

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

В. В. Кухарчук, В. В. Усов

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2011

УДК 621.3.08

ББК 31.221

K96

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 11 від 30.06.2011 р.)

Рецензенти:

В. Ю. Кучерук, доктор технічних наук, професор

В. П. Квасніков, доктор технічних наук, професор

Кухарчук, В. В.

K96 Автоматизований контроль параметрів крокових двигунів: монографія / В. В. Кухарчук, В. В. Усов. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 176 с.

ISBN 978-966-641-447-5

В монографії розв'язано задачу підвищення швидкодії вимірювального контролю кутових положень, а також статичного та пускового моменту крокових двигунів шляхом автоматизації вимірювальної процедури цих параметрів під час перехідного процесу об'єкта контролю. Для цього вдосконалено математичну модель чотирифазного крокового двигуна та його пускових характеристик, яка враховує низькочастотні провали моменту і явище змінення активного опору обмоток в результаті нагрівання. Це дозволило розробити нові методи вимірювального контролю кутових положень та пускових характеристик, що підвищують швидкодію більш як у 10 разів.

УДК 621.3.08

ББК 31.221

ISBN 978-966-641-447-5

© В. Кухарчук, В. Усов, 2011

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК КРОКОВИХ ДВИГУНІВ	7
1.1. Особливості об'єкта контролю	7
1.1.1. Статичні характеристики.	8
1.1.2. Пускові та вихідні характеристики.	14
1.2. Методи та засоби контролю кутових положень	16
1.3. Методи та засоби контролю статичних характеристик	18
1.4. Методи та засоби контролю пускових характеристик	23
1.5. Сенсори інформативних параметрів та засоби гальмівного моменту	26
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ	38
2.1. Аналіз математичної моделі двофазного крокового двигуна....	38
2.2. Розробка математичної моделі чотирифазного КД	48
2.3. Розробка математичної моделі пускових характеристик та критерію виходу крокового двигуна із синхронізму	55
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ.....	61
3.1. Сутність методу вимірювального контролю кутових положень крокового двигуна	61
3.2. Сутність методу автоматизованого контролю пускових характеристик крокового двигуна	62
3.3. Розробка вимірювального каналу кутових положень КД.....	63
3.4. Розробка вимірювального каналу статичних та пускових характеристик крокового двигуна	70
3.5. Практична реалізація засобу контролю параметрів КД.....	74
3.5.1. Вимірювальний канал кутових положень КД.....	76
3.5.2. Вимірювальний канал статичних та пускових характеристик крокового двигуна.....	83

РОЗДІЛ 4 ОЦІНЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	87
4.1. Експериментальні дослідження ВК кутових положень та ВК статичного і пускового моменту.....	87
4.2. Статичні характеристики.....	90
4.2.1. Вимірювальний канал кутових положень.	91
4.2.2. Вимірювальний канал статичного та пускового моменту..	95
4.3. Похибки вимірювання	98
4.3.1. Складові похибки ВК кутових положень.	99
4.3.2. Складові похибки ВК статичних та пускових характеристик.	115
4.4. Невизначеність вимірювання.....	121
4.4.1. Вимірювальний канал кутових положень.	122
4.4.2. Вимірювальний канал статичних та пускових характеристик.	125
4.5. Вірогідність контролю.....	127
4.5.1. Універсальний вимірювальний мікроскопом УИМ-200...	129
4.5.2. Помилки першого та другого роду ВК кутових положень.	132
4.5.3. Помилки першого та другого роду ВК статичних та пускових характеристик.	135
ВИСНОВКИ.....	138
ЛІТЕРАТУРА	141
Додаток А Результати комп'ютерного моделювання двофазного крокового двигуна.....	152
Додаток Б Результати комп'ютерного моделювання пускових характеристик крокового двигуна.....	155
Додаток В Результати комп'ютерного моделювання чотирифазного крокового двигуна.....	157
Додаток Д Алгоритм роботи автоматизованого засобу контролю ...	163
Додаток Е Фрагмент лістингу комп'ютерної програми засобу контролю кутових положень.....	165
Додаток Ж Схема електрична принципова ВК кутових положень ...	173
Додаток З Алгоритм моделювання вимірювального перетворення кута	174

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ЕРС – електрорушійна сила

ВК – вимірювальний канал

ЗВ – засіб вимірювання

ЗК – засіб контролю

СКП – сенсор кута повороту

СКВ – середнє квадратичне відхилення

КД – кроковий двигун

ВСТУП

Крокові двигуни широко використовуються в різних галузях народного господарства: в засобах комп'ютерної техніки, робототехніці та ін. Це пояснюється, в першу чергу, їх високою надійністю та можливістю точного позиціонування. Вони охоплюють широкий клас електричних машин, що мають різне призначення та конструктивні особливості. В цій роботі розглядаються перетворювачі електричної енергії в покроковий обертальний рух.

З метою оцінювання якості в процесі виробництва та експлуатації цих виробів необхідною умовою технологічного процесу є контроль їх параметрів. При цьому не вирішеною залишається проблема високої трудомісткості встановлення відповідності результатів вимірювання нормованим значенням, що зумовлена недосконалістю та низькою швидкістю сучасних технічних засобів.

Найбільш трудомістким і повністю неавтоматизованим є контроль кута повороту, що здійснюється на ручних стендах за допомогою вимірювального мікроскопа [1]. При цьому швидкодія складає 1-2 години на один перетворювач в залежності від кількості його кутових положень. Високою трудомісткістю характеризується також контроль його моментних характеристик. Наприклад, для отримання залежності статичного моменту утримання від кутового положення ротора необхідно витратити 2 години на один перетворювач [1], що пояснюється неавтоматизованістю операції створення гальмівного моменту. Крім того в процесі тривалої роботи збільшується ймовірність виникнення великих суб'єктивних похибок та промахів, викликаних, зокрема, стомленістю оператора.

Тому за таких умов в процесі серійного виробництва не можливо забезпечити контроль кожного виробу, що може призвести до значних матеріальних витрат як з боку виробника, так і споживача.

Отже, метою дослідження є підвищення швидкодії вимірювального контролю кутових положень, а також статичного та пускового моментів крокових двигунів шляхом автоматизації вимірювальної процедури цих параметрів під час перехідного процесу об'єкта контролю.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК КРОКОВИХ ДВИГУНІВ

1.1. Особливості об'єкта контролю

Крокові двигуни вже давно та успішно застосовуються в найрізноманітніших автоматизованих системах та пристроях приладобудування, таких як дисководи, принтери, сканери, факси, а також при автоматизації різного роду технологічних процесів та в дослідницькому устаткуванні [2-4].

Кроковий двигун (КД) – це пристрій, що перетворює електричні імпульси в дискретні обертальні механічні переміщення [2]. У зв'язку з таким характером руху виникають раптові стрибкоподібні зміни електричних і механічних параметрів, що складають основу всіх робочих режимів КД, і, по суті, представляють собою єдину, але дуже важливу його особливість. Ця відмінність має як позитивні, так і негативні моменти. Позитивним є те, що за рахунок покрокового режиму обертання досягається висока точність позиціонування ротора. Але одночасно з цим коливання кожного разу при переході він одного стійкого положення до наступного створюють серйозні труднощі як в керуванні та експлуатації, так і під час вимірювання параметрів крокових двигунів [4]. Тому дослідження якісних та кількісних відмінностей, характерних для цього типу електричних машин, є важливим для побудови системи контролю їх параметрів.

Для крокових двигунів виділяють два основні класи характеристик: статичні та моментні [2]. Кожна з них має свої особливості, характерні для цього типу електричних машин.

На рис. 1.1 наведено систематизацію характеристик КД, оцінювання яких під час контролю забезпечує базову перевірку працездатності та дає можливість встановити відповідність об'єкта контролю певним класам якості. Експериментальне оцінювання цих характеристик є досить трудомістким та складним, вимагає високої точності та надійності, що не можуть забезпечити сучасні засоби вимірювання. Тому для про-

ведення досліджень в повному об'ємі необхідно звернути особливу увагу на аналіз наведених характеристик та параметрів (рис. 1.1).

