

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Ю. Г. Ведміцький**  
**В. В. Кухарчук**

**КОНТРОЛЬ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ  
НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕОРІЇ  
ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ АНАЛОГІЙ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2015

УДК 621.317.39:531.7

ББК 31.221.9:22.2

B26

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 11 від 26.06.2014 р.)

Рецензенти:

**В. Ю. Кучерук**, доктор технічних наук, професор

**А. Я. Кулик**, доктор технічних наук, професор

**Ведміцький, Ю. Г.**

B26      Контроль моменту інерції на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій : монографія / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 196 с.

ISBN 978-966-641-616-5

В монографії запропоновано розвиток теорії динамічних (електромеханічних) аналогій, де вперше розкрито принцип та закономірності топологічної будови узагальнених електричних кіл з довільним числом ступенів вільності, тотожних рівнянням Лагранжа-Максвелла та Лагранжа II роду, які здатні слугувати узагальненими електричними аналогами для неперервних у часі динамічних систем із зосередженими параметрами однорідної або змішаної фізичної природи. На цій основі досліджено та розв'язано низку проблемних задач в теорії контролю моменту інерції. Для науковців та технічних фахівців зазначених напрямків.

**УДК 621.317.39:531.7**

**ББК 31.221.9:22.2**

**ISBN 978-966-641-616-5**

© Ю. Ведміцький, В. Кухарчук, 2015

## ЗМІСТ

Вступ .....	9
Розділ 1 Аналіз сучасного стану теорії контролю моменту інерції електротехнічних комплексів та систем .....	11
1.1 Окремі положення теорії моментів інерції .....	11
1.2 Контроль моменту інерції в електротехнічних комплексах і системах з обертальною і складною формами руху .....	12
1.2.1 Значення і вплив моменту інерції на роботу технічних систем в динамічних та стаціонарних режимах .....	12
1.2.2 Особливості контролю моменту інерції електротехнічних установок, комплексів та систем ...	15
1.3 Огляд, систематизація та порівняльний аналіз відомих методів контролю моменту інерції електротехнічних комплексів і систем .....	18
1.4 Проблема невідповідності в сучасній теорії контролю моменту інерції .....	23
1.5 Проблемні задачі теорії контролю моменту інерції електротехнічних комплексів та систем з обертальною і складною формами руху, їх інтерпретація і систематизація ..	24
1.5.1 Задача логічного поділу (класифікації) методів і засобів контролю моменту інерції .....	25
1.5.2 Задача систематизації, координації, субординації та узагальнення методів і засобів контролю моменту інерції. Вихідний базис теорії .....	26
1.5.3 Задача математичної ідентифікації методів і засобів контролю момент інерції. Узагальнена математична модель. Формалізація процесу побудови математичних моделей .....	27
1.5.4 Задача електричної ідентифікації і моделювання в теорії контролю моменту інерції. Відсутність узагальнених електричних моделей. Формалізація побудови електричних моделей .....	28
1.5.5 Задача розробки нових методів і засобів неруйнівного контролю моменту інерції .....	29
1.6 Можливі напрями вирішення проблеми невідповідності і пов'язаних із нею задач. Гіпотетико-дедуктивний підхід ...	30

Розділ 2 Розробка узагальненої математичної моделі для контролю моменту інерції електротехнічних комплексів і систем . . . . .	32
2.1 Узагальнене первинне перетворення як основа структури теорії контролю моменту інерції . . . . .	32
2.2 Узагальнений перетворювач моменту інерції (УПМІ) . . . . .	36
2.3 Рівняння Лагранжа II роду в математичному моделюванні узагальненого перетворення моменту інерції . . . . .	39
2.3.1 Ідентифікація системи УПМІ та в'язей, накладених на неї . . . . .	39
2.3.2 Математична модель системи УПМІ як узагальнена математична модель первинного перетворення методів і засобів контролю моменту інерції . . . . .	41
2.3.3 Уточнення математичної моделі системи УПМІ . . . . .	48
2.3.4 Математична модель електромеханічної системи УПМІ . . . . .	53
2.4 Виявлені загальні закономірності процесу перетворення моменту інерції . . . . .	55
2.4.1 Теорема взаємодії підсистем А та В УПМІ . . . . .	55
2.4.2 Дві загальні властивості процесу перетворення моменту інерції . . . . .	57
Розділ 3 Удосконалення і розвиток теорії електродинамічних аналогій для побудови методів і засобів контролю моменту інерції електротехнічних комплексів та систем . . . . .	59
3.1 Значення теорії динамічних аналогій в електричному моделюванні засобів контролю моменту інерції . . . . .	59
3.2 Вплив принципу дуальності на формування електричних моделей систем УПМІ . . . . .	61
3.3 Розвиток теорії електродинамічних аналогій на основі принципу Максвелла та рівнянь Лагранжа-Максвелла . . . . .	61
3.3.1 Впорядкування і систематизація електродинамічних аналогій динамічних систем з $n$ ступенями вільності . . . . .	62
3.3.2 Розробка узагальнених структурних і електричних схем-аналогів динамічних систем з довільним числом ступенів вільності . . . . .	65

3.3.2.1	Побудова узагальненої електричної схеми аналогії типу «сила–напруга» . . . . .	65
3.3.2.2	Побудова узагальненої електричної схеми аналогії типу «сила–струм» . . . . .	70
3.3.2.3	Розробка узагальненої структурної схеми електричної системи-аналога з довільним числом $n$ ступенів вільності . . . . .	74
3.4	Розробка електричних моделей системи УПМІ в формі рівнянь Лагранжа-Максвелла. Узагальнені структурна і електричні схеми . . . . .	76
3.4.1	Перша електрична модель системи УПМІ . . . . .	77
3.4.2	Друга електрична модель системи УПМІ . . . . .	79
3.5	Математична модель системи УПМІ в лінеаризованій формі. . . . .	81
3.6	Електричні моделі лінеаризованої системи УПМІ в комплексній і операторній формах . . . . .	82
Розділ 4 Розробка нових методів контролю моменту інерції електротехнічних комплексів та систем: формалізований гіпотетико-дедуктивний підхід на основі системи УПМІ . . . . .		
4.1	Вихідний базис теорії контролю моменту інерції як основа формалізованого гіпотетико-дедуктивного підходу . . . . .	85
4.1.1	До питання істинності, несуперечливості, коректності і адекватності математичної і електричних моделей системи УПМІ . . . . .	86
4.1.2	Формалізований гіпотетико-дедуктивний метод математичної і електричної ідентифікації методів і засобів контролю моменту інерції на основі системи УПМІ . . . . .	87
4.2	Впровадження гіпотетико-дедуктивного підходу в створенні нових методів контролю моменту інерції . . . . .	88
4.2.1	Математична і електричні моделі засобів (методів) контролю моменту інерції 1-го порядку . . . . .	92
4.2.2	Математична і електричні моделі засобів (методів) контролю моменту інерції 2-го порядку . . . . .	93
4.2.3	Математичні і електричні моделі засобів (методів)	

контролю моменту інерції 3-го і 4-го порядків. ПМІ з двома ступенями вільності . . . . .	94
4.2.4 Методи і засоби контролю моменту інерції більш високих порядків . . . . .	95
4.3 Нові методи контролю моменту інерції електротехнічних комплексів і систем з обертальною формою руху . . . . .	96
4.3.1 Загальний огляд нових методів, їхнє впорядкування, систематизація . . . . .	97
4.3.2 Методи контролю моменту інерції з перетворювачем 1-го порядку . . . . .	100
4.3.2.1 Часовий метод . . . . .	101
4.3.2.2 Тау-метод . . . . .	102
4.3.2.3 Метод трьох тау . . . . .	104
4.3.2.4 Тау-метод зі зразковим моментом інерції . . . . .	104
4.3.2.5 Кутовий метод . . . . .	104
4.3.2.6 Простий кутовий метод зі зразковим моментом інерції . . . . .	106
4.3.2.7 Простий кутовий метод без зразкового моменту інерції . . . . .	106
4.3.2.8 Метод рівних інтервалів . . . . .	106
4.3.2.9 Метод рівних інтервалів зі зразковим моментом інерції . . . . .	108
4.3.2.10 Метод вимушених коливань . . . . .	109
4.3.2.11 Фазовий метод . . . . .	109
4.3.2.12 Фазовий метод зі зразковим моментом інерції. Перша модифікація . . . . .	110
4.3.2.13 Фазовий метод зі зразковим моментом інерції. Друга модифікація . . . . .	111
4.3.2.14 Частотний метод . . . . .	111
4.3.2.15 Амплітудний метод . . . . .	111
4.3.2.16 Параметричні методи . . . . .	112
4.3.3 Методи контролю моменту інерції з перетворювачем 2-го порядку . . . . .	113
4.3.3.1 Періодичний метод . . . . .	114
4.3.3.2 Періодичний метод зі зразковим моментом інерції . . . . .	115

