

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УЗАГАЛЬНЕНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ КОМПОНЕНТІВ ЛАЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Створена математична модель узагальненого показника якості різномірних компонентів спеціалізованого лазерного технологічного обладнання за рахунок багатопараметричних критеріїв на базі властивостей теорії неповної подібності та розмірностей. Відмінною особливістю є те, що усі значення параметрів мають об'єктивний характер, а композиційна форма математичної моделі містить безрозмірні доданки багатопараметричних критеріїв подібності двох видів: об'єктно-орієнтовані та об'єктно-інваріантні, останні визначаються через інтервал визначальних величин та легко освоїти. Це скорочує час на відповідному етапі проектування.

Ключові слова: математична модель, узагальнений показник якості, багатопараметричні критерії подібності, теорія неповної подібності та розмірностей, лазерне технологічне обладнання.

A.G. LUKASHENKO

IEW named after E.O. Paton of NASU, Kyiv, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF GENERALIZED PARAMETER OF COMPONENTS QUALITY OF LASER TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Abstract – The mathematical model of generalized parameter of heterogeneous components quality of specialized laser technological equipment by multiparametric criteria based on properties of the theory of partial similarity and dimensions. A distinctive feature is that all values are objective nature and compositional form of the mathematical model contains dimensionless summands of multiparametric similarity criteria of two kinds: object-oriented and object-invariant, the latter distinct by the interval defining quantities and is easy to master. This reduces the time to the corresponding design stage.

Keywords: mathematical model, generalized parameter of quality, multiparametric similarity criteria, the theory of partial similarity and dimensions, laser technological equipment.

Вступ. Актуальність теми

Рішення основних задач в галузі науково-технічного прогресу не можливо без створення та впровадження новітнього лазерного технологічного обладнання. Проектування подібного обладнання неможливо без процедур синтезу, аналізу, оптимізації. На стадії створення інформаційно-ієрархічної моделі спеціалізованого лазерного технологічного обладнання (СЛТО) задачею структурно-параметричного синтезу є визначення численного значення основних вихідних параметрів її компонентів. При цьому використовуються наближених формул для кожного компонента типової структури [1-4, 11].

Найкращі характеристики визначеного варіанту моделі СЛТО забезпечуються сукупністю багатьох параметрів компонентів, що входять до складу інформаційно-ієрархічної моделі. Вона містить: лазерні випромінювачі, мікропроцесорні системи керування, мікропроцесори, спеціалізовані сопроцесори, арифметичні розширювачі, обчислювані пристрої, мікроконтролери, маніпулятор, електроприводи, ангулярні та декартові системи координат, перетворювачі двійкових в оборотні коді та навпаки, двійково-десяткових в двійкові та навпаки, коди Грея в двійкові та навпаки, комутатори, ЦАП, АЦП, гібридні обчислювані пристрої та ін. [5,10]. Велика кількість різномірних компонентів акцентує складність моделі СЛТО й, як наслідок, важкість визначення математичної моделі єдиного показника якості сукупності компонентів. Тому актуальною й першочерговою задачею для проектуванні моделі СЛТО є створення на єдиному методологічному й інформаційному базисі математичної моделі єдиного показника якості сукупності різномірних компонентів цієї моделі.

Постановка задачі

Шляхом аналізу об'єкту дослідження встановлено, що підвищення техніко-економічних показників компонентів приводить до адекватного підвищення ефективності функціонуючих в реальному часі СЛТО. Крім того, широке та ефективне впровадження формалізації прикладного математичного апарату приводить до створення математичних методів дослідження, визначення численного критерію, на основі якого можливо провести аналіз варіантів з метою вияву найкращого компоненту об'єкта, що проектується.

