

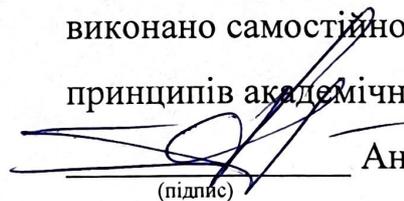
Кафедра залізничних станцій та вузлів

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ВИХОДУ ВІДЧЕПІВ  
З ПАРКОВОЇ ГАЛЬМОВОЇ ПОЗИЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО  
СОРТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ З ПРОТИУХИЛАМИ

Пояснювальна записка та розрахунки  
до випускної кваліфікаційної роботи

ВШВВП.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 213-МКТ-Д24  
спеціальності 275 / 275.02 (роботу  
виконано самостійно, відповідно до  
принципів академічної доброчесності)



(підпис)

Андрій ДИГАЛО

Керівник: професор, доктор техн. наук

Олександр ОГАР

Рецензент: професор, доктор техн. наук

Денис ЛОМОТЬКО

## АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 14 слайдів презентації, 88 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 9 рисунків, 20 таблиць, 18 літературних джерел.

Ключові слова: ПРИЦІЛЬНЕ ГАЛЬМУВАННЯ, ГАЛЬМОВА ПОЗИЦІЯ, ВАГОННИЙ УПОВІЛЬНЮВАЧ, РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ВІДЧЕП, СОРТУВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ.

Об'єктом дослідження є процес розформування составів на автоматизованому сортувальному пристрої з протиухилами. Метою дослідження є підвищення ефективності гальмування відчепів на парковій гальмовій позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами.

У роботі досліджено особливості технологічного процесу розформування поїзних составів на сортувальних пристроях з урахуванням сучасних вимог до ефективності, безпеки та автоматизації сортувальної роботи. Виконано аналіз існуючих методів керування процесом скочування вагонів зі сортувальних гірок, а також розглянуто структуру і функціональні принципи роботи модулів управління вагонними уповільнювачами в автоматизованих системах. Розроблено метод розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами, який враховує вплив конструктивних і експлуатаційних чинників. На основі запропонованого підходу визначено оптимальні значення швидкості виходу відчепів, що забезпечують дотримання вимог прицільного та інтервального регулювання, зменшення енерговитрат і підвищення якості заповнення підгіркових колій. Виконано техніко-економічне обґрунтування варіанта впровадження автоматизованої системи управління прицільним гальмуванням відчепів на сортувальному пристрої з протиухилами.

## ABSTRACT

This qualification work includes 14 presentation slides, 88 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 9 figures, 20 tables, 18 literature references.

Keywords: TARGETED BRAKING, RETARDER POSITION, CAR RETARDER, SPEED CONTROL, CUT, SORTING DEVICE.

The object of the study is the process of train break-up at an automated sorting facility with counter-grades. The aim of the study is to improve the efficiency of braking cuts at the yard braking position of an automated sorting facility with counter-grades.

The paper investigates the features of the technological process of train break-up at sorting facilities, taking into account modern requirements for efficiency, safety, and automation of sorting operations. An analysis of existing methods for controlling the rolling of wagons from hump yards is performed, and the structure and functional principles of wagon retarder control modules in automated systems are examined. A method is developed for calculating the exit speed of cuts from the yard braking position of an automated sorting facility with counter-grades, which takes into account the influence of design and operational factors. Based on the proposed approach, optimal values of the exit speed of cuts are determined, ensuring compliance with targeted and interval control requirements, reduction of energy consumption, and improvement of the quality of filling of yard tracks downstream of the hump. A techno-economic justification is provided for the implementation of an automated system for targeted braking control of cuts at a sorting facility with counter-grades.

# Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра залізничних станцій та вузлів

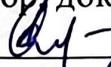
Рівень вищої освіти: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (залізничний транспорт)

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,  
професор, доктор техн. наук

 О. М. Огар  
« 24 » жовтня 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дигало Андрію Петровичу

1. Тема проекту «Визначення швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами»  
керівник проекту (роботи) Огар Олександр Миколайович, д.т.н., професор  
затверджені розпорядженням факультету УПП від «24» жовтня 2025 року № 19/25
2. Строк подання студентом закінченої роботи – «05» січня 2026 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи): характеристика вагонних уповільнювачів, характеристика пристроїв автоматизації, план гіркової горловини сортувального пристрою, середньодобові розміри переробки на сортувальному пристрої.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Особливості технологічного процесу розформування составів на сортувальних пристроях. Аналіз методів керування процесом скочування вагонів зі сортувальних гірок. Структура та функціональні принципи роботи модулів управління вагонними уповільнювачами. Розроблення методу розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Визначення оптимальної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Техніко-економічне обґрунтування варіанту впровадження автоматизованої системи управління прицільним гальмуванням відчепів на сортувальному пристрої з протиухилами.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): об'єкт, предмет, задачі дослідження, елементи наукової новизни, мета роботи; випадкові фактори, що впливають на якість сортувального процесу; конструкція сортувального пристрою з протиухилами; архітектура автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами; математична модель визначення оптимальної швидкості виходу відчепу з паркової гальмової позиції; «розмиті» області значень швидкості співударяння відчепів на підгіркових коліях; математичні очікування швидкості співударяння відчепів; «розмиті» області значень швидкості співударяння відчепів на підгірковій колії, отримані у результаті моделювання; результати моделювання швидкості співударяння відчепів з вагонами на підгірковій колії; раціональні швидкості виходу відчепів розрахункового составу з

паркової гальмової позиції, отримані в результаті моделювання; розрахунок витрат при впровадженні варіантів автоматизації сортувальних пристроїв (2 аркуши); висновки. Загалом 14 аркушів.

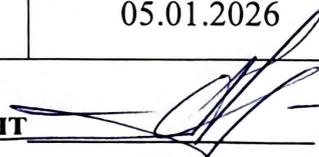
6. Консультанти розділів проекту (роботи)

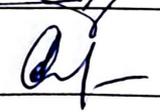
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування варіанту впровадження автоматизованої системи управління прицільним гальмуванням відчепів на сортувальному пристрої з протиухилами.	Євгеній БАЛАКА, доцент, канд. екон. наук		

7. Дата видачі завдання «24» жовтня 2025 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
Вступ		
1 Особливості технологічного процесу розформування составів на сортувальних пристроях	27.10.2025	
2 Аналіз методів керування процесом скочування вагонів зі сортувальних гірок. Структура та функціональні принципи роботи модулів управління вагонними уповільнювачами	03.11.2025	
3 Розроблення методу розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами	17.11.2025	
4 Визначення оптимальної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами	01.12.2025	
5 Техніко-економічне обґрунтування варіанту впровадження автоматизованої системи управління прицільним гальмуванням відчепів на сортувальному пристрої з протиухилами	15.12.2025	
7 Висновки	29.12.2025	
8 Оформлення роботи	05.01.2026	

Студент  Андрій ДИГАЛО

Керівник проекту (роботи)  Олександр ОГАР

## Зміст

Вступ	7
1 Особливості технологічного процесу розформування составів на сортувальних пристроях	10
2 Аналіз методів керування процесом скочування вагонів зі сортувальних гірок. Структура та функціональні принципи роботи модулів управління вагонними уповільнювачами	25
2.1 Огляд методів керування процесом скочування вагонів зі сортувальних гірок	25
2.2 Структура та функціональні принципи роботи модулів управління парковою гальмовою позицією у системі АРШ-ПУПГ	31
3 Розроблення методу розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами	40
3.1 Вплив випадкових факторів на якість сортувального процесу	40
3.2 Розроблення процедури визначення приблизних значень питомих опорів руху відчепу, що мають випадковий характер, та математичної моделі розрахунку оптимальної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції	43
4 Визначення оптимальної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами	53
4.1 Обґрунтування об'єму вибірки	54
4.2 Моделювання швидкості співударяння одновагонного відчепу з вагонами у сортувальному парку	55

				ВШВВП.300.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Дигало			Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Огар				5	88
Н. Контр.		Шаповал			УкрДУЗТ		
Затверд.		Огар			5		

