Сортування полімерних пляшок із використанням елементів «технічного» зору

М.В. Якимчук, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., А.П. Беспалько, к.т.н., К.В. Пащенко, Національний університет харчових технологій, м. Київ

** Початок. Закінчення в наступному номері*

Відколи полімери з'явились у житті сучасної людини, її світ перетворився на еру використання полімерних виробів. Серед них найбільш розповсюдженими є різні види упаковки: жорстка (пляшки, банки, коробки тощо) та м'яка (пакети, мішки, контейнери). Їхнє виготовлення — складний технологічний процес, що передбачає перероблення великого асортименту полімерних матеріалів, які мають різні технологічні, фізичні та хімічні властивості. Після використання упаковка потрапляє на смітник, змішуючись з іншими твердими побутовими відходами (ТПВ). Відходи упаковки є корисною вторинною сировиною. Однак, щоб використати ці відходи у виробництві, насамперед необхідно їх зібрати та відсортувати [1].

Полімерні пляшки

Використання пляшок із різних полімерних матеріалів у пакувальній індустрії має беззаперечні переваги порівняно з іншими видами упаковки, починаючи з їх виробництва, пакування, транспортування тощо. Вона стає дедалі привабливішою для виробників, що пояснюється її вагою, яка в десятки разів менша за вагу аналогічної скляної пляшки, та фізико-механічними властивостями матеріалу щодо руйнування. Полімерні пляшки деформуються, однак майже не руйнуються [2].

Рис. 1. *Полімерні пляшки різних форм, розмірів та матеріалів*

Найбільш розповсюджені полімерні пляшки з ПЕТФ ємністю від 0,5 до 2 л з різною товщиною стінок та кольором (рис. 1). Номінальні товщини стінок таких пляшок, їхня геометрична форма та конструкція горловини залежать від преформи, з якої їх виготовляють. Основною характеристикою преформ є їхня маса. Преформи масою 22, 24, 27 г використовують для виготовлення полімерних пляшок місткістю 1 л, а товщина їхніх стінок дає можливість пакувати негазовані рідини, наприклад, рослинну олію або оцет. З преформ масою 25, 34 і 36 г теж виготовляють пляшки місткістю 1 л з товщиною стінок для пакування газованих рідин: мінеральної води, квасу або пива. Преформи масою 40,7 і 42 г використовують для виготовлення пляшок місткістю 1,5 л, а масою 50, 51,5 і 52 г — 2-літрових пляшок .

Полімерні пляшки розрізняють:

- за формою поперечного перетину: круглі, квадратні, овальні та пляшки спеціальної форми;
- за температурою фасування продукції: гаряче фасування з максимальною температурою 90 °С; для пастеризації з максимальною температурою 75 °С; холодне фасування в асептичному середовищі типу Ultra-Clean (надчисті);
- холодне фасування в атмосферному середовищі.

За останні роки в Україні спостерігається стрімке зростання виробництва та пакування напоїв, а також рідкої харчової продукції в полімерні пляшки. Характерною ознакою такого зростання є зменшення (до 3–5 %) імпорту преформ та створення потужностей для виробництва їх в Україні. Такі потужності здатні забезпечити преформами не тільки українських виробників, а й суттєво (до 25–30 %) збільшити їх експорт.

Відповідно до технічних умов та стандартів виготовлення жорстких полімерних виробів, виробники повинні обов'язково вказувати їх матеріал у вигляді спеціального реєстраційного коду. Реєстраційний код (рис. 2) має форму трикутника (петлі Мебіуса), стінки якого зображені у вигляді стрілок. Під трикутником — буквеною абревіатурою позначають тип полімеру, а його шифр додатково дублюється цифрою в центрі трикутника, зокрема: 01 — поліетилентерефталат (PET), 02 — поліетилен високої щільності (PEHD), 03 — полівінілхлорид (PVC), 04 — поліетилен низької щільності (PELD), 05 — поліпропілен (PP), 06 — полістирол (PS), 07 — інші види (O).

Найпопулярнішими видами полімерів, з яких виготовляють пляшки, є: поліетилентерефталат, поліетилен високої щільності, полівінілхлорид тощо. Реєстраційний код тра-

диційно розміщують на днищі або на боковій стінці полімерної пляшки.

