідправників є своєчасне прогнозоване інформування про наявність на полігоні порожніх вагонів та можливу тривалість їх доставки під вантажні операції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В нормативних документах [1-3] при організації перевезень докладно не враховані розвинені інформаційні технології, за допомогою яких можливо забезпечити удосконалення залізничних послуг, особливо у міжнародних перевезеннях залізницями України. Тому у попередніх дослідженнях [6, 7] були розглянуті сучасні підходи до автоматизованого обліку стану технічних засобів та прогнозування попиту на вантажні перевезення. Але потребує удосконалення інформаційного забезпечення розв'язання задачі моделювання маршрутних перевезень масових вантажів на ринку залізничних

послуг з метою підвищення ефективності національної економіки. Це стосується комплексної автоматизації роботи з відправниками вантажу, починаючи з оформлення місячних заявок ГУ-12, проведення оплати за виконане перевезення

Мета дослідження: удосконалення інформаційного забезпечення розв'язання задачі моделювання маршрутних перевезень масових вантажів.

Основна частина. АТ «НК «Казахстан темир жолы» (КТЖ) введено в промислову експлуатацію електронні системи російської розробки: «Розрахунки за вантажні перевезення» (ИСРГП), «Договірна та комерційна робота» (АСУ ДКР) і «Єдиний корпоративний центр нарахувань і розрахунків» (АС ЕКЦР) [4]. Сьогодні до зазначених систем підключені 2488 відправників вантажу, що працюють на 47 станціях всіх відділень КТЖ в 14 областях Казахстану.

Компанією «Інтелекс», Росія, на Московській залізниці проваджений автоматизований програмний комплекс, що став частиною масштабного розвитку інфраструктури приміського сполучення на

горьковському напрямку. Проект дозволяє з урахуванням поїзної обстановки оперативно підбирати варіантні графіки руху. Але досліджувати різні варіанти розвитку залізничної інфраструктури потрібно у повній інтеграції, зокрема з експлуатованою системою АРМ ГДП, що відповідає за розробку графіка руху.

Перехід на інформатизацію не лише вантажних відправлень, а і порожніх вагонів, що слідують під навантаження з моменту приймання з портів, міждержавних передавальних станцій, станцій масового вивантаження дозволяє суттєво підвищити достовірність обробки даних про вагонопотоки на мережі залізниць. Це підтверджується даними аналізу використання АРМ ТВК та АРМ ПЗ станціями залізниць України з оформлення перевізних документів при відправленні вантажів у 2008-2012 рр., що наведено у табл. 1 та на рис. 1.

Аналіз оформлення документів з використанням електронного цифрового підпису при відправленні вантажу зі станцій Укрзалізниці у 2011-2012 рр. наведено у табл. 2 та на рис. 2.

Таблиця 1

Аналіз роботи АРМ ТВК та АРМ ПЗ станціями залізниць України з оформлення перевізних документів ф.ГУ-29 при відправленні вантажів та плати за користування вагонами ф.ГУ-46 у 2008-2012 рр.

Рік	ГУ-29, тис.док	ГУ-46, тис.док	ГУ-29 через АРМ ТВК	ГУ-46 через АРМ ПЗ	Оформ- лених вручну ГУ-29	Оформ- лених вручну ГУ-46	Повнота АРМ ТВК, ГУ-29 (%)	Повнота АРМ ПЗ, ГУ-46 (%)
2008	3164,8	1504,9	3123,4	1427,1	41,4	77,8	98,7	94,8
2009	1645,1	1173,0	1620,8	1143,2	24,3	29,9	98,5	97,5
2010	2797,5	1302,5	2761,5	1275,2	35,9	27,3	98,7	97,9
2011	3101,7	1392,4	3067,7	1373,0	34,1	19,4	98,9	98,6
2012	4711,2	1324,8	4679,8	1299,3	31,3	25,5	99,3	98,1

