

Український державний університет залізничного транспорту  
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

ПРОХОРОВ ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 656.222.3


## ДИСЕРТАЦІЯ

# РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ВАГОНОПОТОКАМИ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ

05.22.01 – транспортні системи

275 – транспортні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело  В.М. Прохоров

Науковий керівник

БУТЬКО Тетяна Василівна,  
доктор технічних наук, професор

Харків – 2017

## ЗМІСТ

<u>ВСТУП</u>	<u>20</u>
<u>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ВАГОНОПОТОКАМИ ТА НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ</u>	<u>26</u>
1.1 <u>Аналіз техніко-експлуатаційних показників вантажних залізничних перевезень в Україні</u>	<u>26</u>
1.2 <u>Дослідження характеристик вантажопотоків на залізницях України на прикладі експортних вантажів</u>	<u>33</u>
1.3 <u>Досвід організації вагонопотоків на залізницях країн світу</u>	<u>38</u>
1.4 <u>Аналіз наукових досліджень щодо організації вагонопотоків на залізницях країн світу</u>	<u>46</u>
1.5 <u>Висновки за розділом 1</u>	<u>56</u>
<u>РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ МЕТОДУ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ ПЛАНУ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ</u>	<u>58</u>
2.1 <u>Застосування концепції системної оптимізації при управлінні вагонопотоками</u>	<u>58</u>
2.2 <u>Дослідження впливу параметру накопичення в процесі формування составів</u>	<u>61</u>
2.3 <u>Обґрунтування необхідності врахування альтернативних маршрутів при вирішенні задачі розрахунку ПФП</u>	<u>66</u>
2.4 <u>Параметри накопичення як стохастичні змінні моделі розрахунку ПФП</u>	<u>69</u>
2.5 <u>Постановка задачі і побудова оптимізаційної моделі</u>	<u>73</u>
2.6 <u>Обґрунтування процедури оптимізації моделі розрахунку ПФП</u>	<u>78</u>
2.7 <u>Представлення рішення оптимізаційної задачі розрахунку ПФП із використанням математичного апарату генетичних алгоритмів</u>	<u>81</u>
2.8 <u>Оцінка адекватності і точності моделі розрахунку ПФП</u>	<u>85</u>
2.9 <u>Висновки до розділу 2</u>	<u>95</u>
<u>РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ РОЗКЛАДУ</u>	<u>98</u>

3.1	<u>Роль оперативного плану роботи сортувальної станції у забезпеченні стабілізації системи вантажних перевезень і виконанні плану формування поїздів</u>	98
3.2	<u>Передумови автоматизації процесів оперативного планування роботи сортувальних станцій.</u>	100
3.3	<u>Розробка математичної моделі побудови оперативного плану роботи сортувальної станції</u>	107
3.4	<u>Вибір процедури оптимізації моделі і здійснення моделювання</u>	116
3.5	<u>Висновки до розділу 3</u>	124
	<u>РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ВИМОГ ДО АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ВАГОНОПОТОКАМИ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ВПРОВАДЖЕННЯ</u>	126
4.1	<u>Передумови розробки автоматизованої технології управління вагонопотоками на залізницях України</u>	126
4.2	<u>Оцінка витрат від коливань обсягів вагонопотоків та формування критерію прерахунку мережевого ПФП</u>	129
4.3	<u>Вибір архітектури і формування вимог до функціонування автоматизованої системи управління вагонопотоками</u>	132
4.4	<u>Заходи для забезпечення функціонування лінійного рівня автоматизованої системи управління вагонопотоками</u>	137
4.5	<u>Реалізація обчислювального процесу у автоматизованій системі управління вагонопотоками</u>	141
4.6	<u>Визначення економічної ефективності від впровадження автоматизованої системи управління вагонопотоками</u>	144
4.7	<u>Висновки до розділу 4</u>	148
	<u>ВИСНОВКИ</u>	150
	<u>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</u>	153
	<u>ДОДАТКИ</u>	168

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки одними із основних пріоритетів у сфері технічної модернізації галузі визначає утворення головного та регіональних центрів управління перевезеннями, розроблення і впровадження інноваційних транспортних та логістичних технологій, автоматизацію управлінських та виробничих процесів. Стан виробничо-технічної бази залізниць і технологічний рівень організації перевезень за багатьма параметрами не відповідають зростаючим потребам суспільства та європейським стандартам якості надання транспортних послуг, перешкоджають підвищенню ефективності функціонування галузі та потребують реформування. За таких умов і при відсутності можливості здійснення масштабних і термінових капіталовкладень в об'єкти інфраструктури та рухомий склад, можливим шляхом технічної модернізації залізничної системи України і зокрема її найважливішої підсистеми вантажних перевезень є удосконалення технологічного процесу при виконанні вантажних залізничних перевезень. Ключовою ланкою технологічного процесу є система організації вагонопотоків, основною задачею якої є встановлення найбільш раціонального порядку формування вагонопотоків та їх слідування по напрямках залізничної мережі. Існуюча система організації вагонопотоків створена за умов планової економіки, коли вагонопотоки постійно монотонно зростали. Вона використовує концепцію плану формування поїздів. Але у теперішній час з поступовим набуттям вітчизняною економікою ринкових ознак, а також під впливом багатьох внутрішніх і зовнішніх факторів, ця система працює в умовах коливань вагонопотоків. Як довів аналіз часових рядів обсягів перевезень, вони є практично непрогнозованими, що спричиняє падіння ефективності функціонування системи організації вагонопотоків з причини відсутності ефективних механізмів адаптації до змін обсягів вагонопотоків. Одним із напрямків удосконалення технології організації вантажних перевезень є надання гнучкості системі організації вагонопотоків, зберігаючи при цьому стратегічний рівень планування. Це є можливим за рахунок впровадження автоматизованої системи