Визначення швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами

4.3 Оптимізація швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції	58
5 Техніко-економічне обґрунтування варіанту впровадження автоматизованої системи управління прицільним гальмуванням відчепів на сортувальному пристрої з протиухилами	65
5.1 Прогнозування обсягів переробки вагонів на сортувальному пристрою	67
5.2 Визначення експлуатаційних витрат	68
5.3 Визначення економічної привабливості інвестиційного проекту впровадження автоматизованої системи управління прицільним гальмуванням відчепів на сортувальному пристрої з протиухилами	72
Висновки	78
Список використаних джерел	80
Додаток А Результати натурних спостережень за роботою сортувальної гірки	83

					ВШВВП.300.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## Вступ

Прицільне регулювання швидкості скочування відчепів у межах сортувального парку є однією з ключових та водночас найбільш технологічно складних операцій процесу розформування составів. Його основне завдання полягає в забезпеченні такого режиму руху кожного окремого відчепа, щоб він прибув у задану точку прицілювання з допустимою швидкістю співударяння та не спричинив появи «вікна» на підгірковій колії.

На складність вирішення цієї задачі впливає сукупність чинників. Найвагомішими серед них є різноманітність параметрів вагонів, зміна зовнішніх умов, неоднорідність профілю колій, складність точного налаштування гальмівних пристроїв, а також необхідність швидкого й коректного реагування операторів гальмівних позицій. Детальніший аналіз цих впливів дає змогу виділити такі особливості.

Вагони у складі відчепів істотно відрізняються між собою масою, довжиною, технічним станом і величиною питомого опору руху. Це безпосередньо визначає їх прискорення та уповільнення під час скочування зі спускної частини гірки. Тому однакове гальмівне зусилля може виявитися недостатнім для одних вагонів і надмірним для інших.

Крім того, погодні чинники – дощ, сніг, ожеледь – знижують коефіцієнт тертя між колесами та рейками. Унаслідок цього змінюється динаміка руху відчепів, що суттєво ускладнює точне забезпечення необхідної швидкості на парковій гальмовій позиції (ППП).

Незначні зміни профілю колії у вигляді малих ухилів або підйомів здатні суттєво впливати на швидкість руху відчепів, що ускладнює забезпечення стабільного прицільного гальмування. Особливо складним є регулювання швидкості на коліях зі складною конфігурацією профілю.

Робота гальмівних засобів ППП може істотно коливатися залежно від їх технічного стану, можливих затримок у момент спрацьовування та неточно обраної сили гальмування.

У процесі сортування оператори повинні оперативно реагувати на зміну ситуації в реальному часі, що висуває високі вимоги до їхньої професійної підготовки та здатності швидко коригувати параметри скочування.

Наслідками недостатньо якісного регулювання швидкості є пошкодження вагонів і вантажів, виникнення аварійних ситуацій через надмірно сильні удари при зчепленні, необхідність додаткових втручань у разі зупинки відчепів на колії, а також порушення ритмічності роботи сортувального парку.

У цьому контексті підвищення точності визначення швидкості виходу відчепів із ПГП в автоматизованих сортувальних системах постає як важливе науково-практичне завдання. Воно повністю відповідає сучасним напрямкам наукових досліджень Укрзалізниці та узгоджується з положеннями Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року [1].

Метою роботи є підвищення ефективності гальмування відчепів на парковій гальмовій позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Для цього необхідно розробити процедуру розрахунку швидкостей виходу відчепів з паркової гальмової позиції на основі визначення приблизних значень основного питомого опору їх руху і питомого опору їх руху від повітряного середовища і вітру та оптимізації вказаних швидкостей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати особливості технологічного процесу розформування составів на сортувальних пристроях;
- проаналізувати методи керування процесом скочування вагонів зі сортувальних гірок, структуру та функціональні принципи роботи модулів управління вагонними уповільнювачами;
- розробити метод розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами;
- визначити оптимальні швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами;
- оцінити економічну ефективність впровадження автоматизованої системи управління прицільним гальмуванням відчепів на сортувальному пристрої з протиухилами.

Об'єктом дослідження є процес розформування составів на автоматизованому сортувальному пристрої з протиухилами.

Предметом дослідження є технологічні параметри процесу гальмування відчепів на парковій гальмовій позиції.