У роботах І.П. Норенкова, Т. Сааті, В.В. Сергієва, Б.Л. Собкіна, П.М. Таланчука, М.Н. Фомина, Е.А. Чернявського та інших в різній формі загальні вихідні (критеріальні) показники компонентів. Подібний загальний функціонал має назву функція пошуку. Загальний функціонал [1] дозволяє для кожної точки (вектора) простору параметрів, завдяки варіюванню, одержати єдину оцінку і тим самим порівняти характеристики компонентів СЛТО та вибрати найкращі.

Системний аналіз сучасних загальних показників якості моделей дослідження, що класифіковані за формою їх представлення приведені в табл. 1.

Недоліки, що визначені на основі системного аналізу (табл. 1), підтверджують необхідність створення математичної моделі узагальненого показника за багатьма параметрами з очікуваним результатом без суб'єктивності.

Результати системного аналізу загальних показників якості для складних моделей дослідження

Форма	Формула	Недоліки
Композиційна 1. Функція Лагранжа	$W(X, \lambda) = S(X) + \sum_{i=1}^m \lambda_i [F_i(X)],$ де $S(X)$ – функція цілі; λ_i – неточний множник Лагранжа.	Аналітичні критерії обмежені розмірністю простору пошуку.
2. Лінійна композиція часткових критеріїв	$W(X) = \sum_{i=1}^m \alpha_i F_i(X),$ де α_i – вагова функція.	Функції λ_i, α_i, C_i мають суб’єктивний характер, це дуже складно для об’єктів з неоднорідними фізичними критеріями.
3. Функція штрафу	$W(X) = S(X) + \sum_{i=1}^m C_i [F_{oi} - F_i(X)]^2,$ де F_{oi} – оптимальне значення функції; C_i – вагова функція штрафу.	
4. Функція пошуку оптимального значення	$S_o(X) = \min(\max) S(X) -$ значення мінімаксі (максіміні) функції цілі, тобто найкращій з найгірших або навпаки показник.	Обмеження інших критеріїв: при умовах $W_i \leq W_{io}$, де W_0 – задана система чисел; W_i – часткові параметри, W – сукупність вихідних параметрів $W_i \in W, W_{oi} \in W_o$.
5. Декомпозиційна	$W(X) = \cap_l K_l F_l(X),$ де K_l – логічний вектор; $F_l(X)$ – функція.	Функція повинна бути диференційованою.
6. Мультиплікативна: часово вартісні	$\Phi = T \cdot C,$ де T – час обробки інформації; C – вартість або маса компонента.	Занадто сугубий: не дозволяє оцінювати сукупності компонентів.
7. Адитивна	$W = \sum_{i=1}^n \lambda_i W_i,$ де λ_i – нормований вагових коефіцієнт.	λ_i – має суб’єктивний характер.

Метою роботи є створення математичної моделі узагальненого показника якості для сукупності різномірних компонентів моделі спеціалізованого лазерного технологічного обладнання за рахунок побудови багатопараметричних критеріїв подібностей на базі теорії неповної подібності та розмірностей.

Поставлена мета досягається шляхом:

- створення переліку сучасних фізичних моделей компонентів з багатьма основними техніко-економічними параметрами;
- створення загальної функціональної залежності між параметрами п. 1;
- розроблення багатопараметричних критеріїв на основі властивостей теорії неповної подібності та розмірностей, евристичного методу і методу нульових степеней. Визначальними величинами є значення параметрів, що знаходяться у переліку п. 1.

Особливістю є:

- кожний критерій подібності є безрозмірною величиною та вміщує декілька визначальних величин, а на основі системного аналізу має фізичне тлумачення;
- значення визначальних величин мають об’єктивний характер.

