

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. Б. Мокін, Б. І. Мокін

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РУХУ
БАГАТОМАСОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ
ПОВЕРХНЯМИ ЗІ СКЛАДНИМ РЕЛЬЄФОМ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 681.5.015+62-83:629.4
ББК 32.965+31.291:39.232
М74

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол №4 від 29.11.2012 р.).

Рецензенти:

В. Я. Данилов, доктор технічних наук, професор

О. І. Стасюк, доктор технічних наук, професор

Мокін, О. Б.

М74 Моделювання та оптимізація руху багатомасових електричних транспортних засобів поверхнями зі складним рельєфом : монографія / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 192 с.

ISBN 978-966-641-527-4

В монографії представлена методологія вирішення наукової проблеми ідентифікації моделей багатомасових електричних транспортних засобів під час руху поверхнями зі складним рельєфом, оптимальних за критерієм мінімуму витрат електроенергії, в умовах дії обмежень, обумовлених вимогами безпеки експлуатації та придатності для розв'язання інженерних задач енергозбереження під час експлуатації електричного транспорту. Розрахована на інженерів та науковців, які займаються моделюванням та оптимізацією руху електричних транспортних засобів, а також може бути корисною студентам та аспірантам ВНЗ, які спеціалізуються на розв'язанні цих науково-прикладних задач.

УДК 681.5.015+62-83:629.4

ББК 32.965+31.291:39.232

ISBN 978-966-641-527-4

© О. Мокін, Б. Мокін, 2013

ЗМІСТ

ВСТУП	7
Глава 1 ОГЛЯД НАУКОВИХ ПРАЦЬ З ІДЕНТИФІКАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО РУХУ БАГАТОМАСОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ (БЕТЗ), ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ І ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Огляд наукових праць з синтезу математичних моделей оптимального руху БЕТЗ.....	10
1.2 Формулювання наукової проблеми, що розглядається, та наукових задач, розв’язання яких є необхідним для вирішення цієї проблеми.....	15
1.3 Висновки до глави 1.....	17
Глава 2 БАЗОВІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ БЕТЗ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ	19
2.1 Математичні моделі БЕТЗ на основі законів ньютонівської динаміки.....	19
2.2 Особливості представлення тягових сил та сил опору в математичних моделях прямолінійного руху БЕТЗ.....	25
2.3 Особливості моделювання сил, що діють на БЕТЗ на спусках і на підйомах.....	28
2.4 Особливості моделювання руху БЕТЗ з урахуванням залежності навантаження від рельєфу місцевості.....	32
2.5 Висновки до глави 2.....	35
Глава 3 ДЕКОМПОЗИЦІЯ ПРОБЛЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО РУХУ БЕТЗ ПОВЕРХНЯМИ ЗІ СКЛАДНИМ РЕЛЬЄФОМ ТА СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДОЛОГІЇ ЇЇ ВИРІШЕННЯ	36
3.1 Декомпозиція проблеми ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом.....	36
3.2 Структура інформаційної технології реалізації методології вирішення проблеми ідентифікації моделей	

оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом.....	40
3.3 Система відносних одиниць для задач ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ.....	43
3.4 Особливості реалізації структури інформаційної технології методології вирішення проблеми ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом.....	50
3.5 Висновки до глави 3.....	54
Глава 4 МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ БАЗОВИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ БЕТЗ	55
4.1 Спрощений Фур'є-інтегральний метод ідентифікації нелінійних динамічних систем, які можна представити послідовним з'єднанням лінійної інерційної частини системи і безінерційної аналітичної нелінійності, придатний для розв'язання задачі ідентифікації базової математичної моделі БЕТЗ.....	55
4.1.1 Вихідні умови та постановка задачі.....	55
4.1.2 Ідентифікація нелінійної статичної характеристики БЕТЗ	56
4.1.3 Ідентифікація лінійної інерційної частини нелінійної динамічної системи класу БЕТЗ.....	61
4.2 Метод інтегрально-гармонічної ідентифікації базових моделей динаміки БЕТЗ з нелінійністю, охопленою зворотним зв'язком	65
4.3 Метод визначення структури базових математичних моделей БЕТЗ з різнопрофільними вагонами, що рухаються прямолінійною горизонтальною колією	71
4.4 Метод визначення параметрів базової математичної моделі динаміки БЕТЗ з однопрофільними вагонами	79
4.5 Узагальнення Фур'є-інтегрального методу ідентифікації нелінійних динамічних систем	82
4.6 Висновки до глави 4.....	94

Глава 5 ВАРІАЦІЙНІ МЕТОДИ СИНТЕЗУ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО РУХУ БЕТЗ НА ПРЯМОЛІНІЙНИХ ВІДРІЗКАХ КОЛІ, ПРОКЛАДЕНИЙ НА ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ, ТА НА СПУСКАХ І ПІДЙОМАХ	96
5.1 Прямий варіаційний метод синтезу математичних моделей оптимального руху трамвая – найпростішої нелінійної динамічної системи в класі БЕТЗ – в номінальному режимі, в режимі перевантаження та недовантаження за критерієм мінімуму витрат електроенергії	96
5.2 Варіаційний метод синтезу у гільбертовому просторі математичних моделей оптимального руху БЕТЗ на прямолінійному горизонтальному відрізку колії.....	105
5.2.1 Синтез математичних моделей оптимального руху на прямолінійному горизонтальному відрізку колії завантажених БЕТЗ.....	106
5.2.2 Синтез математичних моделей оптимального руху на прямолінійному горизонтальному відрізку колії незавантажених БЕТЗ.....	112
5.3 Варіаційний метод синтезу у гільбертовому просторі математичних моделей оптимального руху БЕТЗ на спусках та підйомах.....	117
5.3.1 Синтез математичних моделей оптимального руху завантажених БЕТЗ на спусках	118
5.3.2 Синтез математичних моделей оптимального руху завантажених БЕТЗ на підйомах	121
5.3.3 Синтез математичних моделей оптимального руху незавантажених БЕТЗ на спусках та підйомах	124
5.4 Синтез математичних моделей оптимального руху БЕТЗ прямолінійними відрізками колії в умовах обмеження на швидкість та на час руху між двома зупинками	126
5.5 Синтез математичних моделей оптимального руху БЕТЗ горизонтальним прямолінійним відрізком колії в	

умовах обмеження на швидкість та можливості корекції графіка руху	135
5.6 Висновки до глави 5.....	138
Глава 6 СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ УМОВ БЕЗПЕЧНОГО РУХУ БЕТЗ НА ЗАКРУГЛЕННЯХ КОЛІЇ, ЯКІ ОДНОЧАСНО Є ГРАНИЧНИМИ УМОВАМИ, НЕОБХІДНИМИ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО РУХУ НА ВІДРІЗКАХ КОЛІЇ, ЩО СТИКУЮТЬСЯ ІЗ ЗАКРУГЛЕННЯМИ	140
6.1 Синтез математичних моделей умов безпечного руху БЕТЗ на закругленнях колії у горизонтальній площині, які одночасно є граничними умовами, необхідними для розв'язання задач ідентифікації моделей оптимального руху на прямолінійних відрізках колії, що стикаються з цими закругленнями.....	140
6.2 Математичні моделі умов несходження з рейок БЕТЗ під час руху на спуск по закругленню колії у вертикальній площині	147
6.3 Математичні моделі умов неруйнування закруглень колії у вертикальній площині під час руху по них БЕТЗ на підйом	151
6.4 Оцінка впливу підвищення зовнішньої рейки на закругленні залізничної колії на критичну швидкість, з якою БЕТЗ ще може проходити це закруглення, не сходячи з рейок.....	155
6.5 Висновки до глави 6.....	160
ЛІТЕРАТУРА.....	162
Додаток А Визначення радіуса закруглення ділянки залізничної колії поблизу м. Гнівань з використанням ГІС-пакета «Панорама»	179
Додаток Б Комп'ютерна програма «МІГІ»	182
Додаток В Комп'ютерна програма «Ідент-ОВ».....	185
Додаток Г Комп'ютерна програма «Ідент-РВ».....	189