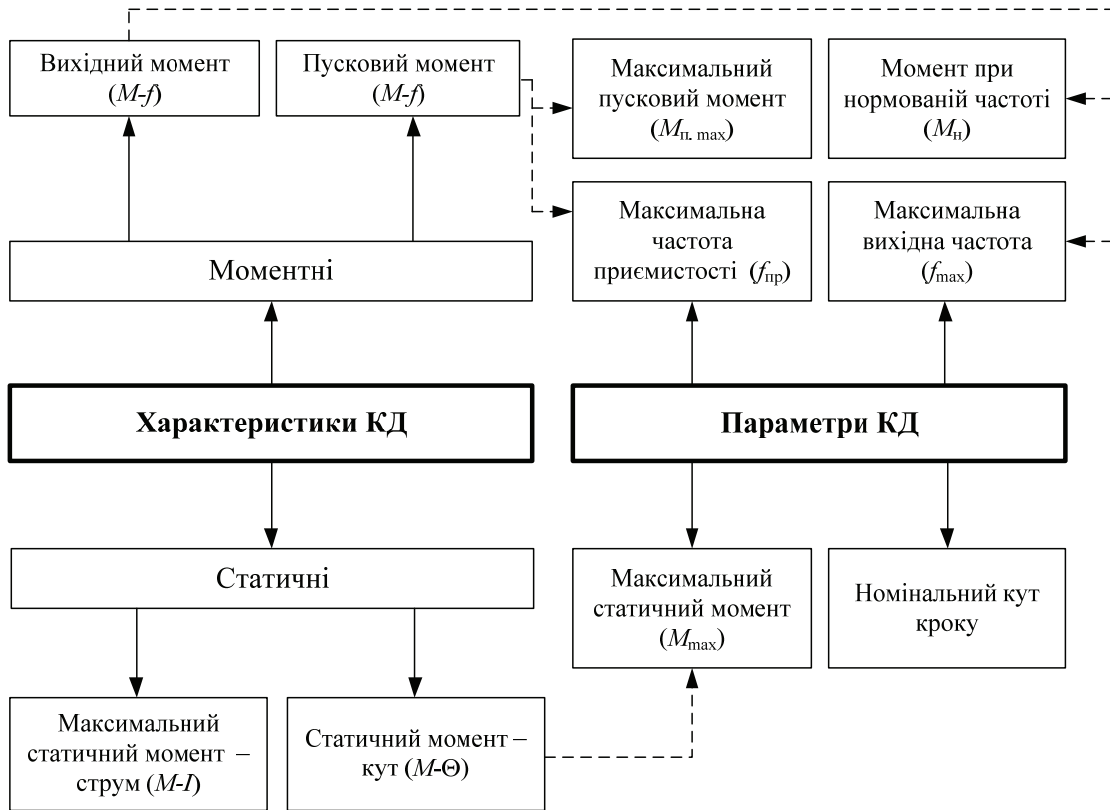


Рис. 1.1. Основні характеристики та параметри КД

Як правило, в паспортних даних крокових машин подаються не залежності механічних та електричних величин, а числові значення, що характеризують двигун у відповідних важливих динамічних чи статичних режимах роботи (номінальний кут повороту, максимальний утримуючий момент, максимальна частота розгону і т. д.). Ці параметри знаходяться відповідно в процесі оцінювання тих чи інших характеристик КД.

1.1.1. Статичні характеристики

Статичними називаються характеристики двигуна в стані спокою. До них відносять залежності: максимального статичного моменту від струму в фазах і статичного моменту утримання від кутового відхилення відносно положення рівноваги. Остання є найбільш важливою, оскільки характеризує навантажувальну здатність і дозволяє визначити максимальне значення синхронізуючого моменту КД [2].

Для ідеального крокового двигуна, що має N кроків на оберт, характеристика $M(\theta)$ розраховується таким чином [3]:

$$M(\theta) = M_{\max} \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot \lambda} \cdot \theta\right), \quad (1.1)$$

де M – статичний момент; M_{\max} – максимальний момент утримання (максимальний синхронізуючий момент); $\lambda = 2\pi / N$ – номінальний кут кроку; θ – кут повороту ротора.

Графічне представлення цієї залежності наведено на рис. 1.2.

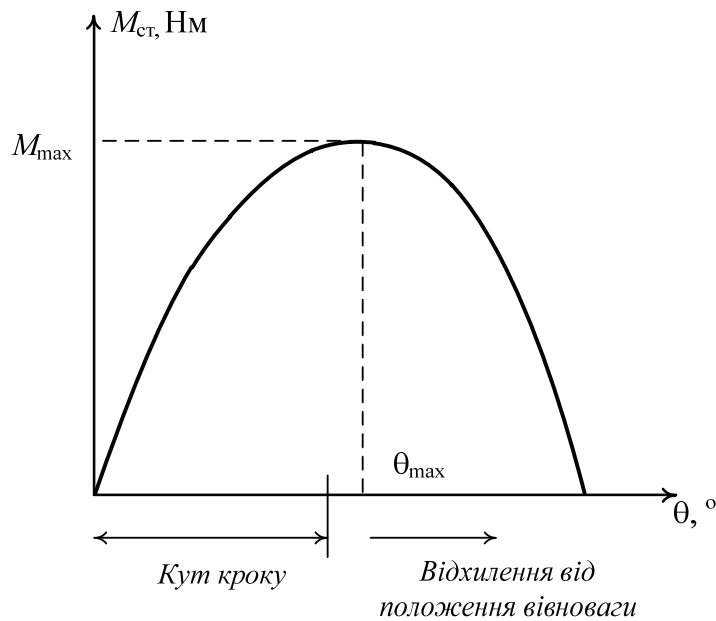


Рис. 1.2. Залежність статичного моменту від кутового відхилення

Утримуючий (синхронізуючий) момент визначається як максимальний статичний момент, який може бути прикладений до вала збудженого КД без наступного обертання. Як правило, цей момент відповідає точці $\theta = \theta_{\max}$ (див. рис. 1.2), причому кут θ_{\max} не обов'язково рівний куту кроку. Якщо кутове зміщення більше, ніж θ_{\max} , то статичний момент діє в напрямку наступного положення рівноваги.

В [4] подано інше представлення статичної характеристики, при якому крива $M(\theta)$ розміщена у другому та четвертому квадрантах, що пов'язано з представленням аргументу як кутової координати ротора. Тоді залежність (1.1) змінить знак на протилежний.

Як видно з (1.2), статична характеристика синусоїдальна, проте в реальному КД з неідеальною геометрією статора і ротора та насиченням різних ділянок магнітної системи вона буде відрізнятися амплітудою та формою. Тому в загальному випадку характеристика статичного синхронізуючого моменту містить нескінченний спектр гармонік.

На практиці враховують лише декілька перших членів гармонічного ряду, тому в залежності від їх кількості форма кривої $M(\theta)$ може наближатися до прямокутника, трапеції або трикутника [4]. Характерні форми таких статичних характеристик КД показані на рис. 1.3.

Всі наведені характеристики володіють одним з видів центральної симетрії, яка є показником того, що зубці статора і ротора мають симетричну форму, однаковий або кратний зубцевий крок і зміщенні один відносно одного на рівні кути. Відповідно при порушенні однієї з цих умов півхвилі залежності синхронізуючого моменту матимуть різну довжину [4]. Ця особливість дає можливість застосовувати симетричність статичної характеристики як один із критеріїв якості КД.

