

Ю.О. Подчашинський, к.т.н, доц.
Житомирський державний технологічний університет

СТРУКТУРА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН, ПОБУДОВАНИХ НА ОСНОВІ ФОРМУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ

Розглянуто основні варіанти побудови структури та склад елементів вимірювального каналу для засобів відеовимірювань механічних величин, що побудовані на алгоритмічній обробці двовимірної вимірювальної відеоінформації. Визначено шляхи оптимізації структури і складу елементів, розроблено відповідну методику.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її актуальність. У сучасних умовах розвитку народного господарства України надзвичайно актуальним є розширення функціональних можливостей, підвищення точності та оперативності засобів вимірювань механічних величин, які використовуються в ході виробничих процесів або наукових досліджень. Від вирішення цієї проблеми залежить точність та надійність функціонування складних виробничих систем, якість промислової продукції, що виготовляється.

Існуючі засоби вимірювань механічних величин є складними приладами, що забезпечують певний рівень точності вимірювань. Однак їх функціональні можливості, оперативність та ступінь автоматизації процесу вимірювань у багатьох випадках є недостатніми. Можливості удосконалення засобів вимірювань механічних величин на основі традиційних принципів та методів їх побудови значною мірою вичерпані. В зв'язку з інтенсивним розвитком інформаційно-комп'ютерних технологій обробки вимірювальних сигналів і відеозображень постає питання про широке використання найновіших досягнень цих технологій у галузі вимірювань механічних величин. Результатом цього є створення засобів відеовимірювань механічних величин, що ґрунтуються на формуванні та алгоритмічній обробці двовимірної вимірювальної відеоінформації.

Тому розробка теорії, принципів побудови та структури засобів відеовимірювань механічних величин – це актуальна, важлива і складна наукова проблема. На цій основі можуть бути забезпечені якісні й швидкодіючі вимірювання механічних величин та автоматизований контроль виробничих процесів та систем.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій. Засоби відеовимірювань механічних величин можна віднести до засобів вимірювань неелектричних величин, що виконують вимірювання шляхом перетворення цих величин у електричні. Типові структурні схеми та вимірювальні перетворювачі таких засобів вимірювань розглянуто в ряді книг та публікацій [1–4]. Однак у них розглянуто загальні принципи побудови і структуру цих засобів, але не враховані особливості, що впливають з необхідності перетворення та обробки двовимірної вимірювальної відеоінформації.

З іншого боку, є багато книг та наукових публікацій про принципи побудови автоматизованих систем, призначених для обробки візуальної інформації [5–8]. Це, наприклад, – різні системи технічного зору в робототехніці, відеоінформаційні системи, системи контролю за технологічними процесами. Але в них не завжди повною мірою враховуються вимоги до метрологічних характеристик вимірювальної відеоінформації, що впливають з необхідності розрахунку механічних величин на основі визначення координат контурів та опорних точок об'єктів вимірювань. Також відсутній єдиний підхід до оптимізації структури та вибору елементів засобів відеовимірювань.

Метою даної роботи є визначення структури та складу елементів вимірювального каналу засобів вимірювань механічних величин, що побудовані на формуванні та алгоритмічній обробці двовимірної вимірювальної відеоінформації, а також дослідження шляхів оптимізації структури і складу цих елементів.

Викладення основного матеріалу досліджень. Як відомо [1, 2, 4], в засобах вимірювань сигнал вимірювальної інформації піддається ряду послідовних перетворень. Кожному перетворенню зазвичай відповідає окремий елемент (вимірювальний перетворювач) у схемі приладу. Сукупність таких елементів, пов'язаних між собою відповідними зв'язками, утворює структурну схему приладу.

Зазвичай розподіл схеми приладу на окремі елементи виконується за функціональною ознакою (один елемент – одна процедура перетворення вимірювальної інформації). Такий підхід може бути використаний при аналізі схеми існуючого приладу. Однак при вирішенні задачі синтезу засобів відеовимірювань механічних величин поряд з функціональною ознакою також необхідно враховувати розподіл процедур перетворення вимірювальної інформації між апаратними засобами, що

використовуються для побудови вимірювального каналу. Це обумовлене принципами побудови таких засобів вимірювань на основі використання стандартних апаратних засобів формування та обробки двовимірної вимірювальної відеоінформації.