Результати досліджень

Автором в роботах [3, 6-8, 12-13] проведена апробація багатокритеріальних загальних показників, які створюються на базі теорії неповної подібності та розмірностей для компонентів одного виду, а саме мікроконтролерів (МК) та лазерних випромінювачів (ЛВ) відповідно. В цих роботах виконуються та описуються вся послідовність пунктів шляхом при досягненні поставленої цілі для одного типу компонентів. При цьому загальні показники якості визначаються за наступними формулами відповідно:

$$K_{заг\ n\ МК} = \left(\sum_{i=1}^k K_{i\ max} + \sum_{j=1}^m \frac{1}{K_{j\ min}} \right)_{МК}^{МК}; \tag{1}$$

$$K_{заг\ n\ ЛВ} = \left(\sum_{i=1}^k K_{i\ max} + \sum_{j=1}^m \frac{1}{K_{j\ min}} \right)_n^{ЛВ}, \quad (2)$$

де $K_{i\ max}$ – значення критеріїв, ефективність яких відповідає максимальному значенню;
 $K_{j\ min}$ – значення критеріїв, ефективність яких відповідає мінімальному значенню;
 $K_{заг\ n\ МК}$ – результати $K_{заг}$ (1) та $K_{заг\ n\ ЛВ}$ (2) відноситься до компонентів з найкращими параметрами із множини дослідження мікроконтролерів та лазерних випромінювачів відповідно;
 $n_{МК}$ та $n_{ЛВ}$ – номери найкращих відповідних компонентів.

На підставі аналізу загальних показників (1), (2) та правила Фур'є (властивості розмірної однорідності всіх критеріїв подібності) пропонується використовувати композиційну форму функції пошуку. Адитивність процедури формування функції пошуку забезпечується безрозмірністю багатопараметричних критеріїв подібності. Отже, узагальнена математична модель показника якості для двох компонентів має наступний вигляд:

$$K_{узаг} = K_{заг\ n\ МК} + K_{заг\ n\ ЛВ}. \quad (3)$$

Математична модель узагальненого показника якості $K_{узаг\ n\ T}$ для сукупності різнорідних моделей компонентів СЛТО з урахуванням моделей (1), (2) та (3) приймає наступний вигляд:

$$K_{узаг} = \sum_{l=1}^N \left\{ \left(\sum_{i=1}^k K_{i\ max} + \sum_{j=1}^m \frac{1}{K_{j\ min}} \right)_n^T \right\}, \quad (4)$$

де $N = 1, 2, \dots$, порядковий номер моделей компонентів СЛТО, що досліджуються;
 T – тип відповідної моделі компонентів дослідження;
 $k = 1, \dots, i$ – номер моделі відповідного компонента дослідження з критеріями, ефективність яких відповідає максимальному значенню;
 $m = 1, \dots, j$ – номер моделі відповідного компонента дослідження з критеріями, ефективність яких відповідає мінімальному значенню;
 n_T – номер компонента у відповідного типу T моделі СЛТО, що має найкращий показник.

Верифікація створеної математичної моделі єдиного узагальненого показника якості різнорідних компонентів СЛТО за формулою (4) показується на прикладах дослідження множини мікроконтролерів (МК) та лазерних випромінювачів (ЛВ), які відносяться до основних компонентів СЛТО.

При дослідженні сучасних МК на основі евристики створений перелік фізичних моделей з основними відповідними параметрами [9], який представлений в табл. 2.

Таблиця 2

Перелік сучасних мікроконтролерів з основними технічними параметрами та результати розрахунків загальних показників якості $K_{заг\ n\ МК}$

№	Мікроконтролер	I , мА	Напруга живлення, В	Тактова частота, МГц	Час затримки, мкс	P_n , мВт	P_p , мВт	Температурний діапазон, К		$K_{заг\ n\ МК}$
								Q_{min}	Q_{max}	
1	ATtiny26	15	5,5	16	0,75	82,5	108,7	218	398	1,85
2	AT90PWM3	14	5,5	16	0,8	77	195,7	233	378	2,91
3	ATmega128	19	5,5	16	0,72	104,5	108,7	218	398	1,58
4	AT90CAN32	29	5,5	16	0,18	159,5	282,6	233	358	2,47
5	MB90F523B	50	5,5	16	12,5	275	282,6	233	358	1,38
6	dsPIC30F1010	104	5,5	15,3	3,5	572	108,7	233	398	0,62
7	P89LPC932A1	23	3,6	16	0,72	82,8	282,6	233	358	3,85

Примітка:

$P_p = \left[(150 - t^0 C) / 0,23 \right]$ – потужність розсіювання; $P_n = (U \cdot I)$ – потужність споживання;

$K_{заг}$ – результат розрахунку загальних показників якості для МК за формулою (1).