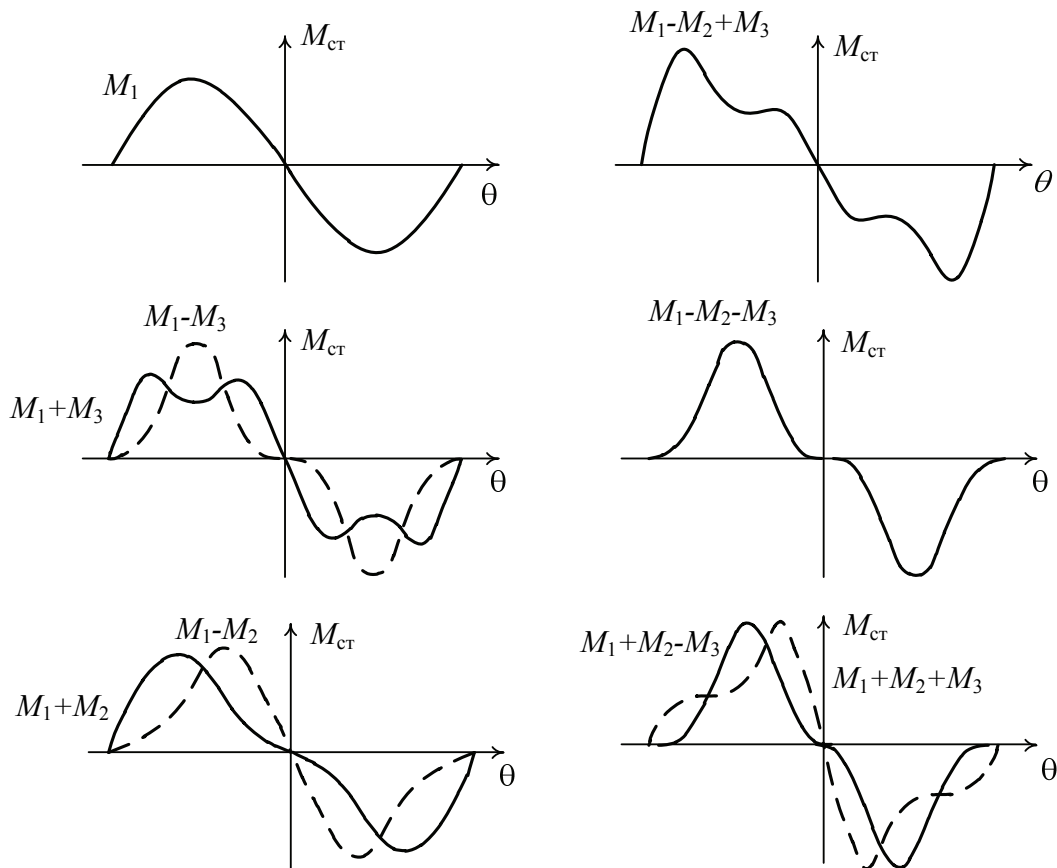


Рис. 1.3. Характерні форми статичних характеристик КД

Не менш важливою також є форма кривої $M(\theta)$. Для оцінювання її якості вводять поняття стійкої ділянки, що проходить через одну з точок стійкої рівноваги $\pm 2\pi k$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) і обмежена з обох боків першим додатнім та першим від'ємним максимумами моменту. Аналогічна ділянка, що знаходиться між двома найближчими максимумами і проходить через одну з точок нестійкої рівноваги $\pm\pi(2k+1)$ ($k = 0, 1, 2, \dots$), називається нестійкою [4].

Тоді якість кривої статичного синхронізуючого моменту оцінюється крутизною її стійкої вітки, тобто значенням питомого синхронізуючого моменту $dM/d\theta$ і глибиною провалу кривої.

Велике значення питомого моменту в межах стійкої вітки моментної характеристики забезпечує незначну кутову похибку в нерухомому положенні навантаженого двигуна. Якщо на ротор діє зовнішня сила, то він врівноважується в положенні, зміщеному відносно початку координат на деякий кут θ_μ , який, як показано на рис. 1.4а, тим менший, чим більша крутизна стійкої ділянки кривої $M(\theta)$ [4].

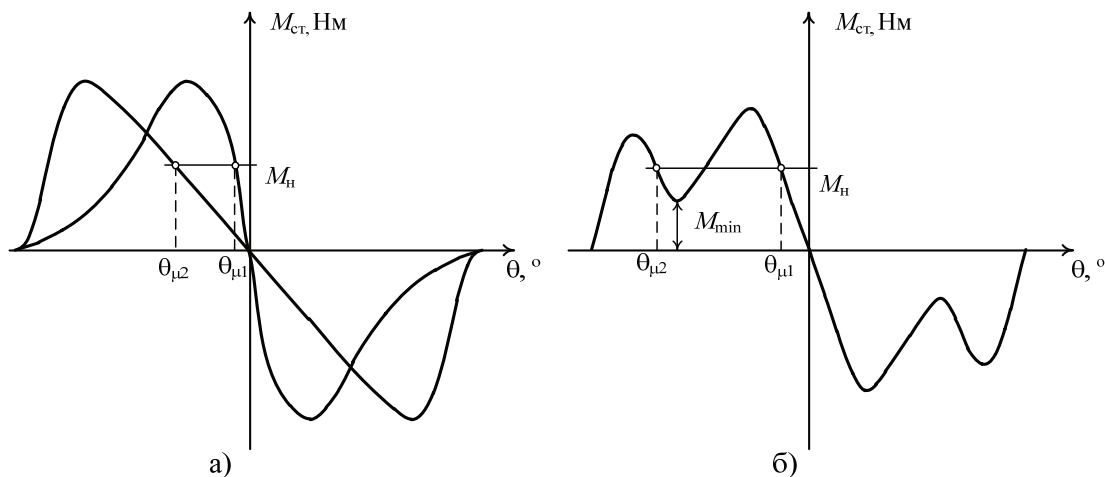


Рис. 1.4. Залежність статичної кутової похибки від жорсткості та форми характеристики статичного синхронізуючого моменту

Також статична характеристика може містити додаткові ділянки між границями її стійкої та нестійкої вітки, де похідна $dM/d\theta$ двічі змінює знак. Такі ділянки називають провалами. За своєю природою вони є негативними, оскільки обмежують допустимий момент наван-

таження значенням проміжного мінімуму синхронізуючого моменту (M_{\min}). В цьому випадку ротор при навантаженні може застрягати в паразитному стійкому положенні (див. рис. 1.4б). Це призводить до збільшення статичної похибки кута і створює додаткові коливання ротора в процесі обертання, крім того при переключенні обмоток крокового двигуна можливим є пропуск кроку за рахунок порушення нормальних умов переходу в наступне стійке положення [4].

У випадку, коли до вала КД буде прикладений зовнішній момент M_T , який менший за момент утримання M_{\max} , то він повернеться на деякий кут θ_3 , що розраховується так [3]:

$$\theta_3 = \frac{N}{2\pi} \sin\left(\frac{M_T}{M_{\max}}\right), \quad (1.2)$$

де N – кількість кроків на оберт.

Кутовий зсув θ_3 – це похибка позиціонування навантаженого крокового двигуна, яка буде присутня навіть в режимі холостого ходу. Це зумовлюється наявністю сил тертя у підшипниках. Обмежимося розглядом статичного тертя, для подолання якого необхідний постійний момент M_T (рис. 1.5а). Тоді результуюча крива статичної характеристики буде за межами штрихових ліній, що характеризують момент сил тертя (рис. 1.5б).

Таким чином/ амплітудне значення M_{\max} залежності $M(\theta)$ відповідно зменшиться на значення M_T . Крім того навколо стійкого кутового положення виникне так звана мертва зона (рис. 1.5б), ширина якої може бути розрахована з (1.2)

$$d = \frac{\theta_d}{\pi/4} \arcsin\left(\frac{M_T}{M_{\max}}\right), \quad (1.3)$$

де d – ширина «мертвої» зони в радіанах; θ_d – кут кроку в радіанах.

Наявність «мертвих» зон обмежує точність позиціонування КД. Наприклад, статичне тертя в половину від пікового моменту двигуна з кроком 90° спричиняє появу «мертвої» зони у 60° . Це означає, що крок може коливатися від 30° до 150° в залежності від того, в якій точці «мертвої» зони зупиниться ротор після чергового кроку [3].

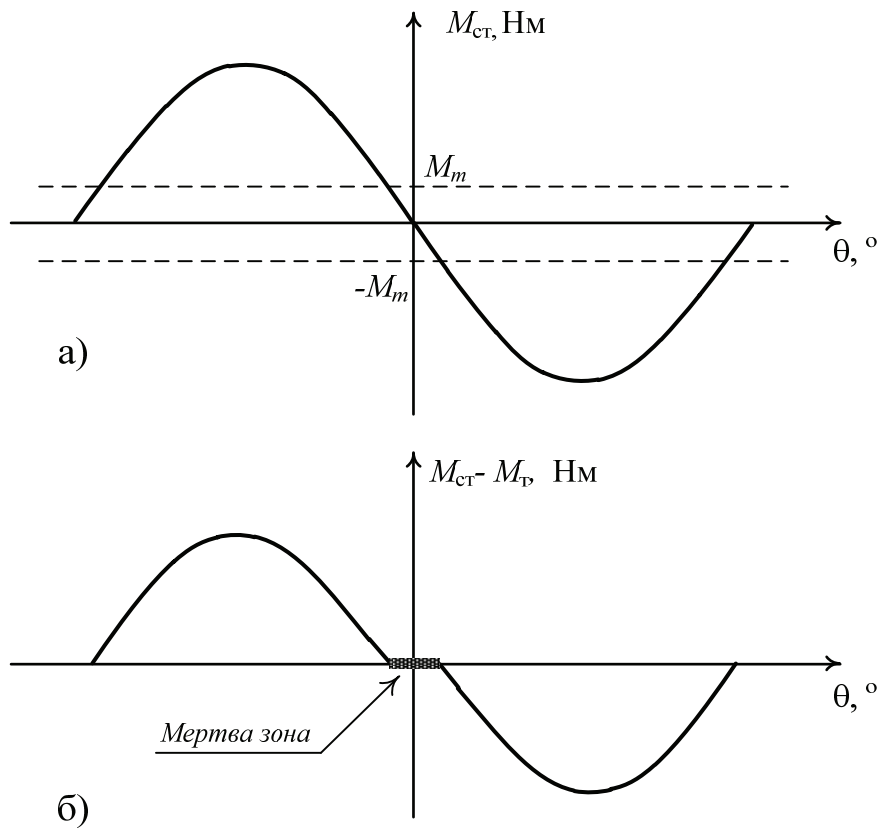


Рис. 1.5. Поява «мертвої» зони в результаті дії тертя

Утримуючий момент зростає із збільшенням струму в обмотках. Ця залежність називається $M_{\max}(I)$ характеристикою. На рис. 1.6 показані типові криві для реактивного та гібридного крокових двигунів з однаковим кутом кроку.