Після споживання напоїв полімерні пляшки перетворюються у побутові відходи, щорічний обсяг яких в Україні становить 120–130 тис. т. Повторне використання їх як вторинної сировини для виготовлення різноманітної продукції, зокрема й упаковки, потребує розроблення та дотримання цілого комплексу технологічних, законодавчих та економічних умов щодо їх перероблення. Основними чинниками технологічних процесів, які гальмують розвиток ринку вторинної сировини, є відсутність ефективного впровадження способів збирання та сортування полімерних пляшок.

У сучасних умовах напрочуд актуальною є проблема впровадження роздільного збирання ТПВ. За відсутності в країні системи поводження з ТПВ на рівні держави, значна частка полімерних відходів в Україні збирається не роздільно і опиняється на звалищі чи просто спалюється, і надалі їхнє сортування стає вкрай проблематичним [3].

Очевидною перевагою системи роздільного збирання є завчасне вилучення вторинної сировини з потоку ТПВ. Такий процес зменшує кількість відходів, які підлягають захороненню, сприяє розв'язанню екологічних, соціальних проблем та підвищує рентабельність сфери поводження з ТПВ.

Ручне сортування

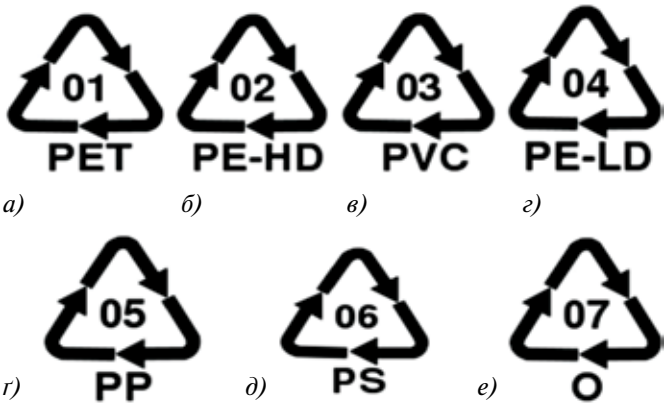
Основною проблемою після отримання «чистої» вторинної сировини у вигляді масиву однотипних виробів є подальше її сортування за матеріалом. За способом проведення сортування процеси поділяють на ручні та механізовані з автоматичною системою керування.

На жаль, в Україні сьогодні основним способом визначення матеріалу полімерних пляшок є ручне сортування. Ефективне ручне сортування полімерів можливе за умови кваліфікованої підготовки працівників, які виконують цю технологічну операцію шляхом візуального контролю. Оператори повинні добре розумітися на полімерних матеріалах і візуально їх відрізняти. Реалізовано дві схеми ручного сортування полімерних пляшок (рис. 3).

При прямій схемі сортування полімерні пляшки потрібних матеріалів забирають з конвеєра, а на конвеєрі залишається решта ТПВ (рис. 4а). Зворотна схема сортування передбачає зворотний процес — полімерні пляшки потрібних матеріалів залишають на конвеєрі, а непотрібні ТПВ видаляють з нього (рис. 4б).

Якість ручного сортування та продуктивність технологічних ліній для його реалізації залежить від багатьох чинників: якісний склад сировини, рівномірність подачі ТПВ, щільність полімерів на конвеєрі, швидкість стрічки магістрального конвеєра, кількість видів змішаних полімерів у потоці тощо.

Для більш надійного визначення матеріалу полімерів, крім візуального контролю, додатково проводять пошук ідентифікаційного знаку та тесту на згин. Не секрет, що при значній продуктивності лінії ручного сортування така перевірка малоефективна.



а) *б)* *в)* *г)* *ґ)* *д)* *е)*

Рис. 2. *Умовні позначення реєстраційних кодів полімерних матеріалів: PET (а), PEHD (б), PVC (в), PELD (г), PP (ґ), PS (д), інші види (е)*

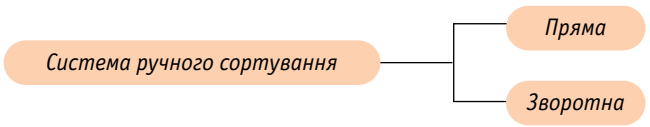


Рис. 3. *Схеми ручного сортування полімерних пляшок*

а)

б)

Рис. 4. *Схеми ручного сортування: пряма (а), зворотна (б)*

Додатковим ефектом візуальної ідентифікації полімерів при ручному сортуванні є застосування ультрафіолетового світла, яке змінює колір пляшки. Такий ефект забезпечують полімерні матеріали або добавки до них, які використовуються для формування унікальних хімічних структур їхніх стінок та мають властивість «світитися» під дією ультрафіолетового випромінювання. Впровадження систем ультрафіолетового освітлення підвищує ефективність та якість сортування полімерних виробів до 99 %, однак є небезпечним для здоров'я обслуговуючого персоналу, який працює в таких умовах до двох годин на добу.

