

- J., Depoortere A., Development, validation, and applications of a new laboratory-scale indirect impedancemeter for rapid microbial control// *Appl Microbiol Biotechnol* (2003).—P. 36–41. 3. Keat Ghee Ong, J. Samuel and other Remote Query Resonant-Circuit Sensors for Monitoring of Bacteria Growth: Application to Food Quality Control//*Sensors* (2002), №2, —P. 219–232. 4. Silley, P., and S. Forsythe Impedance microbiology – A rapid change for microbiologists *J Appl Bacteriol*, 1996. 80: 233–243. 5. Colquhoun, K. O., Timms, S., and Fricker, C. R. 1995. Detection of *Escherichia coli* in potable water using direct impedance technology. *J. Appl. Bacteriol.* 79(6): 635–639. 6. Felice, C. J., Madrid, R. E., Olivera, J. M., Rotger, V. I., and Valentinuzzi, M. E. 1999. Impedance microbiology: quantification of bacterial content in milk by means of capacitance growth curves. *J. Microbiol. Methods.* 351, pp. 37–42. 7. <http://www.sylab.com/standards.htm>. 8. Є. В. Походило, П. Г. Столярчук Імітансний контроль якості продукції // Вісник НУ "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування. – 2002. –№ 445. – С. 46–47. 9. Є. В. Походило, П. Г. Столярчук Контроль якості бензину ємнісним методом // Матеріали VI Міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах" (КУСС-2001).– Вінниця, 8-12 жовтня 2001.– С. 65-68. 10. Kandala C. V. K. Moisture Determination in Single Peanut Pods by Complex RF Impedance Measurement// *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 53, No. 6, December 2004. – P. 1493–1496. 11. Arnold W.M. et al., Electrical impedance methods for assessing fruit quality: avoidance of electrode artifacts. *Acta Hort.*, 1998, No. 464. – P. 85–90. 12. Technical Report No. 29 The Application of Impedance Spectroscopy to Cementitious Systems Issue: AB: May 1999 Heriot-Watt University Edinburgh, UK. 1999.–21 p. 13. P. Miettinen<sup>1</sup>, M. Tiitta, R. Lappalainen Evaluation of Wood Properties by New Technologies, EIS-STUDY 12 International Conference on Electrical Bio-Impedance- ICEBI Gdansk'04. 14. [http://www.cordis.lu/data/MSS\\_PROJ\\_DK\\_FP4](http://www.cordis.lu/data/MSS_PROJ_DK_FP4).

УДК 621.317.73

## УНІФІКОВАНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ІМІТАНСУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

© Походило Євген, Бойко Тарас, Бубела Тетяна, 2007

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,  
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

**Розглядаються способи вимірювання імітансу двополюсників, якими можуть подаватися об'єкти контролю різної природи. Наведено їхні схеми реалізації з використанням однотипних вузлів.**

**Рассматриваются способы измерения иммитанса двухполюсников, которыми могут быть представлены объекты контроля различной природы. Приведены схемы их реализации с использованием однотипных узлов.**

**The methods off immitance measurement of two-polars which could represent control objects of different nature are under consideration. The schemes of different methods realization with the usage of knots of the same type are notified.**

**Вступ.** Підвищення вимог до безпеки та споживчих властивостей продукції, її конкурентоспроможності ставить задачу побудови єдиної методології контролю показників якості та оцінювання якісного рівня продукції. Серед вимірювальних засобів, які використовуються для контролю якості продукції, широке застосування мають засоби вимірювання параметрів імітансу (імпеданс та адмітанс) двополюсників, якими подаються об'єкти контролю як електричної, так і неелектричної природи [1]. Підхід до

вимірювань характеристик як одних, так і других подібний, однак якщо при вимірюванні параметрів об'єктів електричної природи режим вимірювання адмітансу  $Y_x$  чи режим вимірювання імпедансу  $Z_x$  вибирається, переважно, з урахуванням вимог розширення діапазону, то контроль параметрів об'єктів неелектричної природи вимагає заданого режиму струму чи напруги незалежно від значень імітансу. Характер імітансу може бути як ємнісним, так і

індуктивним. Під час контролю параметрів електро- і радіоелементів характер, переважно, визначається типом самого елемента (конденсатор чи котушка індуктивності, варикап чи трансформатор, діод чи МОП-структура тощо). Для об'єктів неелектричної природи характер визначається типом первинного перетворювача (сенсора), а саме чутливого елемента у вигляді конденсатора, котушки індуктивності чи резистора, що взаємодіє з об'єктом контролю [1, 2, 3]. Структура об'єкта контролю приводить до зміни реактивної та активної складових діелектричної провідності середовища чутливого елемента.

