5'2019 • МЕТРОЛОГІЯ ТА ПРИЛАДИ • ISSN 2307-2180

DOI: 10.33955/2307-2180(5)2019.52-55
УДК 677.017

КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНЕВОЇ ГУСТИНИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СКАНУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Control of Surface Density of Textile Materials Using Automated Scanning System

С. Лісовець, кандидат технічних наук,
доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки,
e-mail: ser.lis.290171@gmail.com
С. Барилко, кандидат технічних наук,
доцент кафедри,
e-mail: poo4ta@bigmir.net
А. Зенкін, доктор технічних наук,
професор кафедри,
e-mail: as-zenkin02@ukr.net
В. Здоренко, доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри,
e-mail: alzd@meta.ua
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

S. Lisovets, candidate of technical science,
associate professor of department of computer integrated technology and measurement engineering,
e-mail: ser.lis.290171@gmail.com
S. Barilko, candidate of technical sciences,
associate professor,
e-mail: poo4ta@bigmir.net
A. Zenkin, doctor of technical sciences,
professor of department,
e-mail: as-zenkin02@ukr.net
V. Zdorenko, doctor of technical sciences, professor,
head of department,
e-mail: alzd@meta.ua
Kyiv national university of technology and design, Ukraine

Визначена важливість контролю поверхневої густини текстильних матеріалів з метою підвищення якості їх виготовлення. Також, внаслідок можливого відхилення поверхневої густини від свого середнього значення у різних точках поверхні, показана необхідність використання автоматизованої сканувальної системи, яка дозволяє переміщувати електроакустичні перетворювачі, які випромінюють і приймають, саме в таку задану точку. Окрім того, наведено варіанти апаратно-програмної реалізації такої сканувальної системи.

The paper demonstrates the importance of controlling the surface density of textiles, which include mainly fabrics, knitted fabrics and nonwoven fabrics, in order to improve the quality of their manufacture.

It considers the most accurate methods of controlling surface density by determining the mass to area ratio of the textile sample. And it is also shown that, in addition to high accuracy, such methods have many fundamental disadvantages: the need to obtain a sample of textile material, low productivity, inability to automate the process of determining surface density, and so on.

In addition, it deals with optical methods for controlling surface density based on the imaging of textile material and its subsequent analysis. However, the presence of factors such as entanglement complexity, the presence of pores, and some others does not fully reveal the potential of optical surface density methods.

The paper also shows that at different points in the surface of the textile material, its surface density may differ significantly from its average value. Therefore, there is a need for an automated scanning system that allows radiating and receiving electroacoustic converters to be moved to exactly the point of the surface of the textile material whose surface density requires measurement.

In order to solve the problem, it was proposed to use a toothed belt gear, and to drive it with the help of step motors controlled through drivers. In turn, to communicate drivers with the control computer, it was proposed to use a microcontroller with an integrated USB interface (for example, manufactured by Microchip Technology Inc.), and software for it to write in one of the high-level programming languages (for example, C #).

This construction of the automated scanning system is due to the fact that the existing means of linear movement, in terms of the design of the scanning system, have a lot of redundancy: too much cost, too much accuracy, the need to use specialized software, and so on.

The use of the proposed linear positioning means will allow the scanning system to have sufficiently high metrological characteristics at a relatively low cost.

Ключові слова: *автоматизація, акустичні коливання, драйвер, електроакустичний перетворювач, контролер, поверхнева густина, сканувальна система, текстильний матеріал.*
Keywords: *automation, acoustic vibrations, driver, electro-acoustic transformer, controller, area density, scanning system, textile material.*

До текстильних матеріалів, які достатньо широко застосовуються у сучасному житті, відносяться тканини, трикотаж і неткані матеріали. Текстильні матеріали мають багато технологічних параметрів, одним із яких є поверхнева густина, яку часто називають поверхневою щільністю або масою на одиницю площі поверхні таких матеріалів. Поверхневу густину визначають різними методами, більшість із яких стандартизована.

© Лісовець С., Барилко С., Зенкін А., Здоренко В., 2019

Найбільш точні методи — це визначення маси й площі зразка текстильного матеріалу та обчислення поверхневої густини у виді їх відношення. Проте, окрім високої точності, такі методи мають багато принципових недоліків: необхідність отримання зразка текстильного матеріалу, низька продуктивність, неможливість автоматизації процесу визначення поверхневої густини, залежність від температури й відносної вологості навколишнього середовища тощо [1—6].

