

УДК 621.87

CREATION AND RESEARCH OF MECHATRONIC MODULE FOR DETERMINATION OF MATERIAL OF PLASTIC BOTTLES IN LINES OF SECONDARY PROCESSING

A. Kharkevych, M. Yakymchuk, T. Yakymchuk, V. Yakymchuk
National University of Food Technologies

Key words:

plastic bottle,
recycling,
QR-code,
Mobius loops

Article history:

Received 07.12.2021
Received in revised form
09.12.2021
Accepted 10.12.2021

Corresponding author:

anyakharkevych.99@
yahoo.com

ABSTRACT

The proposed set of technical solutions will automatically collect information from each used plastic packaging during its sorting and enter into the created general electronic accounting system. The obtained information will include the date of manufacture of the plastic product, the type of polymer material, color, volume (size), the name of the manufacturer and the individual product code. This approach will create a nationwide accounting system for each plastic package starting from the manufacturing stage and ending with the processing stage, which will allow you to track and analyze trends in the manufacture and processing of plastic packaging by manufacturers.

The main advantage of the proposed solutions is the introduction of a sorting system for used plastic packaging, which can be quickly reconfigured according to the information received, for example, the names of companies producing these products, or the type of material or volume of packaging. The scientific development is based on the concept of using the labeling of plastic products — QR-code. A distinctive feature of this principle is the use of QR-code as a means of labeling with advanced information capabilities.

The practical value of the work is the creation of a new design of the device for reading information from the surface of the used plastic product during its sorting.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-14

СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛУ ПЛАСТИКОВИХ ПЛЯШОК У ЛІНІЯХ ВТОРИННОЇ ПЕРЕРОБКИ

А. О. Харкевич

М. В. Якимчук, д-р техн. наук

Т. С. Якимчук

В. М. Якимчук

Національний університет харчових технологій

Основною перевагою запропонованих рішень є впровадження системи сортування використаної пластикової упаковки, яка може швидко переналагоджуватися згідно з отриманою інформацією, наприклад, за назвами компаній-виробників продукції, або за видом матеріалу чи об'єму упаковки. В основу наукової розробки покладена концепція використання маркування пластикового виробу — QR-коду. Характерною рисою такого принципу є використання QR-коду як засобу маркування з розширеними інформаційними можливостями.

Практичною цінністю роботи є створення нової конструкції пристрою для читання інформації з поверхні використаного пластикового виробу під час його сортування.

Ключові слова: пластикова пляшка, переробка, QR-код, петля Мебіуса.

Постановка проблеми. Останнім часом у конструкціях сучасних ліній вторинної переробки пластикових пляшок спостерігаються революційні зміни, пов'язані з активною появою нових технічних елементів у системі автоматизації та контролю технологічних процесів і технологій створення штучного інтелекту [1]. Утилізація відходів є одним з найактуальніших питань сьогодення як в Україні, так і за кордоном.

Серед споживчих упаковок переважають упаковки з пляшок. Для всіх споживчих упаковок перед переробкою досить важливим етапом є сортування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі поводження з твердими побутовими відходами з позицій їх вторинної переробки присвячено чимало наукових праць. Попри це, дуже мало вітчизняних і зарубіжних науковців приділяють увагу використанню сучасних технологій в операціях сортування в процесі переробки використаної пластикової упаковки. В працях [1—9] розглянуто основні тенденції та закономірності переробки пластикових упаковок. В [1—4] висвітлено основні проблеми накопичення, поширення та використання пластикових відходів. Автори праць пропонують різні концепції їх переробки та рішення щодо роздільного сортування. Однак у зазначених дослідженнях не висвітлено конструкції обладнання, яким можна забезпечити запропоновані способи переробки пластикових відходів.

У [5—7] досліджуються вплив пластикових відходів як токсичного матеріалу на людей, представників фауни та флори. За результатами таких досліджень автори порівнюють ефективність різних способів переробки використаної пластикової упаковки. Слід зазначити, що запропоновані рішення переробки пластикової упаковки мають спільну технологічну операцію — сортування за видом матеріалу. В [8; 9] розглянуто технічні й технологічні характеристики обладнання для переробки пластикової упаковки, розкриті нові конструкції окремих механізмів і пристроїв. Однак запропоновані конструкції механізмів сортування не відповідають вимогам сьогодення щодо інформативності маркування, ефективності та якості таких процесів.