4.3.3.3	Частотний метод . . . . .	115
4.3.3.4	Спрощений частотний метод . . . . .	116
4.3.3.5	Спрощений частотний метод зі зразковим моментом інерції . . . . .	117
4.3.3.6	Комплексний метод . . . . .	117
4.3.3.7	Комплексний метод зі зразковим моментом інерції . . . . .	118
4.3.3.8	Резонансний метод . . . . .	119
4.3.3.9	Резонансний метод зі зразковим моментом інерції . . . . .	120
4.3.4	Метод двох резонансів. Методи контролю моменту інерції з перетворювачем 3-го порядку . . . . .	120
4.4	Дослідження області застосовності нових методів контролю моменту інерції: математичне моделювання зміни моменту інерції тіл обертання внаслідок їх деформації . . . . .	124
Розділ 5 Розробка нових засобів контролю моменту інерції електротехнічних комплексів та систем . . . . .		131
5.1	Побудова узагальненої структурної схеми засобу контролю моменту інерції електротехнічних комплексів і систем з обертальною та складною формами руху . . . . .	131
5.1.1	Засіб контролю моменту інерції на основі системи УПМІ, його структурна схема . . . . .	131
5.1.2	Узагальнена математична модель та її модифікації . . . . .	134
5.1.3	Перша і друга узагальнені електричні моделі . . . . .	137
5.2	До питання формалізації гіпотетико-дедуктивного методу математичної ідентифікації засобів контролю моменту інерції . . . . .	138
5.3	Розробка оптико-електронного засобу контролю моменту інерції електротехнічних систем з обертальною формою руху . . . . .	139
5.3.1	Оптико-електронні засоби контролю моменту інерції. Метод просторово-оптичної модуляції . . . . .	139
5.3.2	Розробка структурної схеми оптико-електронного засобу контролю моменту інерції на основі системи УПМІ . . . . .	141

5.3.3 Розробка узагальненої математичної моделі просторово-оптичного модулятора. Удосконалення методу просторово-оптичної модуляції . . . . .	143
5.3.4 Математична модель оптико-електронного засобу контролю моменту інерції електротехнічних комплексів і систем та її модифікації . . . . .	153
5.3.5 Електричні моделі оптико-електронного засобу контролю моменту інерції електротехнічних комплексів і систем . . . . .	156
5.4 До питання оцінки вірогідності контролю моменту інерції . .	157
Висновки . . . . .	159
ЛІТЕРАТУРА . . . . .	162
Додаток А Розробка математичної і електричних моделей електромеханічної частини шнекових дифузійних апаратів . . . . .	180
Додаток Б Розробка уточнених математичної і електричних моделей мікромеханічних ємнісних інтегральних акселерометрів. . .	184
Додаток В Аналітичне квантування неперервних сигналів . . . . .	188
Додаток Г Побудова і уточнення математичної та електричних моделей одновимірних позиційно-чутливих детекторів . . . . .	191



## ВСТУП

Необхідність побудови систем контролю моменту інерції зумовлена областю прояву та ступенем впливу на рух інертності обертючих мас, мірою якої і слугує цей параметр. Найбільш критично вплив моменту інерції виявляє себе в фізично та структурно складних і неоднорідних технічних системах, до яких належить переважна більшість електротехнічних установок, комплексів і систем з обертальною та складною формами руху. Оскільки момент інерції визначає характер руху системи і водночас залежить від цього руху, інформація про нього є важливою, а сам технічний параметр – надзвичайно інформативним. Відсутність або неточність інформації щодо значення моменту інерції технічної системи через невизначеність диференціальних рівнянь руху суттєво ускладнює або і унеможлиблює розв'язування цілої низки важливих науково-технічних та прикладних задач. За зазначених умов найбільш уразливими є нестационарні і нелінійні електромеханічні, робототехнічні і мехатронні системи з великим числом ступенів вільності. Наприклад, під час руху промислових маніпуляторів і роботів, систем позиціонування та стеження (комплексів радіолокаційного дозору і наведення, РЛС, астрономічних інструментів), підйомально-транспортних машин (підйомних кранів, вантажних та вантажно-пасажирських підйомачів і транспортерів, прокатних станів), землерийних машин (одноківшових і роторних екскаваторів тощо) їх власний або приведений момент інерції в активній частині багатовимірного робочого простору може змінюватися від кількох до десятків разів. Актуальним є і контроль моменту інерції стаціонарних електротехнічних систем, де зміна цього параметра не передбачена алгоритмом функціонування. Для таких систем суттєві зміни в значеннях моменту інерції свідчать про виникнення аварійної ситуації, яка вимагає щонайшвидшого реагування та запобігання її розвитку. І хоча на сьогодні розроблено чимало методів і засобів ідентифікації, вимірювання і контролю моменту інерції, проте переважна більшість з них (понад 97 %) є руйнівними і потребує попередніх часткової або повної деактивації та демонтажу технічної систе-

ми. Ті ж, що залишаються, мають низькі метрологічні характеристики або обмежену область застосування. Для більшості з названих електротехнічних комплексів та систем проведення демонтажних робіт задля контролю моменту інерції через конструкційні і функціональні особливості будови є або занадто складним, тривалим і економічно не вигідним, або неможливим взагалі. Тому для них вже сьогодні існує нагальна потреба в розробці нових високоякісних неруйнівних методів і засобів контролю моменту інерції. Водночас вихідний базис теорії контролю моменту інерції виявляє свою слабкість і внаслідок відсутності в ньому окремих базисних елементів, зокрема узагальнених відносно числа ступенів вільності математичної, структурної та електричних моделей систем контролю моменту інерції, принципово не здатен ефективно розв'язувати ні виявлену задачу, ні задачі, які її супроводжують. Через це дослідження власне процесу контролю моменту інерції електротехнічних комплексів та систем з великим і наперед невизначеним числом ступенів вільності їхніх рухомих частин є домінуючою науково-практичною задачею, затребуваність у розв'язуванні якої зумовлена її узагальненим характером та актуальністю підпорядкованих їй декомпозиційних задач.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЇ КОНТРОЛЮ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА СИСТЕМ

В процесі виробництва електротехнічних систем з обертальною і складною формами руху та під час їх експлуатації в промисловості, енергетиці, на транспорті, будівництві, в аграрно-промисловому комплексі з метою забезпечення енергоефективної та безаварійної роботи постає задача вимірювання та контролю одного з чи не найважливіших технічних параметрів – осьового *моменту інерції*. Останній є мірою інертності тіла обертання по відношенню до свого руху навколо заданої осі і визначає енергетичний стан та динамічні властивості технічної системи в цілому.

### 1.1 Окремі положення теорії моментів інерції

**Геометрія мас.** Геометрія мас як спеціальний розділ теоретичної механіки, вивчає розподіл матеріальних мас механічних систем в просторі і об'єднує в собі низку теорій, які своїм предметом мають теоре-

тичні та експериментальні дослідження сум виду  $\sum_{k=1}^n f(x_k, y_k, z_k) m_k$ ,

поширених на всі утворюючі систему матеріальні точки за умови її дискретного подання. У випадку суцільних тіл чи неперервних середовищ об'єктами дослідження стають інтеграли виду

$\iiint_V f(x, y, z) \rho(x, y, z) dx dy dz$ . Назва «геометрія мас» запропонована в

1857 році французьким вченим Атоном де ля Гупієром.

**Теорія моментів інерції.** Теорія моментів інерції є складовою геометрії мас і вивчає такі вищенаведені суми та інтеграли, які утворюються в припущенні, що функція  $f(x, y, z)$  є цілою функцією другого степеня відносно координат [1-20]. Тому предметом дослідження теорії моментів інерції є момент другого порядку, який називають моментом інерції. Вперше величини, подібні моментам інерції, були отримані в 1673 р. в роботах Хр. Гюйгенса, а сам термін «момент інерції»

був введений в 1749 р. Л. Ейлером. Він же сформулював фундаментальні положення та теореми, що власне і утворили основу теорії.

**Момент інерції відносно осі.** Моментом інерції дискретної системи відносно осі (осьовим моментом інерції) називається скалярна величина, яка дорівнює сумі добутків мас матеріальних точок цієї системи на квадрати їх відстаней до осі [1–3]

$$J = \sum_{k=1}^n r_k^2 m_k, \quad (1.1)$$

а для тіл з неперервним розподілом маси в просторі –

$$J = \int_m r^2 dm, \quad (1.2)$$

за наявності прямокутної системи координат –

$$J = \iiint_V r^2(x, y, z) \rho(x, y, z) dx dy dz.$$

**Фізичний зміст осьового моменту інерції.** Осьовий момент інерції тісно і глибоко пов'язаний з динамікою обертального руху механічної системи і має прямий фізичний зміст.

Наприклад, під час обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі  $z$  похідна за часом його кутової швидкості (кутове прискорення) перебуває в прямопропорційній залежності до головного моменту прикладених сил і обернено пропорційній до моменту інерції твердого тіла відносно осі обертання:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_z}{J_z}. \quad (1.3)$$

Це означає, що осьовий момент інерції входить до складу основного закону динаміки обертального руху (1.3) як параметр, який характеризує протидію цієї механічної системи будь-якій зміні власної кутової швидкості обертання відносно заданої осі. В загальному випадку ступінь такої протидії безпосередньо залежить від орієнтації розподілу мас механічної системи відносно осі обертання і зі зміною їх розташування також зазнає зміни.

Таким чином, перебуваючи в залежності від просторового розподілу мас, осьовий момент інерції є мірою, яка характеризує інертність окремого тіла або системи тіл під час обертального руху навколо деякої нерухомої осі обертання.