Для гібридних КД при відсутності живлення обмоток момент утримання не дорівнює нулю внаслідок дії постійних магнітів ротора (див. рис. 1.5). Цей момент називають фіксуєчим M_ϕ [2]. Як правило, він наближено складає 10 % максимального моменту утримання [3]. Залежність $M(I)$ в гібридних двигунах і у двигунах з постійними магнітами практично лінійна (рис. 1.6).

Момент реактивного крокового двигуна за відсутності збудження рівний нулю і при малих значеннях струму зростає за параболічною залежністю. При великих значеннях струму швидкість зростання моменту невелика через магнітне насичення осердя [2].

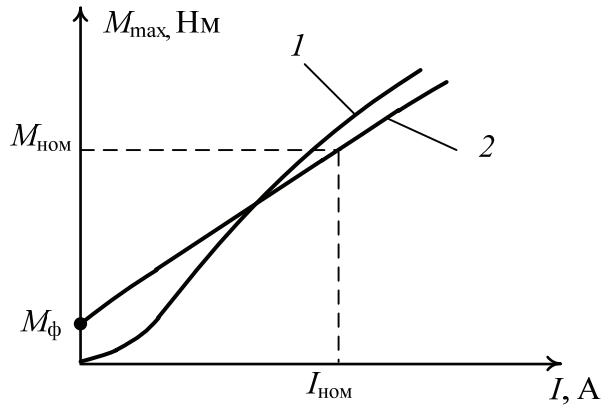


Рис. 1.6. Приклади $M(I)$ характеристик: 1 – для реактивного КД;
2 – для гібридного КД

1.1.2. Пускові та вихідні характеристики

Пускові та вихідні характеристики (або криві обертання) відносяться до класу моментних і характеризують момент крокового двигуна в процесі руху або на його початку. Вони представляють собою залежності моменту крокового двигуна від крокової частоти обертання. Тому, як правило, ці характеристики розглядаються сумісно [2]. На рис. 1.7 зображено типові залежності пускового та вихідного моментів.

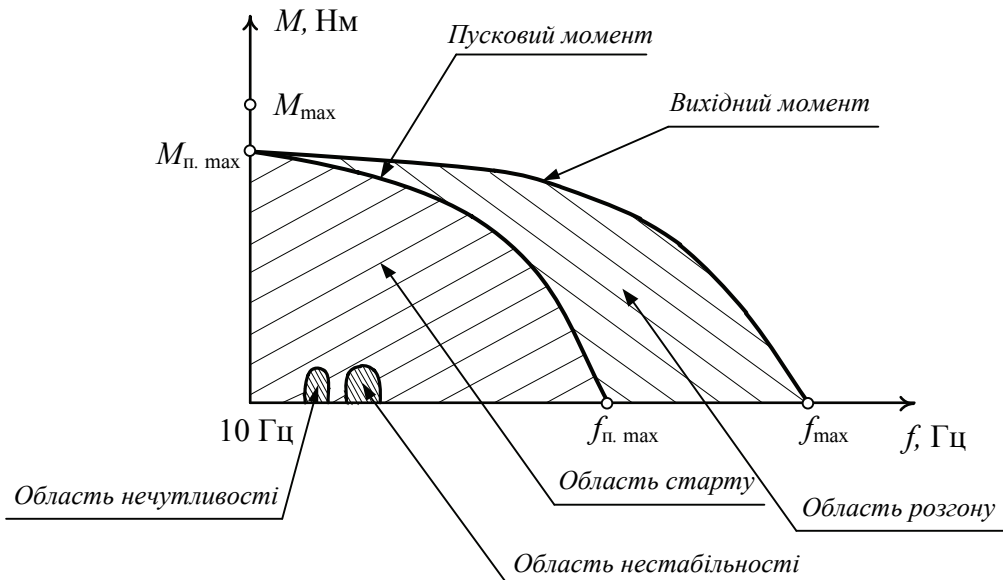


Рис. 1.7. Моментні характеристики (криві обертання)

Характеристика пускового моменту визначається діапазоном значень моменту навантаження, при якому двигун здатен запускатися і зупинятися без втрати кроків для різних частот. Ця крива перетинає вісь абсцис у точці, яка називається максимальною частотою розгону $f_{п.маx}$. Вона визначає максимальну частоту керуючих імпульсів, при якій ненавантажений двигун зданий запускатися. Максимальний пусковий момент $M_{п.маx}$ визначається як максимальний момент навантаження, при якому КД може запускатися і знаходитись в синхронізмі при частоті до 10 Гц [2].

Слід зауважити, що в загальному випадку максимальний пусковий момент $M_{п.маx}$ не рівний утримуючому моменту M_n . При синусоїдальній залежності статичного моменту від кутового положення ротора їх відношення складатиме [2]

$$\frac{M_{маx}}{M_{п.маx}} = \sqrt{2}. \quad (1.4)$$

При вимірюванні пускових моментів важливо визначити момент інерції на валу крокового двигуна, тип з'єднання та схему керування. Пускові характеристики знижуються при збільшенні моменту інерції навантаження, як це показано на рис. 1.8.

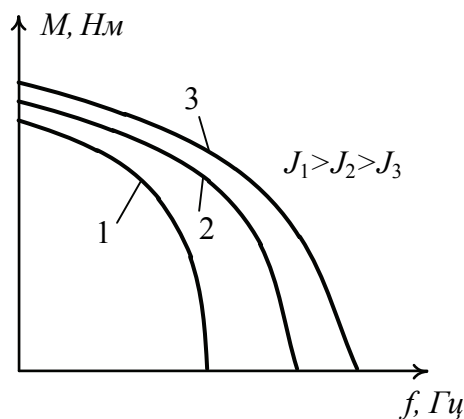


Рис. 1.8. Зміна пускових характеристик при зміні моменту інерції

Також необхідно визначити не лише максимальний, але і мінімальний момент навантаження. Оскільки кроковий двигун нездатний запускатися та підтримувати нормальне обертання при малих наванта-

женнях в певних діапазонах частот. Тому виникає зона нечутливості, в якій ротор не може здійснити крок через виникнення такого негативного явища, як низькочастотний резонанс. Вирішення цих проблем досягається за рахунок прикладення значного моменту навантаження та застосування спеціальних систем керування.

Окрім пускової також важливою є вихідна характеристика (або характеристика руху), яка показує залежність зміни моменту крокового двигуна на всьому діапазоні частот. Ця крива перетинає вісь абсцис у точці, що називається максимальною вихідною частотою обертання (див. рис. 1.7). Вона визначається як максимальна крокова частота обертання, при якій ненавантажений двигун може обертатися без пропуску кроків [2]. Область, що обмежується пусковою та вихідною характеристиками, називається областю розгону [3].

Загальна теорія, що описує ці характеристики [2], має низку недоліків, зокрема неврахування зон нечутливості та нестабільності, які визначаються експериментальним шляхом, наявність припущень та спрощень в розрахунках аналітичної залежності $M(f)$. Тому актуальною є задача математичного моделювання пускових характеристик.

1.2. Методи та засоби контролю кутових положень

Вимірювання кута повороту крокового двигуна є однією з важливих задач в процесі дослідження як статичних, так і моментних характеристик. Крім того будь-який КД характеризується номінальним кутом кроку, що є одним з основних його параметрів, оскільки він визначає як вартість самого двигуна, так і галузь його застосування. Тому одним з першочергових параметрів під час контролю є саме значення кута кроку.

Відомо, що виміряне значення цього кута різне для кожного стійкого положення [1]. Це залежить, в першу чергу, від конструкції та якості двигуна. Вважається, що якісні крокові двигуни мають похибку позиціонування 3...5 % від номінального значення кроку [3].

Відомий метод, описаний в [1], передбачає вимірювання значення кроку, за допомогою вимірювального мікроскопа УИМ-200, на якому закріплюється кроковий двигун зі стрілкою на роторі. Дослід прово-

дяться для кожного кутового положення. При цьому відносна похибка вимірювання не перевищує 1,5 %.

Основною перевагою описаного методу є висока точність, яка задовольняє задані метрологічні нормами і дозволить в подальшому застосовувати УИМ-200 для повірки засобу контролю кутових положень крокових двигунів.

Проте недоліком такого підходу є низька швидкодія. Так, для одного кутового положення процес вимірювання та розрахунку складає мінімум хвилину, а для двигунів з малим кутом кроку – від 1 до 2 годин, що унеможлиблює контроль кожного з них. Окрім цього наявність людського фактора спричиняє появу суттєвих суб'єктивних похибок, промахів.

