

6. Портман, В. Т. Универсальный метод расчета точности механических устройств [Текст] / В. Т. Портман // Вестник машиностроения. — 1981. — № 7. — С. 12–17.
7. Пашенко, Э. А. Исследование факторов, определяющих точность обработки деталей на агрегатных станках ХПО [Текст]: отчет о НИР / Э. А. Пашенко, В. А. Чепела, Н. В. Латышев; УЗПИ. — Инв. № 02840041668. — Харьков, 1983. — 90 с.
8. Прогнозирование устойчивости точностных параметров агрегатных станков на стадии проектирования [Текст] // Вести Харьковского политехнического института. Машиностроение. — Харьков: Вища школа, 1983. — № 205, Вып. 13. — С. 24–29.
9. Чепела, В. А. Повышение жесткости технологических систем как важный фактор обеспечения надежности элементов горно-транспортных машин [Текст] / В. А. Чепела, В. Т. Акимов, Э. А. Пашенко, Н. В. Латышев // Прочность и долговечность горных машин. — М.: Недра, 1984. — Вып. 6. — С. 150–159.
10. Krause-Leipoldt, R. Für Sonderwerk – zeug – maschinen [Text] / R. Krause-Leipoldt // Standartisierte Baueinheiten Maschinenmarkt. — 1980. — Bd. 86, № 68. — P. 1300–1302.
11. Worthifigton, V. A. Comprehensive literature survey of chip control in the turnig prjzess [Text] / V. A. Worthifigton // Int. J. Mach. Tool and Res. — 1977. — P. 103–116.
12. Odom, P. R. Nomographs for computer simulation [Text] / P. R. Odom, R. E. Shannon // Industrial Engineering. — 1973. — Vol. 5, № 11. — P. 603–614.
13. Справочник технолога-машиностроителя [Text] / под ред. А. Г. Косиловой. — Т. 2. — М.: Машиностроение, 1985. — 496 с.
14. Walton, A. B. The performance of cutting tools with unusual forms [Text] / A. B. Walton, B. Worthington // Proc. 21-th Int. Mach. Tool Des and Res. Conf. — 1980. — P. 411–419.

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ КООРДИНИРОВАННЫХ РАЗМЕРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

В работе представлены аналитические зависимости для расчета точности координированных размеров для типовых

технологических схем. Предложены зависимости для определения межосевого размера, размера от базы, позиционного отклонения. Определен удельный вес составляющих геометрической погрешности в схемах без направления режущего инструмента и с направлением. Определены расчетные значения суммарной погрешности обработки с использованием технологической оснастки агрегатных станков.

Ключевые слова: размер, схема, инструмент, отклонения, база, агрегат, погрешность, допуск.

Триц Роман Михайлович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна, e-mail: trich_@ukr.net.

Бурдейна Вікторія Михайлівна, асистент, кафедра охорони праці, стандартизації та сертифікації, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна, e-mail: zamorskavika@mail.ru.

Триц Роман Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой охраны труда, стандартизации и сертификации, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина.

Бурдейная Виктория Михайловна, ассистент, кафедра охраны труда, стандартизации и сертификации, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина.

Trishch Roman, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkov, Ukraine, e-mail: trich_@ukr.net.

Burdeyna Victoria, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkov, Ukraine, e-mail: zamorskavika@mail.ru

УДК 004.932

**Безвесільна О. М.,
Цірук В. Г.,
Дяченко В. П.,
Ткачук А. Г.**

ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО ЗОРУ ТА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕННЯ НА ВИРОБНИЦТВІ

Публікація містить огляд сфер застосування систем машинного зору та методів обробки зображень на виробництві. Показано, що однією з головних передумов використання машинного зору є відсутність суб'єктивності оцінок контрольованих параметрів, яка виникає через людський фактор. Детально розглянуто основні компоненти систем машинного зору, наведено їх класифікацію.

Ключові слова: машинний зір, система обробки зображення, сегментація, цифрова морфологія, патерн, скелетизація.