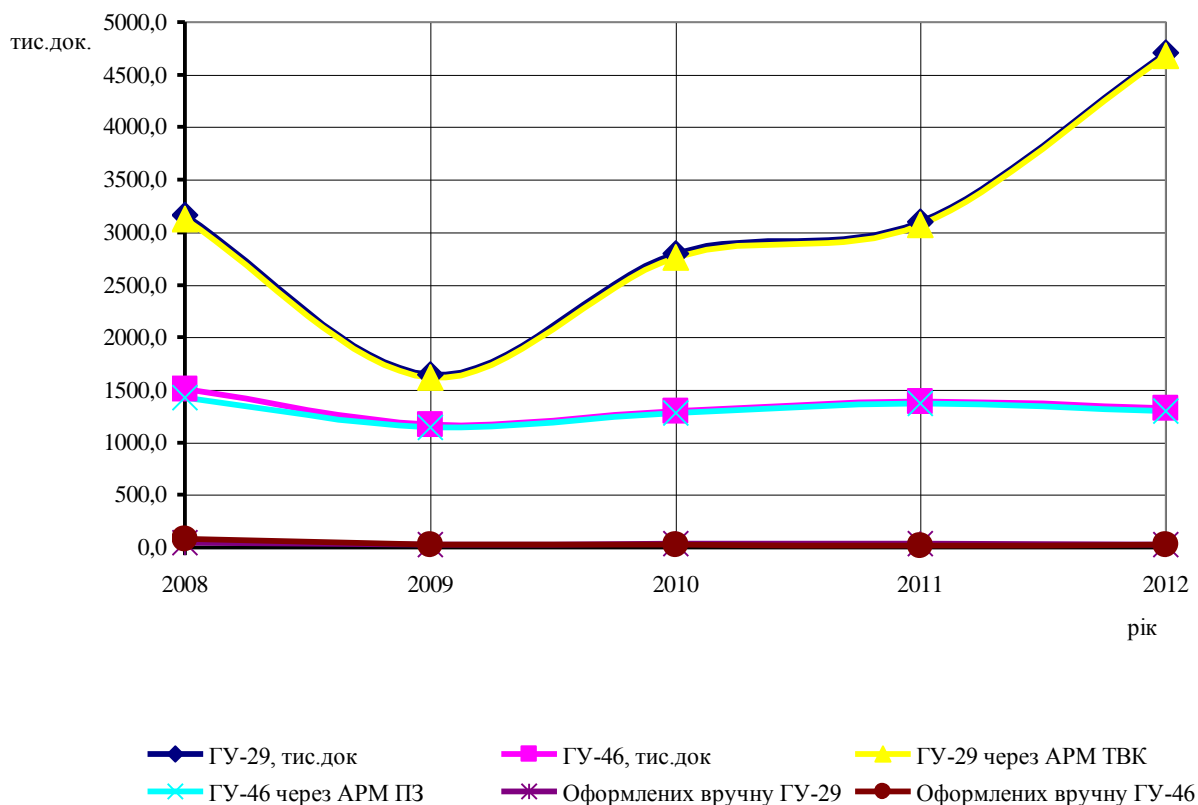


Рис. 1. Аналіз роботи АРМ ТВК та АРМ ПЗ станціями залізниць України по оформленню перевізних документів ф.ГУ-29 при відправленні вантажів та плати за користування вагонами ф.ГУ-46 у 2008-2012 рр.

Таблиця 2

Аналіз оформлення документів з використанням електронного цифрового підпису при відправленні вантажу зі станцій Укрзалізниці у 2011-2012 рр.

Рік	Оформлено документів при відправленні вантажу, тис. документів			у т.ч. в експортному сполученні			у т.ч. у внутрішньому сполученні		
	з ЕЦП	без ЕЦП	%	з ЕЦП	без ЕЦП	%	з ЕЦП	без ЕЦП	%
2011	400,9	30,1	7,5	100,3	27,6	27,6	300,6	2,5	0,8
2012	642,0	51,3	8,0	200,6	40,1	20,0	441,4	11,2	2,5

З рис. 2 слідує, що не завершена система електронного документообігу в експортному та внутрішньому сполученнях. У комп'ютерно-інтегрованій системі управління перевізним процесом, починаючи зі станцій формування поїздів,

неавтоматизовано ведення журналів вагонообігу ДУ-4, руху поїздів ДУ-2, ДУ-3 та інших форм звітності станцій з руху, комерційної та фінансово-економічної діяльності.