В роботах [5, 11-13] створені критерії подібності двох видів: об'єктно-інваріантний та об'єктно-орієнтований. Об'єктно-орієнтований вид критеріїв подібності формулюється на основі евристики та методу

нульових степеней.

Приклади цього виду критеріїв подібності та їх фізичне тлумачення при процедурі дослідження МК приведені нижчі:

1. P_p/P_n – величина, яка характеризує енергетичний резерв МК, тобто показує наскільки величина потужності розсіювання кристалу мікроконтролера більше його потужності споживання;

2. $f \cdot t_{3\delta}$ – величина, яка характеризує швидкість процесу обробки інформації МК, при цьому є обмеження:

- коли частота $f = const$, а величина $t_{3\delta}$ є змінною, то цей критерій відноситься до складу доданків ($K_{j \min}$) формули (1);

- коли час затримки $t_{3\delta} = const$, а величина f є змінною, то цей критерій відноситься до складу доданків ($K_{i \max}$) формули (1).

Об'єктно-інваріантний вид критеріїв подібності має безрозмірну величину, загальний вид якого описується через інтервал визначальних величин і має наступний вид:

$$K_{i,j} = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\max}}, \quad (5)$$

де індекси \max і \min відповідають значенню визначеного параметру.

Приклад цього критерію приведений нижче.

3. $(Q_{\max} - Q_{\min})/Q_{\max}$ – критерій величина, якого характеризує температурний діапазон роботи МК, цей критерій відноситься до складу доданків ($K_{i \max}$) формули (1).

Значення загальних показників якості $K_{заг\ n\ МК}$ приведені в табл. 1 з них найкращим є $K_{заг\ n=7\ МК} = 3,85$, що відповідає МК P89LPC932A1.

Верифікація об'єктно-інваріантного критерію (5) здійснювалась при створенні критеріїв подібності при дослідженні множини ЛВ []. В роботах детально описані перелік сучасних ЛВ, приведені данні їх параметрів, створена функціональна математична модель, виявлена відсутність зв'язку між вісьмох параметрів, створені критерії подібності та визначений загальний показник якості за формулою (2) значення їх результатів приведені на рис. 1. До цих даних відносяться: діапазон вихідної потужності P_i ; діапазон частоти модуляції випромінювання f_s ; вартість C монтажу, обслуговування, експлуатації у відносних одиницях; діапазон періодичності T змін лінз або лазерних діодів; площа S , що займається; діапазон дальності доставки випромінювання D ; довжина хвилі λ . На їх основі створені критерії подібності через інтервал визначальних величин, яким призначені наступні фізичні тлумачення та якісна оцінка:

1. $K_p = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max}}$ – величина, що характеризує енергетичні показники, краще при $K_p \rightarrow 1$;

2. $K_C = \frac{C_{\max} - C_{\min}}{C_{\max}}$ – величина, яка характеризує витрати, найкращою є мінімальна, але більше нуля;

нуля;

3. $K_f = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max}}$ – величина, яка характеризує швидкість операцій, краще при $K_f \rightarrow 1$;

4. $K_T = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}}$ – величина, яка характеризує надійність роботи лінз, найкращою є мінімальна, але більше нуля;

мінімальна, але більше нуля;

5. $K_D = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max}}$ – величина, яка характеризує дальність доставки лазерного випромінювання, краще при $K_p \rightarrow 1$;

краще при $K_p \rightarrow 1$;

6. $K_{\Delta W} = \frac{S \cdot 10^6}{D_{\max} \cdot \lambda}$ – об'єктно-орієнтований критерій, величина якого характеризує втрату

робочого простору, яка краща при мініальному значенню $K_{\Delta W}$, але більше нуля.