1. Вступ

Зростання обсягів споживання промислових товарів, підвищення вимог до їх якості та безпеки, викликає необхідність підвищення технологічності виробничих процесів. В свою чергу, тенденція індивідуалізації та специфікація продукції під конкретного кінцевого споживача у поєднанні зі зростаючою конкуренцією вимагають зниження собівартості продукції. Таким чином, актуальним питанням розвитку масового виробництва є компроміс між його пришвидшенням і гнучкістю

в налаштуванні з одного боку, та підвищенню якості продукції з іншого [1].

У процесі контролю якості великих об'ємів продукції, людський фактор є дуже вразливою ланкою, що обумовлено індивідуальними фізіологічними особливостями кожної людини. З цим пов'язана і суб'єктивність оцінки контрольованих параметрів продукції. Розумною альтернативою є використання у цій сфері систем машинного зору, що може розглядатись як імітація людської діяльності, завдяки сукупності зору (камера) та інтелекту (комп'ютер).

Машинний зір має тривалу історію розвитку та ефективного застосування у багатьох високотехнологічних областях виробництва. Застосування машинного зору досить широке, воно охоплює різноманітні області діяльності, включаючи, наприклад, такі як: велике промислове виробництво; прискорене виробництво унікальної продукції; системи безпеки на виробництві; попередній контроль готових виробів (наприклад, контроль якості, дослідження допущених помилок); системи візуального контролю та управління (облік, зчитування штрих-кодів); автоматизований контроль транспортних засобів; контроль якості харчових продуктів, тощо.

2. Постановка завдання

Системи машинного зору зазвичай орієнтовані на виконання певних вузькоспеціалізованих задач, таких наприклад, як підрахунок предметів на конвеєрі, зчитування серійних номерів, пошук поверхневих дефектів, тощо. Основними перевагами використання систем візуального контролю на основі машинного зору, є їх висока швидкість, можливість цілодобового використання, точності вимірювань, що повторюються, тощо.

Не зважаючи на те, що машинний зір досить широко використовується на виробництві, сьогодні питання щодо його масштабного впровадження ще до кінця не вирішені. Нові потреби виробництва, зростання обсягів продукції та підвищення рівня вимог щодо контролю її якості, вимагають більш широкого впровадження вказаних систем та їх вдосконалення, тому безсумнівно, питання дослідження систем технічного зору є актуальним.

Метою статті є проведення аналітичного огляду існуючих систем технічного зору, їх складу, основних компонентів та визначення перспективних напрямів їх інтеграції у виробництво.

3. Аналіз літературних даних

Для прогнозу майбутніх шляхів розвитку виробництва та передбачення можливих обмежень для впровадження систем машинного зору, дуже важливо володіти поточними потребами та тенденціями цільових галузей. Зокрема, згідно зі звітом BCC Research (Wellesley, Massachusetts) [2] глобальний ринок компонентів систем машинного зору оцінюється приблизно у \$15,2 млрд. в 2014 році. Тенденції 2013 року вказують на те, що зростання ринку систем технічного зору є значно вищим у розвинених країнах, з високим рівнем розвитку обробної промисловості. Окрім обробної промисловості, великий попит на системи технічного зору також виявляють ринок транспорту, охоронні системи безпеки та нагляду.

Інформація про розумні камери відображена у роботах [3, 4]. Зокрема, проаналізовано камери, які ґрунтуються на процесорах цифрових сигналів (DSP), на програмованих вентильних матрицях (FPGA).

У роботі [5] детально розглянуто використання таких камер у системах конвеєрного контролю та інших виробничих процесах реального часу.

4. Компоненти систем машинного зору

Зазвичай, впровадження таких систем на виробництві є досить складною задачею, оскільки виробничі умови

є нестабільними: запиленість приміщення, неоднорідність освітлення, альbedo поверхні контрольованої продукції. Тому, для створення ефективної системи машинного зору, усі її компоненти та методи обробки зображення мають бути підібрані відповідно до умов виробництва.