Також відомим є засіб контролю похибок позиціонування крокових двигунів [5] за допомогою специфічного сенсора з двома рухомим 6 та нерухомим 5 автоколіматорами, які розташовані відповідно на валу крокового двигуна та корпусі 1 пристрою (рис. 1.9). Вимірювальна інформація з виходів приймачів автоколіматорів через інтерфейс 3 надходить до персонального комп'ютера 4.

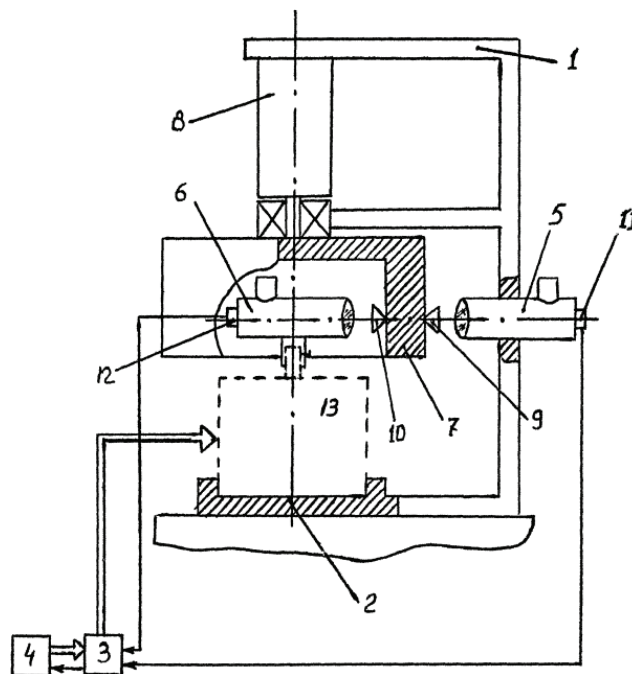


Рис. 1.9. Пристрій для контролю кута повороту крокового двигуна

Основною перевагою такої системи є забезпечення точного спряження вала двигуна з вимірювальною частиною установки. Але суттєвим недоліком є неврахування коливань вала крокового двигуна навколо стійких положень, що призводить до зниження точності вимірювань та вірогідності контролю. Також такий підхід значно ускладнює конструктивне виконання засобів контролю, що робить економічно неефективним їх серійне виробництво.

В сучасних галузях використання крокових двигунів, де необхідно поєднання як точності, так і автоматизації вимірювального процесу, необхідне вдосконалення описаних методів, шляхом зменшення похибки і збільшення швидкодії вимірювального контролю.

1.3. Методи та засоби контролю статичних характеристик

Один з відомих методів оцінювання статичної характеристики $M(\theta)$ полягає у вимірюванні кутового зміщення вала крокового двигуна від положення рівноваги при збільшенні моменту навантаження, коли заживлена одна або дві обмотки [2]. В найпростішому випадку як навантаження використовується набір гирьок, що підвішують на сталю струну, яка закріплена на шківу, що жорстко зв'язаний з валом двигуна (рис. 1.10).

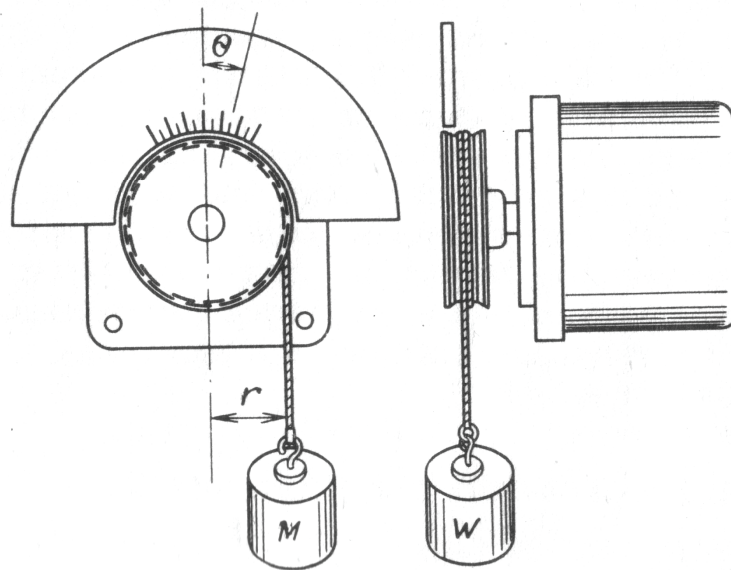


Рис. 1.10. Засіб вимірювання $M(\theta)$ характеристик

Відповідно до методики, що описана в [2], досліджуваний кроковий двигун знаходиться в стаціонарних умовах і живиться номінальним струмом за одно- або двофазною схемою збудження. У випадку, коли навантаження рівне нулю, ротор крокового двигуна знаходиться в початковому положенні рівноваги. Якщо маса збільшується, приймаючи значення m_1, m_2, m_3, \dots , то ротор повертатиметься за годинниковою стрілкою, займаючи відповідні кутові положення $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$. Момент навантаження, що прикладається до вала крокового двигуна, буде визначатися таким чином:

$$M_i = r \cdot m_i g, \quad (1.5)$$

де r – радіус шківів.

На рис. 1.11 наведено графік залежності моменту навантаження M_i від кута θ_i . При збільшенні зміщення момент поступово досягає максимуму в точці θ_{\max} , яка відповідає максимальному статичному моменту або моменту утримання.

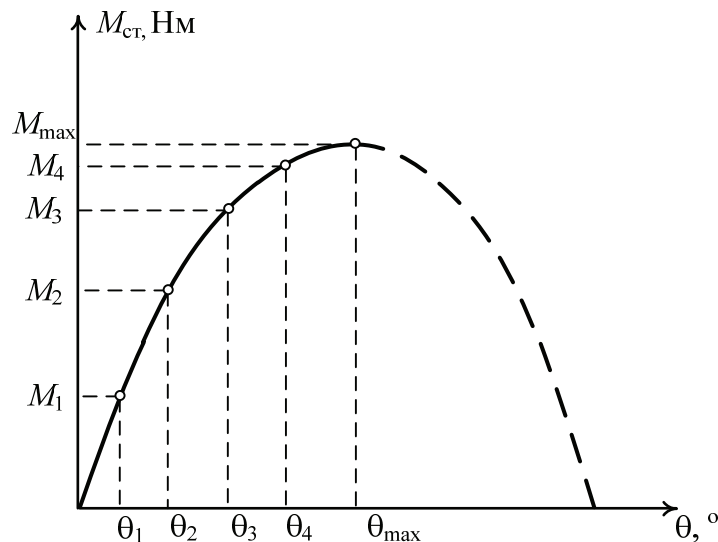


Рис. 1.11. Характеристика $M(\theta)$

Одним з недоліків пристрою, наведеного на рис. 1.10. є те, що характеристика $M(\theta)$ для кутів, які більші ніж θ_{\max} (пунктирна лінія на рис. 1.11), не може бути виміряна. Крім того ручна зміна навантаження та великий час заспокоєння значно знижують швидкість процесу контролю.

В [6] описана комплексна система для знаття статичних характеристик крокових двигунів. Як сенсор кута повороту застосовується фотоелектричний сенсор, а фрикційне гальмо як навантажувальний пристрій (рис. 1.12).

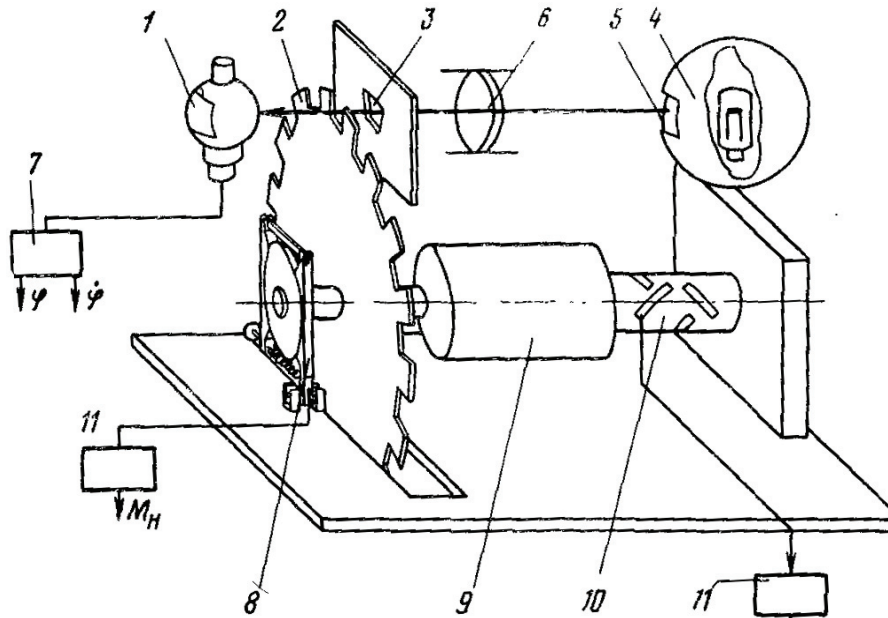


Рис. 1.12. Функціональна схема ЗВ статичних характеристик

Очевидним недоліком цього пристрою є низька роздільна здатність сенсора, що не дозволяє дослідити характеристику $M(\theta)$ на всіх її ділянках, а використання фрикційного гальма не дозволяє змінювати момент навантаження в автоматичному режимі.