Результати розрахунків загально-адитивних показників $K_{заг}$ якості (2) представлені у вигляді гістограм на рис. 1. Порівняльний аналіз показує, що найкращим із п'яти типів лазерів є волоконний (його загальний показник якості за $n = 5$ має максимальне значення і дорівнює 16,5).

Отже, результат розрахунку узагальненого показника якості для сукупності першого та другого номерів типів лазера різномірних компонентів СЛТО за формулами (3) і (4), даних табл. 1 та гістограми (рис. 1) має наступне значення:

$$K_{узг} = \sum_{l=1}^2 \left\{ \left(\sum_{i=1}^k K_{i \max} + \sum_{j=1}^m \frac{1}{K_{j \min}} \right)^T \right\} = K_{заг \ 7_{МК}} + K_{заг \ 5_{ЛВ}} =$$

$$= \left\{ 3,85_{n=7}^{МК} \right\} + \left\{ 16,54_{n=5}^{ЛВ} \right\} = 20,39. \quad (6)$$

Аналіз запропонованої математичної моделі (4) узагальненого показника якості для сукупності різномірних компонентів та результатів за формулою (6) показує, що з'являється можливість одержати необхідні характеристики СЛТО, завдяки варіюванню вибором компонентів з відповідними загально-адитивними показниками $K_{заг}$ якості.

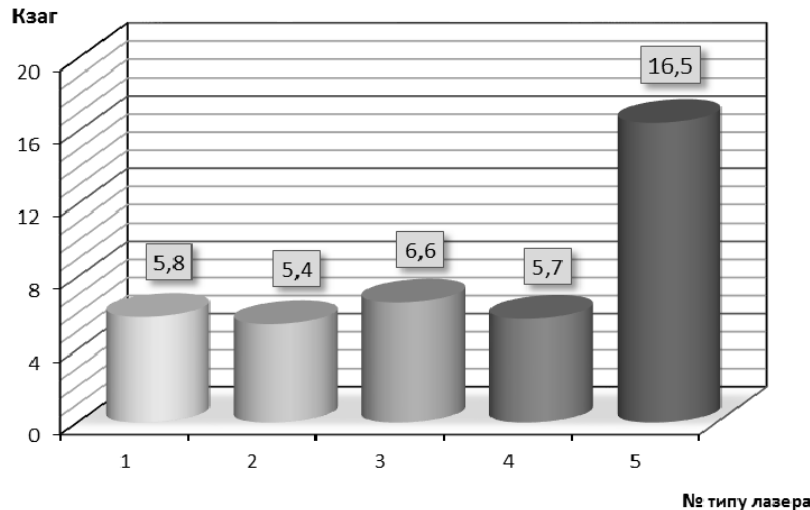


Рис. 1. Гістограма загально-адитивних показників $K_{заг}$ якості для різних типів лазерів

Примітка: цифри 1 – YAG-Nd лазери з ламповою накачкою; 2 – YAG-Nd лазери з діодною накачкою; 3 – діодні лазери; 4 – дисккові лазери; 5 – волоконні лазери.

Наступним напрямком формалізації узагальнених показників якості є збільшення глибини аналізу параметрів компонентів відповідних систем та функціональних вузлів спеціалізованого лазерного технологічного обладнання.

Висновки

Науковою новизною є:

1. Проведений системний аналіз існуючих моделей узагальнених показників якості компонентів для складних систем, які класифікуються за двома формами представлення функції пошуку: композиційною та декомпозиційною. Основними недоліками є те, що функція пошуку повинна бути диференційованою, а значення вагових коефіцієнтів носять суб'єктивний характер. Це вимагає потребу в високій кваліфікації розробника і, як наслідок, збільшує витрати.