Мета статті: полягає в розробленні, виготовленні та дослідженні характеристик пристрою для визначення матеріалу пластикових пляшок з використанням QR-коду.

Матеріали і методи: аналіз і наукове узагальнення літературних джерел, у яких висвітлюються зазначенні питання; чисельний експеримент, виконаний на основі законів збереження енергії. Результати теоретичних і експериментальних досліджень оброблені з використанням методів теорії ймовірності та математичної статистики.

Викладення основних результатів дослідження. Традиційно сортування пластикових пляшок здійснюється двома способами: ручним та автоматичним. Ручне сортування дає змогу забезпечити високу якість отримання однорідної вторинної сировини, однак цей спосіб малопродуктивний. Автоматичне сортування засноване на застосуванні сенсорів, які отримують дані про фізичні або хімічні властивості використаної пластикової упаковки. Найбільш поширеними є два типи автоматичних сортувальних систем: сортування за кольором, засноване на ефекті поляризації видимого світла, яке проходить крізь пластикову пляшку, та сортування за матеріалом, засноване на ефекті спектрального аналізу. В особливу групу обладнання для сортування за матеріалом можна віднести пристрої для читання петлі Мебіуса, яка містить закодовану інформацію про матеріал пластику.

Основними недоліками перерахованих способів є непостійна якість сортування, яка суттєво залежить від стану використаної пластикової пляшки, впливу зовнішніх факторів на технологічний процес і, безперечно, недостатня інформативність отриманих результатів.

Автори дослідження пропонують запровадити нову філософію маркування пластикових пляшок, яка базується на використанні QR-коду замість петлі Мебіуса. Головною перевагою QR-коду над петлею Мебіуса є можливість простого та швидкого сканування й зберігання великого обсягу інформації, що кодується. QR-код може бути нанесений у будь-якому місці пляшки. За термінологічним визначенням QR — це скорочення від Quick Response, що означає «швидкий відгук». Головною перевагою QR-коду над звичайним штрих-кодом та петлею Мебіуса є можливість простого та швидкого сканування й зберігання великого обсягу інформації, що кодується.

Нанесення зображення QR-коду на поверхню ПЕТ-пляшки можна виконувати за допомогою лазерних технологій, наприклад, у форматі JPG (рис. 1).



Рис. 1. Зразки пляшок з QR-кодом

Зчитування QR-коду можливе за умови використання камер технічного зору. Робота камери передбачає сканування площини, на якій знаходиться QR-код, з подальшою передачею інформації через цифрову систему керування.

Для визначення швидкодії сканування QR-коду камерою технічного зору була розроблена математична модель для визначення впливу зовнішніх факторів на формування зображень у системах зчитування коду (рис. 2).



Рис. 2. Вплив зовнішніх факторів на формування зображень у системах зчитування коду: x_1 (l_1) — відстань від пляшки до камери, мм; x_2 (l_2) — розмір QR-коду, мм; Y — час зчитування камерою QR-коду, с

У наведеній математичній моделі розглядається залежність часу обробки зображення від дискретизації формування відліків, які після амплітудного квантування фіксуються камерою технічного зору.

Безперервним статичним зображенням для читання QR-коду в першому наближенні є функція часу і двох просторових координат:

$$f = f(x, y, t), \quad (1)$$

де t — час; x, y — просторові координати розподілу енергії джерела світлового випромінювання на QR-код.

Час читання інформації із зображення QR-коду має обмежену тривалість:

$$t_{\min} \leq t \leq t_{\max}, \quad (2)$$

де $t_{\min}, t_{\max}$ — час початку і закінчення спостереження.