Також в [7, 8] описаний пристрій, за допомогою якого можна отримати повне сімейство статичних характеристик (рис. 1.13). Момент навантаження створюється самогальмівною передачею СП, що зв'язана з ротором КД через торсіометр Т. Збільшення навантаження за допомогою СП виводять двигун з положення рівноваги, при номінальному струмі живлення обмотки, що регулюється потенціометром П. Кути розугодження і моменти визначають за індикаторами I_1 та I_2 .

Головним недоліком описаного пристрою є наявність люфтів в передачі, місцях з'єднання валів та пружного елемента торсіометра. Також відсутність автоматизації процесу вимірювання призводить до побудови кривої $M(\theta)$ по точках, дискретність якої залежить від точності позиціонування СП.

ЛІТЕРАТУРА

1. Двигатели электрические шаговые. Технические условия: ПТО.312.002ТУ. – М., 1988. – 88 с.
2. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Такаши Кенио; пер. с англ. - М. : Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.
3. Ридико Л. И. Шаговые двигатели / Л. И. Ридико // Схемотехника. – 2002. – № 1. – С. 32–40.
4. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / [Ивоботенко Б. А., Рубцов В. П., Садовский Л. А. и др.]; под ред. М. Г. Чиликина. – М. : Энергия, 1971. – 624 с.
5. Пат. 15258 Україна, МПК₇ G 01 B 11/26. Стенд вимірювання похибок позиціонування валів крокових двигунів / В. О. Тирса, В. О. Алексеєв; К. І. Богатиренко, О. В. Горушкін; заявник і власник Харківське відділення українського республіканського міжгалузевого науково-технічного об'єднання «Пріоритет». – №94012231; заявл. 18.01.94; опубл. 30.06.97, Бюл. № 3.
6. Цаценкин В.К. Прибор для определения параметров шагового электропривода / В.К. Цаценкин, В.Г. Прытков. –М., 1964. – 35 с. – Деп. в ГОСИНТИ, ПНТПО, №26-63-173/4.
7. Борисов Д. С. Стенд для испытаний электрических шаговых двигателей / Д. С. Борисов, А. Е. Кобринский, А. Р. Сакаян. –М. : 1963. –40 с. – Деп. в ГОСИНТИ, ПНТПО, №26-63-173/4.
8. Садовский Л. А. Методика экспериментального исследования шаговых двигателей / Л. А. Садовский // Электромеханика. – 1964. – № 56. – С. 50–55.
9. А. с. 227443 СССР, МКИ³ В 25 J 15/00. Устройство для снятия механических характеристик вращающихся машин / К. Д. Гутерман, Н. Ф. Ильинский, В. К. Цаценкин. – № 227443, заявл. 23.11.66; опубл. 30.03.68, Бюл. № 30.
10. Ивоботенко Б. А. Экспериментальное определение статического синхронизирующего момента шаговых электродвигателей / Б. А. Ивоботенко // Электричество. – 1962. – № 4. – С. 15-20.
11. Аш Ж. Датчики измерительных систем. Кн. 1. / Ж. Аш; пер. с фр. – М. : Мир, 1992. – 480 с.

12. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник / Дж. Фрайден; пер. с англ. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.
13. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога / У. Болтон; пер. с англ. – М. : Издательский дом «Додэка–XXI», 2002. – 384 с.
14. Левшина Е.С. Электрические измерения физических величин : учеб. пособие для вузов / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
15. Метрологія та вимірювальна техніка / [В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, В. П. Долгополов, Л. В. Грумінська]; під ред. В. В. Кухарчука. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 252 с.
16. Метрологія та вимірювальна техніка. Лабораторний практикум: начальний посібник / [В. О. Поджаренко, В. В. Кухарчук, П. І. Кулаков, В. Ю. Кучерук] – Вінниця : ВДГУ. – 2001. – 115 с.
17. Основи метрології та вимірювальної техніки. Т1. Основи метрології / [М. Дорожовець, В. Мотало, В. Василюк та ін.]; під ред. Б. Стадник. – Львів : Львівська політехніка, 2005. – 532 с.
18. Основи метрології та вимірювальної техніки. Т2. Вимірювальна техніка / [М. Дорожовець, В. Мотало, В. Василюк та ін.]; під ред. Б. Стадник. – Львів : Львівська політехніка, 2005. – 656 с.
19. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин / [Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б. І. Стадник та ін]. – Львів : БІТ, 2008. – 618 с.
20. Kuharchuk V. Optic-electronic control device of the turning angle and angular velocity / V. Kuharchuk , M. Bilynska, V. Usov // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2005). Тези доповідей восьмої міжнародної науково-технічної конференції. – 2005. – С. 61.
21. Кухарчук В. В. Оптико-електронний засіб контролю кута повороту та кутової швидкості / В. В. Кухарчук, М. Й. Білинська, В. В. Усов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №1 – С. 180-186.
22. Домрачев В. Г. Цифровые преобразователи угла / В. Г. Домрачев, Б. С. Мейко. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 328 с.
23. Виглеб Г. Датчики / Г. Виглеб; пер. с нем. – М. : Мир, 1989. – 196 с.
24. Козловський А. В. Мікропроцесорні засоби вимірювання контролю обертового моменту / А. В. Козловський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 125 с.

25. Малиновский. В. Н. Электрические измерения (с лабораторными работами) : учебник для техникумов / В. Н. Малиновский. – М. : Энергоиздат, 1982. – 392 с.
26. Преобразователи угловых перемещений ЛИР. Технические условия. ЛИР – 158.000ТУ – СПб.: Специальное конструкторское бюро информационно-измерительных систем. – 2003. – 24 с.
27. Пат. 58603 Україна МПК (2006) G01R 21/06. Канал вимірювання струму і напруги / В. С. Голуб; – № 200500972; заявл. 03.02.2005, опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7.
28. Рыбальченко Ю. И. Магнитоупругие датчики крутящего момента / Ю. И. Рыбальченко. – М. : Машиностроение, 1981. – 128 с.
29. Осипович Л. А. Датчики физических величин / Л. А. Осипович. – М. : Машиностроение, 1979. – 159 с.
30. Измерение электрических и неэлектрических величин : учеб. пособие для вузов / [Н. Н. Евтихийев, Я. А. Купершмидт, В. Ф. Папуловский, В. Н. Скугоров]; под. ред. Н. Н. Евтихьева. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
31. Потапов Л. А., Юферов Ф. М. Измерение вращающих моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей / Л. А. Потапов, Ф. М. Юферов. – М. : Энергия, 1976. – 121с.
32. Kenjo Takashi. Stepping Motors and their Microprocessor Controls / Takashi Kenjo, Akira Sugawara. – Oxford : Oxford University Press, 1995. – 292 p.
33. Yeadon W. H. Handbook of Small Electric Motors / W. H. Yeadon, A. W. Yeadon. – NY : McGraw-Hill, 2001. – 250 p.
34. Acarnley P. P. Stepping motors: a guide to modern theory and practice / P. P. Acarnley. – NY : P. Peregrinus, 1984. – 280 p.
35. Kuo C. B. Theory and application of step motors / C. B. Kuo. – NY: West Publishing Co, 1974. – 376 p.
36. Athani V. V. Stepper Motors :Fundamentals Applications and Design / V.V. Athani. – NY : New Age International Pvt Ltd, 2002. – 233 p.
37. Marek Novotny. The design and the control of a linear motor drive for micropositioning: master of science thesis: 01.03.2003 / Marek Novotny. – NY, 2003. – 38 p.
38. Hughes A. Start/stopping rates of stepping motors: Improvement and prediction / A. Hughes, P. J. Lawrenson, P. P. Acarnley // Proc. International conference on stepping motors and systems. – 1976. – № 2. – P. 150–157.

39. Russell A. P. Analysis of single-step damping in a multistack variable reluctance stepping motor / A. P. Russell, I. E. D Pickup // *Electric Power Applications, IEE Proceedings*. – 1996. – № 1. – P. 95–107.

40. Ивоботенко. Б. А. Проектирование шагового электропривода / [Б. А. Ивоботенко, В. Ф. Козаченко]; под ред. Л.А.Садовского. – М. : Моск. энерг. ин-т, 1985. – 100 с.