Побудова структурної схеми засобів відеовимірювань механічних величин базується на таких принципах:

- використання типових структурних схем засобів вимірювання неелектричних величин;
- використання схем побудови засобів обробки візуальної інформації на основі існуючих апаратних засобів;
- врахування особливостей побудови цифрових засобів вимірювань, в тому числі з вбудованим мікропроцесором [1, 9].

За способом з'єднання елементів це є типова структурна схема прямого перетворення. Використання такої схеми пояснюється тим, що, як і для більшості засобів вимірювань неелектричних величин, використання альтернативної схеми врівноважуючого перетворення неможливе з ряду причин. Перш за все це – складність створення, низька надійність та точність зворотних перетворювачів електричних величин в неелектричні [1, 2].

Дана структурна схема повинна містити первинний вимірювальний перетворювач неелектричної величини в електричну і прилад для вимірювання отриманої електричної величини. Це пояснюється відомими перевагами вимірювання саме електричних величин (широкі можливості автоматизованої обробки, перетворення і реєстрації електричних вимірювальних сигналів).

В даному випадку перетворення візуальної інформації про об'єкти вимірювань та про механічні величини, що характеризують ці об'єкти, виконує перетворювач "світло-сигнал" (ПЗС-матриця), розміщений в пристрої формування відеозображень [10, 11]. Отримані таким чином відеозображення містять вимірювальну інформацію про механічні величини, яка перетворюється та реєструється в процесі алгоритмічної обробки відеозображень в цифровій ЕОМ. Типова структурна схема пристроїв для обробки відеозображень містить пристрій формування відеозображень, аналого-цифровий перетворювач, цифрову ЕОМ.

Схемі прямого перетворення властивий такий недолік, як великі похибки вимірювань, що дорівнюють сумі похибок усіх елементів вимірювального каналу. Для подолання цього недоліку потрібно використовувати компенсацію похибок шляхом алгоритмічної обробки вимірювальної відеоінформації. Тому вихідна величина первинного вимірювального перетворювача повинна бути перетворена за допомогою ряду додаткових процедур (аналого-цифрове перетворення, фільтрація шумів, компенсація геометричних викривлень раstra відеозображення, сегментація тощо).

В результаті поєднання названих трьох принципів та врахування особливостей, що впливають з необхідності обробки двовимірної вимірювальної відеоінформації, отримано структуру засобів відеовимірювань механічних величин. Основні блоки (вимірювальні перетворювачі) структурної схеми засобів відеовимірювань механічних величин є такими:

1. Пристрій формування відеозображень (включаючи оптичну систему і ПЗС-матрицю).
2. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) відеосигналу (як правило розташований у складі пристрою формування відеозображень, іноді – у пристрої введення відеозображень в цифровій ЕОМ).
3. Пристрій стиснення відеозображень для їх передачі в обчислювальний пристрій та/або накопичення перед обробкою (як правило розташований у складі пристрою формування відеозображень, іноді – у пристрої введення відеозображень в цифрову ЕОМ).
4. Інтерфейс (пристрій) ведення відеозображень в обчислювальний пристрій.
5. Обчислювальний пристрій (цифрова ЕОМ або мікроконтролер), що виконує алгоритмічну обробку відеозображень.
6. Пристрій або алгоритм, що виконує стиснення відеозображень й іншої вимірювальної інформації перед її записом для довготривалого зберігання.
7. Пристрій, що здійснює запам'ятовування вимірювальної інформації та відеозображень для їх довготривалого зберігання.

Блоки 4, 6, 7 як правило входять до складу цифрової ЕОМ і можуть бути реалізовані за допомогою апаратних та програмних засобів.

За допомогою такої структури можуть бути реалізовані такі варіанти обробки відеозображень, що містять вимірювальну інформацію:

1. Формування послідовності відеозображень, їх обробка і видача результатів вимірювань в реальному масштабі часу.
2. Формування і накопичення послідовності відеозображень в реальному масштабі часу з наступною обробкою і видачею результатів вимірювань.
3. Формування, накопичення і обробка окремих відеозображень в довільному темпі.

Відповідно, можна навести приклади цих варіантів обробки відеозображень:

1. Контроль промислових виробів і управління технологічним процесом (вимірювання геометричних розмірів виробів).

2. Дослідження процесів, що змінюються в часі (деформація конструкційних матеріалів, випробування виробів на міцність).

3. Лабораторні дослідження (гірські породи родовищ природного каменю), приймання партій промислових виробів (геометричні розміри облицювальної плитки з природного каменю).