## **1.2 Контроль моменту інерції в електротехнічних комплексах і системах з обертальною та складною формами руху**

Момент інерції належить до основних технічних параметрів систем з як власними, так і привідними тілами обертання, а його вимірювання та контроль залишаються і дотепер важливими та зазвичай складними науково-технічними задачами.

### **1.2.1 Значення і вплив моменту інерції на роботу технічних систем в динамічних та стаціонарних режимах**

**Історична довідка.** Значення моменту інерції як технічного параметра електротехнічних установок, систем і комплексів з обертальною та складною формами руху було докладно досліджено і висвітлено в багатьох наукових роботах як теоретичного, так і прикладного характеру [21–52]. Зокрема вплив моменту інерції розкрито в класичній теорії усталених режимів електричних машин, створеній на початку 30-х років минулого століття працею багатьох видатних вчених, серед яких Е. Арнольд, М. Відмар, К. А. Круг, А. Дрейфус, Р. Ріхтер, а також в теорії перехідних процесів електричних машин, яка була сформована науковими доробками Р. Парка, А. А. Горєва [24, 25], Б. Адкінса, І. Ковача, Б. Геллера, Г. Крона, І. Раца, Д. Уайта [22], К. Ф. Вагнера, Р. Д. Еванса, Г. Обердорфера, П. С. Жданова [27], С. А. Лебєдєва, В. А. Веникова [30]. Сучасна теорія електричних машин, розвиток якої продовжується і дотепер науковими школами А. А. Войтеха, І. П. Копилова [28, 29], І. М. Постнікова, В. Й. Чабана та інших, приділяє особливу увагу дослідженню впливу різних параметрів електричних систем та комплексів на їх статичні та динамічні режими роботи. В цій теорії момент інерції віднесено до найважливіших параметрів технічних систем з обертальною формою руху. Як наслідок, наприклад, всі наукові напрямки комплексного випробовування електричних машин, в розробку яких покладено роботи О. Д. Гольдберга, Г. К. Жерве [48], М. Т. Костенка, Л. М. Піатровського, а також І. М. Богаєнка, В. Б. Дудикевича, Н. В. Кіріанакі, Л. А. Потапова, Ю. І. Чучмана, В. О. Поджаренка, Ю. М. Юферова, В. В. Кухарчука [31] передбачають серед іншого і обов'язкове дослідження моменту інерції.

**Значення та вплив моменту інерції.** Огляд та аналіз теоретичних і експериментальних досліджень, об'єктами вивчення яких є електротехнічні системи з обертальними масами [21–50], дозволяє зробити такі висновки:

1) момент інерції безпосередньо впливає на енергетичний стан технічних систем з обертальною та складною формами руху, зумовлює характер зовнішнього та внутрішнього енергообміну в них і визначає загальну динаміку їх еволюції;

2) момент інерції входить до складу диференціального рівняння руху технічної системи, якісно та кількісно визначає характер цього руху як під час перехідного процесу, так і під час функціонування в ustalеному режимі роботи.

3) вплив моменту інерції під час руху системи, себто зміни свого стану, безпосередньо або опосередковано поширюється практично на всі узагальнені координати та швидкості системи, які визначають цей стан, незалежно від їх фізичної природи. Для електротехнічних систем ця обставина є важливою, оскільки їх рух поєднує в собі різні за природою фізичні явища, зокрема – механічні, електромагнітні та термодинамічні;

4) зміна моменту інерції навіть під час ustalеного руху електротехнічної системи викликає в ній перехідний процес, який здатен охопити всю систему в цілому і поширитися на інші узагальнені координати і швидкості як механічного, так і немеханічного походження;

5) за ustalеного стаціонарного руху тіл обертання електротехнічних систем, коли кутова швидкість і момент інерції у часі залишаються постійними, вплив останнього на характері функціонування технічної системи не позначається ні кількісно, ні якісно.

Наведені висновки знаходять своє підтвердження в вищеназваних бібліографічних посиланнях на численних прикладах дослідження різноманітних фізичних та електротехнічних комплексів та систем з обертальною формою руху, зокрема: під час аналізу пуску двигунів постійного струму та синхронних і асинхронних двигунів, наприклад, при визначенні часу розгону двигуна, втрати ним швидкості внаслідок посадки напруги, теплових втрат в обмотках; під час дослідження механічних коливань в машинах змінного струму, а саме: синхронізувальних сил в генераторах змінного струму, власної частоти та затухан-

ня вільних коливань, вимушених механічних коливань, власних коливань асинхронних двигунів; під час вивчення комутаційних поштовхів в синхронних машинах: коливань після неточної синхронізації, стійкості при поштовхах навантаження, ресинхронізації після короткого замикання; під час дослідження паралельної роботи машин в електроенергетичній системі: розподілу поштовхів навантаження, сумісних коливань генераторів і асинхронних двигунів; під час визначення характеру взаємодії регуляторів швидкості первинних двигунів в енергетичних системах тощо.

### **1.2.2 Особливості контролю моменту інерції електротехнічних установок, комплексів та систем**

Контроль за моментом інерції електротехнічних установок, комплексів та систем – це складний процес, в якому в стані взаємодії водночас перебуває чимало компонентів як внутрішнього, так і зовнішнього підпорядкування [32,53–76]. Їх ознаки, властивості і спосіб взаємодії між собою виявляють певні закономірності та істотні установлені зв'язки – фізичні, математичні, технічні, структурні, функціональні, каузальні (причинні), логічні, генетичні, організаційні тощо, які як окремо, так і в взаємодії розкривають і загальне, і особливе, що притаманне процедурі контролю моменту інерції, і цим визначають її суть. Тому чинників, які вирізняють цей різновид контролю з поміж інших і надають йому характерних ознак і особливостей, існує чимало. До основних з них, наприклад, можна віднести:

- фізичну природу саме обертального руху матеріальної технічної системи як об'єкта контролю та вплив моменту інерції на цей рух;
- математичний апарат теорії диференціальних рівнянь, які є основними в описі континуальних динамічних явищ і фізичних процесів, що відбуваються в технічних системах з обертальною або складною формами руху;
- поліенергетичну сутність електротехнічних установок, комплексів та систем і складний характер взаємоперетворення, обміну і дисипації енергії в них;
- специфічну структуру диференціальних рівнянь руху в обраній системі узагальнених координат і швидкостей та сукупність інформа-

тивних параметрів, які разом і визначають водночас і фізичні принципи, і алгоритм методу, і технічну будову засобу контролю моменту інерції;

– динамічний характер первинного перетворення статичного і диференціального моментів інерції в математично з ними пов'язану фізичну величину як механічного, так і немеханічного походження та ступінь впливу первинних перетворювачів на режим роботи об'єкта контролю;

– відмітну структурну, конструкційну і монтажну будову (архітектуру) технічних систем з обертальною і складною формами руху, яка була сформована під впливом дії різних факторів і зокрема – необхідністю забезпечення надійної, безаварійної, безпечної і енергоефективної роботи таких систем в заздалегідь визначених та випадкових внутрішніх і зовнішніх умовах, що, в свою чергу, ускладнює задачу неруйнівної форми контролю моменту інерції;

– зазвичай динамічну природу зовнішнього технічного оточення (первинні і вторинні джерела енергії, навантаження та інші споживачі енергії різної фізичної природи, різноманітні системи автоматизованого і автоматичного керування тощо), що спряжене з електротехнічними установками, комплексами і системами як об'єктами контролю, а також інші нестаціонарні умови експлуатації останніх.

Названі чинники як узагальнюючі в кожному окремому випадку доповнюються конкретним змістом. Яким саме – залежить, по-перше, від виду електротехнічної системи, її функціонального призначення, каталожних даних, масо-габаритних показників та інших технічних параметрів і характеристик системи, по-друге, умов її експлуатації та параметрів зовнішнього оточення і, по-третє, від обраних відповідно до фізичної та математичної моделей принципів, методів і засобів контролю моменту інерції.

Наприклад, характерною особливістю переважної більшості відомих на сьогодні методів та засобів контролю моменту інерції роторів електричних двигунів постійного та змінного струмів, як показує бібліографічний огляд [2, 31, 32, 77–112], є первинне перетворення моменту інерції в інші фізичні величини суто механічної природи – геометричні, кінематичні або динамічні, які безпосередньо пов'язані з



обертальною формою руху самого об'єкта контролю. Відтак ця обставина надає процедурі контролю моменту інерції тих особливих ознак, які є характерними для контролю параметрів обертального руху взагалі, серед них – кутові переміщення, швидкості, прискорення, моментні характеристики, енергії тощо.

На сьогодні, як відомо [31], контроль за моментними характеристиками електричних двигунів (а до них відносять, окрім статичного, ще й динамічний момент інерції ротора, а також надлишковий, динамічний, номінальний, максимальний, пусковий моменти двигуна, моменти імпульсу, їх залежності від інших параметрів двигуна та параметрів режиму його роботи) є найбільш трудомістким, неточним, малоефективним, майже неавтоматизованим та з низькою швидкодією. І попри те, що ці параметри електродвигуна належать до його основних характеристик, вони в багатьох випадках не підлягають контролю у зв'язку з відсутністю відповідних технічних засобів, що пояснюється недосконалістю методів контролю, його математичного та теоретичного забезпечення, відсутністю еталонів названих моментів. З поміж моментних характеристик в першу чергу вищесказане стосується динамічного моменту інерції як власне ротора, так інших обертальних мас електричної машини. Задача його контролю та вимірювання є винятково складною і наразі в загальному вигляді ні теоретично, ані практично нерозв'язаною.