Камера є одним із найважливіших елементів системи. Загалом існує багато критеріїв для їх класифікації, але у промислового застосуванні зазвичай важливі наступні:

- за областю сканування: розрізняють лінійні (розподільна здатність від 512 пікселів) та площинні (для промислового застосування розподільна здатність починається від 640 x 480 пікселів);
- за інтерфейсом з'єднання: найрозповсюдженішими є USB 2.0/3.0, Ethernet, FireWire, Camera Link;
- за активним сенсором: розрізняють камери з ПЗЗ (прилад із зарядовим зв'язком) та КМОН (комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник) матрицями.

Останній критерій є досить важливим, оскільки він визначає ряд інших: чутливість камери і рівень шумів, швидкість зйомки (кадрів за секунду), тип отриманого зображення (натуральні кольори, мозаїка Байєра, монохроматичне), тощо. Так, ПЗЗ матриці є більш чутливими і дорожчими, проте на базі КМОН сенсора можна інтегрувати інші логічні модулі. За таким принципом побудовані «розумні камери». Під цим визначенням мається на увазі клас камер, які здатні не лише отримувати зображення, а й виконувати його первинний аналіз і формувати певний керуючий вихідний сигнал. Типова структурна схема побудови таких пристроїв зображена на рис. 1.



Рис. 1. Типова структурна схема побудови розумних камер (пунктирною рамкою виділені блоки спільні зі звичайними камерами)

Відмінним характерним блоком розумних камер є СОЗ — система обробки зображення [3]. Вона може базуватись як на процесорах цифрових сигналів (DSP), так і на програмованих вентильних матрицях (FPGA). Такі системи є досить швидкодіючими, оскільки спроектовані під виконання конкретного алгоритму обробки зображення. А тому, використання такого роду камер досить доцільне у системах конвеєрного контролю та інших виробничих процесах реального часу [4]. Іншим підтипом «розумних камер» можна виділити камери з СОЗ основою на загальноцільових процесорних модулях (CPU) або спеціальних медіа/графічних процесорах. Інколи їх називають інтелектуальними камерами. Обробка графічної інформації такими системами є комплексною і часозатратною, тому вони знаходять своє застосування у офлайнних виробничих процесах (рис. 2).

Лінза та фільтр. Лінза є важливим оптичним елементом камери. Базовими параметрами при виборі лінзи є фокальна відстань та максимальна апертура. Апертура впливає на інтенсивність освітленості зображення об'єкту (важливо у виробничих приміщеннях з нестабільним освітленням), а фокальна відстань — на масштаб зображення, спроектованого на площину камери (рис. 3).



Рис. 2. Порівняння реакції системи машинного зору при застосуванні у процесах реального часу та офлайн

Важливим є не лише вибір відповідної камери, але і її розміщення. Загалом існує дві можливі позиції розміщення камери: у фіксованому положенні (зазвичай перпендикулярно контрольованій площині), та динамічне розміщення на виконуючому пристрої (рис. 3). У другому випадку відстань до об'єкту постійно змінюється, тому тут доцільно використовувати лінзи з автофокусом.

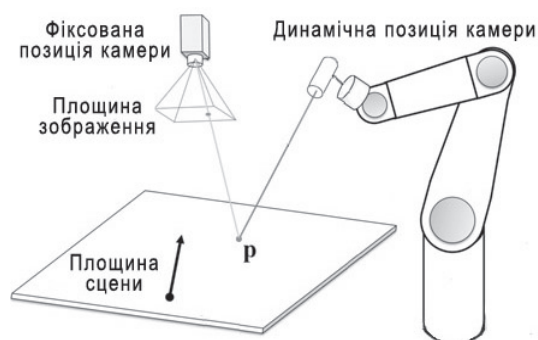


Рис. 3. Схеми встановлення камер на виробничій ділянці

Іншими параметрами для підбору лінзи є ширина і довжина необхідної області огляду та конструктивні особливості з'єднання з камерою. Стандартними з'єднаннями є S-, C-, CS-, та F-mount. Вони відрізняються за діаметром та різьбою. Більшість виробників розміщують на сайтах калькулятори для розрахунку параметрів та підбору відповідної лінзи [5].