Кожному з цих варіантів відповідають певні структура і склад елементів вимірювального каналу засобів відеовимірювань механічних величин. Синтез цієї структури та правильний вибір елементів може бути здійснений тільки шляхом оптимізації.

Особливості оптимізації полягають у тому, що вона виконується шляхом перебору ряду варіантів структури, видів апаратних засобів, придатних для реалізації цієї структури, і параметрів елементів структури (апаратних засобів). При цьому частково структурна оптимізація вже виконана, оскільки обрана типова структура засобів вимірювань механічних величин (послідовність вимірювальних перетворювачів, що утворюють прилад, побудований за принципом прямого перетворення). Кількість варіантів у рамках цієї структури суттєво обмежена, тому що ряд варіантів відкидається на етапі евристичного аналізу структури як явно непридатні, або як такі, що не можуть бути реалізовані за допомогою наявних стандартних апаратних засобів. Вибір параметрів апаратних засобів здійснюється серед обмеженого набору типових фіксованих значень параметрів, що обумовлені особливостями засобів інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеоінформації.

Параметри різних апаратних засобів значною мірою залежать одне від одного і повинні вибиратися узгоджено, з урахуванням їх сумісного використання і вимог точності та швидкодії.

При цьому для кожного з трьох варіантів обробки відеозображень апаратні засоби можуть бути підібрані, виходячи із забезпечення максимальної точності й продуктивності, або виходячи із забезпечення мінімальної вартості при заданих вимогах до точності і продуктивності, або може бути реалізований деякий компромісний варіант. Визначення цього компромісного варіанту і є предметом параметричної оптимізації для даного варіанту структури засобів відеовимірювань механічних величин.

Цільовими функціями оптимізації засобів відеовимірювань механічних величин можуть бути:

– досягнення максимальної точності вимірювань при заданій мінімальній швидкодії і граничній вартості засобів відеовимірювань;

– досягнення максимальної продуктивності процесу вимірювань при заданій мінімальній точності і граничній вартості засобів відеовимірювань;

– розширення функціональних можливостей засобів відеовимірювань за умови забезпечення заданої точності і швидкодії для певної області застосування цих засобів.

– одночасне досягнення заданого рівня точності й продуктивності засобів відеовимірювань тощо.

Для вирішення конкретних вимірювальних задач важливим є досягнення таких характеристик засобів відеовимірювань:

– промислове виробництво: робота в реальному масштабі часу і помірна вартість або робота не в реальному масштабі часу і висока точність вимірювань;

– лабораторні дослідження: забезпечення високої точності вимірювань;

– експрес-оцінки значень механічних величин, можливо в рухливих умовах експлуатації засобів вимірювань: висока надійність і забезпечення заданої точності й швидкодії вимірювань;

– початковий етап досліджень та навчальні задачі: мінімальна вартість засобів відеовимірювань.

Розглянемо методику вибору структури та складу елементів вимірювального каналу, що забезпечує реалізацію наведених цільових функцій оптимізації. Вимірювальний канал складається з певного набору елементів. Кожен з цих блоків може бути реалізований за допомогою одного з варіантів апаратних засобів, одного з методів обробки відеоінформації або бути відсутнім. Наприклад пристрій формування відеозображень може бути реалізований у вигляді таких апаратних засобів: цифровий фотоапарат, спеціалізована цифрова відеокамера, web-камера, цифрова ТВ-камера, аналогова ТВ-камера, сканер. Стиснення відеозображень для передачі в ЕОМ і накопичення може бути реалізовано за допомогою таких методів стиснення: JPEG, JPEG2000 або бути відсутнім.

Кожному з можливих варіантів реалізації даного елемента необхідно присвоїти деяку чисельну оцінку у вигляді вагових коефіцієнтів, що відображають переваги і недоліки даного варіанту щодо інших можливих варіантів. Ці значення присвоюються на основі порівняльного аналізу можливостей цих засобів з точки зору забезпечення певних характеристик засобів відеовимірювань механічних величин.

Ця оцінка виражається ваговим коефіцієнтом α_{ij} , де $i = 1 \dots 7$ – номер елемента вимірювального каналу, $j = 1 \dots n_i$ – номер варіанта реалізації i -го елемента, n_i – кількість варіантів реалізації цього елемента.