Як в першому, так і в другому випадках інформативними параметрами є активна та реактивна складові імітансу. Причому співвідношення між складовими може бути дуже різним. Так, для якісних конденсаторів і котушок індуктивностей активна складова повинна бути мінімальною, а для якісних резисторів – мінімальною є реактивність. Для порівняння, під час контролю об'єктів неелектричної природи аналогічні співвідношення можуть змінюватися у дуже широких межах. Так, активна складова сипких речовин (від зміни вологості), наприклад, змінюється в декілька десяткових порядків, тоді як для реактивної складової – є не більшою ніж у 81 раз [5]. Поряд з цим, дуже чутливими до зміни температури є об'єкти рідинного стану. Так, при зміні температури на 20–25°C, як показали дослідження, виконані авторами [6], активна складова нафтової емульсії змінюється втричі, а реактивна складова змінюється неістотно.

**Загальні положення.** Для вироблення узагальнених рекомендацій щодо побудови вимірювальних засобів імітансу багатоелементних двополюсників, якими подається електропровідний об'єкт кваліметрії, доцільно розглянути імітанс ємнісного та індуктивного характеру як вектор та відповідне його описування. Отримуємо чотири можливі варіанти подання імітансу для ємнісного  $Y^C$ ,  $Z^C$  та індуктивного  $Y^L$ ,  $Z^L$

характеру через активні  $G$ ,  $R$  та реактивні  $B$ ,  $X$  складові:

$$\begin{aligned} Y^C &= G + jB; & Z^C &= R - jX \\ Y^L &= G - jB; & Z^L &= R + jX \end{aligned} \quad (1)$$

З (1) очевидно, що структура вимірювального засобу може бути однаковою для вимірювання складових адмітансу ємнісного та імпедансу індуктивного характеру або імпедансу ємнісного та адмітансу індуктивного характеру. Тобто є можливість використати уніфіковані схемотехнічні рішення на загальному рівні побудови засобу вимірювання імітансу різного характеру.

Оскільки інформативними параметрами при імітансному контролі двополюсних об'єктів, якими подаються електропровідні об'єкти кваліметрії, є активна та реактивна складові, то доцільно розглянути декілька можливих варіантів реалізації таких вимірювань. Зазначене стосуватиметься реалізації способів, що не потребують зрівноважувальних операцій з допомогою зразкових мір, а саме: безпосереднього вимірювання складових, вимірювання модуля та фази та комбінованого способу.

**Безпосереднє вимірювання складових.** За таким способом, як відомо [7], векторна величина розкладається на дві скалярні величини, які є проекціями вектора імітансу на осі координат, прийняті за базу. Для цього використовується фазочутливе випрямлення комплексної напруги  $\dot{U}_x$ , що пропорційна до векторної пасивної величини (імітансу). В результаті такого випрямлення отримують активні  $\text{Re}(\dot{U}_x)$  та реактивні  $\text{Im}(\dot{U}_x)$  складові напруги, що є пропорційними до відповідних складових імітансу  $\text{Re}(Z_x)$  або  $\text{Re}(Y_x)$  та  $\text{Im}(Z_x)$  або  $\text{Im}(Y_x)$ . Практична реалізація такого вимірювання здійснюється засобом, виконаним за структурою, зображеною на рис.1.

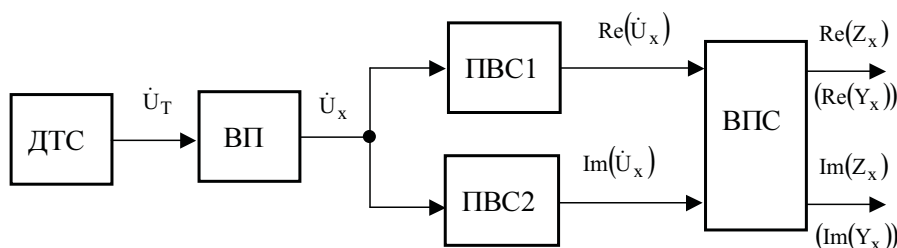


Рис.1. Структурна схема безпосереднього вимірювання складових імітансу

Структура містить джерело тестового сигналу ДТС, векторний перетворювач ВП, перетворювачі вектор-скалярного перетворення ПВС1, ПВС2 та відліковий пристрій ВПС. Як підтверджує практика вимірювання імпедансу об'єктів електричної природи [8, 9], використання структури з безпосереднім вимірюванням складових імпедансу є найпоширенішим.