Додатковим оптичним елементом може бути *фільтр*. Вони застосовуються для відсікання випромінювання певної частоти. Перевагами використання фільтрів є:

- фільтрація певного випромінювання (наприклад, ІЧ фільтр блокує світло інфрачервоного діапазону);
- поляризація світла для нівелювання світлового відбиття. Дуже важливе при контролі деталей з полірованими металічними або іншими блискучими поверхнями (рис. 4).

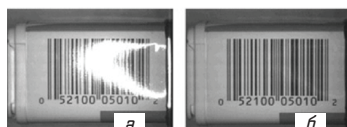


Рис. 4. Зображення штрих-коду отримане: а — без поляризаційного фільтру; б — з поляризаційним фільтром

Освітлення. Як не дивно, але освітлення відіграє чи не найважливішу роль у отриманні якісного зображення. За наявністю освітлення усі системи машинного зору можна поділити на активні та пасивні [5]. У активних системах світло проектується на сцену, а зображення формується на основі його відбиття. В свою чергу у пасивних — сцена освітлюється розсіяним світлом. Пасивне освітлення є абсолютно неефективним у промисловому використанні, тому зупинимось на огляді активних джерел світла. Відповідне освітлення обирається на основі аналізу середовища виробничої ділянки, контрольованого об'єкту, використовуваної камери та фільтрів. Типовими промисловими джерелами світла є флуоресцентні, кварцові галогенні, світлодіодні, метал-галогенні (ртутні), ксеноніві та натрієві лампи високого тиску. Система освітлення обирається за тривалістю роботи, тепловою потужністю, енергоефективністю, інтенсивністю освітлення, тощо. Освітленням часом набирають популярності світлодіодні (LED) джерела світла з тенденцією їх здешевлення та більшою відповідністю перерахованим вище властивостям.

Ефективність обраного освітлення залежить від:

- геометрії світла (просторового співвідношення між об'єктом, світлом і камерою);
- структури освітлення (форми світла);
- довжини хвилі або кольору (залежить від того, як відбивається, розсіюється світло та фону об'єкта);
- фільтрів (відсікання або проходження певних спектрів випромінювання).

5. Методи обробки зображення

Висока якість зображення є ключовою вимогою для ефективного застосування системи машинного зору та зменшення часу обробки. Для отримання графічної інформації, зображення має бути опрацьоване і проаналізоване. Далі ця інформація порівнюється з базою відомих об'єктів, на основі чого приймається відповідне рішення. Зазвичай методи обробки та аналізу графічних деталей інтегруються у єдиний алгоритм. Серед таких комплексних методів можна виділити наступні.

Метод конвертації зображень. Основою методу є перетворення оригінального зображення за допомогою застосування певних фільтрів або сегментації. Одним з найпоширеніших прикладів даної групи є метод сегментації за градацією сірого. Ключовим поняттям даного методу є рівень порогу, тобто рівень бінаризації напівтонового зображення [6]. Поріг відіграє особливо важливе значення, коли оригінальне зображення отримане з шумами (рис. 5).

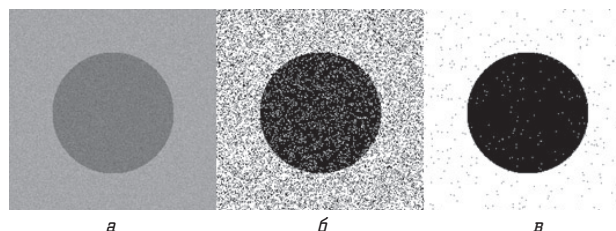


Рис. 5. Конвертоване зображення з шумами: а — оригінальне зображення; б, в — конвертовані зображення з різними пороговими значеннями

Внаслідок процесу бінаризації утворюється результуюче зображення лише з білих та чорних пікселів. Воно

містить лише найнеобхіднішу інформацію: кількість об'єктів, їх положення і форму. Метод спирається на припущення, що більшість суміжних пікселів однакового відтінку сірого належать одному і тому самому об'єкту.