Крім того, для кожного елемента вимірювального каналу вводиться ваговий коефіцієнт β_i , що відображає роль даного елемента в обробці вимірювальної відеоінформації і досягненні заданих характеристик засобів відеовимірювань механічних величин. При чому

$$\beta_i = 0 \dots 1, \quad \sum_i \beta_i = 1.$$

В результаті маємо модифіковані вагові коефіцієнти α_{ij}^* для різних варіантів реалізації елементів вимірювального каналу:

$$\alpha_{ij}^* = \alpha_{ij} \cdot \beta_i.$$

Для найкращого і найгіршого варіантів вагові коефіцієнти α_{ij} відповідно дорівнюють:

$$\alpha_{ij} = \alpha_{\max}, \quad \alpha_{ij} = 1.$$

Якщо деякий варіант неприйнятний у принципі, то $\alpha_{ij} = 0$.

Якщо деякий елемент відсутній, то ваговий коефіцієнт $\alpha_{ij} = 1$ або $\alpha_{ij} = \alpha_{\max}$ в залежності від додаткових умов: його відсутність погіршує функціональні можливості й метрологічні характеристики, або його відсутність дозволяє позбавитися від зайвих перетворень вимірювальної відеоінформації.

Крім того, відзначаються несумісні варіанти апаратних засобів для різних елементів у вигляді матриці M , при чому

$$M = \begin{cases} 1, & \text{якщо апаратні засоби } k \text{ і } l \text{ сумісні,} \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases}$$

де $k = 1 \dots m, l = 1 \dots m, m = \sum_{i=1}^7 n_i$ – загальна кількість варіантів апаратних засобів для всіх елементів вимірювального каналу.

Зауважимо, що вагові коефіцієнти α_{ij} будуть різними для різних цільових функцій оптимізації засобів відеовимірювань механічних величин. Приклад значень вагових коефіцієнтів α_{ij} для різних варіантів реалізації пристрою формування відеозображень і для деяких з можливих цільових функцій наведено в табл. 1. Вагові коефіцієнти β_i теж будуть різними для різних цільових функцій (табл. 2). Одним із можливих шляхів визначення цих коефіцієнтів у складних випадках може бути метод експертних оцінок [12, 13].

Далі необхідно виконати оптимізацію складу і параметрів елементів вимірювального каналу. В результаті оптимізації для кожного елемента вимірювального каналу визначається варіант апаратних засобів $j = j_{\text{опт}}$ таким чином, щоб забезпечити максимальну суму вагових коефіцієнтів цих варіантів для сукупності блоків вимірювального каналу:

$$\sum_i \alpha_{ij \text{ опт}} \rightarrow \max.$$

При цьому необхідно враховувати обмеження щодо сумісності різних апаратних засобів та враховувати вимоги і обмеження для попередньо заданих характеристик засобів відеовимірювань.

Таблиця 1

Вагові коефіцієнти α_{ij} різних варіантів апаратних засобів для реалізації елементів вимірювального каналу засобів відеовимірювань механічних величин

Варіант апаратних засобів, j	Ваговий коефіцієнт α_{ij}		
	Максимальна точність	Максимальна швидкодія	Мінімальна вартість
Пристрій формування відеозображень ($i=1$)			
1. Цифровий фотоапарат	5	3	4
2. Спеціалізована цифрова відеокамера	4	6	1
3. Web-камера	1	5	6
4. Цифрова ТВ-камера	3	5	3
5. Аналогова ТВ-камера	2	5	3
6. Сканер	6	1	5

Таблиця 2

Вагові коефіцієнти β_i елементів вимірювального каналу засобів відеовимірювань механічних величин

Елемент вимірювального каналу, I	Ваговий коефіцієнт β_i
------------------------------------	------------------------------

	Максимальна точність	Максимальна швидкодія	Мінімальна вартість
1. Пристрій формування відеозображень, розмір відеозображення, дискретних точок	0,25	0,18	0,3
2. АЦП	0,25	0,05	0,12
3. Стиснення відеозображень для передачі в обчислювальний пристрій і накопичення	0,19	0,25	0,01
4. Інтерфейс (пристрій) введення відеозображень в обчислювальний пристрій	0,01	0,25	0,12
5. Обчислювальний пристрій (цифрова ЕОМ або мікроконтролер)	0,10	0,25	0,3
6. Стиснення відеозображень і вимірювальної відеоінформації для зберігання	0,19	0,01	0,01
7. Пристрій для зберігання відеозображень, вимірювальної відеоінформації і результатів вимірювань	0,01	0,01	0,12

Вибір оптимального варіанта апаратних засобів може бути здійснений на основі:

– декомпозиції загального набору варіантів на декілька підмножин (наприклад, розподіл по типу пристрою формування відеозображень – цифрова ТВ-камера, спеціалізована цифрова відеокамера, цифровий фотоапарат тощо) з подальшим перебором цих варіантів [12, 14];

– використання методів лінійного програмування [15];

– використання методів теорії графів [15, 16].