Достатньо поширеними є методи визначення поверхневої густини шляхом отримання оптичного зображення поверхні текстильного матеріалу з подальшим його аналізом. Наприклад, визначення кількості ниток основи й утоку на одиницю довжини за відомих параметрів цих ниток дозволяє достатньо легко розрахувати поверхневу густину. Але наявність таких факторів, як складність переплетіння, наявність пор і деяких інших не дозволяє повністю розкрити потенціал оптичних методів визначення поверхневої густини.

Перспективними є акустичні (ультразвукові) методи визначення поверхневої густини [7—13]. Вони полягають у випромінюванні в сторону текстильного матеріалу модульованих акустичних (ультразвукових) коливань й аналізі прийнятих коливань, які пройшли такий матеріал і/або відбилися від такого матеріалу. Особливістю цих методів контролю є формування акустичного (ультразвукового) пучка невеликого діаметра, приблизно (10…25) мм. Це пов'язано, в основному, з тим, що в електроакустичному тракті використовуються стандартні випромінювачі й приймачі невеликих розмірів. Наприклад, у парі випромінювач-приймач типу *T*4010*A*1 (випромінювач) і *R*4010*A*1 (приймач) кожний з них має діаметр 10 мм, у парі *T*4012*A*1 і *R*4012*A*1 — 12 мм, а у парі *T*4016*A*2 і *R*4016*A*2 — 16 мм.

Отже, якщо текстильний матеріал має значну ширину (типове значення до (2,5…3,0) м) і значну довжину (до (100…150) м і більше), стаціонарне розміщення випромінювачів і приймачів не може забезпечити контролю поверхневої густини в довільній точці за площею такого матеріалу.

Вирішенням такого завдання може бути розміщення кількох випромінювачів і приймачів у виді «лінійки» у такий спосіб, щоби вони перекривали певну частину ширини або всю ширину текстильного матеріалу. Але недоліком такого рішення, по-перше, є необхідність використання значної кількості випромінювачів і приймачів. По-друге, акустичні (ультразвукові) випромінювачі й приймачі, основним матеріалом для яких є п'єзоелектрична кераміка, мають достатньо значний розкид своїх параметрів (наприклад, пружних констант до ±5 %, п'єзоелектричних — до ±10 %, діелектричних — до ±20 %), і використання такої кількості випромінювачів і приймачів вимагатиме врахування особливостей кожного з них індивідуально, що призведе до суттєвого ускладнення будови електричних схем опрацювання сигналів [14]. По-третє, вдовж такої «лінійки» все одно б залишалися «зони невизначеності», в яких отримати поверхневу густину було б практично неможливо. Окрім того, за використання акустичних (ультразвукових) методів визначення поверхневої густини, які працюють на «проходження», необхідно розташовувати випромінювачі й приймачі по різні сторони від текстильного матеріалу.

Основна мета досліджень полягала у розробленні такої автоматизованої сканувальної системи для контролю поверхневої густини текстильних матеріалів, яка б дозволяла переміщувати точку контролю в будь-яке місце текстильного матеріалу за всією площею робочого простору, який визначався розмірами робочого стола (приблизні розміри 1м × 2м). При цьому похибка позиціювання не повинна була перевищувати ±5 мм, а час переміщення між будь-якими двома точками робочого простору — (1,5…3,0) с.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Поставлене завдання було розв'язано у виді макета сканувальної системи (рис. 1).

Як можна побачити з рис. 1, необхідно було переміщувати акустичні (ультразвукові) випромінювач і приймач 5 по довжині текстильного матеріалу за допомогою каретки осі *X* приблизно на 2 м, а по ширині — за допомогою двох кареток осі *Y* (верхньої й нижньої) приблизно на 1 м. Для цього було використано пасові зубчаті передачі з при-