управління вагонопотоками. Виходячи з цього, постає наукове завдання об'єднання рівнів планування в єдину автоматизовану систему на основі багаторівневої системної оптимізації плану формування поїздів. Таким чином представлена дисертаційна робота є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р), Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки (постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. N 1390), а також науково-дослідними роботами за темами “Розробка технології автоматизації корегування ПФП в умовах нерівномірного виникнення потужних струменів вагонопотоків” (ДО №0211U005391); “Дослідження вагонопотоків та розробка вимог до складання технологічного процесу роботи залізничного напрямку” (ДО №0211U005392); “Розробка вимог щодо визначення нормативної чисельності персоналу з організації перевезень та поточного утримання інфраструктури залізничного напрямку” (ДО №0212U008191); “Розробка класифікації залізничних напрямків на категорії інфраструктури за техніко-експлуатаційними характеристиками” (ДО №0212U008192); “Розробка методики визначення раціональних співвідношень між потужністю вагонопотоків та пропускною спроможністю на залізничних напрямках для встановлення технічних і технологічних можливостей перевізника” (ДО №0213U004221); “Формування комплексу універсальних моделей, реалізація яких забезпечує раціональну організацію вантажопотоків на залізничній транспортній мережі” (ДО №0214U003188); “Розробка вимог для планування маршрутів слідування вагонів з небезпечними вантажами при мінімізації ризиків в умовах Придніпровської залізниці” (ДО №0214U005239); “Проведення дослідного автоматизованого розрахунку нормативного графіка руху поїздів на залізничному напрямку” (ДО №0214U005803); “Методи формування інтелектуальних залізничних транспортних систем” (ДО №0215U000327).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування залізничної транспортної системи вантажних

перевезень за рахунок зменшення непродуктивних вагоно-годин простою шляхом системної оптимізації плану формування поїздів (ПФП).

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення наступних задач дослідження:

- провести статистичний аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи Укрзалізниці з метою виявлення причин зниження ефективності функціонування підсистеми вантажних залізничних перевезень;

- провести аналіз моделей управління вагонопотоками на залізницях країн світу;

- формалізувати технологію управління вагонопотоками на основі системної оптимізації, яка передбачає вирішення задачі стратегічного планування у вигляді плану формування поїздів, з урахуванням можливості впливу на процес накопичення вагонів на сортувальних станціях на тактичному і оперативному рівнях;

- розробити метод автоматизованого розрахунку плану формування поїздів, який дозволить вирішувати задачу оптимізації ПФП великої розмірності, що відповідає полігону мережі Укрзалізниці, який має розгалужену мережеву структуру і велику кількість станцій;

- перевірити запропоновану модель на адекватність.

- формалізувати технологію роботи сортувальної станції для одержання оперативного плану управління її роботою, який забезпечить стабільність виконання ПФП шляхом утримання параметрів накопичення у визначених межах.

- запропонувати архітектуру багаторівневої автоматизованої системи організації вагонопотоків, яка базується на концепції коригування ПФП як рівноважної системи;

- обґрунтувати економічну доцільність запропонованого підходу до удосконалення технології організації вагонопотоків.

*Об'єкт дослідження* – процес організації вагонопотоків.

*Предмет дослідження* – технологія управління вагонопотоками.

**Методи дослідження.** При проведенні досліджень статистичних даних кількісних і якісних показників вантажних перевезень а також часових рядів обсягів перевезень були використані методи математичної статистики кореляційного аналізу та RS-аналізу. Для побудови оптимізаційних моделей та вирішення оптимізаційних задач використані методи теорії множин і комбінаторного аналізу, метод Дейкстри, методи теорії графів, методи теорії розкладу, методи стохастичної і комбінаторної оптимізації, методи математичного апарату генетичних алгоритмів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В дисертаційній роботі вирішене наукове завдання формування автоматизованої технології управління вагонопотоками, що базується на концепції системної оптимізації плану формування поїздів, в умовах коливань обсягів перевезень.

Вперше:

- формалізовано технологію управління вагонопотоками на залізничній транспортній мережі, яка у вигляді оптимізаційної моделі вирішує задачу побудови ПФП як задачу стохастичної комбінаторної оптимізації, що на відміну від існуючих враховує параметри накопичення у якості стохастичних змінних та надає їм інтервальну оцінку;

- розроблено метод автоматизованого розрахунку плану формування одногрупних поїздів, що на відміну від існуючих методів забезпечує можливість направлення вагонопотоків з відхиленням від найкоротшого маршруту з урахуванням обмежень на пропускну спроможність дільниць та пропускну і переробну спроможності станцій, використовуючи у якості механізму оптимізації математичний апарат генетичних алгоритмів, який забезпечує більш високу ступінь наближення до оптимуму;

- формалізовано процедуру побудови оперативного плану роботи сортувальної станції як задачу теорії розкладу та розроблено метод його автоматизованої побудови, який дозволить на рівні оперативного планування забезпечувати виконання ПФП шляхом утримання параметрів накопичення в визначених межах, використовуючі у якості механізму оптимізації математичний апарат генетичних алгоритмів комбінаторного типу;