ВСТУП

Ще з радянських часів Україні дісталась у спадщину розгалужена мережа електрифікованих залізничних транспортних магістралей, якими курсують сотні пасажирських і вантажних потягів з електричною тягою, та велика кількість міст, в яких одним із основних видів пасажирського транспорту є трамваї та електропотяги метрополітенів. При цьому досить значна кількість електроенергії споживається цими електричними транспортними засобами під час руху зайво, у зв'язку з тим, що їх рух організовано не оптимально з позицій критерію мінімуму витрат електроенергії. Різними дослідниками, включаючи і авторів цієї монографії, знайдені математичні моделі оптимального руху електричних транспортних засобів, під якими розуміють математичні моделі, якими визначаються закони зміни швидкостей електричних транспортних засобів під час руху від однієї зупинки до наступної, та математичні моделі, якими визначаються закони зміни струмів якорів тягових електродвигунів електроприводів електричних транспортних засобів, що забезпечують досягнення цих швидкостей, при синтезі яких використано критерій мінімуму витрат електроенергії в якірних колах тягових електродвигунів. Але, по-перше, в основному це зроблено для руху горизонтальними ділянками залізничної колії, а по-друге, це зроблено, виходячи не з критерію мінімуму витрат електроенергії електроприводом транспортного засобу, а виходячи з більш зручного для аналітичних перетворень критерію мінімуму витрат електроенергії в якірних колах тягових електродвигунів. У той же час на практиці усім електричним транспортним засобам доводиться рухатись поверхнями зі складним рельєфом, адже навіть на горизонтальних поверхнях їм доводиться здійснювати багато поворотів, модель руху на яких ніяк не підпорядковується законам руху по прямій. Крім того, з позицій енергозбереження більш важливою є оцінка загальних витрат електроенергії, а не оцінка лише їх витрат у якірних колах тягових електродвигунів. Недостатньо дослідженими є також моделі руху електричних транспортних засобів в умовах реальних обмежень на швидкість, а інколи і на прискорення та ривок, оскільки навіть у тих роботах, в яких дослідники враховують обмеження на швидкість руху, ідентифікація моделей оптимального руху здійснюється без урахування необхідності виконання програми роботи в задані часові терміни.

Тож для ефективного розв'язання важливої для держави інженерної проблеми енергозбереження на електротранспорті попередньо потрібно розв'язати наукову проблему створення методології ідентифікації моделей оптимального руху багатомасових електричних транспортних засобів (БЕТЗ) поверхнями зі складним рельєфом. Адже, лише реалізуючи під час руху електричного транспортного засобу за допомогою автоматизованої системи керування оптимальні за критерієм мінімуму витрат електроенергії математичні моделі, можна досягти вагомих результатів в енергозбереженні у цій галузі.

Розв'язанню саме цієї важливої наукової проблеми створення методології вирішення проблеми ідентифікації математичних моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом і розглядається в монографії. Причому терміном «ідентифікація» в цій роботі будемо визначати увесь процес побудови математичних моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом, починаючи від вибору альтернатив під час розгляду базових математичних моделей і визначення їх оптимальної структури, продовжуючи синтезом моделей оптимального руху за відповідним критерієм оптимізації і закінчуючи розрахунком їх параметрів за побудованими алгоритмами.

Основний зміст монографії складають результати досліджень, які проводились протягом 2007–2012 років. Вибраний напрямок дослідження було започатковано виконанням у Вінницькому національному технічному університеті держбюджетної науково-дослідної роботи № 84-Д-291 (№ держреєстрації 0107U002096) на тему «Розробка моделей та методів оптимізації режимів руху транспортних засобів по магістралях зі складним рельєфом», затвердженої Міністерством освіти і науки України на 2007–2009 роки, у якій д. т. н., професор Б. І. Мокін був науковим керівником, а д. т. н., доцент О. Б. Мокін відповідальним виконавцем.

Метою дослідження, результати якого викладені в цій монографії, є створення методології вирішення наукової проблеми ідентифікації моделей БЕТЗ під час руху поверхнями зі складним рельєфом, оптимальних за критерієм мінімуму витрат електроенергії, в умовах дії обмежень, обумовлених вимогами безпеки експлуатації та придатності для розв'язання інженерних задач енергозбереження під час експлуатації електричного транспорту.

Викладена в монографії методологія вирішення проблеми ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом доповнює загальну теорію ідентифікації динамічних систем вагогим розділом, в якому вирішуються проблеми ідентифікації моделей оптимального руху такого важливого класу динамічних систем, яким є нелінійні розподілені динамічні системи класу БЕТЗ, методології аналітичного вирішення якої з можливістю узагальнення отриманих результатів на будь-які динамічні системи із визначеного класу в рамках синтезу моделей їх руху поверхнями зі складним рельєфом, оптимальних за критерієм мінімуму витрат електроенергії тяговими електроприводами, як показав аналіз вітчизняних і зарубіжних наукових літературних джерел, раніше не існувало в завершеному вигляді в теорії ідентифікації взагалі.

Текст монографії написав О. Б. Мокін. Щодо вкладу Б. І. Мокіна в монографію, то йому належить постановка деяких наукових задач в рамках розробленої методології вирішення проблеми ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом, перевірка правильності отриманих О. Б. Мокіним результатів та загальна редакторська правка написаного О. Б. Мокіним тексту.

Глава 1

ОГЛЯД НАУКОВИХ ПРАЦЬ З ІДЕНТИФІКАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО РУХУ БАГАТОМАСОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ (БЕТЗ), ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ І ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Огляд наукових праць з синтезу математичних моделей оптимального руху БЕТЗ

Як показав бібліографічний пошук, синтез математичних моделей оптимального руху БЕТЗ, під якими будемо розуміти математичну модель, якою визначається закон зміни швидкості руху БЕТЗ від однієї зупинки до наступної, та математичну модель, якою визначається закон зміни струму якоря тягових електродвигунів електропривода БЕТЗ, при синтезі яких використано критерій мінімуму втрат електроенергії в якірних колах тягових електродвигунів або критерій мінімуму витрат електроенергії електроприводом, висвітлюється у великій кількості робіт. І ефективність експлуатації БЕТЗ підвищується не за рахунок впровадження у практику результатів моделювання та оптимізації їх руху, а, в основному, за рахунок конструктивного вдосконалення основних вузлів та заміни застарілих елементів електропривода на більш енергоощадні, наприклад, заміна реостатно-контакторної системи керування (РКСК) на транзисторну на базі транзисторів типу IGBT та заміну тягових електродвигунів постійного струму на асинхронні, що характерно для рудних електровозів, теорія оптимального управління якими розвивається у низці наукових робіт, наприклад [1–6].

Проте є декілька помітних робіт, на яких і зупинимось детальніше. Першою розглянемо кандидатську дисертаційну роботу [7], захищену у Російській Федерації (м. Красноярськ), що є узагальненим результатом наукових робіт науковця [8–15], на які варто звернути увагу. В цій роботі представлено синтез апаратно-програмного комплексу, що реалізує закон оптимального управління електрорухомим складом міського електричного транспорту з РКСК за рахунок оптимального за критерієм мінімуму втрат електроенергії вибору ступенів контролера в режимах пуску, розгону та руху. До ключових недоліків цієї роботи слід віднести, по-перше, те, що вона охоплює лише міський електричний транспорт; по-друге, питома вага електричного транспорту з РКСК, незважаючи на те, що він поки що широко розповсюджений,

кожного року досить стрімко зменшується, оскільки електротранспортні підприємства за можливості в першу чергу витрачають кошти не на модернізацію самої РКСК, як пропонується у роботі [7], а на заміну її транзисторною на базі транзисторів типу IGBT, що прийшли на заміну тиристорним системам керування, які так і не встигли отримати широкого застосування у системах керування електричними транспортними засобами (окрім одноопераційних швидкодійних тиристорів SCRI) [16]; по-третє, виникають питання щодо ступеня оптимальності отриманих результатів, адже в процесі їх отримання автором роботи [7] використовувалась далеко не найкраща модель кривої намагнічування, що доведено у роботах [17, 18]; і по-четверте, при синтезі оптимальних моделей використовується не критерій мінімуму загальних витрат електроенергії електроприводом, а критерій мінімуму втрат електроенергії в якірних колах тягових електродвигунів, що не дозволяє досягти глобального мінімуму.