**Вимірювання модуля і фази.** Такий спосіб вимірювань полягає у вимірюванні модуля імпедансу  $|Z_x|$  або  $|Y_x|$  і фазового кута  $\varphi$  між дійсною віссю та вектором імпедансу.

Переважно для здійснення таких вимірювань використовують амплітудне випрямлення напруги, що пропорційна до модулю імпедансу, тобто знаходять модуль комплексної напруги. Крім цього, знаходять кут, пропорційний до фазового кута  $\varphi$  між вектором комплексної напруги та опорною напругою, що збігається з однією з осей координат. Значення складових імпедансу визначають за результатами вимірювань модуля і фази, використовуючи під час розрахунків відомі залежності

$$\begin{aligned} \text{Im}(Y) &= |Y| \sin \varphi; & \text{Im}(Z) &= |Z| \sin \varphi \\ \text{Re}(Y) &= |Y| \cos \varphi; & \text{Re}(Z) &= |Z| \cos \varphi \end{aligned} \quad (2)$$

Реалізація такого способу потребує обчислювального пристрою ОБП та двох різного характеру вимірювальних пристроїв – амплітудного детектора (АД) та фазометра (ФЗ) (рис. 2), що не завжди є виправданим через ускладнення вимірювального засобу, а також через погіршення його показників надійності. Тому в практиці вимірювань складових імпедансу такий спосіб зустрічається рідко.

**Комбінований спосіб.** Аналіз літературних джерел виявив використання також комбінованого способу, який загалом ґрунтується на елементах перших двох. Його суть полягає у такому. Здійснюється вимірювання модуля імпедансу та однієї із складових (активної чи реактивної) (рис. 3).

За результатами вимірювання розраховується невідома складова імпедансу за відомим виразом

$$|Y| = \sqrt{G^2 + B^2}; \quad |Z| = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (3)$$

звідки

$$B = \sqrt{|Y|^2 - G^2}; \quad X = \sqrt{|Z|^2 - R^2}. \quad (4)$$

У практиці вимірювань такий спосіб також не має широкого застосування.