У разі руху пластикової пляшки час сканування інформації збільшується на величину пошуку зображення. Читання безперервного динамічного зображення QR-коду в першому наближенні залежить від просторових координат і часу пошуку:

$$f(x, y, t) \rightarrow g_{\tau}(m, n, \tau), \quad (3)$$

де τ — час, що минув з моменту початку спостереження. Тоді $t = \tau + t_{\min}$. За рівномірного відліку часових інтервалів з кроком $\Delta\tau$ отримано:

$$\tau = k\Delta\tau, \quad (4)$$

де k — ціле число в діапазоні

$$0 \leq k \leq K - 1, \quad (5)$$

де K — кількість кадрів зображення. Очевидно, що:

$$K = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{\Delta\tau}. \quad (6)$$

Тоді дискретне динамічне зображення вважається функцією яскравості за умови:

$$g_{\tau} = g_{\tau}(m, n, \tau). \quad (7)$$

Для перевірки адекватності теоретичних результатів математичних моделей реальним процесам була розроблена і виготовлена експериментальна установка (рис. 3, а, б).

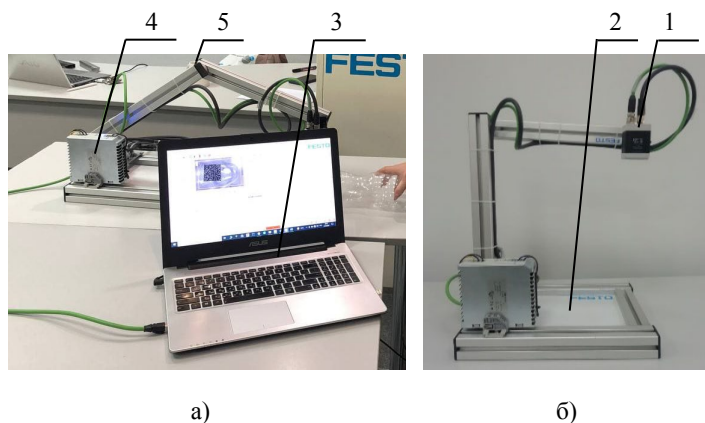


Рис. 3, а, б. Експериментальна установка для сортування використаних пластикових пляшок за допомогою «технічного» зору: 1 — платформа установки; 2 — камера SBSI-B компанії «Festo»; 3 — комп'ютер; 4 — електрична система керування; 5 — регулятор розташування камери

Робота експериментальної установки заснована на принципі сканування QR-коду засобами технічного зору шляхом використання цифрових пристроїв та інтелектуальної камери, які керуються програмним забезпеченням обробки зображень. В основу експерименту покладено сканування камерою SBSI-B компанії «Festo» (рис. 4).



Рис. 4. Розміщення камери відносно пляшки

Інформація зі сканованого QR-коду з камери надходила в контролер, розшифровувалась і разом з технічними характеристиками процесу обробки інформації виводилась на екран комп'ютера (рис. 5).

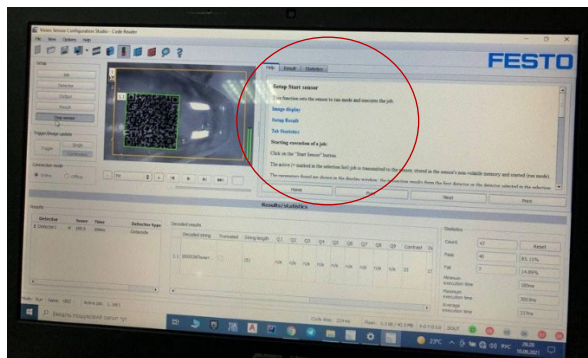


Рис. 5. Розшифрована інформація з QR-коду, зображення відсканованої ділянки пляшки і технічні характеристики процесу обробки зображення на екрані монітора

Для досліджень був розроблений і проведений багатofакторний експеримент, матриця якого показана в табл. 1.

Таблиця 1. Матриця проведення багатofакторного експерименту

№	N_2	N_1	z_1	z_2	$z_1 z_2$	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}$
1	2	1	+	+	+	271	274	270	272
2	3	2	—	+	—	223	227	228	226
3	1	4	+	—	—	186	181	183	183
4	4	3	—	—	+	224	229	222	225

Результати аналітичних та експериментальних досліджень часу обробки зображення камерою QR-коду пляшки залежно від основних параметрів процесу представлено у вигляді:

$$t = 226,694 + 4,412l_2 - 0,0088l_1 + 0,176l_1l_2, \quad (8)$$

де t — часу обробки зображення, с; $x_1(l_1)$ — відстань від пляшки до камери, мм; $x_2(l_2)$ — розмір QR-коду, мм.