Автоматичне сортування

Автоматичне сортування є незалежним від «людського чинника» і може проводитися при різних технологічних режимах та зовнішніх умовах. Є два основні типи автоматизованих сортувальних систем (рис. 5) [4].

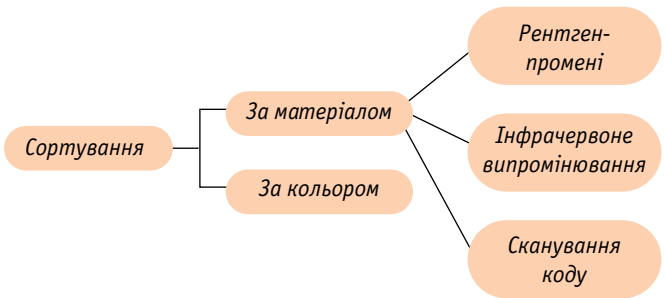


Рис. 5. *Системи технологічних процесів автоматизованого сортування*

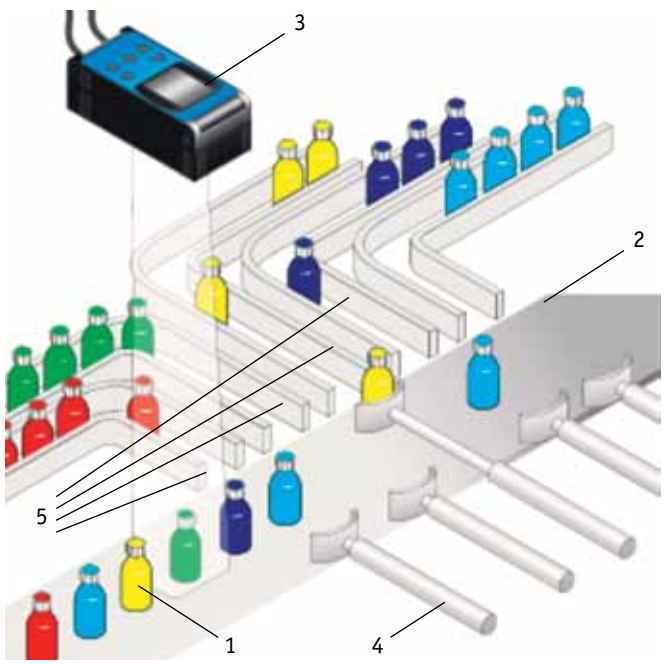


Рис. 6. *Сортування полімерних пляшок за кольором*

Сортування полімерних пляшок за кольором ґрунтується на використанні датчиків кольору з видимим або ультрафіолетовим світлом. Принципова схема такої системи показана на рис. 6. Полімерні пляшки 1 подаються конвеєром 2 та скануються, проходячи повз систему технічного зору 3. Система визначає кольори кожної пляшки та порівнює їх із заданими еталонними. Ідентифіковані за кольором полімерні пляшки зіштовхуються пристроями 4 на відвідні конвеєри 5 для подальшого перероблення.

Сортування полімерних пляшок за типом матеріалу ґрунтується на явищі пропускання крізь їхні стінки різного роду випромінювання, характеристики якого аналізуються відповідним програмним забезпеченням. Для випромінювання використовують інфрачервоні та рентгенівські промені.

Сучасні лінії сортування дають можливість сортувати полімерні пляшки різних видів та типів шляхом одночасного використання різних технологій випромінювання. Прикладом такого сортування є робота автоматизованої лінії, в якій використовується рентгенівське та інфрачервоне випромінювання (рис. 7).

Використання рентгенівських променів дає можливість визначити полімерні відходи з ПВХ у загальному потоці змішаної полімерної маси. Цей тип випромінювання дає змогу точно ідентифікувати наявність атомів хлору, що є в ПВХ. Є два типи систем, у яких використовується рентгенівське випромінювання. Перший тип передбачає аналіз характеристик потоку променів, які пройшли крізь стінки полімерного матеріалу і складається з випромінювача рентгенівських променів та датчика-приймача. Основною перевагою системи першого типу є відсутність впливу етикеток або забруднення на якість сканування. До недоліку системи можна віднести похибки сканування у випадку «склеювання» пляшок.