2. Створена математична модель узагальненого показника якості різномірних компонентів спеціалізованого лазерного технологічного обладнання за рахунок багатопараметричних критеріїв на базі властивостей теорії неповної подібності та розмірностей. Відмінною особливістю є те, що усі значення параметрів мають об'єктивний характер, а композиційна форма математичної моделі містить безрозмірні доданки багатопараметричних критеріїв подібності двох видів: об'єктно-орієнтовані та об'єктно-інваріантні, останні визначаються через інтервал визначальних величин та легко освоїти. Це скорочує час на відповідному етапі проектування.

3. Формалізована функція цілі дозволяє вирішити компроміс, при якому покращення значення одного критерію подібності можливо компенсувати зменшення інших за бажанням замовника. В порівнянні з існуючими математичними моделями багатокритеріальної оцінки якості сучасних компонентів технологічного обладнання є можливість варіювати параметрами та достатньо просто виконувати вимоги замовника, що зменшує час не тільки на проектування але й на виготовлення СЛТО.

Верифікації створеної математичної моделі єдиного узагальненого показника якості різномірних компонентів СЛТО показана на прикладах досліджень множин сучасних мікроконтролерів та лазерних випромінювачів з багатьма параметрами.

Література

1. Чернявский Е. А. Измерительно-вычислительные средства автоматизации производственных процессов / Е. А. Чернявский, Д. Д. Недосекин, В. В. Алексеев. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.

2. Собкин Б. А. Автоматизация проектирования аналого-цифровых приборов на микропроцессорах / Б. А. Собкин. – М : Машиностроение, 1986. – 128 с.
3. Лукашенко А. Г. Лазерная сварка тонколистовой нержавеющей стали модулированным излучением / А. Г. Лукашенко, Т. В. Мельниченко, Д. А. Лукашенко // Автоматическая сварка. – 2012. – № 4. – С. 19–23.
4. Эффективный метод анализа сложных моделей и их компонентов для специализированного лазерного технологического комплекса / А. Г. Лукашенко, В. М. Лукашенко, И. А. Зубко та ін. // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 4. – С. 42–47.
5. Критериальная оценка лазерных излучателей на основе теории неполного подобия и размерностей / А. Г. Лукашенко, В. М. Лукашенко, М. В. Чичужко и др. // Бъдещите изследвания – 2013 : материали ІХ Международна научна практична конференция : (17 – 25 февруари 2013, София, България). – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2013. – Т. 28. – С. 24–28.
6. Лукашенко А. Г. Виявлення резерву предмета дослідження на основі теорії неповної подібності та розмірностей [Текст] / А. Г. Лукашенко, О. А. Кулигін, В. М. Лукашенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. – С. 184–187.
7. Швидкодіючий метод візуалізації вибору сучасних мікроконтролерів [Текст] / А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, Р. Є. Юпин, Д. А. Лукашенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 4/9 (52). – С. 63–65.
8. Creation of multicriteria qualitative evaluation method of microcontroller manufacturers / V. M. Lukashenko, M. V. Chichuzhko, A. G. Lukashenko, V. A. Lukashenko // Nauka i studia. – Przemysl, 2013. – № 17 (85). – P. 97–102.
9. Классификация и структура микроконтроллеров [Электронный ресурс] / Электроника просто и понятно – Режим доступа : <http://naf-st.ru/articles/mpmc/m011/> – 20.03.2010.
10. Уткіна Т. Ю. Узагальнена біометрична модель доступу до мікропроцесорної системи керування спеціалізованого лазерного технологічного комплексу / Т. Ю. Уткіна, О. С. Вербицький, А. Г. Лукашенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 1. – С. 131–136.
11. Знаковая модель качественной оценки современных компонентов маршрутизаторов / В. М. Лукашенко, К. С. Рудаков, А. Г. Лукашенко, С. А. Миценко // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. – 2013. – № 45. – С. 142–148.
12. Лукашенко В. М. Метод розширення функціональних можливостей сучасних мікроконтролерів / В. М. Лукашенко, М. В. Чичужко, Д. А. Лукашенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 6. – С. 186–189.
13. Systematization and qualitative assessment of models of access for laser technological complex based on biometrics / O. S. Verbytskyi, S. A. Mitsenko, T. Yu. Utkina, A. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko // Nauka i studia. – Przemysl, 2012. – № 3 (48). – P. 121–126.