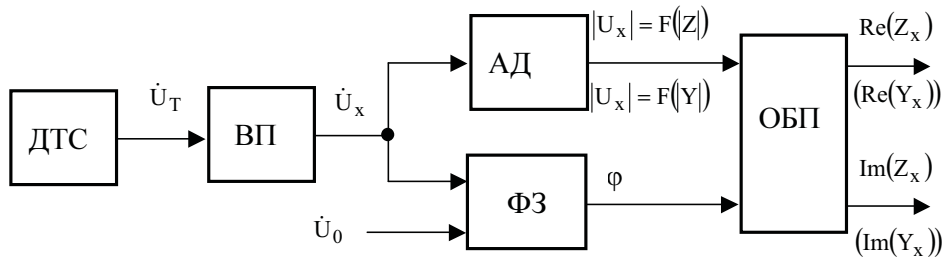


Рис.2. Структурна схема вимірювання складових імпедансу за модулем і фазою

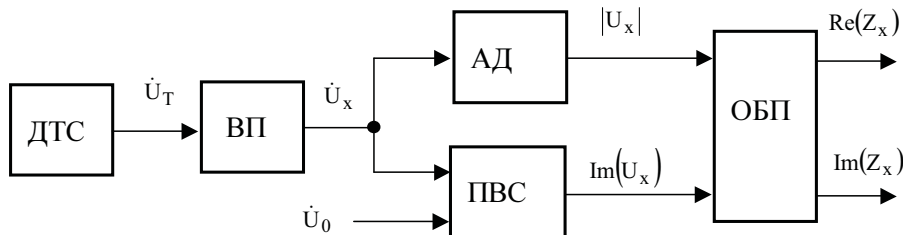


Рис.3. Структурна схема комбінованого вимірювання складових імпедансу

**Порівняльний аналіз.** Порівняльний аналіз трьох наведених способів як з теоретичного, так і практичного погляду виявив, що всі вони містять декілька спільних операцій і, відповідно, аналогічних вимірювальних пристроїв для їхньої реалізації. Ці пристрої є базовими у побудові засобу вимірювання імітансу незалежно від прийнятого способу. Першим є джерело тестового сигналу, що формує синусоїдний сигнал фіксованого рівня та певного частотного діапазону чи фіксованої частоти. Для контролю нелінійних об'єктів необхідно формувати додатково ще й сигнал постійного зміщення (залежно від поставлених вимог під час контролю показників якості).

Другим і основним вимірювальним пристроєм засобу є векторний перетворювач, що здійснює векторне перетворення пасивної величини, чим є узагальнений параметр (імітанс) двополюсника, на пропорційний вектор активної величини – напруги змінного струму. Операція векторного перетворення є основною операцією під час вимірювання імітансу, оскільки діапазон зміни параметрів як інформативних величин, так і неінформативних, зумовлених параметрами схем під'єднання, комутувальними пристроями, активними елементами тощо, доволі широкий. Реалізується така операція пасивними та активними вимірювальними перетворювачами [7]. Зазначимо лише, що пасивний перетворювач здавна відомий як подільник, а активний – такий самий подільник, елементи якого утворюють зворотні зв'язки операційного підсилювача. Використання останніх додатково вносить проблему стійкості таких перетворювачів у широкому діапазоні зміни інформативного та неінформативного параметрів [10]. Елементами подільника, як відомо, є контрольований об'єкт та зразкова міра. Для контролю показників якості об'єктів електричної природи застосовують переважно міри активного опору чи провідності, а також, рідше, ємності. Для об'єктів неелектричної природи необхідно використовувати прямо чи опосередковано як міри стандартні зразки контрольованої продукції (базовий зразок).

Третім вимірювальним пристроєм вимірювального засобу імітансного контролю є перетворювач векторної активної величини, що пропорційна до вектора пасивної величини на скалярну величину. Залежно від реалізованого способу вимірювання це активна та реактивна складові комплексної напруги або її модуль (амплітудне значення) у вигляді напруги постійного струму.

Як вже зазначалося вище, два останні способи (вимірювання модуля і фазового кута та комбінований) вимірювання складових відрізняються від першого тим, що виникає необхідність введення операції обчислення результату за результатами окремих вимірювань. Здійснюється це, переважно, обчислювальним пристроєм за відповідною програмою. Сучасні засоби вимірювальної техніки, разом із портативними, здебільшого містять обчислювальні пристрої [11, 12]. Останні доцільно використовувати і в ЗВТ, що реалізують перший спосіб перетворення вектора на скалярні величини, для коригування похибок вимірювання, розрахунку параметрів багатоелементних двополюсників тощо. Тобто ще один уніфікований вузол може бути використаний у структурі ЗВТ незалежно від способу реалізації. Відмінність полягатиме лише в програмному забезпеченні такого обчислювального пристрою.

#### **Уніфікація вектор-скалярного перетворення.**

У роботі розглядається можливість побудови уніфікованого перетворювача вектор-скаляр на основі фазочутливого детектора, який, переважно, використовують для виділення лише активної та реактивної складових імітансу [13]. Найпоширенішими схематичними рішеннями такого детектування є фазовий детектор релейного типу [14, 15] з усередненням вихідного сигналу. Практична реалізація такого перетворення має такий вигляд. Якщо напрям керуючої напруги (фаза) збігається з напрямом напруги тестового сигналу (дійсна вісь) (рис. 4, а), то вихідна напруга буде пропорційна до активної складової імітансу. Якщо між керуючою напругою та тестовим сигналом є зміщення на кут  $\frac{\pi}{2}$  (уявна вісь), що реалізується фазовертачем ФП, то вихідна напруга пропорційна до реактивної складової імітансу (рис. 4, б). Якщо ж напрям керуючої напруги буде збігатися з вектором імітансу, то вихідна напруга буде пропорційна до модуля (амплітуді) імітансу (рис. 4, в).