З теорії графів можливе використання процедур пошуку найкоротшого шляху в орієнтованому графі з вагами ребер. При цьому вага ребер – це вагові коефіцієнти α_{ij}^* апаратних засобів, що відповідають вершині графа, в яку входить дане ребро.

Зауважимо, що для графів знаходження шляху виконується за мінімальною вагою ребер. Тому необхідно виконати перерахунок і визначити вагу ребер графа за формулою:

$$\overline{w}_{ij} = (\alpha_{\max} - \alpha_{ij}) \cdot \beta_i.$$

Результати визначення складу апаратних засобів і методів обробки відеоінформації на основі запропонованої методики наведено в табл. 3. При цьому метою оптимізації було досягнення максимальної точності при помірній вартості апаратних засобів і швидкодії, що необхідна для реалізації заданого режиму обробки відеоінформації.

Склад елементів вимірювального каналу засобів відеовимірювань механічних величин

Елемент вимірювального каналу	Реалізація елементів для варіанту обробки вимірювальної відеоінформації								
	1. Формування і обробка вимірювальної відеоінформації в реальному масштабі часу			2. Формування і накопичення вимірювальної відеоінформації в реальному масштабі часу з наступною обробкою			3. Формування, накопичення і обробка окремих відеозображень в довільному темпі		
	1.1. Забезпечення мінімальної вартості засобів вимірювань	1.2. Результат оптимізації	1.3. Забезпечення максимальної точності засобів вимірювань	2.1. Забезпечення мінімальної вартості засобів вимірювань	2.2. Результат оптимізації	2.3. Забезпечення максимальної точності засобів вимірювань	3.1. Забезпечення мінімальної вартості засобів вимірювань	3.2. Результат оптимізації	3.3. Забезпечення максимальної точності засобів вимірювань
1. Пристрій формування відеозображень, розмір відеозображення, дискретних точок	web-камера, 640x480	спеціалізована цифрова відеокамера, 2000x1500	спеціалізована цифрова відеокамера, 4000x3000	web-камера, 640x480	цифрова або аналогова ТВ-камера, 800x600	спеціалізована цифрова відеокамера, 4000x3000	web-камера або цифровий фотоапарат, 640x480	цифровий фотоапарат, 2600x1950	цифровий фотоапарат, 4000x3000, або сканер 2400 dpi
2. АЦП	АЦП в пристрої формування відеозображень	АЦП в пристрої формування відеозображень	АЦП в пристрої формування відеозображень	АЦП в пристрої формування відеозображень	АЦП в пристрої формування відеозображень, або в пристрої введення відеозображень в ЕОМ	АЦП в пристрої формування відеозображень	АЦП в пристрої формування відеозображень	АЦП в пристрої формування відеозображень	АЦП в пристрої формування відеозображень
3. Стиснення відеозображень для передачі в обчислювальний пристрій і накопичення	відсутнє, або MJPEG з коефіцієнтом стиснення $\leq(7...10)$	відсутнє, або MJPEG з коефіцієнтом стиснення $\leq(7...10)$	відсутнє	відсутнє, або MJPEG з коефіцієнтом стиснення $\leq(7...10)$	DV в ТВ-камері, або MJPEG з коефіцієнтом стиснення $\leq(7...10)$ в пристрої введення відеозображень	відсутнє, або MJPEG з коефіцієнтом стиснення $\leq(7...10)$	відсутнє, або JPEG	відсутнє, або JPEG чи JPEG2000	відсутнє, або JPEG чи JPEG2000