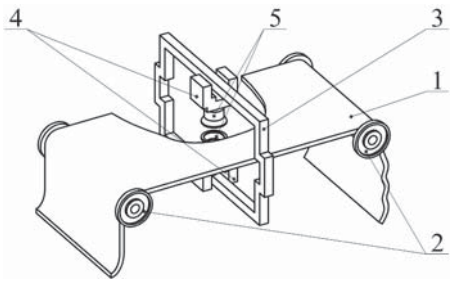

Рис. 1. Загальний вид макета сканувальної системи: 1 — текстильний матеріал; 2 — підтримувальні валки; 3 — каретка осі X; 4 — каретки осі Y; 5 — акустичні (ультразвукові) випромінювач і приймач
Fig. 1. General view of the model of the scanning system: 1 — textile material; 2 — supporting rolls; 3 — axis X carriage; 4 — axis Y carriages; 5 — acoustic (ultrasonic) radiator and receiver

водом від крокових двигунів, а самі каретки осей *X* і *Y* розміщено на лінійних напрямних з лінійними підшипниками. Як крокові двигуни було використано крокові двигуни типорозмірів *NEMA*17 і *NEMA*23, зокрема, 17*HS*8401 (струм 1,7 А) і 23*HS*6403 (струм 2,5 А); для керування двигунами — драйвери *CW*5045 виробництва *CNC*4*YOU Ltd*.

За використання драйверів *CW*5045 було прийнято рішення відмовитися від стандартних апаратно-програмних засобів керування ними (типу платирозв'язки *NC-Studio* і *PCI*-контролера до неї). Це було пов'язано з певними особливостями таких засобів, такими як підтримання не всіх версій операційних систем *Windows*, надлишковість (наприклад, можливість керування шпинделем), надмірна вартість, необхідність вивчати роботу спеціалізованого програмного забезпечення і таке інше. Взамін було запропоновано використання мікроконтролерів *ATmega*8*U*2, *ATmega*16*U*2 або *ATmega*32*U*2 виробництва *Microchip Technology Inc*., які мають убудований *USB*-інтерфейс. Використання зазначених мікроконтролерів для керування роботою драйверів *CW*5045 (і аналогічних ним) дозволяло створити недорогу автоматизовану сканувальну систему для контролю поверхневої густини текстильних матеріалів.

Фрагмент схеми підключення мікроконтролера *ATmega*32*U*2 до одного драйвера *CW*5045 наведено на рис. 2. Оскільки *USB*-інтерфейс міг забезпечити струм живлення до 0,5 А, то мікроконтролер *ATmega*32*U*2 можна було живити безпосередньо від такого інтерфейсу.

Оскільки в сканувальній системі використовується три драйвери *CW*5045 (один для каретки осі *X* і два для кареток осі *Y*), то інші два драйвери підключалися до інших виводів мікроконтролера *ATmega*32*U*2 (відповідно, до *PB*3, *PB*4, *PB*5 і *PB*6, *PB*7, *PC*7).

Власне споживання струму мікроконтролером *ATmega*32*U*2 не перевищує 20 мА, кожний із входів *PUL*+, *DIR*+ і *ENA*+ споживає не більше 15 мА — отже, загальне споживання струму від лінії *VBUS USB*-інтерфейсу не перевищувало приблизно

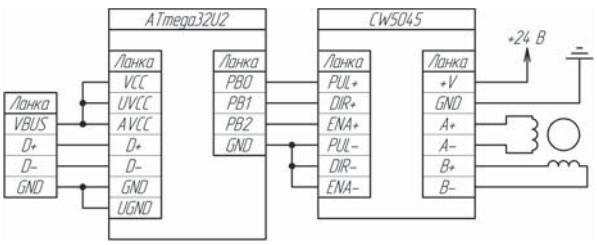

Рис. 2. Фрагмент схеми підключення мікроконтролера ATmega32U2 до драйвера CW5045

Fig. 2. Fragment of the scheme of connection of the ATmega32U2 microcontroller to the driver of CW5045

$$20 \text{ мА} + 3 \times (15 \text{ мА} + 15 \text{ мА} + 15 \text{ мА}) = 155 \text{ мА}. \quad (1)$$

Вхід *ENA*+ дозволяв (лог. 0) або забороняв (лог. 1) роботу драйвера *CW*5045 (за замовчуванням робота драйвера *CW*5045 дозволена), а вхід *DIR*+ дозволяв пряме (лог. 1) або зворотне (лог. 0) обертання крокового двигуна. Подавання прямокутних імпульсів на вхід *PUL*+ з частотою до 100 кГц дозволяло здійснювати поворот вала крокового двигуна кожного разу на один крок. По суті мікроконтролер *ATmega*32*U*2 є інтерфейсним блоком для обміну даними між драйверами *CW*5045 (з одного боку) і персональним комп'ютером (з іншого).