Другою розглянемо докторську дисертаційну роботу [19], захищену у Російській Федерації (м. Новочеркаськ). У цій роботі, яка є найближчою за розв'язуваною науковою проблемою до теми нашого дослідження, розроблена математична модель механічної частини електровоза та математична модель електричної тяги, яка враховує взаємовплив процесів у механічній та електричній частинах асинхронного тягового електропривода і дозволяє аналізувати процеси рушання з місця. Але основні акценти у цій дисертації розставлені на дослідженні перерозподілу тиску колісних пар на рейки в динамічних режимах, впливу торкання рейок бічною поверхнею коліс та впливу різниці навантажень на колеса під час руху криволінійними траєкторіями. У цій дисертації задачі побудови моделей оптимального руху електропотяга поверхнями зі складним рельєфом в нашій постановці не розв'язуються, а проблема їх ідентифікації навіть не ставиться.

Заслуговує на увагу розроблений колективом російських вчених з міста Брянська програмний комплекс «Універсальний механізм» [20], який узагальнює низку наукових робіт [21–34] цього колективу і дозволяє здійснювати шляхом чисельного розв'язання системи диференціально-алгебраїчних рівнянь комп'ютерне моделювання динаміки технічних систем, які можуть бути представлені об'єднаннями абсолютно твердих тіл, тобто цей програмний комплекс дозволяє здійснити комп'ютерне моделювання динаміки у тому числі і електропотягів, якщо побудовано їх математичні моделі і здійснено їх ідентифікацію.

Тож цей програмний комплекс може бути використаним надалі і нами на етапі визначення окремих параметрів базових математичних моделей БЕТЗ, придатних для вирішення наукової проблеми ідентифікації моделей оптимального руху цього класу динамічних систем, і включеним в якості одного з модулів в структуру запропонованої інформаційної технології реалізації розробленої нами методології вирішення проблеми ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом.

Під час аналізу наукових робіт, пов'язаних з вирішенням проблеми ідентифікації моделей оптимального руху електричних транспортних засобів, увагу авторів привернула монографія «Моделі і методи оптимізації у транспортних системах» [35], яка своєю назвою наводила на думку, що є близькою до задач, що розв'язуються в нашій роботі. Але в результаті ознайомлення зі змістом цієї монографії стало зрозумілим, що її автор ставив перед собою зовсім інші задачі, які зводяться до алгоритмів лінійного програмування та теорії масового обслуговування. Тож отримані в ній результати не можуть бути включеними до структури методології вирішення проблеми ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом. Але, слід зазначити, що деякі із результатів, наведених у цій монографії, можуть бути використаними у майбутньому при адаптації розробленої нами методології вирішення проблеми ідентифікації моделей оптимального руху електричних транспортних засобів до обмежень, які визначаються умовами оптимізації транспортних перевезень множиною транспортних засобів, прив'язаних до заданої транспортної мережі, та необхідністю введення для реалізації оптимальних планів перевезень цими транспортними засобами гнучких графіків їх руху.

Важливою групою наукових робіт, пов'язаних з проблемою, що розв'язується в нашій монографії, є роботи, що стосуються нової розробки компанії Siemens – високошвидкісного електропотяга Velaro [36–41]. Але Siemens, як і інші потужні компанії світового рівня, вміє захищати свої наукові результати, не виставляючи їх у відкритий доступ та презентуючи лише досягнуті основні кінцеві робочі параметри та характеристики розроблених систем без посилань на те, за допомогою яких моделей і методів вони отримані. Тому щодо електропотяга Velaro з огляду на його характеристики можна висловити лише певні припущення. І першою характеристикою, яка кидається у вічі, є насамперед надзвичайно висока вартість цього електропотяга. Навіть

Російська Федерація змогла дозволити собі підписати договір на придбання лише восьми потягів Velaro (Velaro RUS) для організації швидкісного сполучення між Москвою та Санкт-Петербургом [38]. Тож, чи зможе дозволити собі Україна придбати хоча б декілька швидкісних потягів Velaro та створити умови для їх оптимального режиму руху, покаже час. Що ж до встановлених параметрів руху цього електропотяга, то, виходячи з тієї інформації, яку вдалося отримати з Інтернету, вони досягнуті шляхом чисельних розрахунків з широким використанням експериментальних результатів аеродинамічних досліджень різномасштабних макетів в аеродинамічній трубі та критеріальних співвідношень теорії подібності.

Слід зауважити, що в Україні існує свій власний потужний виробник транспортних засобів ПАТ «Крюківській вагонобудівний завод» (м. Кременчук), електропоїзд «ЕКр1» якого (див. ілюстрацію на обкладинці монографії) на початку 2013 року успішно пройшов випробування та, за інформацією офіційного сайту ПАТ «КВБЗ» www.kvsz.com, отримав дозвіл на експлуатацію від міжвідомчої комісії Укрзалізниці.

Є підстави вважати [42], що при проектуванні та дослідженні характеристик електропотягів Velaro фірми Siemens використовується програмний пакет SIMPACK (Multi-Body Simulation Software) [43–46], за допомогою якого здійснюється тривимірне моделювання динаміки БЕТЗ, заданої диференціально-алгебраїчними моделями, шляхом їх чисельного розв'язання методами послідовних наближень, що унеможливує безпосереднє використання цього пакета для отримання моделей оптимального руху цих транспортних засобів поверхнями зі складним рельєфом в аналітичній формі, а тому унеможливує і синтез систем автоматичного керування цими транспортними засобами за допомогою математичного апарату теорії оптимального керування. Тому під час руху між двома сусідніми зупинками в цих електропотягах реалізується жорстке програмне керування, в задачі якого не входить економія витрат електроенергії тяговим електроприводом. Теж саме можна сказати і про програмний комплекс для моделювання Adams (Multibody Dynamics Simulation) [47].

Цікаві методи дослідження складних динамічних систем представлено у роботах [48–50], але вони мають специфічне застосування.

Однією із основоположних робіт, в якій розглядається методологія отримання моделей оптимального руху електротранспортних засобів є

робота [51]. Особливу зацікавленість для нас в ній викликають моделі оптимального руху електротранспорту поверхнею зі складним рельєфом. Але, по-перше у цій роботі в якості критерію оптимізації використано мінімум витрат електроенергії в тягових електродвигунах, що не забезпечує мінімізації повних витрат електроенергії в тяговому електроприводі електровоза, а по-друге, той підхід, який вибраний у цій роботі, на практиці не приводить до конкретного результату, оскільки намагання описати складний рельєф поверхні, на якій прокладена колія по якій рухається транспортний засіб з тяговими електроприводами постійного струму послідовного збудження, за допомогою функцій часу приводить до накопичення помилок як за рахунок суб'єктивізму при виборі структури функцій часу і їх залежності від режимів руху транспортних засобів, так і при кількаразовому диференціюванні цих неточно заданих функцій. Тож отримані цим шляхом моделі руху електричного транспортного засобу статусу оптимальних не відповідають.

Ще один пласт досліджень у напрямку синтезу моделей оптимального руху електричних транспортних засобів представляють роботи [17, 18, 52–61], на основі яких одним із авторів цієї монографії під науковим керівництвом другого була написана і успішно захищена в науковій спеціалізованій раді при НТУУ «Київський політехнічний інститут» кандидатська дисертація. Основним недоліком цих робіт з позицій поставлених в нашій монографії задач, як і усіх попередньо згаданих, є те, що при синтезі моделей оптимального руху електричних транспортних засобів використано критерій мінімуму витрат в якірних колах тягових електродвигунів. Крім того, розв'язки отримані лише для оптимального руху колією, прокладеною на горизонтальній площині. Однак суттєвою перевагою цих робіт у порівнянні з іншими відомими роботами у цьому напрямку досліджень є те, що моделі оптимального руху побудовані з використанням найбільш точної математичної моделі кривої намагнічування, побудованої у вищезгаданій дисертаційній роботі. І саме під час захисту кандидатської дисертації її автор від членів спецради отримав пораду надалі перейти до синтезу моделей оптимального руху електричних транспортних засобів не за загальноприйнятим на той час критерієм витрат електроенергії в якірних колах тягових електродвигунів, а за критерієм загальних витрат електроенергії електроприводом, що на думку членів спецради суттє-

во підвищить ступінь оптимальності синтезованих моделей і приведе до більш значимих результатів в напрямку енергозбереження.