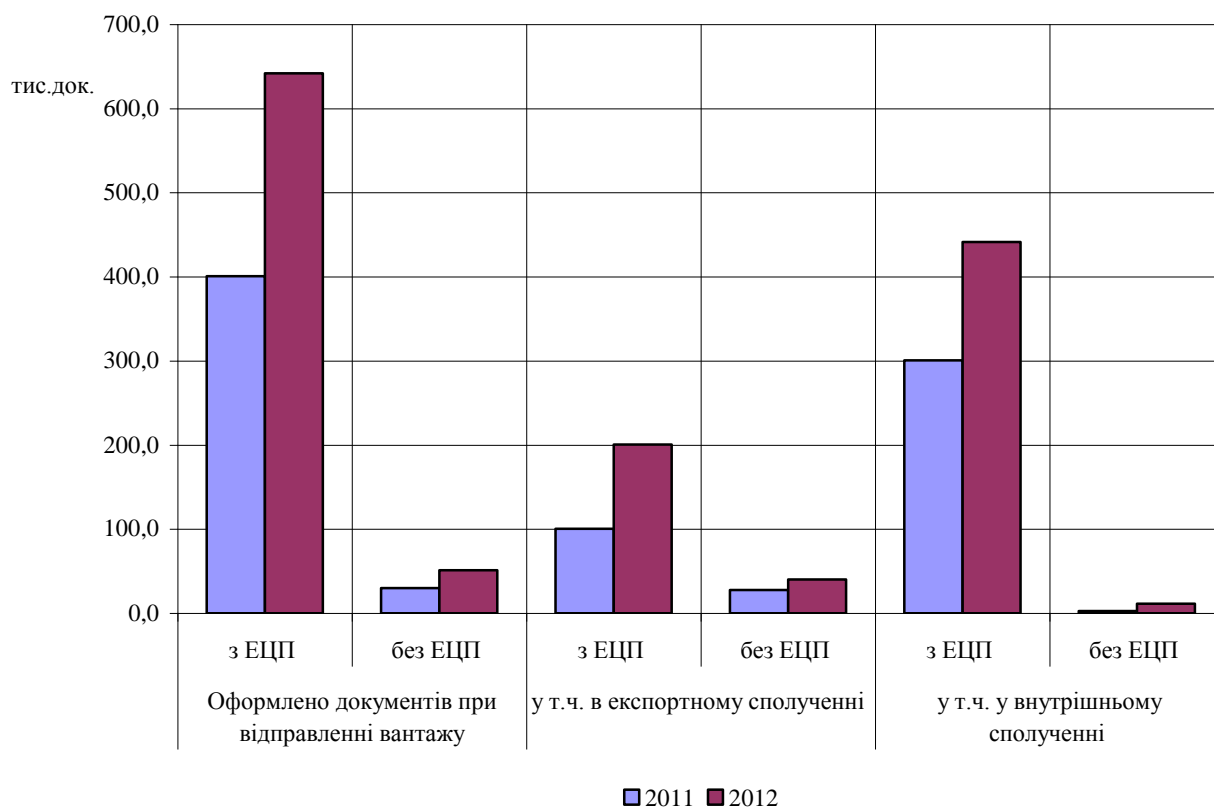


Рис. 2. Діаграма оформлення електронних документів з використанням електронного цифрового підпису при відправленні вантажу зі станцій Укрзалізниці у 2011-2012 рр.

Подальшому поширенню інформаційних технологій без автоматизації вищевказаних даних бракує, що комп'ютерно-інтегровані підсистеми Мікропроцесорної системи диспетчерської централізації «КАСКАД» (МСДЦ «КАСКАД») [5] реалізують тільки режими управління об'єктами СЦБ, а саме:

- пряме управління об'єктами СЦБ;
- управління з програмним слідкуванням – контроль правильності виконання команди управління;
- накоплений маршрут – задання запланованого маршруту, приготування якого відкладене за деяких умов руху поїздів або часу;
- прогнозне управління – формування маршрутів поїздам за прогнозними трасами та передавання їх в накопичення станції для очікування реалізації.

Основні функції, які забезпечує АРМ ДНЦ на МСДЦ «КАСКАД» при управлінні перевізним процесом, є поки що детальне відображення поїзної ситуації та стану об'єктів контролю на дільниці. Тому без повної інформатизації документообігу не розв'язується територіальний аспект планування та прогнозування вагонопотоків при умовному закріпленні відправників за отримувачами, вантажовласників з операторами перевезень, оптимізації використання рухомого складу при перевезенні вантажів, виборі оптимальних маршрутів доставки вантажів.