Удосконалено:

– структуру і комплекс задач АСК ВП УЗ-Є, шляхом інтеграції у її склад автоматизованої системи розрахунку і підтримки виконання плану формування поїздів, що дозволить комплексно вирішувати задачі розрахунку ПФП, оперативного і поточного планування та управління роботою сортувальних станцій, аналізу виконання планів та прийняття рішення щодо їх корегування, реалізуючи трирівневу структуру управління;

**Практичне значення одержаних результатів.** Матеріали дисертаційної роботи використано при формуванні автоматизованої технології управління вагонопотоками. Впровадження такої технології надасть можливість автоматизувати процес розрахунку ПФП на стратегічному та тактичному рівнях планування роботи системи вантажних залізничних перевезень і забезпечити його виконання на рівні управління сортувальних станцій. Це надасть можливість раціонально розподілити роботу між сортувальними станціями, використати пропускну спроможність залізничних ліній, зменшити непродуктивні вагоно години простою на станціях на 0,5-4%, зменшити час обігу вагона, що в свою чергу дозволить зменшити експлуатаційні витрати.

Розроблена технологія та наведений комплекс моделей використовуються при удосконаленні організації роботи Харківської дирекції залізничних перевезень регіональної філії “Південна залізниця” та у навчальному процесі Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ). Практичне впровадження результатів роботи підтверджується актами впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає у такому: у [1] запропоновано архітектуру нейро-нечіткої системи для вирішення задачі, у [3] реалізовано модель управління маневровою роботою у середовищі Microsoft Visual Basic, та здійснено моделювання, у [4] здійснено моделювання і кластеризацію підприємств ППЗТ у середовищі Matlab, у [5] сформовано модель для побудови системи підтримки прийняття рішень, у [6] сформовано математичну модель для вирішення задачі



оперативного планування роботи станції, у [7] сформовано вимоги для побудови автоматизованої системи управління вагонопотоками, у [8] реалізовано запропоновану модель інтелектуальної системи управління процесом приймання і відправлення поїздів на станції у середовищі Matlab, у [9] сформовано математичну модель і запропоновано метод кодування рішення задачі побудови ПФП із застосуванням ГА, у [10] сформовано математичну модель для вирішення задачі побудови ПФП.

Дослідження, що висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТ.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях:

- 4-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України», (м. Коктебель, 2–7 червня 2008 р.)

- 4-й міжнародній науково – практичній конференції «Перспективи взаємодії залізниць і промислових підприємств» (м. Дніпропетровськ, 1-2 жовтня 2015 р.);

- конференції SWorld. «Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві і транспорті ‘2015», 15–27 грудня 2015 р.

- 74-й та 78-й міжнародних науково-технічних конференціях (м. Харків, 24-25 квітня 2012 р. та 26–28 квітня 2016 р.)

- 5-й заочній науковій конференції “Наукові підсумки 2016 року”, 25 грудня 2016 р.

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту.

**Публікації.** Відповідно до теми дисертації опубліковано 16 наукових праць, з яких 10 статей (одна без співавторів), що опубліковані у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (дві статті включені до міжнародних наукометричних баз), 6 праць апробаційного характеру.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бутько ТВ, Прохоров ВМ. Перспективи використання нейронечітких технологій при удосконаленні АРМ оперативного персоналу залізниць. Збірник наукових праць ДонІЗТ. 2006;8:29–36.
2. Прохоров ВМ. Удосконалення маневрової роботи на сортувальних станціях шляхом побудови динамічної моделі маневрової роботи. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2007;85:171–7.
3. Лаврухін ОВ, Прохоров ВМ. Принципи удосконалення технології управління маневровою роботою на основі Байесових мереж. Збірник наукових праць ДонІЗТ. 2007;(11):21–7.
4. Ломотько ДВ, Лаврухін ОВ, Прохоров ВМ, Панкратов ВІ. Удосконалення технології використання засобів залізничного транспорту незагального користування на основі створення баз резерву. Збірник наукових праць ДонІЗТ. 2007;10: 5–14.
5. Лаврухін ОВ, Прохоров ВМ, Кутоманов ВВ. Розроблення системи підтримки прийняття рішень оперативного персоналу залізниць на основі сучасних інформаційних технологій. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2009;102:39–49.
6. Прохорченко АВ, Прохоров ВМ, Постоленко АЮ. Розроблення моделі формування плану роботи сортувальної станції на основі теорії розкладу. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2011;120: 38–43.
7. Прохоров ВМ, Рябушка ЮА. Передумови розробки автоматизованої системи управління вагонопотоками на залізницях України. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2016;165:18–25.
8. Бутько ТВ, Лаврухін ОВ, Прохоров ВМ. Розробка моделі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення по управлінню процесом приймання-відправлення поїздів на залізничній станції. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2008;(3):61–5.
9. Butko T, Prokhorov V, Chekhunov D. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms. Eastern-european

journal of enterprise technologies. 2017;85(3Pt1):55–61. Available from:  
<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/93276/89921> DOI: 10.15587/1729-4061.2017.93276