Завершуючи цей короткий аналіз, звертаємо увагу читачів нашої монографії на те, що, віддаючи належне досягненням академіка В. Лазаряна – колишнього ректора Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна – та його науковій школі, у нашій монографії ми не часто посилаємось на наукові праці цієї школи лише тому, що, здійснивши великий вклад в дослідження багатьох питань, пов'язаних з рухом БЕТЗ, їх стійкістю і коливаннями в них та демпфіруванням цих коливань, у цій науковій школі зовсім не приділяли уваги питанням ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом ні за критерієм мінімуму витрат, ні, тим паче, за критерієм мінімуму витрат електроенергії тяговим електроприводом – а саме ці питання і досліджуються у нашій монографії – тобто ми не конкуруємо з результатами, отриманими науковцями школи академіка В. Лазаряна, а доповнюємо їх.

1.2 Формулювання наукової проблеми, що розглядається, та наукових задач, розв'язання яких є необхідним для вирішення цієї проблеми

Спираючись на ті аспекти, які викладені у вступі та у попередньому підрозділі цієї глави, наукову проблему, яка розглядається в монографії, можна сформулювати так: проблема ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом.

А основним науковим результатом дослідження, представленого у нашій монографії, є створення методології вирішення проблеми ідентифікації математичних моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом, яка, по-перше, реалізовує ідею декомпозиції проблеми ідентифікації за характерними складовими рельєфу, такими, як прямолінійні відрізки, спуски і підйоми та закруглення у горизонтальній і вертикальній площинах; по-друге, визначає умови припасування результатів розв'язання декомпозиційних задач в межах єдиної методології з урахуванням обмежень безпеки руху; по-третє, оптимальні моделі визначає не за критерієм мінімуму витрат електроенергії в якірних колах тягових електродвигунів електричних транспортних засобів, як це роблять інші дослідники, виходячи зі зручності використання такого критерію, а за критерієм мінімуму витрат електроенергії

тяговим електроприводом, що дозволяє, рухаючись за траєкторіями, визначеними цими моделями, мінімізувати не лише втрати електроенергії в якірних колах, але мінімізувати і споживання електроенергії тяговим електроприводом електричного транспортного засобу в цілому.

При цьому в поняття методології в цій монографії вкладається той зміст, який закладений в нього у «Великому тлумачному словнику сучасної української мови» [62], де «Методологія – це сукупність методів дослідження, що застосовуються в будь-якій науці відповідно до специфіки об'єкта її пізнання», а також у підручнику «Філософія управління» [63], написаному авторським колективом, очолюваним академіком НАНУ та НАПНУ і одночасно Президентом НАПНУ, доктором філософських наук, професором В. Г. Кременем, де «Методологія – це сукупність методів і прийомів дослідження, використовуваних у якій-небудь галузі науки».

А для побудови визначеної вище методології вирішення наукової проблеми ідентифікації математичних моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом, довелось розв'язати такі наукові задачі:

1. Визначити, які із результатів, отриманих різними дослідниками в напрямку розробки методів ідентифікації колійних БЕТЗ, можуть бути використаними при створенні методології вирішення наукової проблеми ідентифікації моделей оптимального руху поверхнями зі складним рельєфом для цього класу динамічних систем.

2. Показати, чому математичні моделі БЕТЗ, побудовані на основі законів ньютонівської динаміки з урахуванням особливостей представлення тягових сил та сил опору, не можуть бути використаними безпосередньо при розв'язанні проблеми ідентифікації моделей оптимального руху поверхнями зі складним рельєфом для цього класу динамічних систем.

3. Здійснити декомпозицію проблеми ідентифікації математичних моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом за характерними складовими рельєфу, такими, як прямолінійні відрізки, спуски і підйоми та закруглення у горизонтальній і вертикальній площинах та визначити умови припасування результатів розв'язання декомпозиційних задач в межах єдиної методології.

4. Розробити методи визначення структур базових математичних моделей БЕТЗ, придатних для розв'язання проблеми ідентифікації оптимального руху.

5. Запропонувати методи синтезу математичних моделей оптимального руху БЕТЗ на прямолінійних відрізках колії, прокладеній на горизонтальній площині, за критерієм мінімуму витрат електроенергії.

6. Запропонувати методи синтезу математичних моделей оптимального руху БЕТЗ на спусках і підйомах за критерієм мінімуму витрат електроенергії.

7. В рамках побудови єдиної методології розв'язання проблеми ідентифікації математичних моделей оптимального руху БЕТЗ синтезувати моделі оцінок обмежень, які слід накладати під час руху на закругленнях колії.

8. Запропонувати структуру інформаційної технології для реалізації розробленої методології ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом і визначити функції кожної структурної складової цієї технології.

1.3 Висновки до глави 1

У першій главі монографії в результаті аналізу наукових робіт, пов'язаних з проблемою ідентифікації моделей оптимального руху БЕТЗ:

1) встановлено, що всі проаналізовані роботи, окрім робіт, виконаних авторами цієї монографії, стосуються методів та алгоритмів ідентифікації математичних моделей, оптимальних за критерієм мінімуму витрат електроенергії в якірних колах тягових електродвигунів, використання яких в процесі організації руху електричних транспортних засобів не приводить до глобальної мінімізації спожитої електроенергії;

2) звернено увагу на те, що синтез моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом в аналітичній формі на базі відомих методів практично здійснити неможливо, оскільки безпосередні складові рельєфу в моментах навантаження в базових моделях задаються в кінцевому результаті функціями часу, масштаб якого залежить від швидкостей проходження електричним транспортним засобом цих складових, тобто базова координата є залежною від тієї, що синтезується, а тому різними дослідниками ці функції будуть задава-

тись неадекватно, що приводитиме до різних результатів при розв'язанні однієї і тієї ж задачі, похибки в яких будуть зростати ще й тому, що ці суб'єктивно задані функції під час розв'язання конкретної задачі ідентифікації моделей оптимального руху з застосуванням відомого підходу згідно з його алгоритмом потрібно буде ще й декілька разів диференціювати;

3) сформульовано наукову проблему, вирішення якої розглядається в цій монографії, у вигляді наукової проблеми ідентифікації математичних моделей оптимального руху БЕТЗ поверхнями зі складним рельєфом за методологією, яка, по-перше, реалізовуватиме ідею декомпозиції проблеми ідентифікації за характерними складовими рельєфу, такими, як прямолінійні відрізки, спуски і підйоми та закруглення у горизонтальній і вертикальній площинах; по-друге, визначатиме умови припасування результатів розв'язання декомпозиційних задач в межах єдиної методології з урахуванням обмежень безпеки руху; по-третє, оптимальні моделі визначатиме не за критерієм мінімуму втрат електроенергії в якірних колах тягових електродвигунів електричних транспортних засобів, як це роблять інші дослідники, виходячи зі зручності використання такого критерію, а за критерієм мінімуму витрат електроенергії тяговим електроприводом, що дозволить, рухаючись за траєкторіями, визначеними цими моделями, мінімізувати не лише втрати електроенергії в якірних колах, але мінімізувати і споживання електроенергії тяговим електроприводом електричного транспортного засобу в цілому;

4) визначено 8 наукових задач, які необхідно розв'язати для того, щоб вибудувати методологію вирішення сформульованої наукової проблеми.

Розв'язання цих наукових задач в контексті створення сформульованої методології розглядаються у всіх наступних главах монографії.

Глава 2

БАЗОВІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ БЕТЗ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

У цій главі монографії показано, чому математичні моделі БЕТЗ, побудовані на основі законів ньютонівської динаміки з урахуванням особливостей представлення тягових сил та сил опору, не можуть бути використаними безпосередньо для аналітичного розв'язання проблеми ідентифікації моделей оптимального руху цього класу динамічних систем поверхнями зі складним рельєфом.

2.1 Математичні моделі БЕТЗ на основі законів ньютонівської динаміки

Відомо, що при розв'язанні задач ідентифікації моделей оптимального руху електропотягів за будь-яким енергетичним критерієм необхідно враховувати рівняння динаміки електропотяга, яке для руху одного вагона (наприклад, трамвая) по горизонтальній прямолінійній ділянці залізничної колії можна записати у вигляді [64]:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_T - M_G, \quad (2.1)$$

де ω – кутова швидкість обертання ротора тягового електродвигуна; J – момент інерції вагона, приведений до осі ротора тягового електродвигуна; M_T – тяговий обертальний момент, створюваний цим електродвигуном; M_G – гальмівний момент, створюваний навантаженням на вал електродвигуна.

Але навіть при здійсненні руху по горизонтальній прямолінійній ділянці залізничної колії електропотяга з кількох вагонів рівняння (2.1) при розв'язанні задачі оптимізації режиму роботи електропривода за визначеним вище критерієм використаним бути не може, оскільки не існує способу приведення до валу ротора тягового електродвигуна моментів інерції зчеплених з електровозом вагонів.