Другий тип системи ґрунтується на флуоресценції — поглинання та відбивання світла від стінок полімерної пляшки з подальшим обробленням характеристик отриманого потоку.

Застосування інфрачервоного випромінювання дає можливість розпізнавати широкий спектр полімерів. Сканування за таким принципом вимагає «чистих» полімерних пляшок без етикеток та кришечок. До недоліків такої системи можна віднести додаткову похибку сканування у випадку «накладання» однієї пляшки на іншу під час їх транспортування, яке називається «екранним ефектом». Для уникнення цього ефекту потрібно транспортувати полімерні пляшки тонким шаром, який забезпечить індивідуальне «читання» інформації з кожної пляшки датчиком сканування. Схема сортувальних машин з використанням інфрачервоного випромінювання наведена на рис. 8.

Полімерні пляшки подають у завантажувальний бункер 1, звідки вони потрапляють на вібруючу площину 2, яка формує потік тонкого шару з наступною подачею його на похилий жолоб 3. На стінках камери жолоба, спереду і ззаду від рухомого потоку полімерних пляшок, установлена система датчиків 4, які визначають матеріал полімерних пляшок. Інформація з датчиків подається на електронну

систему керування, обробляється і за допомогою пневматичних ежекторів 5 розділяє траєкторії потоку полімерних пляшок за визначеним матеріалом (бункер 6) та невизначеним (бункер 7).

Традиційно інфрачервоне випромінювання застосовується в лініях сортування полімерних пляшок з ТПВ (рис. 9), які складаються з конвеєра подачі ТПВ 1, сканера 2 та сортувального пристрою 3. Принцип роботи системи сканування подібний описаному вище. Недоліком таких систем є похибки сканування у випадках подачі занадто забруднених полімерних пляшок. Сканер характеризує такі пляшки, як забарвлені або матові, що іноді не відповідає дійсності. Важливою перевагою методу сортування інфрачервоним випромінюванням є його безпечність для обслуговуючого персоналу.

Основними функціональними пристроями в таких лініях є сканери, у яких використовуються датчики з принципами роботи, що ґрунтуються на явищах різної фізичної природи [5].

Прикладом датчиків, які забезпечують сортування за допомогою рентгенівських променів, є датчики фірми Filtec Omnivision II (Японія). Вони виконують інспекцію всієї внутрішньої поверхні порожньої полімерної пляшки за один цикл роботи, що значно зменшує похибку визначення матеріалу. У разі потреби такий датчик вбудовується в наявні лінії сортування без будь-яких модернізацій та не потребує покрокового розташування полімерних пляшок у потоці сортування. Подача полімерних пляшок та фіксування їх у зоні сканування традиційно здійснюється стисненим повітрям та вакуумом. Принцип роботи датчика показано на рис. 10. Рентген-промені 1 потрапляють на внутрішню поверхню полімерної пляшки 2, відбиваються і потрапляють на матрицю датчика 3, програмне забезпечення якого обробляє інформацію та визначає матеріал пляшки. Через систему сканування Omnivision II можуть проходити полімерні пляшки різних розмірів та форм.

Датчик KN88PA3 фірми Wenglor (рис. 11) використовують для розпізнавання прозорого скла, фольги, пляшок із ПЕТФ шляхом оброблення кольору поверхні виробів і відносять до сенсорів дзеркального типу. Такі сенсори здатні розрізняти найдрібніші відтінки кольору, зберігати їх у пам'яті, а також одночасно контролювати абсолютні значення кольорів та визначати різницю між двома розпізнаними кольорами. Основними складовими такого датчика є матриця датчика 1, корпус 2 та під'єднувальні клеми 3.

Для сортування пляшок за допомогою інфрачервоного променя застосовують датчики фірми OPTEX (Японія). Принцип роботи датчика побудований на явищі сприймання полімерами дії інфрачервоного випромінювання, в результаті якого він здатен розпізнавати широкий спектр їх матеріалів. Схема роботи датчика показана на рис. 12: полімерні пляшки 1 подаються по конвеєру 2 та проходять через інфрачервоні промені 3 датчика OPTEX FA NF25/02. Інфрачервоні промені частково відбиваються від поверхні полімерної пляшки, частково проходять крізь неї і відбиваються від спеціального рефлектора 4 та повертаються до датчика, який аналізує їх характеристику та ідентифікує матеріал полімерної пляшки.