Іншим дуже важливим припущенням методу є те, що відтінки фону та об'єкту не перекривають один одного, але в реальності, зазвичай, вони не є контрастними, а отже, доводиться проводити аналіз на локалізованих ділянках зображення, що значно підвищує затрати часу. Таким чином, для вдалого застосування методу необхідно переконатись, що кожна з локальних зон зображення містить елементи двох деталей та фону, або що розрахунок значення порогу не відбувається, коли присутній лише один клас пікселів.

Метод виявлення границь. Виявлення границь — це процес пошуку граничних пікселів. Контрастні пікселі кромки підкреслюються таким чином, що границі між об'єктами і фоном стають більш помітними. Відслідковування кромки дозволяє створити перелік пікселів, що належать границі.

Границі являють собою межу між об'єктом та фоном [7]. Тому, якщо границі чітко ідентифіковані, то всі об'єкти сцени можуть бути виділені, а також розраховані їхні геометричні параметри як площа, форма, центр, тощо. На рис. 6 проілюстровано процес виявлення границь. У сцені присутні 3 об'єкти, що перекриваються на однорідному сірому фоні (рис. 6, а). Після застосування методу виявлення границь, об'єкти стають ізольованими і визначаються лише кордонами між ними (рис. 6, б).

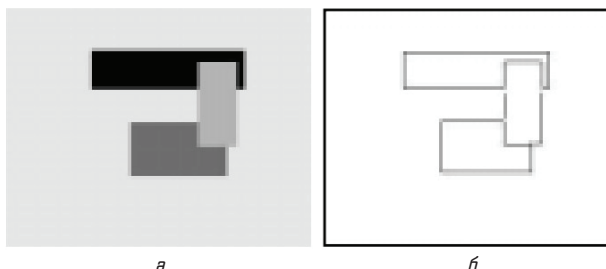


Рис. 6. Приклад виявлення границь: а — оригінальне зображення; б — після застосування методу

Метод цифрової морфології. Метод цифрової морфології полягає у групуванні пікселів, з яких складається зображення, у двовимірні форми. Над такими структурами вже можна проводити ряд математичних операцій для покращення або виділення конкретних деталей, з метою їх обрахунку, розпізнавання, тощо [8]. Ця частина обробки зображення пов'язана з фільтрацією і геометричним аналізом структурних елементів. Базовими математичними операціями є ерозія (віднімання) та розширення (додавання) заданого шаблону до структурного елемента (рис. 7).

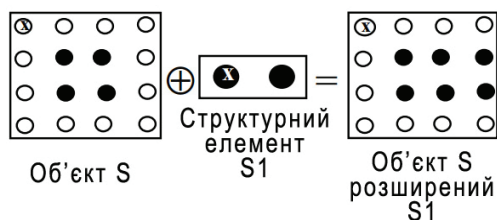


Рис. 7. Розширення набору S за допомогою структурного елемента S1

Метод розпізнавання шаблонів. Повтор певного шаблону в межах області називається текстурою. Ці шаблони можуть бути повторені точно, або як набір з невеликими варіаціями. Такі набори можуть мати випадковий розмір, форму, колір і орієнтацію шаблонів. Основною метою ідентифікації різних текстур є заміна їх унікальним відтінком сірого або іншим кольором. Значним недоліком методу є масштабування: однакові текстури при різному збільшенні можуть виглядати по-різному для алгоритму обробки зображень [8]. З цієї причини, малоімовірно, що прості дії дозволять сегментувати області текстури. Але на сьогодні існують розроблені алгоритми з комбінації бінарних операцій, що дають прийнятний кінцевий результат, навіть при обробці зображень деталей зі складними текстурями.

Метод скелетизації зображення. Термін скелетизація був введений для опису глобальних властивостей об'єкту та відображення його у більш компактному представленні. Скелет виражає основні структурні зв'язки головних елементів об'єкту і в дискретному випадку має ширину в 1 піксель (рис. 8).