Виходячи з цього, більш корисно застосовувати в задачах ідентифікації моделей оптимального руху електропотягів аналог рівняння

(2.1) у класичній формі другого закону Ньютона [65], яке для одного вагона масою m матиме вигляд

$$m \frac{dV}{dt} = F_T - F_{\Gamma}, \quad (2.2)$$

де V – лінійна швидкість руху вагона; F_T – сила тяги, що діє на вагон, а F_{Γ} – гальмівна сила.

Очевидно, що при русі по горизонтальній прямолінійній ділянці залізничної колії потяга із кількох вагонів рівняння (2.2) легко узагальнюється до вигляду

$$\sum_{i=1}^n m_i \frac{dV}{dt} = F_T - \sum_{i=1}^n F_{\Gamma i}, \quad (2.3)$$

де m_i – маса i -го вагона, n – кількість вагонів з електровозом включено, а $F_{\Gamma i}$ – гальмівна сила, створювана кожним вагоном потяга.

Саме у вигляді (2.3) рівняння динаміки електропотяга і найчастіше використовується при розв’язанні задач ідентифікації його моделей оптимального руху.

Але для залізничних колій характерним є те, що між їх горизонтальними прямолінійними відрізками лежать закруглення, як це показано, наприклад, на рис. 2.1, де між горизонтальними відрізками Aa , c_1c_2 , bB лежать закруглення з дугами ac_1 , c_2b радіусів R_1 та R_2 .

І при виїзді хоча б одного вагона потяга з прямолінійного відрізка колії на закруглення скалярне рівняння динаміки руху уже не буде справедливим, оскільки з’являється відцентрова складова прискорення, яка відхиляє напрям дії як тягової, так і гальмівних сил від прямого вектора швидкості кожного вагона [65].

Більш складними у цьому випадку стають і залежності, за допомогою яких здійснюється обчислення цих сил.

Побудові математичних моделей динаміки багатовагонних електропотягів, що рухаються по горизонтальних ділянках залізничної колії, які містять не лише прямолінійні відрізки, але і закруглення, приділяється увага в цьому підрозділі монографії. Процес побудови математичних моделей БЕТЗ розпочнемо з вибору системи координат на горизонтальній площині, на якій прокладена залізнична колія.

ЛІТЕРАТУРА

1. О реализации закона оптимального управления тяговым электротехническим комплексом / [О. Н. Синчук, Д. А. Шокарев, Е. И. Скапа и др.] // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 3 (79). – С. 140–141.
2. Синчук О. Н. Импульсные системы управления и защиты на рудничном электровозном транспорте / О. Н. Синчук, В. В. Чумак, О. В. Ершов. – К. : АДЭФ-Украина, 1998. – 277 с.
3. Импульсная система управления рудничными аккумуляторными электровозами / О. Н. Синчук, И. А. Луценко, Е. В. Афанасьев, Н. В. Виноградов // Горный журнал. – 1991. – № 2. – С. 42–43.
4. Тяговый электропривод рудничного аккумуляторного электровоза / О. Н. Синчук, И. О. Синчук, А. А. Чернышов, Д. Л. Сушко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2002. – Т. 1, Вип. 12. – С. 204–205.
5. Енергозберігаюче керування електротехнічними та енергетичними комплексами і системами : монографія / [О. М. Сінчук, Н. А. Федорченко, Л. Б. Литвинський, К. І. Федорченко та ін.]. – Кременчук : ПП Щербатих О.В., 2010. – 340 с.
6. Синчук О. Н. Стратегия мобильных систем мониторинга и энергетической диагностики электроприводов в промышленности / О. Н. Синчук, А. П. Черный, Ю. Г. Осадчук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Зб. наук. пр. – Кременчук, 2007. – Вип. 1, №1. – С. 36–42.
7. Колбасинский Д. В. Микропроцессорная система управления процессом разгона и движения электроподвижного состава городского электрического транспорта : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Колбасинский Дмитрий Владимирович. – Красноярск, 2006. – 140 с.
8. Колбасинский Д. В. Комплекс технических средств для автоматизации испытаний тяговых электроприводов / Д. В. Колбасинский, В. И. Пантелеев // Транспортные средства Сибири. – Красноярск, 1996. – С. 178–186.

9. Колбасинский Д. В. Энергоресурсосбережение на городском электрическом транспорте / Д. В. Колбасинский, Ю. П. Попов, Л. С. Синенко // Развитие теплоэнергетического комплекса города. – Красноярск, 2001. – С.74–78.

10. Колбасинский Д. В. Энергоресурсосбережение на городском электрическом транспорте / Д. В. Колбасинский, Ю. П. Попов, А. Ю. Южанников // Электрика. – 2002. – № 6. – С. 31–33.

11. Колбасинский Д. В. Системный подход к энергосбережению и автоматизация в отрасли городского электрического транспорта / Д. В. Колбасинский // Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России : материалы докладов. – Томск : Изд. ЦНТИ, 2002. – С. 147–152.

12. Колбасинский Д. В. Энергосбережение на городском электрическом транспорте / Д. В. Колбасинский // Вестник городского электрического транспорта России. – 2002. – № 6(51). – С. 3–7.

13. Колбасинский Д. В. Оптимизация по энергопотреблению городского электрического транспорта с реостатно-контакторной системой управления / Д. В. Колбасинский // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. – Иркутск : ИрГТУ, 2003. – С. 154–158.

14. Ереско С. П. Способ управления пуском подвижного состава постоянного тока с реостатно-контакторной системой управления / С. П. Ереско, Д. В. Колбасинский // Механики – XXI веку : сборник докладов V Межрегиональной научно-технической конференции с международным участием. – Братск : ГОУ ВПО «БрГУ», 2006. – С. 159–160.

15. Ереско С. П. Оптимизации режима работы постоянного тока с реостатно-контакторной системой управления по энергопотреблению / С. П. Ереско, Д. В. Колбасинский // Механики – XXI веку : сборник докладов V Межрегиональной научно-технической конференции с международным участием. – Братск : ГОУ ВПО «БрГУ», 2006. – С. 164–166.

16. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов / [О. Н. Синчук,

Н. Н. Юрченко, А. А. Чернышев, И. О. Синчук и др.]. – К. : Институт электродинамики НАН Украины, 2006. – 250 с. – ISBN 966-02-4067-8.

17. Мокін Б. І. Математична модель кривої намагнічування електричного двигуна постійного струму з послідовним збудженням для задач оптимізації / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 1. – С. 45–47.

18. Мокін О. Б. Порівняльний аналіз математичних моделей кривої намагнічування електричного двигуна постійного струму з послідовним збудженням / О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 2. – С. 52–58.

19. Колпахчян П. Г. Методология комплексного моделирования и способы управления асинхронным тяговым приводом магистральных электровозов : дис. ... докт. техн. наук : 05.09.03 / П. Г. Колпахчян. – Новочеркасск, 2006. – 398 с.

20. Универсальный механизм [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.umlub.ru/index_rus.htm.

21. Погорелов Д. Ю. О численных методах моделирования движения систем твердых тел / Д. Ю. Погорелов // Журнал вычислительной математики и математической физики. – № 4. – 1995. – С. 501–506.

22. Pogorelov D. Some developments in computational techniques in modeling advanced mechanical systems. / D. Pogorelov, D.H. van Campen (ed.) // Interaction between Dynamics and Control in Advanced Mechanical Systems. Proc. IUTAM Symp. Eindhoven. – Dordrecht : Kluwer Acad. Publ., 1999. – P. 313–320.

23. Pogorelov D. Yu. Differential-algebraic equations in multibody system modeling / D. Yu. Pogorelov // Numerical algorithms. – V. 19, No. 1–4. – 1998. – P. 183–194.

24. Pogorelov D. Yu. On numerical methods of modelling large multibody systems / D. Yu. Pogorelov // Mechanism and machine theory. – No. 34. – 1999. – P. 791–800.

25. Kovalev R. Optimizing Multibody Systems: Some Implementations and Results / R. Kovalev, In Werner Schiehlen and Michael Valasek (eds.). – Prague, 2002. – P. 107–112. (Preprints / NATO

Advanced Study Institute on Virtual Nonlinear Multibody Systems, Czech Technical University in Prague).