Програмування *ATmega*32*U*2 здійснювалося у середовищі *Atmel Studio* 7 мовою програмування *C* з використанням бібліотеки *LUFA* (*Lightweight USB Framework for AVRs*).

Програмне забезпечення для персонального комп'ютера створювалося у середовищі програмування *Visual Studio* 2019 з використанням пакету *Windows Driver Kit* 10. При цьому *ATmega*32*U*2 розглядався як *HID*-пристрій. Відповідно до специфікації, максимальна частота опитування *ATmega*32*U*2 зі сторони персонального комп'ютера становила 1 кГц за максимального розміру пакету 64 байт, що обмежувало швидкість обміну значенням

$$1000 \times 64 \text{ байт/с} = 64000 \text{ байт/с}. \quad (2)$$

Це значно менше швидкості обміну даними *USB*-модуля мікроконтролера *ATmega*32*U*2 у режимі *Full-speed* (до 12 Мбіт/с), але набагато перевищує потреби автоматизованої сканувальної системи.

У процесі роботи макета сканувальної системи (рис. 1) було проведено визначення поверхневої густини тканин бязь *Gold* (номінальна поверхнева густина (125…130) г/м^2) у вихідному і розтягнутому станах з одночасним руйнівним контролем такої густини шляхом вирізання частин тканин бязь *Gold* відомої площі, зважуванням цих частин на вагах і розрахунком поверхневої густини за формулою. Результати акустичного контролю засвідчили непоганий збіг з результатами руйнівного контролю: відносна похибка не перевищувала 10 % за середнього значення (4…6) % у різних точках поверхні тканин бязь *Gold*.