Для розв'язання проблеми своєчасного забезпечення навантажувальними ресурсами перевізників-власників рухомого складу подамо її у вигляді математичної моделі. Багато сучасних поширених методів дискретної оптимізації, таких як метод діленням площиною, гілок та

границь, різноманітні варіанти евристичних алгоритмів, було розроблено на прикладі задачі комівояжера. Проблему комівояжера можна подати у вигляді моделі на графі. Таким чином, вершини графу i, j відповідають вантажним станціям, а ребра (i, j) між вершинами визначають сполучення. У відповідність кожному ребру (i, j) можна поставити вагу $c_{ij} \geq 0$, яку можна розуміти як, наприклад, відстань між станціями, тривалість або вартість перевезення. Маршрутом (також гамільтоновим маршрутом) називається маршрут на цьому графі, до якого входить по одному разу кожна вершина графа. Задача полягає у відшуванні найкоротшого або економічно доцільного маршруту.

Одним із підходів до розв'язання задачі є формулювання її у вигляді задачі дискретної оптимізації, при цьому розв'язання подаються у вигляді змінних, а зв'язки у вигляді відношень нерівності між ними. Таким чином, можливо декілька варіантів. Наприклад, симетричну задачу можна подати у вигляді множини ребер V . Кожному ребру (i, j) зіставляється двійкова змінна $x_{ij} \in \{0, 1\}$, яка дорівнює 1, якщо ребро належить маршруту, та 0 в протилежному випадку. Довільний маршрут можна подати у вигляді значень множини змінних приналежності, але не кожна така множина визначає маршрут. Умовою того, що значення множини змінних визначають маршрут, є описані вершини і дуги (ребра) на рис. 3.

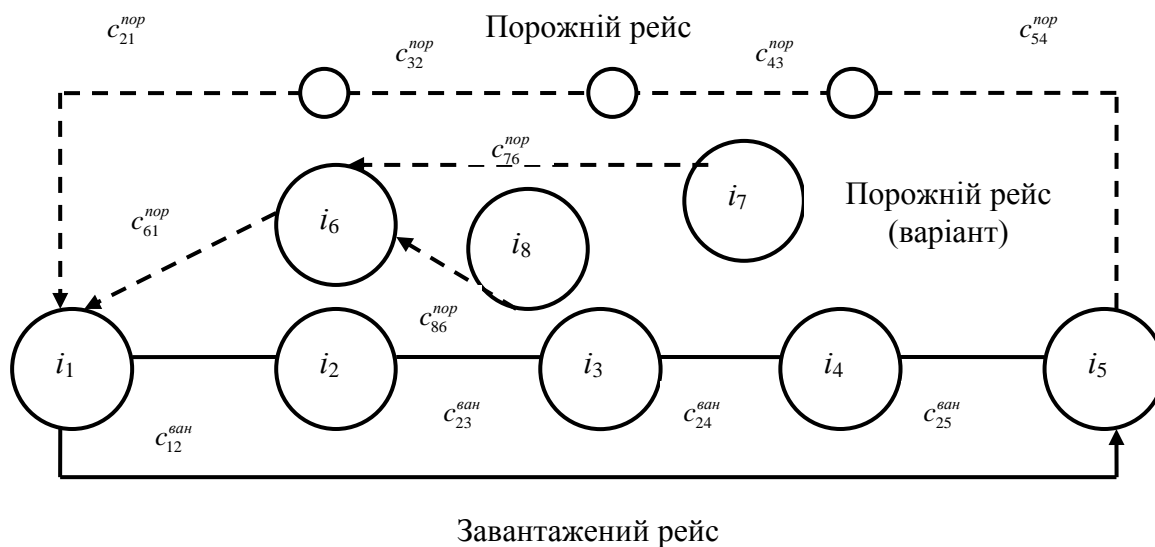


Рис. 3. Можливі схеми забезпечення порожніми вагонами маршрутного навантаження користувача залізничних послуг i_1

Умова кратності: кожна вершина повинна мати одне вхідне та одне вихідне ребро маршруту.