26. Yazykov V. N. Some Results of Wheel-Rail Contact Modelling / V. N. Yazykov, In Werner Schiehlen and Michael Valasek (eds.). – Prague, 2002. – P. 236–241. (Preprints / NATO Advanced Study Institute on Virtual Nonlinear Multibody Systems, Czech Technical University in Prague).

27. Kovalev R. Railway Vehicle Dynamics: Some Aspects of Wheel-Rail Contact Modeling and Optimization of Running Gears / R. Kovalev, V. N. Yazykov, G. S. Mikhalchenko, D. Yu. Pogorelov // Mechanics Based Design of Structures and Machines. – V. 31, No. 3. – 2003. – P. 315–334.

28. Михальченко Г. С. Совершенствование динамических качеств подвижного состава железных дорог средствами компьютерного моделирования / Г. С. Михальченко, Д. Ю. Погорелов, В. А. Симонов // Тяжелое машиностроение. – № 12. – 2003. – С. 2–6.

29. Ковалев Р. В. Влияние параметров буксовых адаптеров для тележки типа 18-100 на показатели износа бандажей колесных пар и устойчивость движения грузовых вагонов / Р. В. Ковалев, С. В. Котов, В. А. Симонов, Д. Ю. Погорелов // Вестник БГТУ. – Брянск, 2004. – № 1 (1). – С. 147–155.

30. Ковалев Р. В. Моделирование электромеханической системы тепловозов / Р. В. Ковалев, Г. А. Федяева, В. Н. Федяев // Сборник трудов ДИИТа. – Днепропетровск, 2007. – № 14. – С. 123–127.

31. Федяева Г. А. Оценка динамических нагрузок тягового привода на электромеханических моделях перспективных тепловозов / Г. А. Федяев, Д. Ю. Погорелов // Тяжелое машиностроение. – 2007. – № 10. – С. 30–35.

32. Freight car models and their computer-aided dynamic analysis / Kovalev R., Lysikov N., Mikheev G., Pogorelov D. [etc.] // Multibody System Dynamics. – 2009. – V. 22, No. 4. – P. 399–423.

33. Совершенствование системы управления тяговым электроприводом грузового локомотива / Р. В. Ковалев, С. Ю. Матюшков, А. А. Пугачев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. – 2010. – Вып. 3. – С. 109–114.

34. Моделирование динамики колесных и гусеничных роботов в реальном времени с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» / Д. Ю. Погорелов, Г. В. Михеев, Р. В. Ковалев, Д. Г. Агапов // Труды XXI Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника 2010». – С.-Пб. : Политехника-сервис, 2010. – С. 180–186.

35. Прокудин Г. С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах / Г. С. Прокудин. – К. : НТУ, 2006. – 224 с. – ISBN 966-632-062-2.

36. Brockmeyer A. Vom ICE S zum Velaro. 10 Jahre Betriebserfahrung mit Hochgeschwindigkeits-Triebwagen / A. Brockmeyer, Th. Gerhard, E. Lübben // Elektrische Bahnen. – München, 2007. – No. 6. – S. 362–368.

37. От опытного поезда ICE S к серийному Velaro // Железные дороги мира. – 2008. – № 3. – С. 40–47.

38. Высокоскоростной поезд Velaro для России / [А. Липп, Д. Йон, Р. Манглер и др.] // Железные дороги мира. – 2009. – № 1. – С. 36–50.

39. Steuger M. Velaro D takes shape / M. Steuger, S. Schelhaus, E. Lübben // Railway Gazette International. – 2010. – No. 5. – P. 32–35.

40. Steuger M. Velaro – kundenorientierte Weiterentwicklung eines Hochgeschwindigkeitszuges / M. Steuger // ZEVrail. – 2009. – No. 10. – S. 414–425.

41. Velaro D для Германии // Железные дороги мира. – 2010. – № 8. – С. 30–37.

42. Gansekow R. Using SIMPACK at Siemens TS Trains [Электронный ресурс] / Roger Gansekow // TS TR EN 02. – 2004. – 32 p. – Режим доступа: http://www.simpack.com/fileadmin/simpack/doc/usermeeting04/um04_siemens_gans.pdf.

43. SIMPACK Multi-Body Simulation Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.simpack.com>.

44. General Overview of SIMPACK Applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.simpack.com/fileadmin/simpack/doc/papers/Overview_General_SIMPACK_Industrial_Sectors_23-09-09.pdf.

45. Stribersky A. Structural Dynamics of Rail Vehicle Systems: A Virtual Systems Approach / A. Stribersky, F. Moser, W. Rulka // Developments in Engineering Computational Technology. – Civil-Comp Press, Edinburgh, UK. – P. 29–36.

46. SIMPACK Wheel/Rail [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.simpack.com/fileadmin/simpack/doc/brochures/Brochure_Wheel-Rail_en.pdf.

47. Adams for Multibody Dynamics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mscsoftware.com/Products/CAE-Tools/Adams.aspx>.

48. Данилов В. Я. До реалізації інструментарію дослідження хаотичної та регулярної поведінки динамічних систем і реконструкції оператора еволюції динамічних систем / В. Я. Данилов, А. Ю. Зінченко // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. Серія: комп'ютерні технології. – 2010. – Том. 130, вип. 143. – С. 30–38.

49. Лежнюк П. Д. Принцип найменшої дії в задачах технічної електродинаміки / П. Д. Лежнюк, В. І. Нагул, В. В. Нетребський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – № 1(19). – С. 110–118.

50. Лежнюк П. Д. Принцип найменшої дії в задачах оптимізації електроенергетичних систем / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський // Технічна електродинаміка. – 2006. – № 3. – С. 35–41.

51. Петров Ю. П. Оптимальное управление движением транспортных средств / Ю. П. Петров. – Л. : Энергия, 1969. – 96 с.

52. Мокін Б. І. Математичні моделі в задачі оптимізації електропривода трамвая при його сталому навантаженні / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 2. – С. 57–61.

53. Мокін Б. І. Експериментальна ідентифікація математичної моделі динаміки електропривода трамвая / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 3. – С. 46–49.

54. Мокін Б. І. Друга ітерація алгоритму побудови математичних моделей в задачі оптимізації електропривода трамвая при його сталому навантаженні / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 5. – С. 43–49.

55. Мокін Б. І. Оптимізація електропривода трамвая при незмінному моменті навантаження / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Матеріали 11-ої міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика–2004» (м. Київ). Т. 3. – 2004. – С. 20.

56. Мокін Б. І. Оптимізація електропривода трамвая в режимах сталого недовантаження та перевантаження / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 6. – С. 28–33.

57. Мокін Б. І. Створення передумов для практичної реалізації математичних моделей в задачі оптимізації електропривода трамвая при його сталому навантаженні / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 1. – С. 39–42.

58. Мокін О. Б. До питання моделювання характеристики намагнічування електричного двигуна постійного струму з послідовним збудженням / О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 3. – С. 54–57.

59. Мокін Б. І. Математичні моделі характеристики намагнічування електричного двигуна постійного струму з послідовним збудженням та їх порівняльний аналіз / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації» (м. Кременчук). Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Випуск 3/2005 (32). – С. 193–196.

60. Мокін Б. І. Особливості практичної реалізації оптимізації електропривода трамвая в режимі сталого навантаження / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Матеріали міжнародної конференції «Проблеми автоматизованого електроприводу: теорія і практика» (м. Алушта). Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2005. – № 45. – С. 95–96.

61. Мокін О. Б. Експериментальне визначення еквівалентного статичного моменту навантаження та еквівалентного моменту інерції махових мас електропривода трамвая, приведеного до умовної осі / О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 6. – С. 157–159.

62. Великий тлумачний словник сучасної української мови / Уклад. і голов. ред. В. Т. Бусел. – К. ; Ірпінь : Перун, 2007. – 1736 с.

63. Кремень В. Г. Філософія управління : підручник. 2-ге вид., доповнене і перероблене / В. Г. Кремень, С. М. Пазиніч, О. С. Пономарьов. – Харків : НТУ «ХП», 2008. – 524 с.

64. Петров Ю. П. Вариационные методы оптимального управления / Ю. П. Петров. – Л. : Энергия. Ленингр. отделение, 1965. – 220 с.

65. Стрелков С. П. Механика / С. П. Стрелков. – М. : Наука, 1965. – 528 с.

66. Мокін Б. І. Математичні моделі багатомасових розподілених динамічних систем для задач оптимізації (частина 1) / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 6. – С. 55–58.