10. Прохоров ВМ, Рябушка ЮА. Розрахунок плану формування поїздів на основі стохастичної комбінаторної оптимізації. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2016;165:214–25.
11. Бутько ТВ, Прохоров ВМ. Розробка інтелектуальної автоматизованої системи управління поїзною роботою станції на основі нейронних мереж. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2008;22:51.
12. Прохоров ВМ. Розроблення сучасних методів розрахунку плану формування поїздів. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2012;131:175–6.
13. Прохоров ВМ. Розробка моделі формування плану роботи сортувальної станції на основі теорії розкладу. Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств: Тези 4-ї міжнародної науково-практичної конференції; 2015 жовт 1–2; Дніпро. Дніпро: видавництво ДНУЗТ; 2015. с 86–8.
14. Прохоров ВМ. Розробка методу розрахунку плану формування поїздів на основі стохастичної оптимізації. Научные труды SWorld. 2015; 41(4):51–5.
15. Бутько ТВ, Прохоров ВМ. Побудова математичних моделей для розробки методу розрахунку оптимального плану формування поїздів та забезпечення його виконання. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2016;160 Дод:104.
16. Прохоров ВМ. Розробка методу розрахунку плану формування поїздів на основі методу стохастичної комбінаторної оптимізації. ScienceRise. 2016;29(12 ч 2):53–6.
17. Електронне видання Файненс ЮА [Інтернет]. 2013 [оновлено 2013 Сер 7; цитовано 2016 Січ 20]. Доступно: <http://news.finance.ua/ua/news/-/308470/majzhe-krashhi-ukrayina-posila-144-mistse-v-sviti-z-148-za-yakistyuu-dorig>
18. Полтавська ОС. Світовий досвід розвитку залізничного транспорту та перспективи його розвитку в Україні. Вісник національного університету “Львівська політехніка”. 2014;797:470–6.

19. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. Інформація про Українські залізниці. [Інтернет]. 2016 [цитовано 2016 Гру 20] Доступно: <http://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-ukrainskizaliznici.html>
20. Stasyuk O, Pikulyk O. European integration priorities of Ukrainian railways in conditions of globalization. *Periodyk naukowy akademii polonijnej*. 2016;18(3):56–63.
21. Ткачик ОБ. Оновлення застарілого вагонного парку – першочергове завдання Департаменту вагонного господарства Укрзалізниці. *Вагонний парк*. 2015;(9–10):10–3.
22. Логвінова НО. Підвищення ефективності організації руху поїздів на залізничних напрямках з паралельними ходами [автореферат]. Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. В. Лазаряна. 2013. 22 с.
23. Офіційний сайт Міністерства закордонних справ України. Експортні перевезення вантажів залізницями України у 2015 році. [Інтернет]. 2016 [цитовано 2017 Січ 10]. Доступно: [http://mfa.gov.ua/mediafiles/sites/rei/files/1802/Ukrzaliznytsia\\_18.02.16.pdf](http://mfa.gov.ua/mediafiles/sites/rei/files/1802/Ukrzaliznytsia_18.02.16.pdf)
24. Todorut AV, Paliu-Popa L, Cirnu D, Interdependence between iron ore production and maritime transport, *Metallurgy*, 2016;55(4): 859–61.
25. [Биченова Н](#). Вычисление показателя Херста для динамики стоимости компании. Сборник трудов грузинского технического университета. Автоматизированные системы управления. 2015;1(19):42–5.
26. Peters EE. *Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility*, 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley and sons; 1996. 288p.
27. Hurst HE, Black RP, Simaika YM. Long-term storage: an experimental study. *Journal of the royal statistical society*. 1966;124(4):591–3.
28. [Luo H](#). [Research on initial trust in a B2C e-vendor](#). In: [Lin S](#), [Huang X](#), editors. *Advanced research on computer education, simulation and modeling*. In: Proceedings of International conference “Community Earth system model”, part 2; 2011 June 18–19; Wuhan, China. Berlin: Springer; 2011. p 438–45.
29. Найман Э. Как покупать дешево и продавать дорого: пособие для разумного инвестора. Москва: Альпина паблишерз; 2011. 554 с.

30. Кудрявцев ВА, Бадецкий АП. Учет колебаний вагонопотоков при расчете плана формирования поездов. Известия ПГУПС. 2012;(4):10–6.
31. Интернет-энциклопедия Wikipedia. Bailey Yard. [Интернет]. [цитовано 2017 Січ 11]. Доступно: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bailey\\_Yard](https://en.wikipedia.org/wiki/Bailey_Yard)
32. Офіційний сайт Асоціації американських залізниць. Дані про показники вантажних залізничних перевезень на залізницях США [Интернет]. [цитовано 2017 Січ 12]. Доступно: <https://www.aar.org/pages/freight-rail-traffic-data.aspx>
33. Ahuja RK, Jha KC, Liu J. Solving real-life railroad blocking problems. Interfaces. 2007;37:404–19.
34. Jha KC, Ahuja RK, Sahin G. New approaches for solving the block-to-train assignment problem. Networks. 2008;51(1):48–62.
35. Van Dyke C. Car scheduling, trip planning. Handbook of operations research applications at railroads. Patty, Bruce W. editors. New York: Springer, 2015. p 79–118.
36. Интернет-энциклопедия Wikipedia. Сортировочная станция. [Интернет]. [цитовано 2017 Січ 4]. Доступно: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сортировочная\\_станция](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сортировочная_станция)
37. Heydenreich T. Lahrman M. How to save wagonload freight. Railway Gazette International. 2010;166(9):128.
38. Аникин БА, Родкина ТА, редакторы. Основные и обеспечивающие функциональные подсистемы логистики: учебник. Москва: Проспект; 2013. 601 с.
39. Петров АП. Организация движения на железнодорожном транспорте: учебник. Москва: Транжелдориздат; 1952. 783 с.
40. Образцов ВН. Об основных принципах построения транспортной сети СССР. Строительство дорог. 1940;11:6–8.
41. Акулиничев ВМ. Организация вагонопотоков: учебник. Москва: Транспорт; 1979. 223 с.
42. Петров АП., Черенин ВП. Усовершенствование метода составления плана формирования поездов. Железнодорожный транспорт. 1948;3.