Складним завданням залишається і розв'язування задачі високоточного контролю моменту інерції у випадку первинного перетворення моменту інерції в геометричні та кінематичні механічні фізичні величини – час, кутові переміщення, швидкості та прискорення, що пов'язано з необхідністю вимірювання цих інформативних параметрів в динамічному режимі роботи. Останній, як відомо, має низку особливостей, які ускладнюють процедуру контролю [32], що передусім пов'язано з необхідністю отримання великої кількості контрольно-вимірювальної інформації протягом досить короткого проміжку часу. Докладно це питання висвітлено в роботах [31, 32, 53, 59].

Необхідно зауважити, що відмітні ознаки та особливості контролю моменту інерції в сукупності всіх своїх окремих проявів позначаються і на загальному рівні – на формуванні теорії контролю моменту

інерції електротехнічних установок, комплексів та систем. Бібліографічний огляд та аналіз її основних положень приводить до висновку, що серед основних компонентів цієї теорії на сьогодні найрозвиненішою є *вихідна емпірична основа* – потужна експериментальна база відомих методів і засобів контролю моменту інерції, систематизовані і перевірені практикою емпіричні дані якої доводять дієздатність останніх і адекватність їхніх математичних моделей. Водночас інший компонент цієї теорії – *вихідна теоретична основа*, яка має аналітично узагальнювати виявлені в процедурі контролю моменту інерції істотні ознаки, властивості, особливості, закономірності і усталені зв'язки, на сьогодні адекватно не відповідає першій, а відтак є незадовільною і потребує суттєвого і всебічного удосконалення, про що мова піде нижче.

### **1.3 Огляд, систематизація та порівняльний аналіз відомих методів контролю моменту інерції електротехнічних комплексів і систем**

Задля виявлення і обґрунтування можливих проблем і задач в науково-технічному сегменті теорії контролю моменту інерції насамперед проведемо докладний огляд та систематизацію відомих методів і побудованих на їх основі засобів контролю моменту інерції [2, 31, 32, 77–112]. Для систематизації за основу оберемо схему, запропоновану М. М. Гернетом і В. Ф. Ратобильским [2], яка на сьогодні, попри її недоліки (див. нижче), є серед існуючих найбільш повною і досконалою. Результати роботи зведемо до таблиці (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Систематизація відомих методів контролю МІ

<u>АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ</u>
1.1 Аналітичний метод з неперервним розподілом маси
1.2 Аналітичний метод з дискретним розподілом маси
<u>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ</u>
1 <u>Метод фізичного маятника</u>

Продовження табл. 1.1

<p>1.1 Метод фізичного маятника за періодом коливань</p> <p>1.1.1 Без врахування впливу амплітуди</p> <p>1.1.1.1 З визначенням центра мас динамометром</p> <p>1.1.1.2 З визначенням центра мас кількарязовим врівноважуванням на вістрі призми</p> <p>1.1.1.3 З визначенням центра мас за допомогою виска кількарязовим підвішуванням</p> <p>1.1.1.4 З визначенням центра мас за допомогою десяткових ваг</p> <p>1.1.2 З урахуванням впливу амплітуди</p>
<p>1.2 Метод фізичного маятника за його приведеною довжиною (Метод приведенного маятника)</p>
<p>1.3 Метод гойдання на паралельних осях</p> <p>1.3.1 Метод гойдання на двох паралельних осях</p> <p>1.3.1.1 За періодом коливань</p> <p>1.3.1.1.1 З розташуванням центра мас між осями</p> <p>1.3.1.1.2 З розташуванням центра мас з боку від осей і більш віддаленою першою віссю</p> <p>1.3.1.1.3 З розташуванням центра мас з боку від осей і більш віддаленою другою віссю</p> <p>1.3.1.2 За приведеною довжиною</p> <p>1.3.1.2.1 З розташуванням центра мас поміж осями</p> <p>1.3.1.2.2 З розташуванням центра мас з боку від осей і більш віддаленою першою віссю</p> <p>1.3.1.2.3 З розташуванням центра мас з боку від осей і більш віддаленою другою віссю</p> <p>1.3.2 Метод гойдання на трьох паралельних осях</p> <p>1.3.2.1 За періодами коливань</p> <p>1.3.2.2 За приведеною довжиною</p> <p>1.3.3 Метод гойдання на трьох непаралельних осях</p>
<p>1.4 Метод гойдання з еталоном (метод Гауса)</p> <p>1.4.1 За періодом коливання</p> <p>1.4.1.1 З розташуванням центра мас еталона на осі підвісу об'єкта контролю</p> <p>1.4.2 За приведеною довжиною</p> <p>1.4.2.1 З розташуванням центра мас еталона на осі підвісу об'єкта контролю</p>
<p>1.5 Метод коливань ротора з еталоном в підшипниках ротора</p>
<p>1.6 Метод гойдання з еталоном «ваги гойдання»</p>

Продовження табл. 1.1

1.7	Метод гойдання з переміщенням додаткової ваги
1.7.1	За періодом коливання
1.7.2	За приведеною довжиною
1.8	Метод коливання за увігнутими направляючими
1.9	Метод еліптичного маятника
1.9.1	З еталоном
1.9.2	Без еталона
1.10	Метод з врахуванням впливу дисипативних сил
<u>2 Метод подвійного маятника</u>	
2.1	Із заздалегідь відомим положенням центра мас
2.2	Із невідомим положенням центра мас
<u>3 Метод крутильних коливань (метод уніфіляра)</u>	
3.1	Із заздалегідь відомою направляючою силою
3.1.1	З визначенням направляючої сили через модуль зсуву
3.1.2	З визначенням направляючої сили за допомогою динамометричного пристрою
3.2	Із вилученням направляючої сили
3.2.1	З еталоном
3.2.1.1	«Англійський спосіб»
3.2.1.2	Метод Гауса
3.2.1.3	Модифікація методу Гауса за формулою Кулона
3.2.2	Пружних коливань на приладі
<u>4 Метод коливань нитяних підвісів</u>	
4.1	Метод біфіляра
4.1.1	Крутильних коливань
4.1.1.1	З паралельним нитяним підвісом
4.1.1.1.1	Метод Улера
4.1.1.1.2	Метод Гауса
4.1.1.2	З похилим нитяним підвісом
4.1.2	Повздовжніх коливань (в площині біфілярного підвісу)
4.1.3	Поперечних коливань
4.2	Метод трифіляра
4.3	Метод мультифіляра (поліфіляра)
4.3.1	З циліндричним нитяним підвісом
4.3.2	З конічними нитяним підвісом

## ЛІТЕРАТУРА

1. Павловський М. А. Теоретична механіка : підручник / М. А. Павловський. – [2-е вид.]. – К. : Техніка, 2004. – 512 с.
2. Гернет М. М. Определение моментов инерции / М. М. Гернет, В. Ф. Ратобильский. – М. : Машиностроение, 1985. – 248 с.
3. Фаворин М. В. Моменты инерции тел. Справочник / М. В. Фаворин ; под. ред. М. М. Гернета. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1977. – 511 с.
4. Гюйгенс Х. Три мемуара по механике / Х. Гюйгенс. – М. : Изд-во АН СССР, 1951. – 379 с.
5. Жуковский Н. Е. Теоретическая механика / Н. Е. Жуковский. – 2-е изд. – М.–Л. : Гос. изд-во тех.-теор. литер., 1952. – 812 с.
6. Кирхгоф Г. Механика. Лекции по математической физике / Г. Кирхгоф. – М. : Издательство АН СССР, 1962. – 403 с.
7. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин : учеб. для вузов / И. И. Артоболевский. – 4-е изд. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.
8. Чаплыгин С. А. Механика системы. В 2 ч. Ч. II. Динамика системы / С. А. Чаплыгин. – М. : Гос. изд-во, 1924. – 208 с.
9. Балк М. Б. Геометрия масс / М. Б. Балк, В. Г. Болтянский. – М. : Наука, 1987. – 160 с.
10. Machinery's Handbook / [E. Oberg, F. D. Jones, H. L. Horton, H. N. Ryffel]. – [26th ed.]. – NY. : Industrial Inc., 2000. – 2640 pp.
11. Теоретична механіка : підручник / [Шульга С. М., Багацька О. В., Бутрим О. Ю. та ін.]. – Х. : Ранок, 2007. – 208 с.
12. Гернет М. М. Курс теоретической механики : учебник для вузов / М. М. Гернет. – [3-е изд.]. – М. : Высшая школа, 1973. – 464 с.
13. Журавлев В. Ф. Основы теоретической механики / В. Ф. Журавлев. – 2-е изд. – М. : Изд-во физ.-мат. лит., 2001. – 320 с.
14. Курс теоретической механики : учеб. для вузов / [В. И. Дронг, В. В. Дубинин, М. М. Ильин и др.]; под. общ. ред. К. С. Колесникова. – 3-е изд. – М. : Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 736 с.
15. Бухгольц Н. Н. Основной курс теоретической механики. В 2 ч. Ч. 2. Динамика системы материальных точек / Н. Н. Бухгольц. – 4-е изд. – М. : Гл. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1966. – 332 с.
16. Хайкин С. Э. Физические основы механики : учеб. пособ. / С. Э. Хайкин. – 2-е изд. – М. : Гл. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1971. – 752 с.