67. Андреев В. П. Основы электропривода / В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. – М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 772 с.

68. Мокін Б. І. Математичні моделі багатомасових розподілених динамічних систем для задач оптимізації (частина 2) / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 1. – С. 28–33.

69. Петров Ю. П. Оптимальное управление электрическим приводом с учетом ограничений по нагреву / Ю. П. Петров. – Л. : Энергия. Ленингр. отделение, 1971. – 144 с.

70. Мокін Б. І. Математичні моделі руху транспортних засобів, оптимальні за критерієм мінімуму витрат енергії, з урахуванням рельєфу / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – № 3. – С. 28–33.

71. ДБН В.2.3-19-2008. Споруди транспорту. Залізничі колії 1520 мм. Норми проектування. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 126 с.

72. Кантор И. И. Изыскания и проектирование железных дорог / И. И. Кантор. – М. : Академкнига, 2003. – 288 с. – ISBN 5-94628-053-8.

73. Электрические железные дороги : учебник / Под ред. проф. В. П. Феоктистова, проф. Ю. Е. Просвинова; Моск. ун-т путей сообщения; Самарская гос. акад. путей сообщения. – Самара : СамГАПС, 2006. – 312 с. – ISBN 5-98941-032-8; ISBN 5-7876-0020-7.

74. Общий курс железных дорог : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Ю. И. Ефименко, М. М. Уздин, В. И. Ковалев и др. ; под ред. Ю. И. Ефименко. – М. : Академия, 2005. – 256 с. – ISBN 5-7695-2046-9.

75. Мокін Б. І. Математичні методи ідентифікації електромеханічних процесів : навчальний посібник / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 300 с.

76. Мокін Б. І. Математичні методи ідентифікації динамічних систем: навчальний посібник / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 260 с.

77. Овчинников П. Ф. Высшая математика : учеб. пособие / П. Ф. Овчинников, Б. М. Лисицын, В. М. Михайленко. – К. : Высшая школа, 1989. – 679 с.

78. Мокін О. Б. Особливості моделювання руху електричних транспортних засобів з врахуванням залежності навантаження від рельєфу місцевості [Електронний ресурс] / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Наукові праці ВНТУ. – 2010. – № 1. – С. 1–6.– Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010_1/2010-1.files/uk/10abmlor_ua.pdf.

79. Мокін О. Б. Оптимізація режиму руху порожнього електричного транспортного засобу на прямолінійному горизонтальному відрітку колії / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2010. – № 28. – С. 266–269.

80. Мокін О. Б. Метод інтегрально-гармонійної ідентифікації засобів електротранспорту як нелінійних динамічних систем з нелінійністю, охопленою зворотнім зв'язком / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Ін-

формаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – № 1. – С. 28–33.

81. Мокін О. Б. Оптимізація руху порожнього електричного транспортного засобу по прямолінійній горизонтальній колії / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 3. – С. 28–33.

82. Мокін О. Б. Оптимізація режиму руху завантаженого електричного транспортного засобу на прямолінійному відрізку колії, прокладеній на горизонтальній площині / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – №3/2010 (62), частина 2. – С.162–165.

83. Мокін О. Б. Відносні моделі руху електричного транспортного засобу по горизонтальному прямолінійному відрізку колії / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 2. – С. 20–24.

84. Мокін Б. І. Обмеження на швидкість руху електропотяга по закругленню колії / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика : тематичний випуск науково-технічного журналу «ЕКОІНФОРМ». – Львів : ЕКОінформ, 2009. – С. 138–139.

85. Мокін Б. І. До питання визначення сил в задачі моделювання руху електропотяга на закругленнях колії в умовах обмеження на лінійну швидкість / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 6. – С. 52–53.

86. Мокін Б. І. Модель обмеження на лінійну швидкість вагона електропотяга під час його руху по закругленню колії / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 3. – С. 27–29.

87. Мокін Б. І. Метод ідентифікації нелінійних динамічних об'єктів з екстремальними статичними характеристиками [Електронний ресурс] / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2009. – № 2. – С. 1–8. – Режим доступу до журн.: http://www.nbuiv.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-2/2009-2.files/uk/09bimesc_ua.pdf.

88. Мокін Б. І. Математичні моделі в задачі оптимізації електропривода трамвая в номінальному режимі та в режимі перевантаження за критерієм мінімуму витрат електроенергії / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації» (м. Кременчук). Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Випуск 3/2008 (50) частина 1. – С. 142–144.

89. Мокін О. Б. Математичні моделі умов несходження з рейок електричного транспортного засобу під час руху на спуск по закругленню колії у вертикальній площині / О. Б. Мокін // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2011. – Випуск 1 (66), частина 1. – С. 32–34.

90. Мокін О. Б. Математичні моделі оптимального руху завантаженого електричного транспортного засобу на підйомах і спусках / О. Б. Мокін // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2011. – №32. – С. 47–52.

91. Мокін О. Б. Адаптація математичного методу обробки даних в задачі моделювання оптимального руху електричного транспортного засобу до умов обмеження на швидкість / О. Б. Мокін // Реєстрація, зберігання та обробка даних. – 2010. – Т. 12, № 4. – С. 62–70.

92. Мокін О. Б. Оптимізація руху порожнього електричного транспортного засобу на спусках і підйомах / О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 6. – С. 58–62.

93. Мокін О. Б. Метод визначення структури математичної моделі електричного транспортного засобу з різнопрофільними вагонами, що рухаються прямолінійною горизонтальною колією / О. Б. Мокін // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – № 2. – С. 24–29.

94. Мокін О. Б. Математичні моделі умов неруйнування закруглення колії у вертикальній площині під час руху електричного транспортного засобу на підйом / О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 5. – С. 72–74.

95. Мокін О. Б. Метод визначення граничних умов для задачі оптимізації руху електричного транспортного засобу колією, що має закруглення / О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 4. – С. 17–20.

96. Мокін Б. І. Фур'є-інтегральна ідентифікація нелінійних динамічних об'єктів / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Матеріали 16-ої міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика–2009». – Чернівці : Книги-XXI, 2009. – С. 82–83.

97. Мокін О. Б. Структура інформаційної технології ідентифікації моделей та оптимізації режимів роботи електричних транспортних засобів в умовах обмежень на час і швидкість руху та витрати електроенергії / О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 1. – С. 63–66.

98. Методы организации компьютерных систем коммерческого управления электрическими объектами / А. И. Стасюк, Б. С. Стогний, М. Ф. Сопель, И. А. Стасюк // Моделювання та інформаційні технології : зб. наукових праць / НАН України; Інститут проблем моделювання в енергетиці. – К., 2002. – Випуск 15. – С. 3–15.

99. Организация многофункциональных компьютерных систем управления технологическими процессами транспорта / А. И. Стасюк, Г. И. Загарний, Н. О. Ковзель и др. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2003. – № 5.

100. Принципы организации параллельных многофункциональных контроллеров динамического управления технологическими процессами транспорта / А. И. Стасюк, Н. В. Семенова, Н. О. Ковзель // Зб. наукових праць : Випуск 19 / НАН України ; Інститут проблем моделювання в енергетиці. – К., 2003. – С. 1–9.

101. Стасюк А. И. Математические модели оптимизации электропотребления по дифференцированным коммерческим тарифам / А. И. Стасюк // Моделювання : зб. наук. праць XXII науково-технічної конференції / Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Пухова. – К., 2003. – С. 147–150.

102. Мокін Б. І. Оптимізація електроприводів : навчальний посібник / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 250 с.
103. Habel D. Schwungmassen – Energiespeicher für Stadtbahnnetze / D. Habel, S. Kähler, T. Lösel // Elektrische Bahnen. – 2003. – No. 101. – S. 310–314.
104. Хабель Д. Инерционный накопитель энергии для тяговой сети / Д. Хабель, С. Келер, Т. Лэсель // Железные дороги мира. – 2004. – № 2.
105. Безрученко В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу : навчальний посібник / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
106. Савчук С. Г. Вища геодезія : підручник / Савчук С. Г. – Житомир, 2005. – 315 с.
107. Поклад Г. Г. Геодезія : учебное пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – М. : Академический Проспект, 2007. – 592 с. – ISBN 5-8291-0781-3.
108. Федотов Г. А. Инженерная геодезия : учебник / Г. А. Федотов. – 2-е изд., исправл. – М. : Высш. шк., 2004. – 463 с. – ISBN 5-06-004156-5.
109. Яковлев Н. В. Высшая геодезия : учебник для вузов / Н. В. Яковлев. – М. : Недра, 1989. – 445 с.
110. Кудрявцев В. А. Краткий курс высшей математики / В. А. Кудрявцев, Б. П. Демидович. – 5-е изд. – М.: Наука, 1978. – 624 с.
111. Математическая энциклопедия в пяти томах / гл. ред. И. В. Виноградов. – М. : Советская энциклопедия. – 1983.
112. Маркушевич А. И. Замечательные кривые, выпуск 4 / А. И. Маркушевич. – М. : Гостехиздат, 1952. – 32 с.
113. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1978. – 832 с.