43. Осьминин АТ. Развитие теории и методов расчета плана формирования поездов. Железнодорожный транспорт. 2010;(10):31–40.
44. Петров АП. План формирования поездов. Москва: Трансжелдориздат; 1950. 483 с.
45. Васильев ИИ. Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок: учебное пособие. Москва: Государственное транспортное железнодорожное издательство. 1941. 575 с.
46. Попов АИ. Расчет на ЭЦВМ плана формирования поездов по способу направленного перебора вариантов. Железнодорожный транспорт. 1967;(2):25–32.
47. Акулиничев ВМ. Метод непосредственного расчета плана формирования грузовых поездов. Железнодорожный транспорт. 1958;(11):31–47.
48. Дувалян СВ. Разработка алгоритмов и программ расчета сетевого плана формирования поездов. Москва: ВНИИЦ; 1978. 120 с.
49. Дорошко СВ. Адаптивная система организации вагонопотоков. Вісник ДНУЗТу. 2010;34:39–45.
50. Чернецька-Білецька НБ, Шепітько ОВ, Рябчиков АВ. Аналіз шляхів удосконалення системи організації вагонопотоків. Вісник СНУ ім. В. Даля. 2015;(1):185–8.
51. Прохорченко АВ, Корженівський ЛВ. Удосконалення технології корегування плану формування поїздів на основі погодженої організації групових поїздів оперативного призначення. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2008;36(6):37–40.
52. Butko TV, Prokhorchenko AV, Kyman A. Formalization of the technology of arranging tactical group trains. Eastern-european journal of enterprise technologies. 2015;76(3):38–43. doi: 10.15587/1729-4061.2015.47886
53. Panchenko SV, Butko TV, Prokhorchenko AV, Parkhomenko LO. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises. Науковий вісник національного гірничого університету. 2016;(2):93–9.

54. Кириченко ГІ, Стрелко ОГ, Бердниченко ЮА, Макарова ОО. Організація роботи сортувальної станції в умовах автоматизації. Збірник наукових праць ДЕГУТ. 2013;23:150–4.
55. Бутько ТВ, Ломотько ДВ, Прохорченко АВ, Олійник КО. Формування логістичної технології просування вантажопотоків за жорсткими нитками графіка руху поїздів. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2009;111:23–31.
56. But'ko T, Prokhorchenko A. Investigation into train flow system on ukraine's railways with methods of complex network analysis. American journal of industrial engineering. 2013;1(3):41–5.
57. Папахов АЮ, Логвинова НА. Математическая модель расчета плана формирования одногруппных сквозных поездов с использованием теории множеств. Електрифікація транспорту. 2016;11:93–9.
58. Yaghini M, Momeni M, Sarmadi M. An improved local branching approach for train formation planning. Applied Mathematical Modelling. 2013;37(4):2300–7.
59. Yaghini M, Akhavan R. Multicommodity network design problem in rail freight transportation planning. Procedia – social and behavioral sciences. 2012; 43:728–39.
60. Yaghini M, Seyedabadi M, Khoshraftar MM. A population-based algorithm for the railroad blocking problem. Journal of Industrial Engineering International, SpringerOpen. 2012;8:8 doi:10.1186/2251-712X-8-8
61. Newton HN, Barnhart C, Vance PH. Constructing railroad blocking plans to minimize handling costs. Transp Sci. 1998;32:330–45.
62. Marín Á, Salmerón J. A simulated annealing approach to the railroad freight transportation design problem. International transactions in operational research. 1996;3(2):139–49.
63. A simulated annealing approach for the train design optimization problem.
64. Khaled AA, Jin M, Clarke DB, Hoque MA. Train design and routing optimization for evaluating criticality of freight railroad infrastructures. Transportation research part B: Methodological. 2015;71:71–84.
65. Chouman M, Crainic TG. An MIP-Tabu search hybrid framework for multicommodity capacitated fixed-charge network design. CIRRELT, Université de

Montréal. 2010 [cited 2016 Nov 6]. 14 p. Available from:  
<https://www.cirrelt.ca/DocumentsTravail/CIRRELT-2010-31.pdf>