17. Березкин Е. Н. Курс теоретической механики / Е. Н. Березкин. – [2-е изд.]. – М. : Издательство Московского университета, 1974. – 647 с.
18. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т., Т 1 / В. И. Анурьев; под ред. И. Н. Жестковой. – 8-е изд. – М. : Машиностроение, 2001. – 920 с.
19. Ведміцький Ю. Г. Момент інерції деформованого циліндра / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 2(89). – С. 25–33.
20. Ведміцький Ю. Г. Вплив повільних деформацій на момент інерції механічних та електромеханічних систем / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2007. – Випуск 3/2007 (44) Частина 1. – С. 148–152.
21. Накопители энергии : учебн. пос. для вузов / Д. А. Бут, Б. Л. Алиевский, С. Р. Мизюрин, П. В. Васюкевич; под ред. Д. А. Бута. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.
22. Уайт Д. С. Электромеханическое преобразование энергии / Д. С. Уайт, Г. Х. Вудсон. – М.–Л. : Энергия, 1964. – 528 с.
23. Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах : учеб. для вузов / С. А. Ульянов. – М. : Энергия, 1970. – 520 с.
24. Горев А. А. Избранные труды по вопросам устойчивости электрических систем / А. А. Горев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1960. – 260 с.
25. Горев А. А. Переходные процессы синхронной машины / А. А. Горев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1950. – 551 с.
26. Рюденберг Р. Переходные процессы в электроэнергетических системах / Р. Рюденберг. – М. : Изд-во иностр. лит., 1955. – 714 с.
27. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем / П. С. Жданов; под ред. Л. А. Жукова. – М. : Энергия, 1979. – 456 с.
28. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. / Под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. – М. : Энергоатомиздат. – Т. 1. – 1988. – 456 с. – Т. 2. – 1989. – 688 с.
29. Копылов И. П. Электрические машины : учеб. для вузов / И. П. Копылов. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
30. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах : учеб. для электроэнергет. спец. вузов / В. А. Веников. – 4-е изд. – М. : Высшая школа, 1985. – 536 с.

31. Кухарчук В. В. Автоматизований контроль моментних характеристик електричних машин : дис. ... доктора техн. наук : 05.11.13 / В. В. Кухарчук. – Вінниця, 1999. – 376 с.
32. Кухарчук В. В. Елементи теорії контролю динамічних параметрів електричних машин : монографія / В. В. Кухарчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1998. – 125 с.
33. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И. А. Сыромятников; под ред. Л. Г. Мамиконянца. – 4-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
34. Переходные процессы в системах электроснабжения : учебник / [В. Н. Винославский, Г. Г. Пивняк, Л. И. Несен и др.]; под ред. В. Н. Винославского. – К. : Высшая школа. Головное изд-во, 1989. – 422 с.
35. Ильинский Н. Ф. Основы электропривода / Н. Ф. Ильинский. – М. : Из-во МЭИ, 2000. – 162 с.
36. Онищенко Г. Б. Электрический привод : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. – М. : РАСНХ, 2003. – 320 с.
37. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода : учеб. для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
38. Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе / С. Н. Вешеневский. – 6-е изд. – М. : Энергия, 1977. – 432 с.
39. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин / Р. Г. Гемке. – Л. : Энергия, 1969. – 272 с.
40. Электропривод : підручник / [Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко та ін.]; за ред. Ю. М. Лавріненка. – 2-е вид. – К. : Ліра-К, 2009. – 504 с.
41. Электропривод : підручник / [О. С. Марченко, Ю. М. Лавріненко, П. І. Савченко, Є. Л. Жулай] ; за ред. О. С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 208 с. – Ч. 1 – К. : Урожай, 1995. – 208 с.
42. Электропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній : підручник / [Є. Л. Жулай, Б. В. Зайцев, Ю. М. Лавріненко та ін.]; за ред. Є. Л. Жулая. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.
43. Волощак І. А. Автоматизований електропривод поліграфічних машин : підручник / І. А. Волощак, І. Т. Степко. – Львів : Фенікс, 1998. – 239 с.
44. Меньшов Б. Г. Электротехнические установки и комплексы : учеб. для вузов / Б. Г. Меньшов, М. С. Ершов, А. Д. Яризов. – М. : ОАО «Изд-во «Недра», 2000. – 487 с.

45. Вольдек А. И. Электрические машины : учеб. для студ. вузов / А. И. Вольдек. – 3-е изд. – Л. : Энергия, 1978. – 832 с.
46. Ключев В. И. Теория электропривода : учеб. для вузов / В. И. Ключев. – 2-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.
47. Башарин А. В. Управление электроприводами : учеб. пособ. для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 392 с.
48. Кравчик А. Э. Выбор и применение асинхронных двигателей / А. Э. Кравчик, Э. К. Стрельбицкий, М. М. Шлаф. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 96 с.
49. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
50. Фираго Б. И. Теория электропривода : учеб. пособие / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Мн. : ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 527 с.
51. Егоров В. Н. Динамика систем электропривода / В. Н. Егоров, В. М. Шестаков. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.
52. Видеман Е. Конструкции электрических машин / Е. Видеман, В. Келленбергер. – Л. : Энергия, 1972. – 520 с.
53. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / [В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко]. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 522 с.
54. Метрологія та вимірювальна техніка : навч. посіб. / [В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, В. П. Долгополов, Л. В. Грумінська]. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 252 с.
55. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю : навч. посіб. / [Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк]. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 219 с.
56. Поджаренко В. О. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка : навч. посіб. / В. О. Поджаренко, В. В. Кухарчук. – К. : УМК ВО, 1991. – 240 с.
57. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / П. П. Орнатский. – К. : Вища школа, 1983. – 455 с.
58. Пристрої вимірювання та контролю характеристик електричних машин з газоманітним підвісом : монографія / [В. О. Поджаренко, В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков та ін.]. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 154 с.



59. Кучерук В. Ю. Элементы теории побудови систем технічного діагностування електромоторів : монографія / В. Ю. Кучерук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 195 с.
60. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П. П. Орнатский. – 5-е изд. – К. : Высшая школа. Головное изд-во, 1986. – 504 с.
61. Островский Л. А. Основы общей теории электроизмерительных устройств / Л. А. Островский. – Л. : Энергия, 1971. – 544 с.
62. Евланов Л. Г. Контроль динамических систем / Л. Г. Евланов. – 2-е изд. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 432 с.
63. Дятлов В. А. Контроль динамических систем / В. А. Дятлов, А. Н. Кабанов, Л. Т. Милов. – Л. : Энергия, 1978. – 88 с.
64. Грановский В. А. Динамические измерения. Основы метрологического обеспечения / В. А. Грановский. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 224 с.
65. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник : в 2 т. / под ред. В. В. Клюева. – 2-е изд. – М. : Машиностроение. – Кн. 1. – 1986. – 488 с. – Кн. 2. – 1986. – 352 с.
66. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / [В. Г. Блохин, О. П. Глудкин, А. И. Гуров, М. А. Ханнин] ; под ред. О. П. Глудкина. – М. : Радио и связь, 1997. – 232 с.
67. Тартаковский Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений : учебн. для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. – М. : Высшая школа, 2001. – 205 с.
68. Поліщук Є. С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин : підручник / Є. С. Поліщук. – Львів : Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 2000 – 360 с.
69. Калиниченко А. В. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике : учебно-практическое пособие / А. В. Калиниченко, Н. В. Уваров, В. В. Дойников ; под ред. А. В. Калиниченко. – М. : Инфа-Инженерия, 2008. – 576 с.
70. Пронкин Н. С. Основы метрологии. Практикум по метрологии и измерениям : учеб. пособ. для вузов / Н. С. Пронкин. – М. : Логос; Университетская книга, 2007. – 392 с.
71. Фридман А. Э. Основы метрологии. Современный курс / А. Э. Фридман. – С.Пб. : НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.

72. Метрологія. Терміни та визначення : ДСТУ 2681-94. – [Чинний від 1994-07-26]. – К. : Держстандарт України, 1994. – 68 с. – (Національні стандарти України).

73. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення : ДСТУ 3651.0-97. – [Чинний від 1997-10-09]. – К. : Держстандарт України, 1998. – 9 с. – (Національні стандарти України).

74. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення : ДСТУ 3651.1-97. – [Чинний від 1997-10-09]. – К. : Держстандарт України, 1998. – 31 с. – (Національні стандарти України).

75. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характеристичні числа. Основні положення, позначення, назви та значення : ДСТУ 3651.2-97. – [Чинний від 1997-10-09]. – К. : Держстандарт України, 1998. – 13 с. – (Національні стандарти України).