Елемент вимірювального каналу	Реалізація елементів для варіанту обробки вимірювальної відеоінформації								
	1. Формування і обробка вимірювальної відеоінформації в реальному масштабі часу			2. Формування і накопичення вимірювальної відеоінформації в реальному масштабі часу з наступною обробкою			3. Формування, накопичення і обробка окремих відеозображень в довільному темпі		
	1.1. Забезпечення мінімальної вартості засобів вимірювань	1.2. Результат оптимізації	1.3. Забезпечення максимальної точності засобів вимірювань	2.1. Забезпечення мінімальної вартості засобів вимірювань	2.2. Результат оптимізації	2.3. Забезпечення максимальної точності засобів вимірювань	3.1. Забезпечення мінімальної вартості засобів вимірювань	3.2. Результат оптимізації	3.3. Забезпечення максимальної точності засобів вимірювань
4. Інтерфейс (пристрій) введення відеозображень в обчислювальний пристрій	USB	USB 2.0	спеціалізована плата для шини PCI в складі цифрової ЕОМ	USB	IEEE1394, або пристрій введення відеозображень в ЕОМ від аналогової ТВ-камери	спеціалізована плата для шини PCI в складі цифрової ЕОМ	USB	USB	USB
5. Обчислювальний пристрій (цифрова ЕОМ або мікроконтролер)	цифрова ЕОМ (персональний комп'ютер), або мікроконтролер	цифрова ЕОМ (персональний комп'ютер), або мікроконтролер	цифрова ЕОМ (персональний або промисловий комп'ютер)	цифрова ЕОМ (персональний комп'ютер)	цифрова ЕОМ (персональний комп'ютер)	цифрова ЕОМ (персональний, або промисловий комп'ютер)	цифрова ЕОМ (персональний комп'ютер)	цифрова ЕОМ (персональний комп'ютер)	цифрова ЕОМ (персональний комп'ютер)
6. Стиснення відеозображень і вимірювальної відеоінформації для зберігання	відсутнє, зберігаються тільки результати вимірювань			JPEG2000, або фрактальне стиснення			JPEG2000, або фрактальне стиснення		
7. Пристрій для зберігання відеозображень, вимірювальної відеоінформації і результатів вимірювань	стандартні зовнішні запам'ятовуючі пристрої цифрової ЕОМ, або мікроконтролера (жорсткі диски тощо)			оптичні запам'ятовуючі пристрої цифрової ЕОМ (CD, DVD)			оптичні запам'ятовуючі пристрої цифрової ЕОМ (CD, DVD)		

Висновки. Побудова структурної схеми засобів відеовимірювань механічних величин базується на поєднанні типових структурних схем засобів вимірювання неелектричних величин, схем побудови засобів обробки візуальної інформації на основі існуючих апаратних засобів, врахуванні особливостей побудови цифрових засобів вимірювань, в тому числі з вбудованим мікропроцесором. За способом з'єднання елементів це є схема засобу вимірювань прямого перетворення, для підвищення точності якого використовується алгоритмічна обробка і компенсація похибок вимірювальної відеоінформації.

Для досягнення високих метрологічних характеристик засобів відеовимірювань механічних величин необхідно застосовувати процедури оптимізації складу і параметрів елементів вимірювального каналу. Розроблено відповідну методика, що базується на оцінці переваг і недоліків кожного варіанту з точки зору забезпечення певних характеристик засобів відеовимірювань механічних величин.

Отримані результати можуть бути корисними при проектуванні засобів вимірювань механічних величин, що застосовуються в різних галузях промисловості.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов / Под ред. Е.М. Душина. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.
2. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин / Под ред. Е.С. Полищука. – К.: Вища школа, 1984. – 359 с.
3. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / За редакцією Е.С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544 с.
4. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие для вузов / Под общ. ред. Н.Н. Евтихьева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
5. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / Под ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение, 1988. – 424 с.
6. *Абламейко С.В., Лагуновский Д.М.* Обработка изображений: технология, методы, применение. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.
7. *Катыс Г.П.* Обработка визуальной информации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
8. *Шлихт Г.Ю.* Цифровая обработка цветных изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
9. *Мирский Г.Я.* Микропроцессоры в измерительных приборах. – М.: Радио и связь, 1984. – 160 с.
10. *Пресс Ф.П.* Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.
11. *Шарыгин М.Е.* Сканеры и цифровые камеры. – СПб.: ВНУ. – Санкт-Петербург, 2000. – 384 с.
12. *Тищенко Н.М.* Введение в проектирование систем управления. – 2-е изд., пераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.
13. *Шуп Т.* Решение инженерных задач на ЭВМ: практическое руководство: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 240 с.
14. Теория выбора и принятия решений / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов. – М.: Наука, 1982.
15. *Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М.* Matlab 7: Программирование, численные методы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.
16. *Иглин С.П.* Математические расчеты на базе Matlab. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 640 с.

ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій Олександрович — кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- методи вимірювання механічних величин;
- цифрова обробка відеозображень.

Подано 20.09.2006