66. Gorman MF. An application of genetic and tabu searches to the freight railroad operating plan problem. *Annals of operations research*. 1998;78:51–69.
67. Yaghini M, Momeni M, Sarmadi M. A hybrid solution method for fuzzy train formation planning. *Applied soft computing*. 2015;31: 257–65.
68. Shen YS, He SW, Wang BH, Mu MR. Study on allocation of wagon-flow in phase plan by using immune algorithm. *Journal of the China railway society*. 2009;31(4):1–6. doi: 10.3969/j.issn.1001-8360.2009.04.001.
69. Li HD, He SW, Jing Y, Wang S. Wagon-flow allocation optimization of stage plan at marshaling station in consideration of different size limitations of departure trains. *Journal of the China railway society*. 2012;34(7):10–7.
70. Ma L, Guo J, Chen GW, Guo R. Research on automatic adjustment of the phase plan in railway marshalling. *Journal of transportation engineering and information*. 2013;11(3):18–28.
71. Yagar S, Saccomanno FF, Shi Q. An efficient sequencing model for humping in a rail yard. *Transportation research part A*. 1983;17(4):251–62.
72. Li HD, He SW, Wang BH, Shen YS. Survey of stage plan for railway marshalling station. *Journal of the China railway society*. 2011;33(8):13–22.
73. Lin E, Cheng C. Simulation and analysis of railroad hump yards in North America. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference WSC '11*; 2011 Dec 11–14; Phoenix, Arizona, USA. USA: IEEE Press; 2011, p. 3710–18.
74. Petersen ER. Railroad modeling part II: the effect of yard facilities on congestion. *Transportation science*. 1977;11(1):50–9. doi: 10.1287/trsc.11.1.50
75. Turnquist MA, Daskin MS. Queueing models of classification and connection delay in rail yards. *Transportation science*. 1982;16(2):207–30.
76. Assad AA. Modelling of rail networks: toward a routing/makeup model. *Transportation research part B*. 1980;14(1–2):101–14.



77. Lin E, Cheng C. Yardsim: a rail yard simulation framework and its implementation in a major railroad in the U.S. In: Proceedings of the winter simulation conference WSC '09; 2009 Dec 13–16; Austin, Texas, USA. USA: IEEE Press; 2009, pp.2532–41.
78. Інтернет-енциклопедія Wikipedia. Great Flood of 1993. [Інтернет]. [ЦИТОВАНО 2017 Січ 5]. Доступно: [https://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Flood\\_of\\_1993](https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Flood_of_1993)
79. Kreuger P, Aronsson M. Railyard shunting: a challenge for combinatorial Optimisation. ERCIM News. 2007;68:23–5.
80. Bohlin M, Flier H, Maue J, Mihalák M. Hump yard track allocation with temporary car storage. Proc. of the 4th Int. seminar on railway operations modelling and analysis; 2011 Feb 16–18; Rome, Italy; 2011.7.
81. Bohlin M, Flier H, Maue J, Mihalák M. Track allocation in freight-train classification with mixed tracks. Caprara A, Kontogiannis S, editors. Proc. of the 11<sup>th</sup> workshop on algorithmic approaches for transportation modelling, optimization, and systems. Saarbrucken, Germany, 2011. 38–51.
82. Bohlin M, Dahms HW, Flier H, Gestrelus S. Optimal freight train classification using column generation. Dellling D, Liberti L, editors. Proc. of the 12th workshop on algorithmic approaches for transportation modelling, optimization, and systems, Ljubljana, Slovenia, 2012. 10–22.
83. Dahlhaus E, Horak P, Miller M, Ryan JF. The train marshalling problem. Discrete Applied Mathematics. 2000;103(1–3):41–54. doi: 10.1016/S0166-218X(99)00219-X.
84. Нецветаев АГ, Рубаник ЮТ, Михальченко ВВ. Кризис угледобывающей отрасли и современная теория управления. Кемерово: Кузбассвуиздат; 1998. 92с.
85. Haoyong C, Honwing N, Yongjun Z. Power system optimization: large-scale complex systems approaches. Singapore: John Wiley and sons; 2016. 392p.
86. Панин ВВ. Организация сетевых вагонопотоков в одnogруппные поезда в условиях структурной реформы на железнодорожном транспорте России [диссертация]. Москва: Московский государственный университет путей сообщения. 2004. 158 с.
87. Pankratova ND. System optimization of complex constructive elements of modern technology. Cybernetics and systems analysis. 2001;37(3):398-407.

88. Бородин АФ, Батулин АП, Панин ВВ. Организация вагонопотоков: учебное пособие. Москва: МИИТ; 2008. 192 с.
89. Кочнев ФП, Сотников ИБ. Управление эксплуатационной работой железных дорог: учебник для вузов ж.д. трансп. Москва: Транспорт; 1990. 424 с.
90. Данько МІ, редактор, Бутько ТВ, Березань ОВ, Кулешов ВМ, Кулешов ВВ, Калашникова ТЮ, Малахова ОА, Лаврухін ОВ, Сіконенко ГМ. Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті: навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ; 2008. 174 с.
91. Кудрявцев ВА, Кукушкина ЯВ, Суянобаев ШМ. Новый подход к расчету затрат вагоночасов на накопление. Известия Петербургского университета путей сообщения. 2010;(1):64–9.
92. Акулиничев ВМ. Организация вагонопотоков. Москва: Транспорт. 1979. 223 с.
93. Светашев АА, Светашева НФ. Процесс накопления вагонов на сортировочных станциях при твердом графике движения поездов. Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2016;(4):117–23. doi:10.22281/2413-9920-2016-02-04-117-123
94. Маловецкая ЕВ. Применение переменных нормативов при расчете плана формирования групповых поездов [автореферат]. Екатеринбург: Уральский гос. ун-т путей сообщения. 2006. 24 с.
95. Кудрявцев ВА, Светашев АА. Влияние остатка вагонов после накопления составов на величину затрат вагоно-часов. Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. 2013;3(36):37–43.
96. Осьмина ИИ. Об автоматизации расчёта плана формирования поездов. Известия Петербургского университета путей сообщения. 2005;1:27–32.
97. Петров АП. План формирования поездов. Москва: Трансжелдориздат. 1950. 483с.
98. Кудрявцев ВА, Светашев АА. Влияние остатка вагонов после накопления составов на величину затрат вагоно-часов. Известия Петербургского университета путей сообщения. 2013;3:37–43.