76. Вимоги до забезпечення якості засобів вимірювальної техніки. Частина 1. Система метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки : ДСТУ 3921.1-1999 (ISO 10012-1:1992). – [Чинний від 1999-10-15]. – К. : Держстандарт України, 2000. – 16 с. – (Національні стандарти України).

77. Потапов Л. А. Испытание микроэлектродвигателей в переходных режимах / Л. А. Потапов, В. Ф. Зотин. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 104 с.

78. Потапов Л. А. Измерение вращающих моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей / Л. А. Потапов, Ф. М. Юферов. – М. : Энергия, 1976. – 121 с.

79. Кухарчук В. В. Спосіб вимірювання моменту інерції ротора електричних машин / В. В. Кухарчук // Ученые записки Симферопольского государственного университета. – 1998. – Спец. выпуск. – С. 214–219.

80. Кухарчук В. В. Математична модель вимірювального перетворення моменту інерції ротора асинхронних машин / В. В. Кухарчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – № 2. – С. 62–70.

81. Кухарчук В. В. Аналіз метрологічних характеристик засобу прямого вимірювання моменту інерції / В. В. Кухарчук, Ю. О. Карпов,

І. К. Говор // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2003. – Т. 2. – С. 195–198.

82. Кучерук В. Ю. Аналіз та практична реалізація мікропроцесорного засобу вимірювання кутової швидкості обертання електричних машин / В. Ю. Кучерук, В. В. Кухарчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1995. – № 2. – С. 12–16.

83. Поджаренко В. О. Новий спосіб вимірювання моменту інерції електричних машин / В. О. Поджаренко, В. Ю. Кучерук // Автоматизація технологічних процесів та промислової екології. – 1997. – № 1. – С. 23–27.

84. Микропроцессорный регистратор быстропротекающих процессов / [В. Т. Маликов, В. А. Поджаренко, В. В. Кухарчук, П. Л. Мельничук] // Радиоизмерения. – 1985. – т. 3. – С. 104–111.

85. Поджаренко В. О. Експериментально-теоретичний метод визначення моменту інерції тіл обертання / В. О. Поджаренко, Ю. В. Шабатура, А. В. Поджаренко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 3, Т. 1. – С. 157–161.

86. Методологія побудови засобів вимірювання моменту інерції роторів електричних машин / [В. Ю. Кучерук, В. В. Кухарчук, В. Б. Дудикевич, А. В. Поджаренко] // Проблеми створення нових машин і технологій. Наукові праці Кременчуцького державного політехнічного інституту. – 2000. – Вип. 1/2000 (8). – С. 113–118.

87. Пат. 42988А Україна, МПК G 01 M 1/10. Спосіб визначення приведенного моменту інерції механізму / Кучерук В. Ю., Кухарчук В. В., Кулаков П. І., Поджаренко А. В. – № 200105964; заявл. 23.10.00; опубл. 15.11.01, Бюл. № 10. – 7 с.

88. Podzharenko V. A. New method of measurement of a moment of inertia of an electrical machines / V. A. Podzharenko, V. Yu. Kucheruk // XIV IMEKO World Congress. – Tampere (Finland). – 1–6 June 1997. – Vol. III. – Topics 3. – P. 90–95.

89. Поджаренко А. В. Безконтактне визначення моменту інерції конусного ротору в газоманітному підвісі / А. В. Поджаренко, О. Г. Ігнатенко, І. В. Коломійчук // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Донецьк : ДонНТУ. – 2009. – Вип. 17(148). – С. 160–164.

90. Поджаренко А. В. Метод вимірювання моменту інерції / А. В. Поджаренко // Вісник інженерної академії України. – 2010. – № 3–4. – С. 256–259.

91. 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.

92. Мокін О. Б. Ідентифікація параметрів моделей та оптимізація режимів системи електропривода трамвая з тяговими електродвигунами постійного струму : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.09.03 – «Електротехнічні комплекси та системи» / О. Б. Мокін. – К., 2006.

93. 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.

94. 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.

95. Sokol V. M. Determination of the moment of Inertia of the Rotor System / V. M. Sokol, A. V. Podzharenko // MEASUREMENT'97 : International Conference on Measurement Smolenice Castle near Bratislava, Slovak Republic, May 29–31, 1997.

96. Сокол В. М. Системная идентификация параметров роторных систем и on-line диагностика авиационных двигателей / В. М. Сокол // Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов. Сб. трудов IX межд. н.-т. конф., 12–19 декабря 2010 г. – Шарм эль Шейх (Египет), 2010. – С. 24–30.

97. Сокол В. М. Момент инерции вращающегося ротора как функция его геометрических параметров / В. М. Сокол // Актуальные проблемы измерений, управления и диагностики. Сб. трудов науч. конф., 24 ноября 2010 г. – Арад (Израиль), 2010. – С. 44–49. – (Арад : Изд. ИПИ, 2010. – 251 с.)

98. Sokol V. M. Continuous Measurement of Dynamic Parameters and Diagnostics of Rotor Systems / V. M. Sokol // Proceedings of National Conference «Scientific Researches in the Field of the Control and Diagnostics». – Arad : Publishing IASA, 2006. – Pp. 20–25.

99. Сокол В. М. Момент инерции и колебания статически неуравновешенного ротора / В. М. Сокол // Труды Института прогрессивных исследований. – Арад : Изд. ИПИ. – 2003. – Вып. 3. – С. 7–31.

100. Сокол В. М. Тензор инерции и колебания динамически неуравновешенного ротора / В. М. Сокол // Труды Института прогрессивн. исследований. – Арад: Изд. ИПИ. – 2004. – Вып. 4. – С. 13 – 20.

101. Поджаренко А. В. Комп'ютерно-вимірювальна система та її компоненти для оцінювання моменту інерції роторних систем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти» / А. В. Поджаренко. – Львів, 2010.

102. Васілевський О. М. Оцінювання невизначеності вимірювання моменту інерції ротора за амплітудою крутильних коливань / О. М. Васілевський, А. В. Поджаренко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 4. – С. 5–9.

103. Архангельский Г. В. Аналитический метод определения момента инерции маховика / Г. В. Архангельский // Труды Одесского политехнического университета. – 2006. – Вып. 2(26). – С. 1–5.

104. Andreescu G. D. Torque-speed adaptive observer and inertia identification without current transducers for control of electric drives / G. D. Andreescu, R. Rabinovici // International conference on electrical machines, Espoo, FINLANDE (28/08/2000). – 2000. – Pp. 1428–1432.

105. Трандафилов В. Н. Идентификация момента инерции электропривода ненормированным градиентным методом / В. Н. Трандафилов, В. В. Божко, О. И. Толочко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2011. – № 10(180) – С. 194–198.

106. Ведміцький Ю. Г. До питання розв'язку проблеми систематизації математичних моделей і методів перетворення моменту інерції. Огляд та перспектива / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006. – Вип. 3/2006 (38), Ч. 1. – С. 130–133.

107. Кухарчук В. В. Нові методи вимірювання моменту інерції в задачах автоматичного управління технічними системами / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький // XIII міжн. конф. з автоматичного управління (Автоматика-2006), 25–28 вересня 2006 р. : тези доп. – Вінниця, 2006. – С. 173.

108. Кухарчук В. В. Нові методи вимірювання моменту інерції в задачах автоматичного управління технічними системами / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький // Матеріали XIII міжнар. конф. з автоматичного управління (Автоматика-2006), м. Вінниця, 25–28 вересня 2006 р. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – С. 162–166.

109. Ведміцький Ю. Г. Вимірювальне перетворення і контроль моменту інерції механічних та електромеханічних систем в процесі їх експлуатації. Теорія і практика / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 4(113). – С. 47–55.

110. Пат. 27658 Україна, МПК G 01 L 3/10. Спосіб вимірювання моменту інерції ротора електричних машин / Ведміцький Ю. Г., Кухарчук В. В.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200707208; заявл. 26.06.07; опубл. 12.11.07, Бюл. № 18. – 8 с.

111. Ведміцький Ю. Г. Перетворювач моменту інерції з двома та більше ступенями вільності. Метод двох резонансів / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, В. В. Богачук // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2009) : II міжнар. наук.-практ. конф., 25–28 травня 2009 р. : тези доп. – К., 2009. – С. 292–294. – (К. : НАУ, 2009. – 366 с.).

112. Ведміцький Ю. Г. Метод двох резонансів / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, В. В. Богачук // Вісник Інженерної академії України. – 2009. – Випуск 1. – С. 108–111.

113. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1978. – 832 с.

114. Нікітченко М. С. Математична логіка : навч. посібник / М. С. Нікітченко, С. С. Шкільняк. – К. : ВПЦ «Київський університет», 2003. – 119 с.

115. Горбатов В. А. Фундаментальные основы дискретной математики. Информационная математика / В. А. Горбатов. – М. : Наука. Физматлит, 2000. – 544 с.

116. Зорич В. А. Математический анализ. У 2 ч. Ч. 1. / В. А. Зорич. – 2-е изд. – М. : ФАЗИС, 1997. – 554 с.

117. Ведміцький Ю. Г. Контроль моменту інерції електротехнічних комплексів та систем на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій : дис. ... кандидата техн. наук : 05.09.03 / Ведміцький Юрій Григорович. – Вінниця, 2013. – 260 с.