Рис. 7. *Загальний вигляд автоматизованої лінії сортування полімерних пляшок із використанням різних технологій випромінювання*

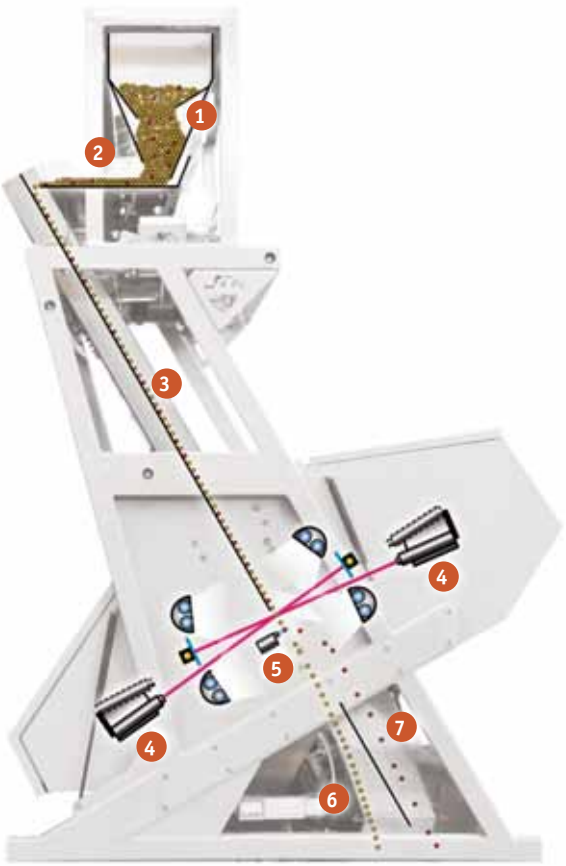


Рис. 8. *Схема роботи сортувальної машини із застосуванням інфрачервоного випромінювання*

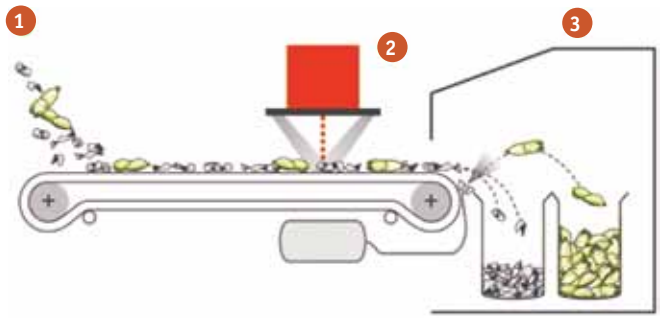


Рис. 9. *Схема автоматизованої лінії сортування полімерних пляшок із ТПВ*

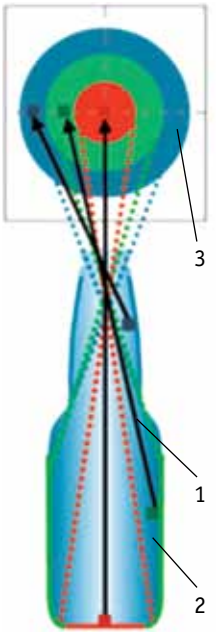


Рис. 10. *Принцип сканування матеріалу полімерної пляшки датчиком фірми Filtec Omnivision II*