114. Геоинформационная система «КАРТА 2000» («Панорама 7.х» 1991–2004). Руководство пользователя («Mapguide») / Под ред. О. В. Беленкова. – РФ, Ногинск : КБ Панорама, 2004. – 112 с.

115. Zogg Jean-Marie. GPS. Essentials of Satellite Navigation. Compendium [Электронный ресурс] / Jean-Marie Zogg. – Режим дост.: [http://www.zogg-jm.ch/Dateien/GPS_Compndium\(GPS-X-02007\).pdf](http://www.zogg-jm.ch/Dateien/GPS_Compndium(GPS-X-02007).pdf).

116. Леонтьев Б. К. GPS: Все, что Вы хотели знать, но боялись спросить. Неофициальное пособие по глобальной системе местоопределения / Б. К. Леонтьев. – М. : Бук-Пресс, 2006. – 352 с.

117. Одуан К. Измерение времени. Основы GPS / К. Одуан, Б. Гино. – М. : Техносфера, 2002. – 400 с.

118. Кузовков Н. Т. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация / Н. Т. Кузовков, О. С. Салычев. – М. : Машиностроение, 1982. – 216 с.

119. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии / Под. ред. Б. С. Алешина, К. К. Веремеенко, А. И. Черноморского. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 424 с. – ISBN 5-9221-0735-6.

120. Салычев О. С. MEMS/GPS – малогабаритная интегрированная навигационная система / О. С. Салычев // Геопрофи. – 2003. – № 3. – С. 16–17.

121. Історія створення Південно-Західної залізниці. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://uz.gov.ua/?m=all.road.southwest.history&lng=uk>.

122. Історія створення Донецької залізниці. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://uz.gov.ua/?m=all.road.don.donhist&lng=uk>.

123. Історія створення Львівської залізниці. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://uz.gov.ua/?m=all.road.lviv.history&lng=uk>.

124. Історія створення Одеської залізниці. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://uz.gov.ua/?m=all.road.odessa.history&lng=uk>.

125. Історія створення Придніпровської залізниці. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://uz.gov.ua/?m=all.road.prdnipro.history&lng=uk>.

126. Історія створення Південної залізниці. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://uz.gov.ua/?m=all.road.south.history&lng=uk>.

127. Куропаткин П. В. Теория автоматического управления / П. В. Куропаткин. – М. : Высшая школа, 1973. – 528 с.

128. Василенко Г. И. Восстановление изображений / Г. И. Василенко, А. М. Тараторин. – М. : Радио и связь, 1986. – 304 с.

129. Мокін Б. І. Ідентифікація параметрів моделей та оптимізація режимів системи електропривода трамвая з тяговими електродвигунами постійного струму : монографія / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 92 с.

130. Мокин Б. И. Математические модели контроля и управления в энергетике / Б. И. Мокин, Ю. Корбич. – К. : Техніка ; Зелена Гора : Изд-во высш. инж. шк., 1990. – 192 с.

131. Мокин Б. И. Восстановление входных сигналов измерительных систем с нелинейными характеристиками преобразования / Б. И. Мокин // Методы теории идентификации в задачах измерительной техники и метрологии : тез. докладов 3-го Всесоюзного симпозиума. – Новосибирск : Сиб. НИИМ, 1982. – С. 207–209.

132. Ван-Трис Г. Синтез оптимальных нелинейных систем управления / Г. Ван-Трис. – М. : Мир, 1964. – 167 с.

133. Мокін Б. І. Фур'є-інтегральний метод в задачах ідентифікації та відновлення вхідних сигналів нелінійних динамічних систем / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 3. – С. 107–112.

134. Бронштейн И. Н. Справочник по математике (для инженеров и учащихся втузов) / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Наука, 1967. – 608 с.

135. Мокін Б. І. Узагальнення Фур'є-інтегрального методу ідентифікації та відновлення вхідних сигналів нелінійних динамічних сис-

тем / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 4. – С. 104–107.

136. Mokin O. B. Renewal of input signals of nonlinear measuring converters by Fourier-integral method / O. B. Mokin, B. I. Mokin // Proceedings of XVII IMEKO World Congress (Metrology in the 3rd Millennium). – Dubrovnik, Croatia. – 2003. – P. 468–471.

137. Цыпкин Я. З. Основы информационной теории идентификации / Я. З. Цыпкин. – М. : Наука, 1984. – 320 с.

138. Мокін О. Б. Особливості комп'ютерної реалізації Фур'є-інтегрального методу ідентифікації нелінійних динамічних систем / О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – № 6. – С. 108–111.

139. Мокін Б. І. Мінімізація витрат електроенергії електроприводом трамвая при його сталому недовантаженні / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – № 30. – С. 483–485.

140. Fomin S. V. Calculus of Variations / S. V. Fomin, I. M. Gelfand. – New York : Dover Publications, 2000. – 240 p.

141. Стасюк А. И. Матричные вычислители трансцендентных функциональных зависимостей / А. И. Стасюк. – К. : ИЭД, 1983. – 53 с.

142. Jackson Dunham. Fourier Series and Orthogonal Polynomials / Dunham Jackson. – New York : Dover Publications, 2004. – 256 p. – ISBN 0-486-43808-2.

143. Арфкен Г. Математические методы в физике / Г. Арфкен. – М. : Атомиздат, 1970. – 712 с.

144. Мокін О. Б. Оптимізація руху електричного транспортного засобу по горизонтальній прямолінійній ділянці колії в умовах обмеження на швидкість та можливості корекції графіку / О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 4. – С. 94–97.

145. Вершинский С. В. Динамика вагона : учеб. для вузов ж/д трансп. / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.

146. Конструкция и динамика электровозов / В. Н. Иванов и др. – М. : Транспорт, 1968. – 320 с.

147. Лисенков В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов / В. М. Лисенков. – М. : Транспорт, 1992. – 192 с.

148. Воронько А. Н. Анализ критериев устойчивости железнодорожных экипажей от схода с рельсов / А. Н. Воронько, С. Ю. Сапронова, В. П. Ткаченко // Вестник ВНУ им. В. Даля. – 2006. – №8 (102), ч. 1. – С. 115–120.

149. Дегтярева Л. Н. Математическое описание силового взаимодействия колес и рельсов / Л. Н. Дегтярева, Ю. И. Осенин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 28. – 2009. – С. 21–24.

150. Мямлин С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей : монография / С. В. Мямлин. – Д. : Новая идеология, 2002. – 240 с. – ISBN 966-8050-04-05.

151. Павловський М. А. Теоретична механіка / М. А. Павловський. – К. : Техніка, 2002. – 512 с.

152. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України. / Е. І. Даниленко, А. М. Орловський, А. П. Татуревич та ін. – К. : Транспорт України. – 1999. – 248 с.

153. Фейнман Ричард. Фейнмановские лекции по физике : в 10 т. Т. 1–2 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М. : Мир, 1976. – 439 с.

154. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії (ЦП/0056) : затв. наказом Укрзалізниці від 27.04.99 / А. М. Орловський, О. М. Патласов, В. В. Циганенко та ін. – Дніпропетровськ : Арт-Прес. – 1999. – 44 с.

155. Курган Д. Н. Определение допускаемой скорости движения в кривой реального очертания / Д. Н. Курган // Транспорт : сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2001. – Вып. 8. – С. 119–123.

Наукове видання

**Мокін Олександр Борисович
Мокін Борис Іванович**

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РУХУ
БАГАТОМАСОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПОВЕРХНЯМИ ЗІ
СКЛАДНИМ РЕЛЬЄФОМ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено О. Мокіним

Підписано до друку 23.04.2013 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 11,09
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) Зам № 2013-091

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.