118. Добронравова І. С. Філософія та методологія науки : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / І. С. Добронравова, Л. І. Сидоренко. – К. : ВПЦ «Київський університет», 2008. – 223 с.

119. Жеребкін В. Є. Логіка : підручник / В. Є. Жеребкін. – 10-е вид. – К. : Знання, 2008. – 255 с.

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

121. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния / П. Эйкхофф; под ред. Н. С. Райбмана. – М. : Мир, 1975. – 683 с.

122. Гроп Д. Методы идентификации систем / Д. Гроп. – М. : Мир, 1979. – 302 с.

123. Шимони К. Теоретическая электротехника / К. Шимони. – М. : Мир, 1964. – 775 с.

124. Карпов Ю. О. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле : підр. для студ. вищ. навч. закл. / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 407 с.

125. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних колах. Синтез лінійних кіл. Електричні та магнітні нелінійні кола : підр. для студ. вищ. навч. закл. / [Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацев] ; за ред. Ю. О. Карпова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011. – 530 с.

126. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами : підр. для студ. вищ. навч. закл. / [Ю. О. Карпов, С. Ш. Кацев, В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький] ; за ред. Ю. О. Карпова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011. – 377 с.

127. Тамм И. Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – М. : Наука, 1976. – 620 с.

128. Теоретические основы электротехники : в 3 т. / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. – [4-е изд.]. – СПб. : Питер, 2003. – Т. 1. – 2003. – 463 с. – Т. 2. – 2003. – 576 с. – Т. 3. – 2003. – 377 с.

129. Пуанкаре А. Последние работы / А. Пуанкаре. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 208 с.

130. Биркгоф Дж. Д. Динамические системы / Дж. Д. Биркгоф. – Ижевск : Издательский дом «Удмуртский университет», 1999. – 408 с.

131. Манделъштам Л. И. Полное собрание трудов. В 5 т. Т. IV. Лекции по колебаниям (1930–32 гг.) / Л. И. Манделъштам; под ред. М. А. Леонтовича – М. : Издательство АН СССР. – 1955. – 512 с.

132. Андронов А. А. Теория колебаний / А. А. Андронов, Л. А. Витт, С. Э. Хайкин. – М. : Физматгиз, 1959. – 915 с.

133. Томпсон Дж. М. Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике / Дж. М. Т. Томпсон. – М. : Мир, 1985. – 254 с.
134. Мун Ф. Хаотические колебания. Вводный курс для научных работников и инженеров / Ф. Мун. – М. : Мир, 1990. – 312 с.
135. Анищенко В. С. Сложные колебания в простых системах. Механизмы возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиофизических системах / В. С. Анищенко. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 320 с.
136. Малинецкий Г. Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потапов. – М. : Эдиториал УРСС, 2000. – 336 с.
137. Лагранж Ж. Аналитическая механика : в 2 т. / Ж. Лагранж. – М.-Л. : Гостехтеориздат, 1950 – . – Т. I : Статика. Динамика. – 594 с.; Т. II : Динамика (продолжение). – 440 с.
138. Вариационные принципы механики. Сборник статей классиков науки / Под. ред. Л. С. Полак. – М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1959. – 932 с.
139. Павленко Ю. Г. Лекции по теоретической механике / Ю. Г. Павленко. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 392 с.
140. Добронравов В. В. Основы аналитической механики : учеб. пособие для вузов / В. В. Добронравов. – М. : Высшая школа», 1976. – 264 с.
141. Яковлев В. И. Предистория аналитической механики / В. И. Яковлев. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 328 с.
142. Скубов Д. Ю. Нелинейная электромеханика / Д. Ю. Скубов, К. Ш. Ходжаев. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 360 с.
143. Неймарк Ю. И. Динамика неавтономных систем / Ю. И. Неймарк, Н. А. Фуфаев. – М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1967. – 520 с.
144. Мартыненко Ю. Г. Аналитическая динамика электромеханических систем / Ю. Г. Мартыненко. – М. : МЭИ, 1984, – 64 с.
145. Ведміцький Ю. Г. Узагальнений перетворювач моменту інерції / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – Вип. 3/2008 (50) Частина 1. – С. 113–118.
146. Ведміцький Ю. Г. Система узагальненого перетворювача моменту інерції, його ознаки та властивості [Електронний ресурс] / Ю. Г. Ведміцький // IX Міжн. конф. «Контроль і управління в склад-



них системах» (КУСС-2008), 21–24 жовтня 2008 р. : тези доп. – Вінниця, 2008. – С. 2. – Режим доступу : [http://www.vstu.edu.ua/mccs2008/materials/subsection\\_2.1.pdf](http://www.vstu.edu.ua/mccs2008/materials/subsection_2.1.pdf).

147. Vedmitskiy Yu. G. System of generalized converter of inertia moment, its characteristics and properties [Електронний ресурс] / Yu. G. Vedmitskiy // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – № 3. – Рр. 1–8. – Режим доступу : [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2009-3/2009-3\\_en.files/en/09ygvscap\\_en.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2009-3/2009-3_en.files/en/09ygvscap_en.pdf).

148. Ведміцький Ю. Г. Узагальнений перетворювач моменту інерції. Теореми взаємодії / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, В. В. Богачук // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2009) : II Міжнар. наук.-практ. конф., 25–28 травня 2009 р., Київ : тези доп., 2009. – С. 342–344. – К. : НАУ, 2009. – 366 с.

149. Ведміцький Ю. Г. Рівняння Лагранжа як основа теорії перетворювачів моменту інерції // Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005. – № 3(32). – С. 89–91.

150. Ведміцький Ю. Г. Узагальнений перетворювач моменту інерції та теореми взаємодії / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, В. В. Богачук // Вісник Інженерної академії України. – 2009. – Вип. 1. – С. 112–115.

151. Ведміцький Ю. Г. Загальні закономірності процесу вимірювального перетворення моменту інерції / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. – 2009. – Вип. 2. – С. 67–71.

152. Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме : в 2 т. / Дж. К. Максвелл. – М. : Наука, 1989. – Т. 1. – 417 с.; Т. 2. – 437 с.

153. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) / Г. Крон. – М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1972. – 544 с.

154. Гарднер М. Ф. Переходные процессы в линейных системах с сосредоточенными постоянными / М. Ф. Гарднер, Дж. Л. Бэрнс. – 3-е изд. – М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1961. – 552 с.

155. Olson H. F. Dynamical Analogies / H. F. Olson. – New York : D. Van Nostrand Company, Inc., 1943. – 197 pp.

156. Ольсон Г. Динамические аналогии / Г. Ольсон. – М. : Гос. изд-во иностр. лит., 1947. – 224 с.

157. Гамбурцев Г. А. О составлении электромеханических аналогий / Г. А. Гамбурцев // Доклады АН СССР. – 1935. – Т. 4, № 8/9. – С. 303–306.

158. Гамбурцев Г. А. О существовании электромеханических аналогий / Г. А. Гамбурцев // Доклады АН СССР. – 1948. – 60(8). – С. 1335–1337.

159. Firestone F. A. A new analogy between mechanical and electrical systems / F. A. Firestone // Journ. of the Acoustic. Soc. of America. – 1933. – Vol. 4. – Pp. 249–267.

160. Firestone F. A. The mobility method of computing the vibration of linear mechanical and acoustical systems : mechanical-electrical analogies / F. A. Firestone // J. Appl. Phys. – 1938. – № 9. – Pp. 373–387.

161. Darrieus M. Les modèles mécaniques en électrotechnique leur application aux problèmes de stabilité / M. Darrieus // Bull. de La Societe Francaise Elect. – 1929. – Vol. 96. – Pp. 794–809.

162. Hähnle W. Die darstellung elektromechanischer gebilde durch rein elektrische schaltbilder / W. Hähnle // Wiss.Veröff. Siemens-Konz. – 1932. – Vol. 11. – Pp. 1–23.

163. Pawley M. The design of a mechanical analogy for the general linear electrical network with lumped parameters / M. Pawley // Franklin Inst., Journ. – 1937. – № 223. – Pp. 179–198.

164. Schönfeld J. C. Analogy of hydraulic, mechanical, acoustic and electrical systems / J. C. Schönfeld // Appl. Sci. Res. – 1954. – Vol. 3. – Pp. 417–450.

165. Herbert R. J. A mechanical analogy for coupled electrical circuits / R. J. Herbert // Review of Scientific Instruments. – 1932. – Vol. 3. – P. 287.

166. Pawley M. The design of a mechanical analogy for the general linear electrical network with lumped parameters / M. Pawley // Franklin Institute Journal. – 1937. – Vol. 223. – Pp. 179–198.

167. Mason W. P. Electrical and mechanical analogies / W. P. Mason // Bell System Technical Journal. – 1940. – Vol. 20. – Pp. 405–414.

168. Manley R. G. The electro-mechanical analogy in oscillation theory / R. G. Manley // Journal of the Royal Aeronautical Society. – 1943. – Vol. 47. – Pp. 22–26.

169. Фурдурев В. В. Электроакустика / В. В. Фурдурев. – М., Л. : Гос. изд-во техн. лит-ры, 1948. – 515 с.

170. Тетельбаум И. М. Модели прямой аналогии / И. М. Тетельбаум, Я. И. Тетельбаум. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – 384 с.