Якщо забезпечити  $U_m = \text{const}$ , то вихідна напруга, залежно від фазового положення керуючої напруги, може бути пропорційною до  $\sin \varphi$  або  $\cos \varphi$ . Здійснити таку операцію можна двома способами. Перший полягає в тому, що можна обмежити на фіксованому рівні амплітудне значення вхідного сигналу за допомогою обмежувача ОБМ, а як керуючий сигнал використати сигнал  $U_T$  (рис. 5, а, б).

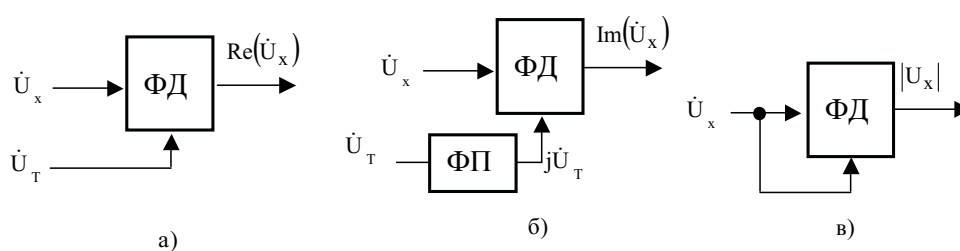


Рис. 4. Схема виділення активної (а), реактивної (б) складових та модуля (в) комплексної напруги

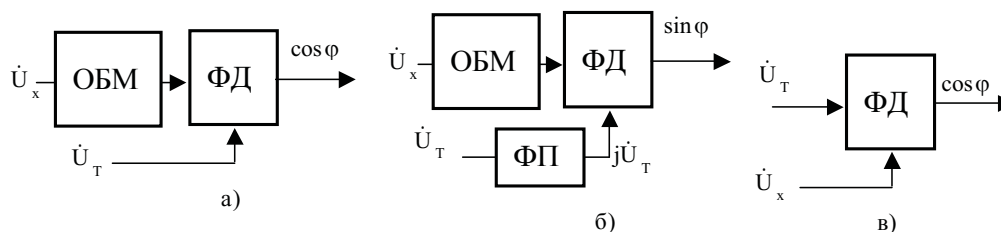


Рис. 5. Схема формування інформативного сигналу, пропорційного до  $\cos \varphi$  (а); (в);  $\sin \varphi$  (б)

Другий шлях полягає в тому, що як інформативний сигнал можна використати напругу джерела тестового сигналу  $\dot{U}_T$  (рис. 5, в), яка є сталою у певних межах, а як керуючий – напругу  $\dot{U}_x$ , що пропорційна до імітансу.

Перетворювач вектор-скаляр також істотно впливає на результат вимірювання. Із загального аналізу очевидним є те, що найістотніший вплив у звуковому діапазоні частот мають неінформативні фазові зсуви як в інформаційному каналах, так і в каналах керування. Однак необхідно зазначити, що якщо забезпечити однаковий діапазон зміни вхідного сигналу для різних значень імітансу то, як показують теоретичні та практичні дослідження [16], похибки такого перетворення незалежно від його характеру, можуть бути доведені до сотих, а то й тисячних відсотків на фіксованих частотах.

**Висновки.** Порівняльний аналіз способів вимірювання імітансу двополосників показав, що всі три способи вимірювання складових імітансу вдається реалізувати сукупністю основних однотипних вимірювальних засобів. Це джерело синусоїдної напруги, векторний перетворювач, перетворювач вектор-скаляр та АЦП. Кожний із перелічених способів вимірювання імітансу може бути реалізований у вимірювальних засобах для контролю показників якості. Відповідно, як метрологічні, так і експлуатаційні характеристики

частково залежать від зазначених вище вимірювальних пристроїв.

Необхідно зазначити, що за всіма способами вимірювань отримуємо однотипний вихідний сигнал – напругу постійного струму і, тим самим, спрощується спосіб використання такого уніфікованого вузла як АЦП.

Це дає змогу використати уніфікований вимірювальний пристрій подальшого перетворення – аналого-цифрового. Тобто наступним спільним вузлом, що може бути використаний для реалізації всіх трьох способів, є однотипний аналого-цифровий перетворювач АЦП інтегровального типу. Можливості сучасних АЦП, особливо нового покоління, щодо забезпечення високих показників портативності, метрологічних характеристик, надійності, завадозахищеності дуже широкі. Разом з тим, використання функції ділення двох напруг за допомогою АЦП дає змогу забезпечити інваріантність результату вимірювання до різного роду неінформативних впливних величин – як вузлів самої структури вимірювального засобу, так і зовнішніх чинників (температура, вологість тощо).