Кожна вершина має сполучатись через пару ребер з рештою вершин, тобто через вхідне та вихідне ребро:

$$\forall i \in V, \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ij} = 2. \quad (1)$$

Цикли: змінні задовольняють умову кратності, але не визначають маршрут. Описані раніше умови кратності виконуються не лише маршрутами, а й

значеннями змінних, що відповідають відокремленим циклам, де кожна вершина належить лише одному циклу (рис. 4). Аби уникнути подібних випадків, мають виконуватись так звані нерівності циклів (або умови усунення підмаршрутів) [7]. Цими нерівностями визначалась додаткова умова того, що кожна множина вершин

$S \subset V$ є або порожньою, або містить всі вершини, що сполучаються з рештою вершин через щонайменше два ребра:

$$\sum_{i \in S, j \notin S} x_{ij} \geq 2. \quad (2)$$

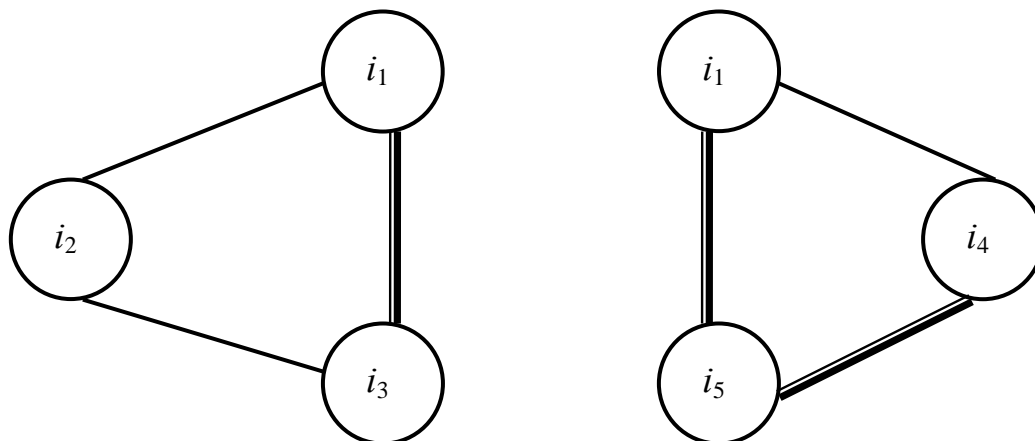


Рис. 4. Можливі розташування пунктів утворення порожніх вагонопотоків

Для всіх множин вершин $1 \leq |S| \leq |V| - 1$. Ця сума дорівнює сумі ваги ребер маршруту між вершиною $i \in S$ та вершиною $j \notin S$. Аби усунути зайві нерівності, можна обмежитись множинами вершин S з щонайменше двома та щонайбільше $|V| - 2$ вершинами. На рис. 4 ребра $\{i, j\}$ з вагами $x_{ij} = 1$ відмічено товстішими лініями, а решта ребер має вагу $x_{ij} = 0$. Введення додаткових умов (2) для множини вершин S , що складається з трьох лівих вершин, буде гарантувати, щоб S сполучалась через щонайменше два ребра маршруту з трьома вершинами справа, аби усунути обидва цикли. Кількість нерівностей усунення циклів

відповідно до [8] Данцига, Фалкерсона та Джонсона дорівнює $2^n - 2(n - 1)$.

В 1960 році Міллер (англ. Miller), Такер (англ. Tucker) та Землін (англ. Zemlin) винайшли альтернативні умови усунення під шляхів шляхом введення n нових змінних, які визначають порядок відвіданих міст, що потребує лише $n^2 - n + 1$ додаткових нерівностей. Більше того, через двійковість x_{ij} у формулюванні Міллера, Такера та Земліна задача комівояжера залишається NP-складною.

Так, кожен вектор $x = (x_{ij})_{i, j \in V}$ з елементами, які дорівнюють 0 та 1, що задовольняє всі нерівності, визначає коректний маршрут, який є розв'язком переформульованої задачі комівояжера [9]

$$\min \left\{ \sum_{i \in V} \sum_{j \in V \setminus \{i\}} c_{ij} x_{ij} \mid x \text{ valid (1) (2), } x_{ij} \in \{0, 1\} \right\}. \quad (3)$$

Оскільки змінні x_{ij} мають значення лише 0 та 1, сума дорівнює загальній довжині або вартості c_{ij} ребер $\{i, j\}$, що належать маршруту.

Кількість нерівностей типу (2) зростає експоненційно разом зі збільшенням кількості вантажних станцій, оскільки майже кожна з $2^{|V|}$ підмножин вузлів визначає одну нерівність. Цю проблему можна вирішити застосуванням методу відсічення площиною, завдяки якому нерівності додаються лише тоді, коли ці нерівності дійсно необхідні. З використанням правил задачі комівояжера розроблена програма та виконані техніко-економічні розрахунки доцільності відправницьких маршрутів [10], які довели правильність даного підходу.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Унаслідок майже 100% впровадження АРМ ТВК, АРМ ПЗ, АРМ комерційного агента на мережі залізниць України потрібно створити концепцію інтегрованої технології управління рухом вантажних поїздів за розкладом, особливо при розмежуванні пасажирського та вантажного руху на мережі міжнародних транспортних коридорів.