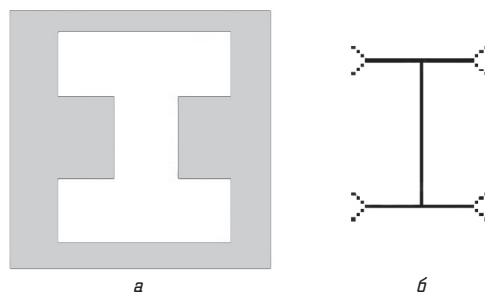


Рис. 8. Приклад методу скелетизації зображення: а — оригінал зображення; б — утворений скелет

Базовою технікою скелетизації є стоншення. Це ітеративний процес, у ході якого видаляються крайові пікселі, що містять хоча б один сусідній піксель поряд з фоном [7]. Усі надлишкові пікселі видаляються у тому випадку, якщо вони не впливають на топологію об'єкта. Таким чином формується скелет зображення.

На сьогодні існує велика кількість бібліотек для програмного забезпечення як у вигляді комерційних продуктів, так і open-source, у яких реалізовані ті чи інші описані вище методи обробки зображень. Проте, для створення ефективної системи машинного зору, необхідно мати добре оптимізовані алгоритми для конкретного застосування. Також важливим є наявність графічного інтерфейсу користувача (GUI) для більш зручного налагодження та подальшої роботи із системою. Серед найбільш популярних, можна виділити такі сучасні open-source бібліотеки: OpenCV (обробка та аналіз 2D зображень), ARToolKit (бібліотека для віртуальної реальності), PCL (обробка 3D зображень) [3].

6. Інтеграція з зовнішніми системами

Машинний зір включає в себе отримання зображення, його обробку та аналіз за допомогою описаних методів, і прийняття рішень на основі отриманої інформації. На практиці ж, зазвичай, система ще має взаємодіяти з виробничим обладнанням. Це може бути робота з конвеєром, який постачає деталі; взаємодія зі станком для поточно-го внесення модифікацій у процес виготовлення; діалог

з роботом для його керування; інструкції ежектору для сортування або подальшого транспортування деталей у необхідне місце. Також необхідно взаємодіяти з програмним забезпеченням для управління підприємством, таким як SAP, і іншими приладами промислових систем, як GPS або акселерометр. Машинний зір також повинен включати систему звітності для формування статистичних звітів процесу аналізу. Тож очевидно, що виробник систем машинного зору також повинен володіти інформацією про системи, з якими вона буде взаємодіяти, тому більшість існуючих на сьогодні систем є вузькоспеціалізованими [9].

7. Області застосування

Системи машинного зору знайшли своє застосування у контролі якості виробів, управлінні технологічними процесами, процесах керування та складання, контрольним-вимірювальних процесах, робототехніці, навчанні, маркетингу та спостереженні. Типова система може містити лише інтелектуальну камеру або складний комплекс пристроїв для отримання і обробки зображення. Наприклад, при керуванні роботом, інтелектуальна камера є ідеальним рішенням, оскільки її застосування набагато скорочує обсяг необхідного обладнання, у той час як у виробничому процесі вона повинна взаємодіяти з багатьма зовнішніми пристроями, що вимагає ускладнення структури комплексу. Нижче наведено орієнтовний перелік галузевих застосувань систем машинного зору у різних галузях людської діяльності [10].

Транспорт: автоматичне розпізнавання номерних знаків, керування паркуванням, спостереження, контроль трафіку, аналіз трафіку.

Медицина та фармацевтика: вибір оправы для окулярів та виготовлення індивідуальних лінз, сортування пігулок, їх пакування та огляд блістерів і упаковок, аналіз рентген-знімків та гістологічних зразків, підрахунок клітин при аналізі крові, перевірка очного дна.

Обробка матеріалів: сканування поверхонь (встановлення шорсткості), керування зварюванням, керування верстатом для обробки матеріалу.

Харчова промисловість: контроль якості, упаковка, консервування.

Друк: контроль якості банкнот, виявлення фальшивих купюр, контроль друку та склеювання, відслідковування книжкових палітурок.