1. Походило С.В. Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імітансу об'єктів кваліметрії: Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.11.05 / Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – Львів, 2004. – 40 с. 2. Измерение в промышленности. Справ. изд. В 3-х кн. Пер. с нем. / Под ред. П. Профоса. – -2-е изд.,



перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 3. Нуберт Г.П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин. – Л.: Энергия, 1970. – 360 с. 4. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: Підручник. – Львів: Вид. Національного університету “Львівська політехніка”. 2000. – 360 с. 5. Берлинер М.А. Измерение влажности. Изд.2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1973. – 400 с. 6. Цифровий вологомір: Звіт про НДР, № держ. реєстр. ДР 0198U002404, Львів, 1999. 7. Гаврилюк М.А., Соголовский Е.П. Электронные измерители CLR. – Львов: Вища школа, 1978. – 134 с. 8. Походило Є.В. Малогабаритные измерители CLR – параметров прямого преобразования: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.11.05 / ЛПИ. – Львов: 1990. – 17 с. 9. Хома В.В. Улучшение характеристик измерителей составляющих иммитанса для средств параметрического контроля полупроводниковых структур: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.11.05 / ЛПИ. – Львов, 1989. – 17 с. 10. Достал И. Операционные усилители: перевод с английского.- М.: Мир, 1982. – 512 с.

11. Агамалов Ю.Р., Бобылев Д.А., Кнеллер В.Ю. Измеритель-анализатор параметров комплексных сопротивлений на основе персональной ЭВМ // Измерительная техника. – 1996. – № 6. – С.56–60. 12. Иванов В.Н., Соболев В.С., Цветков Є.И. Интеллектуализация измерений // Измерения, контроль, автоматизация. – 1992. – №1–2. – С.13–19. 13. Кнеллер В.Ю. Основы обобщенного анализа и синтеза измерительных цепей с уравниванием // Приборы и системы управления. – 1977. – №2. – С. 22–24. 14. Дехтяренко П.И. Синхронное детектирование в измерительной технике и автоматике – К.: Техніка, 1965. – 313 с. 15. Николайчук О.Л., Рево Ю.В. Измерительные фазочувствительные выпрямители // Измерения, контроль, автоматизация.-1979. – №5. – С. 36 – 42. 16. Дослідження алгоритмічних та програмно-апаратних методів підвищення заводо захищеності та метрологічних характеристик універсальних цифрових приладів системного застосування: Звіт про НДР, № держ. реєстр. 0196U000191, Львів, 1998. –120 с.

## МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОСЛУГ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ МАТРИЦЬ

© Ванько Володимир, Столярчук Петро, 2007

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Досліджено відомі методи оцінки якості продукції і послуг, враховуючи особливості та специфіку аналізованих об'єктів, а також запропоновано оригінальний метод визначення якості продукції, процесів і послуг, котрий дає змогу на основі теорії матриць сформулювати сукупність показників якості у вигляді набору векторів та матриці якості, що дає змогу вдосконалити процедуру оцінки якості об'єктів і зробити її наочнішою.*

*Исследованы известные методы оценки качества продукции и услуг с учетом особенностей и специфики анализируемых объектов, а также предложено оригинальный метод определения качества продукции, процессов и услуг, который позволяет на основании теории матриц сформировать совокупность показателей качества в виде набора векторов и матриц качества, что позволяет усовершенствовать процедуру оценки качества объектов и сделать ее более наглядной.*

*The known methods of production and service quality estimation are explored, taking into consideration the peculiarities and specialty of the analysed objects, as well the original method of production, process and service quality determination is proposed, it enables us to form the totality of quality indices as the set of vectors and a quality matrix on the basis of matrix theory that enables us to improve the procedure of object quality estimation and to make it more obvious.*

**Постановка проблеми.** У результаті повсякденної діяльності людство тією чи іншою мірою застосовує широкий перелік різних видів продукції, устаткування і послуг. З одного боку, для будь-якого з

останніх існує певний перелік споріднених аналогів – об'єктів зі схожими властивостями, особливостями реалізації і можливостями. З іншого боку, стосовно зазначених об'єктів важливим є ефект задоволення