171. Хорафас Д. Н. Системы и моделирование / Д. Н. Хорафас. – М. : Мир, 1967. – 420 с.

172. Тетельбаум И. М. Практика аналогового моделирования динамических систем. Справочное пособие / И. М. Тетельбаум, Ю. Р. Шнейдер. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 384 с.
173. Шмутцер Э. Основные принципы классической механики и классической теории поля (канонический аппарат) / Э. Шмутцер. – М. : Мир, 1976. – 157 с.
174. Вибрации в технике : справочник : в 6 т. / Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М. : Машиностроение, 1978. – Т. 1 : Колебания линейных систем / Под ред. В. В. Болотина, 1978. – 352 с.
175. Бутенин Н. В. Введение в аналитическую механику / Н. В. Бутенин, Н. А. Фуфаев. – 2-е изд. – М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. «Наука», 1991. – 256 с.
176. Бутенин Н. В. Курс теоретической механики : учебник. В 2 т. Т. II. Динамика / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – 2-е изд. – М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. «Наука», 1979. – 544 с.
177. Гапонов А. В. Электромеханические системы со скользящими контактами и динамическая теория электрических машин / А. В. Гапонов // памяти А. А. Андропова. – М. : Изд-во АН СССР, 1955. – С. 196–214.
178. Коткин Г. Л. Аналитическая механика : дополнительные вопросы / Г. Л. Коткин, В. Г. Сербо. – Новосибирск : Новосибирский ун-т, 1987. – 84 с.
179. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики : учеб. для вузов / С. М. Тарг. – 10-е изд. – М. : Высшая школа, 1986. – 416 с.
180. Зарубин В. С. Математическое моделирование в технике : учеб. для вузов / В. С. Зарубин; под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – 2-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 496 с.
181. Gardonio P. On the Origins and Development of Mobility and Impedance Methods in Structural Dynamics / P. Gardonio, M. J. Brennan // *Journal of Sound and Vibration*. – 2002. – Vol. 249(3). – Pp. 557–573.
182. Самарский А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – 2-е изд. – М. : Физматлит, 2001. – 320 с.
183. Бахарев Н. П. Решение инженерных задач на основе межпредметных аналогий. На примере аналогий электрических и механических цепей : учебное пособие / Н. П. Бахарев, Е. А. Драгунова. – Тольятти : ТолПИ, 2005. – 66 с.
184. Ясинский С. А. Основы динамических аналогий в исследовательской деятельности / С. А. Ясинский. – СПб. : ВУС, 2004. – 164 с.

185. Gupta V. Equivalent Electrical & Mechanical Networks of Human Body / V. Gupta, G. Singh, A. Gupta, Sh. Sharma, R. Chandra // International Conference on Management and Service Science (Singapore). IPEDR. – 2011. – Vol.8. – Pp. 6–11.

186. Smith M. C. Synthesis of Mechanical Networks : The Inerter / Smith M. C. // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2002. – Vol. 47. – № 10. – Pp. 1648–1662.

187. Сунцов Н. Н. Методы аналогий в аэрогидродинамике / Н. Н. Сунцов. – М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1958. – 325 с.

188. Веников В. А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) : учеб. пособ. для вузов / В. А. Веников. – 2-е изд. – М. : Высшая школа, 1976. – 479 с.

189. Кирпичев М. В. Математические основы теории подобия / М. В. Кирпичев, П. К. Конаков. – М.–Л. : Изд-во Академии наук СССР, 1949. – 104 с.

190. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / Под. общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. – 9-е изд. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 440 с.

191. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов. – 8-е изд. – М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1977. – 440 с.

192. Кутателадзе С. С. Анализ подобия и физической модели / С. С. Кутателадзе. – Новосибирск : Наука, 1986. – 296 с.

193. Ильинский Н. Ф. Теория подобия в электромеханике / Н. Ф. Ильинский, М. А. Попов // Электричество. – 1988. – № 5. – С. 1–7.

194. Мамедов В. М. Электродинамическое моделирование электроприводов / В. М. Мамедов. – М.–Л. : Энергия, 1964. – 88 с.

195. Советов Б. Я. Моделирование систем : учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 3-е изд. – М. : Высшая школа, 2001. – 343 с.

196. Ведміцький Ю. Г. Узагальнені електричні схеми-аналоги неперервних динамічних систем довільного порядку / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. – 2010. – Вип. 2. – С. 63–69.

197. Ведміцький Ю. Г. Елементи теорії електродинамічного моделювання вимірювального перетворення і контролю моменту інерції. Проблематика, динамічні аналогії та принцип дуальності / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 5(80). – С. 25–30.

198. Ведміцький Ю. Г. Математична і електричні моделі вимірювальних перетворювачів моменту інерції в узагальнених координатах / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // «Проблеми і перспективи енергозбереження комунального господарства і промислових підприємств» : наук. семінар, 4–5 травня 2009 р. : тези доп. – Луцьк-Шацькі озера, ЛНТУ. – 2009. – С. 42–47.

199. Кухарчук В. В. Теорія динамічних аналогій в перетворенні моменту інерції тіл обертання та електричні моделі існуючих і можливих вимірювальних перетворювачів / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4, Ч. 1, Т. 1(68). – С. 122–128.

200. Кухарчук В. В. Математична і електричні моделі перетворювача моменту інерції тіл обертання з двома ступенями вільності / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький // VIII Міжн. конф. «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2005), 24–27 жовтня 2005 р. : тези доп. – Вінниця, 2005 р., – С. 69. – (Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 305 с.).

201. Кухарчук В. В. Математична і електричні моделі перетворювача моменту інерції тіл обертання з двома ступенями вільності / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 1(5). – С. 8–14.

202. Ведміцький Ю. Г. Математична і електричні моделі механічної частини шнекових дифузійних апаратів / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, А. М. Коваль // Вісник Інженерної академії України. – 2010. – Вип. 1. – С. 155–160.

203. Кухарчук В. В. Уточнені математична та електрична моделі мікромеханічних ємнісних акселерометрів / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький, В. Г. Мадьяров // Вісник Інженерної академії України. – 2009. – Вип. 2. – С. 121–125.

204. Кухарчук В. В. Вимірювальний канал частоти з нормованими метрологічними характеристиками. Стаціонарний режим / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький, В. Г. Мадьяров // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 6. – С. 5–9.

205. Кухарчук В. В. Вимірювальний канал частоти з нормованими метрологічними характеристиками. Стаціонарний режим / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький, В. Г. Мадьяров // Вісник в // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 1. – С. 5–8.

206. Ведміцький Ю. Г. Узагальнені структурна схема та математична модель засобів контролю моменту інерції / Ю. Г. Ведміцький,

В. В. Кухарчук // I Міжнар. наук. конф. пам'яті професора Володимира Поджаренка «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011)», 18–20 жовтня 2011 р. : тези доп. – Вінниця, ВНТУ. – 2011. – С. 164.

207. Ведміцький Ю. Г. Аналітичне квантування неперервних, кусково-неперервних та дискретних сигналів / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Інженерної академії України. – 2012. – Вип. 1. – С. 106–112.

208. Білинська М. Й. Оптико-електронні засоби контролю параметрів обертального руху на основі методу просторової модуляції : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / Білинська Марина Йосипівна. – Вінниця, 2005.

209. Застрогин Ю. Ф. Прецизионные измерения параметров движения с использованием лазера / Ю. Ф. Застрогин. – М. : Машиностроение, 1986. – 272 с.

210. Проектирование оптико-электронных приборов : учебник / [Ю. Б. Парвулюсов, С. А. Родионов, В. П. Солдатов и др.] ; под ред. Ю. Г. Якушенко. – 2-е изд. – М. : Логос, 2000. – 488 с.

211. Кухарчук В. В. Уточнені математичні і електричні моделі позиційно-чутливих детекторів / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. – 2010. – Вип. 2. – С. 116–120.

212. Кухарчук В. В. Архімедова спіраль в просторово-оптичному перетворенні кутової швидкості та моменту інерції тіл обертання / В. В. Кухарчук, М. Й. Білинська, Ю. Г. Ведміцький // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 1(9). – С. 164–168.

213. Ведміцький Ю. Г. Аналіз просторово-оптичної модуляції на відомих видах кривих в перетворенні кутової швидкості та моменту інерції / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2007. – Вип. 1/2007 (1). – С. 32–35. – (Кухарчук : КДПУ, 2007. – 72 с.).

214. Ведміцький Ю. Г. Узагальнена математична модель просторово-оптичного перетворення кутової швидкості та моменту інерції в задачах аналізу і синтезу / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 4(73). – С. 7–14.

215. Гурский Д. А. Вычисления в Mathcad 12 / Д. А. Гурский, Е. С. Турбина. – СПб. : Питер, 2006. – 544 с.

*Наукове видання*

**Юрій Григорович Ведміцький  
Василь Васильович Кухарчук**

**КОНТРОЛЬ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ  
НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕОРІЇ  
ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ АНАЛОГІЙ**

**Монографія**

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено Ю. Ведміцьким

Підписано до друку 12.05.2015 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 11,32  
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2015-13

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 ФОП Барановська Т. П.  
21021, м. Вінниця, вул. Порика, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.