Для моделювання сортувального процесу використано методи імітаційного моделювання. Для визначення оптимальних технологічних параметрів процесу гальмування відчепів на парковій гальмовій позиції використано чисельні методи розв'язання оптимізаційних задач та методи математичної статистики.

*Елементи наукової новизни роботи.* Вперше сформовано процедуру розрахунку швидкостей виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами, що базується на визначенні приблизних значень питомих опорів руху відчепу, що мають випадковий характер, та оптимізації вказаних швидкостей. Застосування вказаної процедури дозволить забезпечити допустиму швидкість співударяння вагонів і мінімізувати довжину «вікон» на коліях сортувального парку.

За результатами досліджень опубліковано тези доповідей на студентській науково-технічній конференції [2].

## Висновки

У кваліфікаційній роботі представлено рішення актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності гальмування відчепів на ПГП автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. У технології розформування составів на сортувальних гірках наявна низка специфічних проблем, що визначають рівень ефективності, безпеки та точності сортувального процесу. До ключових належать: недостатня точність регулювання швидкості скочування відчепів, значна інерційність гальмівних пристроїв, випадковий характер зовнішніх впливів, ненадійність окремих систем контролю, поява «чужих» вагонів на сортувальних коліях, недосконалість керувальних алгоритмів, технологічні обмеження автоматизованих комплексів, проблеми з підготовкою операторів та високі витрати на експлуатацію обладнання. Сукупність цих факторів зумовлює необхідність комплексного підходу, що охоплює модернізацію технічної інфраструктури, удосконалення логіки керування, підвищення адаптивності систем до зовнішніх умов і забезпечення високої кваліфікації персоналу.

2. Аналіз сучасних систем гіркової автоматизації засвідчує, що проблема високоточного регулювання швидкості скочування відчепів і досі не має вичерпного розв'язання. Основними факторами, які перешкоджають досягненню необхідного рівня керованості, залишаються недостатня розвиненість теоретичних підходів до формування оптимальних керуючих дій у процесі розпуску составів, а також технічні обмеження, властиві обладнанню гіркової автоматики. Для подальшого підвищення ефективності методів визначення оптимальних керуючих впливів, що забезпечують якісне скочування відчепів, необхідно особливу увагу приділити урахуванню випадкових зовнішніх чинників, змінності ходових характеристик вагонів та інерційних властивостей гальмівних пристроїв.

3. Запропоновано метод розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції з використанням актуальної інформації щодо погодних умов, конструкційних параметрів, складу та параметрів руху відчепів.

Уперше в межах розв'язання задачі прицільного гальмування запропоновано підхід до визначення орієнтовного значення основного питомого опору руху відчепа, що базується на фіксації його поточної швидкості, а також швидкості й напрямку вітру, та на вимірюванні фактичної швидкості під час проходження першою віссю відчепа контрольних точок. Це дає змогу суттєво поліпшити точність розрахунку параметрів гальмування. Для практичної реалізації цього методу розроблено структурну схему автоматизованої системи управління парковими уповільнювачами.

Запропонована оптимізаційна модель забезпечує визначення такої швидкості виходу відчепа з ПГП, за якої відхилення від заданої швидкості співударяння з вагонами на колії призначення є мінімальним. Для цього застосовано метод послідовних наближень у поєднанні з імітаційним моделюванням. Оптимізаційні розрахунки здійснюються з урахуванням наближеного значення основного питомого опору руху відчепа, а також середніх значень швидкості та напрямку вітру за проміжок часу проходження першою віссю відчепа ділянки між першою та останньою контрольними точками.

4. Виконано оптимізацію швидкості виходу відцепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Встановлено, що середня швидкість співударяння відцепів у сортувальному парку зменшується на 1,04 м/с у порівнянні з базовим варіантом і становить 0,749 м/с. Отримане значення швидкості співударяння забезпечує докочування відцепів до вагонів у сортувальному парку і виключає пошкодження вагонів та вантажів у наслідок ударів. Також встановлено, що в умовах автоматизації роботи паркової гальмової позиції середня довжина «вікна» на один перероблений вагон зменшується на 3,1 м.