ЗАКЛЮЧНА ЧАСТИНА

Автоматизація переміщення електроакустичних перетворювачів з метою задання точки контролю поверхневої густини текстильних матеріалів дозволяє підвищити точність і швидкість визначення поверхневої густини, а використання готових драйверів разом із власним мікроконтролерним інтерфейсним блоком дозволяє знизити вартість обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. ДСТУ *EN* 984:2005 Покриви текстильні на підлогу. Метод визначення поверхневої щільності лицьового шару голкопробивних покривів на підлогу (DSTU EN 984:2005 Covers textile on a floor. A method of determination of area density front a layer of needle-penetrative covers on a floor).
2. ДСТУ *ISO* 139:2007 Матеріали текстильні. Стандартні атмосферні умови для кондиціювання та випробування (DSTU ISO 139:2007 Materials textile. Standard atmospheric conditions for conditioning and test).
3. ДСТУ ГОСТ 23785.4:2003 Тканина кордна. Метод визначення лінійних розмірів, щільності за основою і утоком, поверхневої щільності (DSTU GOST 23785.4:2003 Fabric of a kordn. A method of determination of the linear sizes, density behind a basis and a duck, area density).
4. ДСТУ *EN* 29073-1:2018 Матеріали текстильні. Методи випробування нетканих матеріалів. Частина 1. Визначення поверхневої щільності (DSTU EN 29073-1:2018 Materials textile. Test methods of nonwoven fabrics. Part 1. Determination of area density).
5. ДСТУ *ISO* 3801:2019 Текстиль. Тканини. Визначення маси на одиницю довжини та маси на одиницю площі (DSTU ISO 3801:2019 Textiles. Fabrics. Determination of weight per unit length and masses per unit area).
6. ДСТУ *ISO* 7211-6:2007 Матеріали текстильні. Методи аналізу структури тканини. Частина 6. Метод визначення поверхневої густини тканини (DSTU ISO 7211-6:2007 Materials textile. Methods of the analysis of structure of fabric. Part 6. Method of determination of area density of fabric).
7. ДСТУ *ISO* 9073-1:2008 Матеріали текстильні. Методи випробування нетканих матеріалів. Частина 1. Метод визначення поверхневої густини (DSTU ISO 9073-1:2008 Materials textile. Test methods of nonwoven fabrics. Part 1. Method of determination of area density).
8. Зенкін А.С. (2018) Удосконалення акустичного безконтактного контролю матеріалів із складною внутрішньою структурою / А.С. Зенкін, В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, С.М. Лісовець // Метрологія та прилади (Zenkin A.S., Zdorenko V.G., Barylko S.V., & Lisovets S.N. (2018). Improvements of acoustic non-contact control of materials with complex internal structure [Udoskonalennia akustychnoho bezkontaktnoho kontroliu materialiv iz skladnoiu vnutrishnoiu strukturoiu]. Metrology and devices, 3 (71), 47—51 [in Ukraine]). — № 3(71). — С/S. 47—51.
9. Здоренко В.Г. (2018) Моделювання роботи електроакустичного тракту з об'єктом дослідження / В.Г. Здоренко, С.М. Лісовець, С.В. Барилко, О.П. Яненко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (Zdorenko V.G., Lisovets S.N., Barylko S.V., & Yanenko A.F. (2018). Simulation of electroacoustic path operation with the subject of investigation [Modeliuvannia roboty elektroakustychnoho traktu z ob'iektom doslidzhennia]. Measuring and computer facilities in technological processes, 2 (62), 117–121 [in Ukraine]). — № 2 (62). — С/S. 117—121.
10. Здоренко В.Г. (2007) Ультразвуковий пристрій для технологічного контролю якості текстильних матеріалів / В.Г. Здоренко, Н.М. Защепкіна // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну (Zdorenko V.G. & Zashchepkina N.N. (2007) Ultrasonic device for technological quality control of textile materials [Ultrazvukovyi prystrii dlia tekhnolohichnoho kontroliu yakosti tekstylnykh materialiv]. Bulletin of the Kiev national university of technologies and design, 5 (37), 40–43 [in Ukraine]). — № 5 (37). — С/S. 40—43.
11. Здоренко В.Г. (2013) Дослідження проходження імпульсного ультразвукового сигналу крізь тканину при контролі поверхневої щільності / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко // Вісник Хмельницького національного університету (Zdorenko V.G. & Barylko S.V. (2013) Researches of passing of a pulse ultrasonic signal through fabric at control of area density [Doslidzhennia prokhodzhennia impulsnoho ultrazvukovoho syhnalu kriz tkanynu pry kontroli poverkhnevoi shchilnosti]. Bulletin of the Khmelnytskyi National university, 3, 90—96 [in Ukraine]). — 2013. — № 3. — С/S. 90—96.
12. Здоренко В.Г. (2018) Дослідження застосування ультразвукового безконтактного методу визначення технологічних параметрів для процесу ткацтва / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, О.В. Барилко, С.М. Лісовець, Т.В. Лебедюк // Вісник Херсонського національного технічного університету (Zdorenko V.G., Barylko S.V., Barylko E.V., Lisovets S.N. & Lebedyuk T.V. (2018) Researches of application of an ultrasonic contactless method of definition of process parameters for weaving process [Doslidzhennia zastosuvannia ultrazvukovoho bezkontaktnoho metodu vyznachennia tekhnolohichnykh parametriv dlia protsesu tkatstva]. Bulletin of the Kherson national technical university, 4(67), 152—161 [in Ukraine]). — № 4(67). — С/S. 152—161.
13. Здоренко В.Г. (2019) Застосування фазового та амплітудно-фазового акустичних методів для автоматизованого контролювання поверхневої щільності текстильних матеріалів / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, С.М. Лісовець, Д.О. Шипко, Ю.О. Дерій // Стандартизація, сертифікація, якість (Zdorenko V.G., Barylko S.V., Lisovets S.N., Shipko D.A. & Deriy J.A. (2019) Applications phase and amplitude phase acoustic methods for the automated monitoring area density of textile materials [Zastosuvannia fazovoho ta amplitudno-fazovoho akustychnykh metodiv dlia avtomatyzovanoho kontroliuvannia poverkhnevoi shchilnosti tekstylnykh materialiv]. Standardization, certification, quality, 2 (114), 86–94 [in Ukraine]). — № 2(114). — С/S. 86—94.
14. Zdorenko V. (2018) The use of ultrasonic method for determining the basis weight of textile materials / V. Zdorenko, O. Kyzymchuk, S. Barylko, L. Melnyk // The Journal of The Textile Institute. . Vol. 109. Issue 3. P. 410—418.
15. ГОСТ 12370-80 Материалы пьезокерамические. Методы испытаний. — М.: Изд-во стандартов (GOST 12370 80. Piezoceramic materials. Test methods), 1980.

Отримано / received: 10.10.2018.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С.А. Клименком (Україна).

Prof. S.A. Klymenko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.