41. Кухарчук В. В. Математичні моделі крокового двигуна як об'єкта контролю / В. В. Кухарчук, В. В. Усов // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. Частина 1. – 2006. – № 3. – С. 106–109.

42. Козловський А. В. Аналіз адекватності лінеаризованої моделі крокового двигуна / А. В. Козловський // *Книга за матеріалами п'ятої міжнародної науково-технічної конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС–99)*. Том 2. – 1999. – С. 160–164.

43. Козловський А. В. Лінеаризація та аналіз адекватності математичної моделі крокового двигуна / А. В. Козловський // *Сборник трудов международного симпозиума «Наука и предпринимательство»*. – 1999. – С. 147–150.

44. Исаков В. Б. Элементы численных методов / В. Б. Исаков. – М.: Академия, 2003 – 192 с.

45. Заварыкин В. М. Численные методы: учеб. пособие для студентов физ.-мат. спец. пед. ин-тов / В. М. Заварыкин, В. Г. Житомирский, М. П. Лапчик – М. : Просвещение, 1990. – 176 с.

46. Ортега Дж. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений / Дж. Ортега, У. Пул; пер. с англ.– М. : Наука. Гл. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с.

47. Сальвадори М. Дж. Численные методы в технике / М. Дж. Сальвадори; пер. с англ. – М. : Издательство иностранной литературы, 1955. – 245 с.

48. Тарасович Ю. Ю. Численные методы на Mathcad'е / Ю. Ю. Тарасевич. – Астрахань: Астраханский пед. ун-т, 2000. – 70 с.

49. Дьяконов В. П. Справочник по MathCAD PLUS 7.0 PRO / В. П. Дьяконов. – М. : СК Пресс, 1998. – 352 с.

50. Дьяконов В. П. MathCAD 7 в математике, в физике и в Internet. / В. П. Дьяконов, И. В. Абраменкова – М. : Нолидж. – 1998. – 352 с.

51. Нортроп Т. Основы разработки приложений на платформе Microsoft .NET Framework: учебный курс Microsoft / Т. Нортроп,

Ш. Уилдермьюс, Б. Райан; пер. с англ. – М. : Русская Редакция, 2007. – 864с. – ISBN 978-5-7502-0297-3.

52. Стэкер М. А. Разработка клиентских Windows-приложений на платформе Microsoft .NET Framework: учебный курс Microsoft / М. А. Стэкер, Т. Нортроп, С. Дж. Стэйн; пер. с англ. – М. : Русская Редакция, 2008. – 624с. – ISBN 978-5-7502-0313-0.

53. Усов В. В. Метод прискореного контролю пускових характеристик крокових двигунів: [Електронний ресурс] / В. В. Усов // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – № 2. – Режим доступу до журналу: http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009_2_ua/2009-2.files/uk/09vvumsc_ua.pdf

54. Копылов И. П. Справочник по электрическим машинам / И. П. Копылов. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

55. Лотоцкий К. В. Электрические машины и основы электропривода / К. В. Лотоцкий. – М. : Колос, 1964. – 497 с.

56. Кухарчук В. В. Вимірювальний канал та методика нормування похибок кутового положення крокового двигуна / В. В. Кухарчук, В. В. Усов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 2 – С. 5–9.

57. Кухарчук В. В. Мікропроцесорний засіб вимірювання кутового положення крокових двигунів / В. В. Кухарчук, М. Й. Білинська, В. В. Усов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2005. – № 3. – С. 165–167.

58. Кухарчук В. В. Вимірювальний канал та методика нормування похибок кутового положення крокового двигуна / В. В. Кухарчук, В. В. Усов // XIII Міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика-2006). Тези доповідей. – 2006. – С. 183.

59. ГОСТ 8.009–72. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М. : Госкомстандарт, 1976. – 50 с.

60. Левитский Н. И. Колебания в механизмах / Н. И. Левитский. – М. : Наука, 1988. – 336 с.

61. Болотин В. В. Вибрации в технике. Т. 1. Колебания линейных систем: справочник / В. В. Болотин. – М. : Машиностроение, 1978. – 352 с.

62. Чурабо Д. Д. Детали и узлы приборов. Конструирование и расчёт / Д. Д. Чурабо. – М. : Машиностроение, 1975. – 559 с.

63. Гринченко В. Т. Гармонические колебания и волны в упругих телах / В. Т. Гринченко, В. В. Мелешко. – К. : Наукова думка, 1981. – 284 с.

64. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко. – М. : Наука, 1967. – 444 с.
65. Генкин М. Д. Вибрации в технике. Т. 5. Измерения и испытания: справочник / М. Д. Генкин. – М. : Машиностроение, 1981. – 496 с.
66. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навчальний посібник / [Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк]. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219 с.
67. Ціделко В. Д. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання / В. Д. Ціделко, Н. А. Яремчук. – К. : ІВЦ Видавництво Політехніка, 2002. – 176 с.
68. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / П. П. Орнатский. – К. : Вища школа, 1983. – 319 с.
69. Полішко С. П. Точність засобів вимірювання / С. П. Полішко, О. Д. Трубенюк. – К. : Вища школа, 1992. – 173 с.
70. Кухарчук В. В. Динамічні та статичні метрологічні характеристики вимірювального каналу кутових положень крокових двигунів / В. В. Кухарчук, В. В. Усов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Частина 2. – 2008. – № 4. – С. 135–140.
71. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
72. Показатели точности измерений и формы представления результата измерения : ГОСТ 8.011–72. – [Действителен с 01-01-1976]. – М. : Госкомстандарт, 1976. – 52 с.
73. Показатели точности измерений и формы представления результата измерения : ГОСТ 8.401–80. – [Действителен с 01-02-1980]. – М. : Госкомстандарт, 1980. – 55 с.
74. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы и способы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров : МИ 1317-86. – [Действителен с 11-03-1986]. – М. : Госкомстандарт, 1986. – 65 с.
75. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. МИ 2083-90. – [Действителен с 04-12-1990]. – М. : Госкомстандарт, 1990. – 65 с.

76. Кыдряшова М. Ф. Рекомендация по методам обработки результатов наблюдений при прямых измерениях / М. Ф. Кыдряшова, С. Г. Рабинович, К. А. Резник // Труды метрологических институтов СССР. – 1972. – № 134. – С. 3–118.
77. Лактионов Б. И. Метрология и взаимозаменяемость / Б. И. Лактионов, Я. М. Радкевич. – М. : Издательство МГГУ, 1995. – 216 с.
78. Мах Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Т.1 / Ж. Мах; пер. с фр. – М. : Мир, 1983. – 312 с.
79. Мах Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Т.2 / Ж. Мах; пер. с фр. – М. : Мир, 1983. – 256 с.
80. Осадчий Е. П. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Е. П. Осадчий. – М. : Машиностроение, 1979. – 480 с.
81. Фемке А. В. Электрические измерения / А. В. Фемке. – Л. : Энергия, 1980 – 392 с.
82. Муфты мембранные. Технические условия. ЛИР-801.000ТУ. – СПб. : Специальное конструкторское бюро информационно-измерительных систем. – 2003. – 5 с.
83. К вопросу о точности угловых энкодеров. – М. : Техническое издание отдела преобразователей линейных и угловых перемещений Renishaw plc. – 2005. – 5 с.
84. Пат. 49621 Україна МПК (2006) G01B 5/24. Пристрій для центрування валів і муфт механізмів / Є. О. Хлопов, К. В. Кузьмінов, Є. П. Метелін; заявник і власник патенту Національна гірнична академія України. – № 2002010218; заявл. 08.01.2002; опубл. 16.09.2002, Бюл. № 9.
85. Каминский М. Л. Центровка валов электрических машин / М. Л. Каминский. – М. : Энергия, 1972. – 72 с.
86. Руководство по выражению неопределенности измерения. – СПб. : Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, 1999. – 136 с.
87. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. – ISO, Switzerland, 1993. – 137 p.
88. Selivanov M. N. Uncertainty of a measured result and confidence error of measurements / M. N. Selivanov // Measurement Techniques. – 2005. – № 37. – P. 872-878.
89. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений». – Минск: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 26 с.