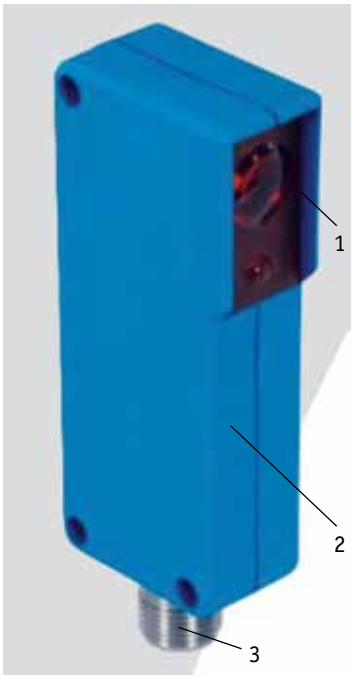


Рис. 11. *Загальний вигляд датчика Wenglor KN88PA3*

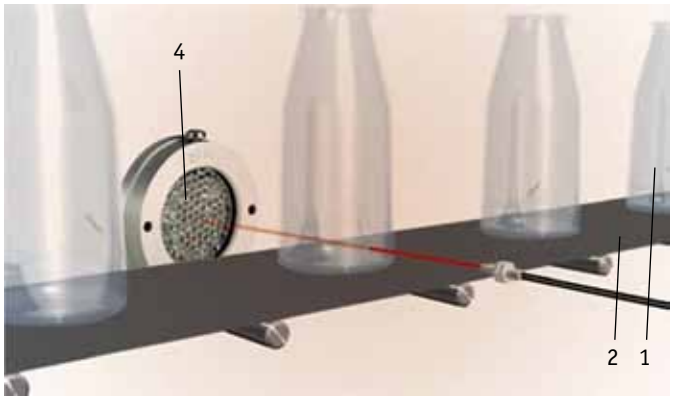


Рис. 12. *Схема сканування полімерної пляшки датчиком OPTEX NF25/02*

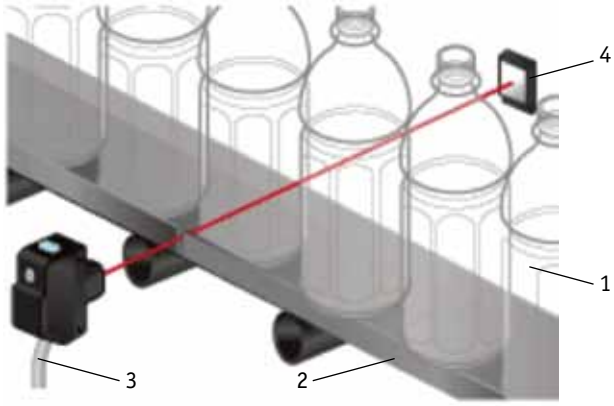


Рис. 13. *Схема сканування полімерних пляшок оптичним датчиком OPTEX FA YR – Q*

У сучасних лініях сортування застосовують спеціальні оптичні датчики. Представником такого типу датчиків є датчик фірми OPTEX. Він спеціально розроблений для визначення матеріалів прозорих полімерних пляшок. Традиційно в оптичних датчиках застосовують випромінювання світла в червоному спектрі з частотою 600–700 нм або інфрачервоному спектрі з частотою 700–900 нм.

Схема сканування оптичним датчиком показана на рис. 13: полімерні пляшки 1 подаються по конвеєру 2, проходячи через промені датчика OPTEX FA SR – Q 3, що проходять крізь стінки пляшки, відбиваються від рефлектора 4 і повертаються у приймач, який зчитує та обробляє отриману інформацію, а також ідентифікує пляшку за матеріалом.

Недоліками автоматизованого сортування перерахованими способами є висока вартість систем сканування, вплив забрудненості полімерної пляшки на якість сортування, складність налаштування та експлуатації таких систем.

Література

1. *Акутин М.С., Забара М.Я., Жукова И.Г., Шишкова М.А.* В кн.: Производство и переработка пластмасс и синтетических смол. — М., 1977, вып. 6. — С. 28–34.

2. *Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О.* Пакувальне обладнання : Підручник. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. — 746 с.

3. *Лобачев Г.К.* Вторичные ресурсы: проблемы, перспективы, технология, экономика : Учеб. пособие / Г.К. Лобачев, В.Ф. Желтобрюхов. — Волгоград, 1999. — 180 с.

4. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман ; пер. с англ. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. — 752 с.

5. *Павлидис Т.* Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. — М.: Радио и связь, 1986. — 399 с.

Сортировка полимерных бутылок с использованием элементов «технического» зрения

Н.В. Якимчук, к.т.н., А.Н. Гавва, д.т.н., А.П. Беспалько, к.т.н., Е.В. Пащенко

Авторы затрагивают актуальную на сегодняшний день проблему переработки отходов полимерных бутылок. В статье акцентировано внимание на сортировании бутылок, рассмотрены разные системы и приборы, которые при этом используются. Проанализировано способы сортирования полимерных бутылок и технологий их разделения по цвету и материалам, в зависимости от физических эффектов.

Ключевые слова: полимерные бутылки; линии сортирования; датчики; матрица датчика; инфракрасные лучи.

Sort polymer bottles with elements of «technical» view

N.V. Yakymchuk, Ph.D., A.N. Gavva, Dr., A.P. Bespalko, Ph.D., E.V. Pashchenko

The authors affect actual problem - recycling plastic bottles. The article also is focused on sorting bottles. It is considered different systems and devices that are used at the same time. The authors analyzed different methods of sorting polymeric bottle and techniques its separation by color and materials depending on the physical properties.

Keywords: plastic bottles; sorting line; sensors; matrix sensor; infrared rays.