References

1. E. A. Chernyavskiy, D. D. Nedosekin, V. V. Alekseev. Measuring and computing automation tools of production processes, Leningrad, Energoatomizdat, 1989, 272 p.
2. Sobkin B. A. Design automation of analog-digital devices on microprocessors, Moscow, Mechanical Engineering, 1986, 128 p.
3. G. Lukashenko, T. V. Melnichenko, D. A. Lukashenko. Laser welding of stainless steel sheet modulated radiation, *The Paton Welding Journal*, 2012, Issue 4, pp. 19–23.
4. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko, I. A. Zubko and others. The effective method for analysis of complex models and their components for specialized laser technological complex, *Bulletin of Cherkasy State Technological University*, 2011, Issue 4, pp. 42–47.
5. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko, M. V. Chichuzhko and others. Criterion evaluation of laser radiators based on the theory of incomplete similarity and dimensions. *Bdeschite izsledvaniya – 2013: Material IX international scientific practical conference*, Sofia, “Byal GRAD-BG” Ltd., 2013, Vol. 28, pp. 24–28.
6. G. Lukashenko, O. A. Kulygin, V. M. Lukashenko. Detection reserve the research subject based on the theory of incomplete similarity and dimensions, *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, Technical science, Khmelnytsky, 2009, Issue 3, pp. 184–187.
7. G. Lukashenko, K. S. Rudakov, R. E. Yupin, D.A. Lukashenko. The fast method of visualization of choice of modern microcontrollers, *Eastern-European Journal of enterprise technologies*, 2011, Issue 4/9 (52), pp. 63–65.
8. V. M. Lukashenko, M. V. Chichuzhko, A. G. Lukashenko, V. A. Lukashenko. Creation of multicriteria qualitative evaluation method of microcontroller manufacturers, *Przemysl, Nauka i studia*, 2013, Issue 17 (85), pp. 97–102.
9. Classification and structure of microcontrollers (20.03.2010), *Electronics is simple and clear.* – <http://naf-st.ru/articles/mpmc/m011/>.
10. T. Yu. Utkina, O. S. Verbitsky, A. G. Lukashenko. The generalized biometric access model for control system microprocessor of specialized laser technological complex, *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, Technical science, Khmelnytsky, 2012, Issue 1, pp. 131–136.
11. V. M. Lukashenko, K. S. Rudakov, A. G. Lukashenko, S.A. Mitsenko A sign model of quality assessment components of modern routers, “*Bulletin of NTUU “KPI”. Instrument Engineering*”, 2013, Issue 45, pp. 142–148.
12. V. M. Lukashenko, M.V. Chichuzhko, D. A. Lukashenko The method of expansion of functional possibilities of modern microcontrollers, *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, Technical science, Khmelnytsky, 2013, Issue 6, pp. 186–189.
13. O. S. Verbytskyi, S. A. Mitsenko, T. Yu. Utkina, A. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko. Systematization and qualitative assessment of models of access for laser technological complex based on biometrics, *Przemysl, Nauka i studia*, 2012, Issue 3 (48), pp. 121–126.

Рецензія/Peer review : 15.5.2014 p.

Надрукована/Printed : 12.7.2014 p.

Рецензент: д.т.н., проф., зав. каф. системного аналізу та методів прийняття рішень ЧДТУ Тимченко А.А.