Складання: вибірка компонентів в електроніці та радіотехніці, вузлове складання у машинобудуванні.

Зчитка коду: штрих-код, QR-код, код Брайля, оптичне розпізнавання.

8. Висновки

У даній статті було коротко розглянуто і описано системи машинного зору. Згідно проведеного аналізу, ринок систем щорічно зростає приблизно на 10 % і потребує кваліфікованого персоналу для їх обслуговування, та налаштування для специфічних сфер застосування. Було обґрунтовано актуальність та необхідність застосування таких систем.

Отже, серед переваг використання систем машинного зору можна виділити такі:

— **Продуктивність:** система машинного зору може бути використана для перевірки усіх вироблених зразків, а не лише вибірково.

— **Неперервність:** через відсутність втоми, система може бути використана в режимі цілодобового використання без зупинок.

— **Повторюваність:** контроль здійснюється за фіксованих умов і однакових критеріях, що гарантує адекватність оцінки.

— **Постійність:** автоматизація процесу дозволяє уникнути людської суб'єктивності, а тому дозволяє підтримувати постійний рівень якості.

— **Зниження витрат:** неякісні або несправні продукти будуть виявлені під час виробництва і не потраплять до споживача.

Серед недоліків варто зазначити:

— Необхідність постійного і чіткого освітлення.

— Необхідність калібрування камери.

— Складнощі з розпізнаванням об'єктів, що перебиваються або мають суміжний колір із фоном.

— Вища кінцева вартість обладнання.

Література

- Cheng, Y. Vision-based online process control in manufacturing applications [Text] / Y. Cheng, M. Jafari // Int. J. Automation science and engineering. — 2008. — V. 5, № 1. — P. 140–153.
- Machine Vision: Technologies and Global Markets, Report IAS010C [Electronic resource] / BCC Research. — 2013. — Available at: \www/URL: <http://www.bccresearch.com/market-research/instrumentation-and-sensors/machine-vision-technologies-ias010d.html>
- Wnuk, M. Remarks on hardware implementation of image processing algorithms [Text] / M. Wnuk // Int. J. of Applied Mathematics and Computer Science. — 2008. — V. 18, № 1. — P. 105–110.
- Tsai, D. A machine vision approach for detecting and inspecting circular parts [Text] / D. Tsai // Int. J. Advanced Manufacturing Technology. — 1999. — V. 15. — P. 217–221.
- Freeman, H. Machine Vision for Three Dimensional Scenes [Text] / H. Freeman. — NY: Academic Press Inc., 1990. — P. 253–260.
- Parker, J. R. Algorithms for Image Processing and Computer Vision [Text] / J. R. Parker. — Wiley Computer Publishing, 1997. — P. 312–330.
- Davies, E. R. Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. Signal Processing and Its Applications Series [Text] / E. R. Davies. — Academic Press, 1997. — P. 220–254.
- Ritter, G. K. Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra [Text] / G. K. Ritter, J. N. Wilson. — BR: CRC Press, 1996. — P. 106–155.
- Golnabi, H. Design and application of industrial machine vision systems [Text] / H. Golnabi, A. Asadpour // J. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. — 2007. — V. 23. — P. 630–637.
- Bolhouse, V. Fundamentals of Machine Vision [Text] / V. Bolhouse. — Mi: Robotic Industries Assn., 1997. — P. 470–522.

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ И МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Публикация содержит обзор областей применения систем машинного зрения и методов обработки изображений на производстве. Показано, что одной из главных предпосылок использования машинного зрения является отсутствие субъективности оценок контролируемых параметров, которая возникает из-за человеческого фактора. Подробно рассмотрены основные компоненты систем машинного зрения, приведена их классификация.

Ключевые слова: машинное зрение, система обработки изображения, сегментация, цифровая морфология, паттерн, скелетизация.

Безвесільна Олена Миколаївна, заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, кафедра приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет», Україна, e-mail: bezvesilna@mail.ru.

Цирук Віктор Григорович, кандидат технічних наук, кафедра приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет», Україна.