5. Розрахунок економічного ефекту довів доцільність реалізації проекту автоматизації паркової гальмової позиції з використанням запропонованого методу розрахунку швидкості виходу відцепів з вказаної позиції. У варіанті автоматизації сортувального пристрою з трьома гальмовими позиціями витрати за розрахунковий період 10 років з приведенням вартісних оцінок результатів і витрат різних років до першого року на 128451,8 тис. грн більші ніж у запропонованому варіанті автоматизації.

## Список використаних джерел

- 1 Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. *Офіційний вісник України*. 2018. № 52. С. 533. Ст. 1848.
- 2 Дигало А. П. Застосування штучного інтелекту і технології машинного навчання для гальмування відцепів на сортувальних гірках. Тези доп. 85-ї студ. наук.-техн. конф., м. Харків, 10-11 грудня 2025 р. Харків, 2025. С. 381-382.
- 3 Оптимізація режимів гальмування на сортувальних гірках: монографія / В. І. Бобровський та ін. Дніпропетровськ : Вид-во Маковецький, 2010. 260 с.
- 4 Shabelnikov A. N., Lyabakh N. N. Intellectualization of sorting processes control on the basis of instrumental determination of analogies. *2nd International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry, IITI 2017, Varna, Bulgaria*. 2017. pp. 138-145. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68324-9\\_15](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68324-9_15).
- 5 Kozachenko D. M., Bobrovskiy V. I., Grevtsov C. V., Berezoviy M. I. Controlling the speed of rolling cuts in conditions of reduction of brake power of car retarders. *Science and Transport Progress*. 2021. 3(63). pp. 28-40. <https://doi.org/10.15802/stp2016/74710>
- 6 Kovalev S. M., Shabelnikov A. N., Sukhanov A. V. Dynamic programming for automatic positioning of wheel chocks on marshalling yards. *2nd International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry, IITI 2017, Varna, Bulgaria*. 2017. pp. 119-127.
- 7 Kozachenko D., Grevtsov S., Titova A. Determination of the Optimal Cars Exit Speeds from the Retarders on Sorting Humps. *Proceedings of 27<sup>th</sup> International Scientific Conference Transport Means 2023. Part II*. 2023. pp. 966–971.
- 8 Дорош А. С. Оптимізація режимів гальмування відцепів на сортувальній гірці. *Транспортні системи та технології перевезень* : збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2021. Вип. 22. С. 28–35.

9 Probabilistic approach for the determination of cuts permissible braking modes on the sorting humps / V. Bobrovskyi, D. Kozachenko, A. Dorosh et al. *Transport Problems*. 2016. 11(1). pp. 147–155. Available From: <http://dx.doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.14>

10 Ohar O., Berestov I., Kutsenko M., Smachilo J., Kogaro I. Using the new car braking systems in marshalling yards. *ICTE in Transportation and Logistics 2019: Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. 2020. pp. 203-210. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_27)

11 Огар О. М., Таратушка К. В. Дослідження ефективності застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відчепів. *Транспортні системи та технології перевезень*: зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2015. Вип. 9. С. 49-56.

12 Моделювання роботи вагонних уповільнювачів в задачах дослідження сортувального процесу / В. І. Бобровський, Д. М. Козаченко, Р. Г. Коробйова. *Залізничний транспорт України*. 2010. №1. С. 5-8.

13 Методичні рекомендації операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках : Затв.: Наказ Укрзалізниці від 22.02.2013 р. № 042-Ц/од. Київ: ТОВ «Інпрес», 2013. 108 с.

14 Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування ГБН В.2.3-37472062-1:2012. Київ : Міністерство інфраструктури України, 2012. 112 с.

15 Бобровський В. І. Теоретичні основи вдосконалення конструкції та технології роботи залізничних станцій : дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.20. Дніпропетровськ, 2002. 534 с.

16 Огар О. М. Розвиток теорії експлуатації та методів розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.20. Харків, 2011. 368 с.

17 Журавель В. В., Музикіна В. І., Журавель І. Л. Точність гальмування, вага вагонів і показники роботи сортувальної гірки. *Залізничний транспорт України*. 2008. Вип. 5. С. 46-48.

18 Балака Є. І., Зоріна О. І., Колеснікова Н. М., Писаревський І. Н. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційних проектах на транспорті: навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.