99. Abramowitz M, Stegun IA, editors. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. 9<sup>th</sup> ed. New York: Dover; 1972. Ch. 7, Error function and Fresnel integrals; p. 297–309.
100. Weideman JA. Computation of the complex error function. Numerical Analysis. 1994;31:(5):1497–518.
101. Бородин АФ. Автоматизированная система организации вагонопотоков: принципы построения и функционирования. Ведомственные корпоративные сети системы. 2001;(5 спец. вып.):163–5.
102. Батурин АП, Панин ВВ. Развитие системы расчета сетевого плана формирования одногруппных поездов. Труды РГОТУПС. Москва; 2004. с. 116– 23.
103. Осьминин АТ. Рациональная организация вагонопотоков на основе многокритериальной оптимизации [диссертация]. Самара: Самарский институт инженеров железнодорожного транспорта; 2000. 260 с.
104. Антонюк ИД, Орлов ВГ, Самсонов АВ. Справочная книга начальника станции. Издание 2<sup>о</sup> переработанное. Москва:Транспорт; 1969. 464с.
105. Karp RM. On the computational complexity of combinatorial problems. Networks. 1975;5:45–68.
106. Holland JH. Adaptation in natural and artificial systems. The university of Michigan press. 1975. 183 p.
107. Дарвин Ч. О происхождении видов путём естественного отбора или сохранении благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь. Москва: Директ– медиа. 2014. 528с.
108. Панченко ТВ. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие. Астрахань: Издательский дом "Астраханский университет". 2007. 87с.
109. Holland JH. Hidden order: how adaptation builds complexity. New York: Basic books. 1996. 208 p.
110. Pitman J. Some probabilistic aspects of set partitions. American mathematical monthly. 1997;104:201–9.
111. Hayes B. The easiest hard problem. American scientist. 2002;90(2):113–7.

112. Dickau R. Visualizing combinatorial enumeration. *Mathematica in education and research*. 1999;8:11–8.
113. Bell ET. Exponential numbers. *Amer. math. monthly*. 1934;41:411–9.
114. Bell ET. The iterated exponential integers. *Annals of math*. 1938;39:539–57.
115. Rota GC. The number of partitions of a set. *American mathematical monthly*. 1964;71:498–504.
116. Branson D. An extension of Stirling numbers. *The Fibonacci quarterly*. 1996;34(3):213–23.
117. McCammond J. Noncrossing partitions in surprising locations. *American mathematical monthly*. 2006;113:598–610.
118. Заглядимов ДП, Петров АП, Сергеев ЕС, Буянов ВА. Организация движения на железнодорожном транспорте: учебник для техникумов ж.-д. трансп. 7<sup>е</sup> изд. перераб. и доп. Москва: Транспорт; 1978. 552с.
119. Кудрявцев ВА. Способ расчета плана формирования одногруппных поездов. *Железнодорожный транспорт*. 2004;(5):46–50.
120. Кудрявцев ВА. Расчет плана формирования одногруппных технических маршрутов методом последовательного укрупнения струй вагонопотоков: учебное пособие. СПб: Петербургский государственный университет путей сообщения; 2003. 36с.
121. Kalyanmoy D. An efficient constraint handling method for genetic algorithms. *Computer methods in applied mechanics and engineering*. 2000;186(2–4):311–38.
122. Chen YP, Goldberg DE. Convergence time for the linkage learning genetic algorithm. *Evolutionary computation*. 2005;13(3):279–302.
123. Силичева ГВ, Владимирова ЕВ. Повышение качества работы станции. В: *Транспортная инфраструктура сибирского региона: Материалы восьмой международной научно-практической конференции*; 2017 Мар 27 – Апр 1; Иркутск, Россия. Иркутск: Иркутский государственный университет путей сообщения; 2017. том 1: с. 210–5.

124. Шавзис СС. Планирование поездообразования: новые подходы и решения. Железнодорожный транспорт, 2003;(5):43–7.
125. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України ЦД-0052. Київ: Укрзалізниця, 2004.
126. Укрзалізниця. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України № 969-ЦЗ, ЦД-0052. Київ: Укрзалізниця; 2004. 38 с.
127. Чечулина ЮА, Югина ОП. Особенности работы сортировочной станции при организации движения поездов по твердым ниткам графика. Транспорт Урала. 2014;40(1):81–4.
128. Shafia MA, Sadjadi SJ, Jamili A. Robust train formation planning. Journal of rail and rapid transit. 2010;224(2):75–90.
129. Kraft ER. Priority-based classification for improving connection reliability in railroad yards, part I: Integration with car scheduling. Journal of the transportation research forum. 2002;56(1):93–105.
130. Kraft ER. Priority-based classification for improving connection reliability in railroad yards, part II: Integration with car scheduling. Journal of the transportation research forum. 2002;56(1):107–19.
131. Сотников ИБ. Эксплуатация железных дорог: в примерах и задачах. Москва: Транспорт; 1990. 232с.
132. Конарев НС, Шутов АИ, Иловайский НД. Сетевое планирование и управление поездообразованием. Железнодорожный транспорт, 1967;(8):43–6.
133. Александров АЭ, Пермикин ВЮ, Мишарин АС, Шавзис СС. Автоматизированная система планирования поездообразования на сортировочной станции. Труды ВНИИУП МПС России. 2002;(1):109–18.
134. Аветикян МА. Эффективность интенсификации формирования сквозных поездов с использованием двух путей накопления на сортировочных станциях. Межвуз. сб. науч. труд. Моск. ин-та инж. тр-та. 1983;736:19–21.
135. Бардась АА. Развитие технологий предварительной сортировки вагонопотоков на основе управления очередностью роспуска составов. Труды РГУПС. 2014;28(3):4–9.