Встановлено, що на час обробки зображення QR-коду камерою SBSI-B компанії «Festo» суттєво впливає відстань від камери до об'єкта сканування.

Висновки. Запропонований комплекс технічних рішень дає змогу автоматично збирати інформацію з кожної використаної пластикової упаковки під час її сортування та заносити в створену загальну електронну систему обліку. Отримана інформація містила дату виготовлення пластикового виробу, тип полімерного матеріалу, колір, об'єм (розмір), назву компанії-виробника та індивідуальний код виробу.

Такий підхід — це перші кроки до створення загальнодержавної системи обліку кожної пластикової упаковки, починаючи з етапу виготовлення та закінчуючи етапом переробки, яка забезпечить можливість відслідковувати та аналізувати тенденції виготовлення та переробки пластикової упаковки за виробниками.

Основною перевагою наукової розробки є впровадження системи сортування використаної пластикової упаковки, яка може швидко переналагоджуватися згідно з отриманою інформацією, наприклад, за назвами компаній-виробників продукції або за видом матеріалу чи об'єму упаковки. Запропоновані технічні ідеї дадуть поштовх до створення нового покоління обладнання для сортування використаних пластикових упаковок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рахимов М. А. Проблемы утилизации полимерных отходов / М. А. Рахимов, Г. М. Рахимова, Е. М. Иманов // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 8—2. — С. 331—334.
2. Recycling of plastic waste: Screening for brominated flame retardants (BFRs) / К. Pivnenko [et al.] // Waste Management. — 2017. — Vol. 69. — P. 101—109. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.038>.
3. Pellow D. N., Park L., Garbage S.-H. Wars: The Struggle for Environmental Justice in Chicago. Cambridge, MIT Press, 2004. 256 p.
4. Knoblauch J. A. The environmental toll of plastics. Environmental Health News, 2009. Available at: <https://www.ehn.org/plastic-environmental-impact-2501923191.html>.
5. Rakhimov M. A., Rakhimova G. M., Imanov E. M. Problems of recycling polymer wastes. Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research, 2014, no. 8—2, pp. 331—334.
6. Gruchlik Y., Linge K., Joll C. Removal of organic micropollutants in waste stabilization ponds: a review. Journal of Environmental Management, 2017, vol. 206, pp. 202—214. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.10.020.
7. Оценка экологической безопасности термопластичных материалов на основе линейных полимеров / В. П. Дмитренко [и др.] // Экология промышленного производства. — 2018. — № 1(101). — С. 52—59.

8. Pivnenko K., Granby K., Eriksson E., Astrup T. F. Recycling of plastic waste: Screening for brominated flame retardants (BFRs). *Waste Management*, 2017, vol. 69, pp. 101—109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.038>.

9. Якимчук М. В. Дослідження процесу аеросепарації в лініях сортування використаної упаковки / М.В. Якимчук С. Іванченко, В. Кунчій // Програма і матеріали 83 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 5—6 квітня 2017 р. — К.: НУХТ, 2017 р. — Ч. 2. — 114 с.

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПЛАСТИКОВЫХ БУТЫЛОК В ЛИНИЯХ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

А. А. Харкевич, Н. В. Якимчук, Т. С. Якимчук, В. Н. Якимчук

Национальный университет пищевых технологий

Основным преимуществом предлагаемых решений является внедрение системы сортировки использованной пластиковой упаковки, которая может быстро перенастраиваться в соответствии с полученной информацией, например, по названиям компаний-производителей данной продукции или по виду материала, объема упаковки. В основу научной разработки положена концепция использования маркировки пластикового изделия — QR-кода. Отличительной особенностью такого принципа является использование QR-кода как средства маркировки с расширенными информационными возможностями.

Практическая ценность работы — создание новой конструкции устройства для чтения информации с поверхности использованного пластикового изделия во время его сортировки.

Ключевые слова: *пластиковая бутылка, переработка, QR-код, петля Мебиуса.*