Підвищення рівня маршрутизації та передбачення «жорстких» ниток графіка дозволило збільшити маршрутну швидкість вантажних поїздів при зростанні порожнього пробігу. До того ж при недостатньому випуску нових вантажних вагонів залізниці несвоєчасно обслуговують потреби вантажовласників.

Усі діючі підсистеми комерційного спрямування морально старіють, тому розвиток їх у напрямку електронного документообігу при роботі з вантажовласниками потребує наскрізної автоматизації всіх взаємопов'язаних процесів забезпечення вантажних перевезень – комплексної взаємодії з клієнтами залізничного транспорту, залізничними адміністраціями країн СНД, Балтії та інших країн Європи, організації безпечного та швидкого руху поїздів, ефективного використання рухомих та стаціонарних засобів залізничного транспорту України (вагонів, локомотивів, контейнерів, колійного господарства і т. ін.), фінансово-економічної діяльності функціональних підрозділів Укрзалізниці та залізниць України при здійсненні вантажних перевезень.

Список літератури

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: [www/URL: http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/](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. №1106 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/URL: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011-p](http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011-p). – Загол. з екрану.
3. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України [Текст]. – К.: Транспорт України, 2005. – 96 с.
4. На казахстанских железных дорогах началась эксплуатация новых электронных систем российской разработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://www.gudok.ru/1520/news/detail.php?ID=451230](http://www.gudok.ru/1520/news/detail.php?ID=451230). – Загол. с экрана.

5. Данько, М.І. Мікропроцесорна диспетчерська централізація «КАСКАД» [Текст]/ М.І. Данько, В.І. Мойсеєнко, В.З. Рахматов, В.І. Троценко, М.М. Чепцов: навч. посібник. – Харків, 2005. – 176 с.
6. Кулешов, А.В. Аналіз рівня інформатизації в різних системах обслуговування вантажовласників на станціях залізничних вузлів [Текст] / А.В. Кулешов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 136-142.
7. Левитин, А.В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ [Текст] / А.В. Левитан. — М.: Вильямс, 2006. — С. 159-160.
8. Ахо, А. Построение и анализ вычислительных алгоритмов [Текст] / А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман. — М.: Мир, 1979.
9. Bernhard Korte, Jens Vygen Combinatorial Optimization 3. — Springer, 2006. ISBN 3-540-25684-9
10. Кулешов, А.В. Удосконалення функціонування автоматизованої системи «Месплан» з метою прогнозування обсягів перевезень [Текст] / А.В. Кулешов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 4/4(46). – С. 9-12.

Ключові слова: автоматизоване робоче місце, відправницький маршрут, диспетчерська централізація, задача комівояжера, інформаційна технологія, операція, оптимізація, перевізний документ, електронний цифровий підпис.

Анотації

Проведений аналіз використання АРМ ТВК, ПЗ, електронного цифрового підпису станціями залізниць України з оформлення перевізних документів при відправленні вантажів у 2008-2012 рр. Виділені основні питання інформаційного забезпечення розв'язання задачі моделювання маршрутних перевезень масових вантажів. Розв'язання проблеми своєчасного забезпечення перевізниками-власниками рухомого складу навантажувальними ресурсами подано на прикладі задачі комівояжера.

Проведен анализ использования АРМ ТВК, ПР, электронной цифровой подписи станциями железных дорог Украины по оформлению перевозочных документов при отправлении грузов в 2008-2012 гг. Выделены основные вопросы информационного обеспечения решения задачи моделирования маршрутных перевозок массовых грузов. Решение проблемы своевременного обеспечения перевозчиками-владельцами подвижного состава погрузочными ресурсами представлено на примере задачи коммивояжера.

The analysis of the use of ARM freight clerk, employee receiving the goods, digital signatures railway stations of Ukraine on registration of transport documents when sending goods to 2008-2012, The basic issues of information security solutions of the problem of modeling route transportation of bulk goods. Solving the problem of ensuring the timely loading resources carriers owning the rolling stock is represented by the example of the traveling salesman problem.