136. Косолапов АА. Системні характеристики АСК сортувальних станцій. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2014;(4):47–8.
137. Танаев ВС, Сотсков ЮН, Струсевиц ВА. Теория расписаний. Многостадийные системы. Москва: Наука; 1989. 327с.
138. Andreev VV, Vittikh VA, Batischev SV, Ivkushkin KV, Minakov IA, Rzevski GA, Safronov AV, Skobelev PO. Methods and tools of developing multi-agent systems for decisions making support. News of the russian academy of sciences. Theory and systems of control. 2003;(1):126–37.
139. Baruah S, Goossens J. Handbook of scheduling: algorithms, models and performance analysis. Boca Raton: CRC press; 2004. Ch 28, Scheduling real-time tasks.
140. Прилуцкий МХ, Власов СЕ. [Многостадийные задачи теории расписаний с альтернативными вариантами выполнения работ.](#) Системы управления и информационные технологии. 2005;(2):44–8.
141. Аничкин АС. Современные модели и методы теории расписаний. Труды института системного программирования российской академии наук. 2014;26(3):6.
142. Методичні вказівки з визначення норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті. Київ: Транспорт України. 2003; 96с.
143. Прилуцкий МХ, Власов СЕ. Многостадийные задачи теории расписаний с альтернативными вариантами выполнения работ. Системы управления и информационные технологии. 2005;(2):44–8.
144. Šćap D, Hoić M, Jokić A. Determination of the Pareto frontier for multi-objective optimization problem. Transactions of FAMENA. 2013;37(2):15–28.
145. Brown RE. Electric power distribution reliability, 2<sup>nd</sup> Edition. Boca Raton: CRC Press. 2008. 504 p.
146. Науменко ПП, Миненко ВД, Землянов ВБ. АСК ВП УЗ как основа для интеграции автоматизированных систем управления грузовыми перевозками железнодорожного транспорта Украины. Вісник ДНУЗТ ім. В. Лазаряна. 2007;17:35–40.

147. Трутнев ДР. Архитектуры информационных систем. Основы проектирования: учебное пособие. СПб.: НИУ ИТМО. 2012. 66 с.
148. Beer, Stafford. Brain of the firm: managerial cybernetics of organization. London: Penguin press. 1972. 347 p.
149. Reufli T, Sarrazin J. Strategic control of corporate development under ambiguous circumstances. Management science. 1981;27 (10):1158–70.
150. Goold M, Quinn JJ. The paradox of strategic controls. Strategic management journal. 1990;11(1):43–57.
151. Preble JF. Towards a Comprehensive system of strategic control. The journal of management studies. 1992;29(4): 391–409.
152. Ерофеев АА., Коренев ПГ. Технологическая потребность в корректировке плана формирования поездов. Мир транспорта. 2013;(1):124–9.
153. Lif M, Olsson E, Gulliksen J, Sandblad B. Workspaces enhance efficiency –theories, concepts and a case study. Information technology and people. 2001;14(3):261–72.
154. Sandblad B, Gulliksen J, Åborg C, Boivie I, Persson J, Göransson B, at al. Work environment and computer systems development. Behaviour and information technology. 2003;22(6):375–87.
155. Sandblad B, Andersson AW, Frej I, Gideon A. The role of human-computer interaction in design of new train traffic control systems. In: Proceedings of world congress on railway research, volume A; 1997 Nov 16–19; Florence. Rome: WCRR '97 Congress Secretariat; 1997. p 777–83.
156. Isaksson-Lutteman G. Development and deployment of new principles and systems in train traffic control [dissertation]. Uppsala, Sweden; Uppsala university; 2012. 57 p.
157. Sniady A. Communication technologies support to railway infrastructure and operations [dissertation]. Lyngby, Denmark; Technical University of Denmark; 2015. 225 p.
158. Andersson AW, Sandblad B, Hellström P, Frej I, Gideon A. A systems analysis approach to modelling train traffic. In: Proceedings of world congress on railway research, volume A; 1997 Nov 16–19; Florence. Rome: WCRR '97 Congress Secretariat; 1997. p 673–9.

159. Andersson AW, Sandblad B, Nilsson A. Improving interface usability for train traffic controllers in future traffic control systems. In: Mellit B, Hill RJ, Allan V, Sciutto G, Brebbia CA, editors. Computers in railways VI, Lisbon. Boston: WIT press; 1998. p 929–39.
160. Wang J, Korambath P, Altintas I. A physical and virtual compute cluster resource load balancing approach to data-parallel scientific workflow scheduling. In: Proceedings of IEEE world congress on services; 2011 Jul 4–9; Washington DC, USA. New York: Curran associates; 2011. p 212–5.
161. Chowdhury M, Zaharia, M, Ma J, Jordan MI. Managing data transfers in computer clusters with orchestra. In: Proceeding of the ACM SIGCOMM 2011 Conference; 2011 Aug 15–19; Toronto, Canada. New York; 2011. p 98–109.
162. Дорошенко ЮА, Авилова ИП. К вопросу о назначении ставки дисконтирования при оценке эффективности инвестиционных проектов. Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2007;(8 том 4):169–72.