90. Rabinovich S. G. Measurement Errors and Uncertainties. Theory and Practice: Third Edition / S. G. Rabinovich. – NY : Springer, 2005. – 308.
91. Кухарчук В. В. Оцінка невизначеності вимірювального каналу кутових положень крокових двигунів / В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацев, В. В. Усов // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008 – № 1. – С. 233–238.
92. Кухарчук В. В. Експериментальне оцінювання вірогідності контролю кутових положень крокових двигунів / В. В. Кухарчук, В. В. Усов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – №4. – С. 102 – 107.
93. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы Atmel / А. В. Евстифеев. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 288 с.
94. Гребнев В. В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы ATMEL / В. В. Гребнев. – М. : ИП РадиоСофт, 2002. – 176 с.
95. Голубцов М. С. Микроконтроллеры AVR от простого к сложному / М. С. Голубцов – М. : СОЛОН – Пресс, 2003. – 288 с.
96. Баранов В. Н. Применение микроконтроллеров AVR. Схемы, алгоритмы, программы / В. Н. Баранов. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 288 с.
97. Barrett S. F. Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing (Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems) / Steven F. Barrett. – San Rafael, USA: Morgan & Claypool, 2008. – 194p.
98. Pardue J. C. Programming for Microcontrollers Featuring ATMEL's AVR Butterfly and the free WinAVR Compiler / Joe Pardue. – NY : Smiley Micros, 2005. – 300 p.
99. Gadre D. Programming and Customizing the AVR Microcontroller / Dhananjay Gadre. – Atlanta : McGraw-Hill/TAB Electronics, 2000. – 336 p.
100. Мирский Г. Я. Микропроцессоры в измерительных приборах / Г. Я. Мирский. – М. : Радио и связь, 1984. – 160 с.
101. Мирский Г. Я. Электронные измерения / Г. Я. Мирский. – М. : Радио и связь, 1986. – 440 с.
102. Мелик-Шахназаров А. М. Измерительные приборы со встроенными микропроцессорами / А. М. Мелик-Шахназаров. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.

103. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений / Ф. Мейзда; пер. с англ. – М. : Мир, 1990. – 535 с.
104. Джонс М. Х. Электроника – практический курс / М.Х. Джонс; пер. с англ. – М. : Постмаркет, 1999. – 528 с.
105. Хокинс Г. Цифровая электроника для начинающих / Г. Хокинс; пер. с англ. – М. : Мир, 1986. – 232 с.
106. Ленк Дж. 500 практических схем на популярных ИС / Ленк Дж. пер. с англ. – М. : ДМК Пресс, 2001. – 448 с.
107. Точчи Р. Д. Цифровые системы. Теория и практика / Р.Д. Точчи, Н.С. Уидмер; пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1024 с.
108. Ан П. Сопряжение ПК с внешними устройствами / П. Ан; пер. с англ. – М. : ДМК Пресс, 2001. – 320 с.
109. Пат. 19455 (Україна), МПК(2006) G 01 B 11/26. Пристрій для нормування похибки кута повороту крокового двигуна / Кухарчук В.В., Усов В. В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u200607075; заявл. 26.06.2006; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.
110. Усов В. В. Вимірювальний канал струму з мікропроцесорним керуванням / В. В. Кухарчук, В. В. Усов // Вісник Кременчуцького держ. політех. універ. Частина 2. – 2007. – №3. – С. 155 – 160.
111. Пат. 28957 (Україна), МПК(2007) G 01 R 19/25. Пристрій для вимірювання електричного струму / Кухарчук В. В., Усов В. В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u200709996; заявл. 06.09.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл. № 12.
112. Пат. 19455 (Україна), МПК(2006) G 01 B 11/26. Пристрій для нормування похибок кутових положень крокових двигунів / Кухарчук В. В., Усов В. В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u200814053; заявл. 05.12.2008; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8.
113. А. с. 25919. Комп'ютерна програма для вимірювального каналу кута повороту крокового двигуна / В. В. Кухарчук, В. В. Усов; заявл. 10.09.2008, опубл. 02.10.08.
114. Керниган Б. В. Язык С / Б. В. Керниган, Д. М. Ричи; пер. с англ. – М. : 1978, – 205 с.
115. McComb G. Robot Builder's Sourcebook / Gordon McComb. – Atlanta : McGraw-Hill/TAB Electronics, 2002. – 771 p.

116. Jones J. Robot Programming : A Practical Guide to Behavior-Based Robotics / Joe Jones. – Atlanta: McGraw-Hill/TAB Electronics, 2003. – 228 p.
117. Barnett R. H. Embedded C Programming and the Atmel AVR / Richard H. Barnett. – NY : Delmar Cengage Learning, 2006. – 560 p.
118. Шилдт Г. Полный справочник по C# / Г. Шилдт; пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 752 с.
119. Лабор В. В. Си Шарп: Создание приложений для Windows / В. В. Лабор; пер. с англ. – Минск : Харвест, 2003. – 384 с.
120. Петцольд Ч. Программирование для Microsoft Windows на C# / Ч. Петцольд; пер с англ. – М. : Русская редакция, 2002. – 576 с.
121. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 2.0 на языке C# / Дж. Рихтер; пер. с англ. – М. : Русская редакция, 2007. – 656 с.
122. Фролов А. В. Язык C#. Самоучитель / А. В. Фролов, Г. В. Фролов – М. : Диалог-Мифи, 2003. – 560 с.
123. C# 2005 и платформа .NET 3.0 для профессионалов / [К. Нейгел, Б. Ивьен, Дж. Глин и др.]; пер с англ. – М. : Вильямс, 2008. – 1790 с.
124. Parsons A. Professional Visual Studio 2005 / Andrew Parsons. – Indianapolis: Wrox, 2006. – 912p.
125. Powers L. Microsoft Visual Studio 2005 Unleashed / Lars Powers. – NY : Sams, 2006, – 888 p.
126. Пат. 35497 (Україна), МПК(2008) G 01 B 11/26. Пристрій автоматизованого контролю статичних та квазідинамічних характеристик крокових двигунів / Кухарчук В.В., Усов В.В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u200804097; заявл. 01.04.2008; опубл. 25.09.2009, Бюл. № 18.
127. Бурдун Г. Д. Основы метрологии: учеб. пособие для вузов / Г. Д. Бурдун, Б. Н. Марков. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 256 с.
128. Савчук В. П. Обработка результатов измерений. Физическая лаборатория: учеб. пособие для студентов вузов / В. П. Савчук. – Одесса : ОНПУ, 2002. – 54 с.
129. Костин В. Н. Статистические методы и модели: учебное пособие / В. Н. Костин, Н. А. Тишина. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. – 138 с.
130. Саврасов Ю. С. Оптимальные решения. Лекции по методам обработки измерений / Ю. С. Саврасов. – М. : Радио и связь, 2000. – 152 с.

131. Прямые измерения с многократным наблюдением. Методы обработки результата измерений. Основные положения: ГОСТ 8.207–76. ГСИ. – М. : Госкомстандарт, 1976. – 50с.
132. Эталоны. Способы выражения погрешностей: ГОСТ 8.381–80. ГСИ. – М. : Госкомстандарт, 1980. – 48.
133. Шрамков Е. Г. Электрические измерения. Средства и методы измерений / Е. Г. Шрамкова. – М. : Высшая школа, 1972. – 520 с.
134. Лейтман М. Б. Автоматическое измерение выходных параметров электродвигателей / М. Б. Лейтман. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 152 с.
135. Электрические измерения. Справочник (в вопросах и ответах) / Б. И. Панев. – М. : Агропромиздат, 1987. – 224 с.
136. Козловський А. В. Моделювання контролю залежності пускового моменту в функції кутового положення ротору / А. В. Козловський, В. В. Кухарчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.– 1999.– № 1.– С. 17–23.
137. Поджаренко В. О. Розробка математичної моделі вимірювального перетворювача пускового моменту з торсіонним сенсором / В. О. Поджаренко, А. В. Козловський // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2000. – №56. – С. 140–147.
138. Желтоногов А. П. Определение момента инерции электропривода методом свободного выбега: методические указания к лабораторной работе / А. П. Желтоногов, Л. Б. Иванов. – Волгоград, 2001. – 19 с.
139. Пашкевич М. Ф. Исследования и изобретательство в машиностроении / М. Ф. Пашкевич. – М. : Энергоатомиздат, 2005. – 273 с.
140. Клюев В. В. Испытательная техника. Кн. 2.: справочник. / В. В. Клюев. – М. : Машиностроение, 1982. – 560 с.
141. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы / П. П. Орнатский.– К. : Вища школа, 1986. – 504 с.
142. Цапенко М. П. Информационные измерительные системы / М. П. Цапенко. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 439 с.
143. Туз Ю. М. Структурные методы повышения точности измерительных приборов / Ю. М. Туз. – К. : Вища школа, 1976. – 285 с.
144. Куликовский К. Л. Тестовые методы повышения точности измерений / К. Л. Куликовский, Э. М. Бромберг. – М. : Энергия, 1978. – 208 с.

Наукове видання

**Кухарчук Василь Васильович
Усов Віктор Васильович**

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ
КРОКОВИХ ДВИГУНІВ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено В. Усовим

Підписано до друку 14.12.11 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. Арк. 10,16
Наклад 100 прим. Зам № 2011-195

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.