Дяченко Вадим Петрович, кафедра приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет», Україна, e-mail: barv@barv.org.ua.

Ткачук Андрій Геннадійович, асистент, кафедра автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій, Житомирський державний технологічний університет, Україна, e-mail: andrew_tkachuk@i.ua.

Безвесильная Елена Николаевна, заслуженный деятель науки и техники Украины, доктор технических наук, профессор, кафедра приборостроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Цирук Виктор Григорьевич, кандидат технических наук, кафедра приборостроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Дяченко Вадим Петрович, кафедра приборостроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Ткачук Андрей Геннадьевич, асистент, кафедра автоматизованого управління технологічними процесами и компьютерных технологий, Житомирский государственный технологический университет, Украина.

Bezvesilna Olena, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: bezvesilna@mail.ru.

Tsyruk Victor, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.

Diachenko Vadym, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: barv@barv.org.ua.

Tkachuk Andrii, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, e-mail: andrew_tkachuk@i.ua

УДК 669.046.558

Полишко С. А.

ВЛИЯНИЕ МЕЖПЛАВОЧНОЙ РАЗНИЦЫ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В КОЛЕСНОЙ СТАЛИ МАРКИ КП-Т НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ

Исследовано влияние многофункциональных модификаторов на стабилизацию химического состава, глобуляризацию неметаллических включений и снижение их количества, а также повышение трещиностойкости и уровня механических свойств колесной высокопрочной износостойкой стали КП-Т. Построены сравнительные гистограммы уменьшения разницы между максимальными и минимальными баллами неметаллических включений в серийной и модифицированной стали марки КП-Т.

Ключевые слова: многофункциональные модификаторы, стабилизация, химический состав, механические свойства, глобуляризация, неметаллические включения, трещиностойкость.

1. Введение

Все современные конструкционные стали являются многокомпонентными системами с значительным разбросом химического состава как между плавками, так и в пределах одной плавки [1]. Это происходит из-за использования большого количества лигатур, раскислителей, модификаторов, рафинизаторов и неконтролируемых по химическому составу ломов, что в конечном счете влечет за собой большой разброс механических свойств транспортного металла, а также снижает трещиностойкость колес и качество готовой продукции в целом. Поэтому, для того, чтоб повысить свойства металла, в условиях ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» успешно были применены модификаторы многофункционального действия [2] с добавлением к применяемым лигатурам FeSi, FeMn, SiMn, SiCa, CaO, CaF₂ [3]. Их использование позволило повысить характеристики прочности и пластичности на 7 и 25 % соответственно. Этим и обосновывается актуальность данных исследований.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

На сегодняшний день очень важным является вопрос о повышении качества колес для железнодорожных

вагонов, где применяют высокоуглеродистые износостойкие стали [1, 3–5]. В настоящее время используются серийные колеса, изготовленные из стали по ГОСТ 10791-2004 и ТУ «ОАО ИНТЕРПАЙП НТЗ» У 35.2-23365425-600:2006 из стали КП-Т, которые характеризуются нестабильным химическим составом, имеют повышенное количество неметаллических включений, особенно остроугольной и ограненной формы. Последние являются концентраторами напряжений, что обуславливает снижение прочности, трещиностойкости, недолгий срок службы и недостаточную стабильность свойств в процессе эксплуатации.

В работах [6–8] показано, что повышение свойств и улучшение структуры колесных сталей возможно при использовании раскисления, модифицирования, микролегирования и рафинирования в жидком состоянии и термообработкой в твердом состоянии. Эти стали имеют высокое содержание углерода (0,5–0,7 % С), являются сложнoleгированными, и обрабатываются такими ферросплавами, лигатурами и присадками, как FeSi, FeMn, SiMn, FeV, FeMo, SiCa, Al, CaO, CaF₂ для снижения содержания вредных примесей серы и фосфора, выведения кислорода, водорода и микролегирования. Ферросплавы, раскислители и модификаторы добавляют в расплав в указанной последовательности. Введение каждого из них снижает температуру металла в ковше, захлаживая