

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

АВТОМАТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ КОМПЛЕКСОМ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЇ ПРОКАТКИ ПРОГРАМОВАНИМ ЛОГІЧНИМ КОНТРОЛЕРОМ НА БАЗІ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОЇ ПЛАТФОРМИ ARDUINO

Вступ. Одними з основних базових засобів автоматизації на сучасних промислових підприємствах є програмовані логічні контролери. Програмовані логічні контролери (ПЛК) – мікропроцесорні або мікроконтролерні пристрої, призначені для реалізації систем автоматизованого управління технологічними процесами на підприємствах [1]. Принцип роботи ПЛК полягає в зборі та обробці даних за прикладною програмою користувача з видачею сигналів управління на виконавчі пристрої. Основними особливостями таких пристроїв є модульна організація і простота механізмів їх програмування.

Модульний принцип конструктивного виконання ПЛК дозволив скомпонувати пристрої програмно-логічного управління відповідно до особливостей вирішуваних завдань. Діапазон застосування ПЛК тягнеться від пристроїв локального управління робочими органами машин і технологічних агрегатів до багаторівневих систем управління складними технологічними об'єктами. ПЛК управляють верстатами, автоматичними виробничими лініями, роботизованими технологічними комплексами, а також контролюють безпеку роботи обладнання.

Сьогодні на ринку існують тисячі різноманітних моделей ПЛК, які відрізняються не лише технічними характеристиками (розміром пам'яті, потужністю обчислювального блоку, числом каналів введення/виведення), але і функціональними можливостями. ПЛК випускаються в широкій номенклатурі такими зарубіжними компаніями, як Siemens, Schneider Electric, Mitsubishi Electric, Rockwell Automation та ін.

Застосування сучасних ПЛК для управління технологічними процесами невеликих підприємств обмежено відносно високою вартістю як самих ПЛК, так і вартістю їх сервісного обслуговування, у тому числі розробки і підтримки програмного забезпечення на базі сертифікованих засобів розробки, що знижує конкурентоспроможність невеликих підприємств. У зв'язку з цим актуальною є задача розробки і застосування досить простих контролерів з достатньою функціональністю, але які відрізняються низькою вартістю та високою доступністю.

Найбільш доступними є восьмирозрядні мікроконтролери серій i8051 (Intel), AVR (Atmel), PIC (Microchip), ST- 8 (STM) та ін. Можливості восьмирозрядних мікроконтролерів забезпечують виконання більшості задач малої автоматизації.

Серед восьмирозрядних мікроконтролерів найбільший інтерес представляють мікроконтролери серії AVR, що пов'язано з їх низькою вартістю, доступністю якісних засобів розробки. Прикладом для розробки і застосування ПЛК на базі мікроконтролерів серії AVR є відкритий проект Arduino.

Постановка задачі. Задачею статті є дослідження можливості застосування апаратно-програмної платформи Arduino як відносно гнучкого і простого інструменту для управління технологічними процесами.

Результати роботи Розглянемо задачу автоматизації комплексу поперечно-клинкової прокатки. Попереочно-клинова прокатка (ПКП) належить до прогресивних енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій, де технологічні процеси, засновані на різанні металу, замінюються економічними процесами пластичного формоутворення деталей, що дозволяє отримати коефіцієнт використання металу 0,8-0,98 [2, 3]. Техно-

логічний процес поперечно-клинової прокатки застосовується для виготовлення деталей типу ступінчастих валів і має широкі можливості. На виробках з високою точністю утворюються циліндричні, конічні, сферичні і інші складні поверхні обертання, всілякі канавки та виступи. Суть способу полягає в поперечному плющенні заготовки робочим інструментом, що має форму контактної поверхні у вигляді клину або декількох клинів з похилими гранями, які втискаються в заготовку та викликають її локальну пластичну деформацію. Формоутворення готової деталі здійснюється рухомих упоперек клиновим інструментом шляхом перерозподілу металу уздовж осі заготовки.

Розроблений агрегатно-модульний комплекс ПКП (рис.1) включає до свого складу [4, 5] накатний автомат 9, на шпинделях якого розташовано валковий інструмент 10; модуль подачі прутка 8; правильно-відрізний автомат 3, на якому розташовано правильну рамку 4, ролики транспортування прутка 5, механізм різання 6. В якості вихідного матеріалу застосовується бунт дроту 1, встановлений на обертовому барабані 2. Для орієнтації напрямку руху правленого прутка використано напрямну трубу 7.

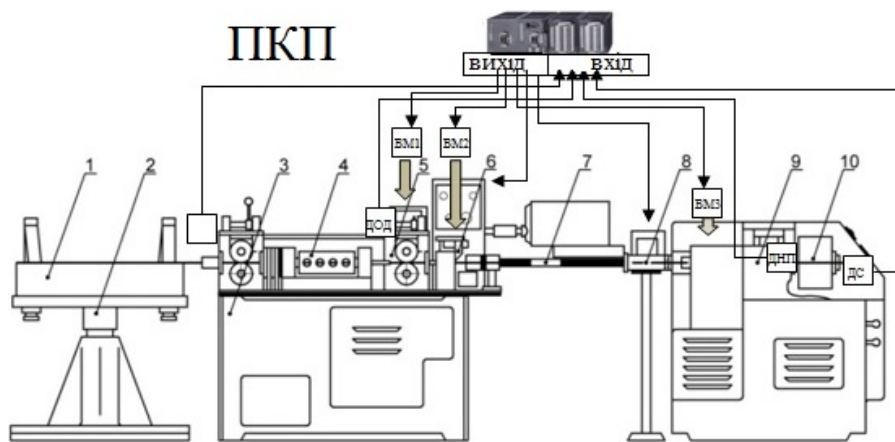


Рисунок. 1 – Агрегатно-модульний комплекс поперечно-клинової прокатки

Ефективність рішення досягнуто найбільш доцільною схемою реалізації технологічного процесу та агрегатно-модульного принципу побудови комплексу. Як базове обладнання використовуються серійні моделі, наприклад, накатні машини (UPW, UPWS) для накатки різьблення та правильно-відрізний автомат (ИВ-6118). Такий підхід дозволив деякою мірою вирішити питання дефіциту спеціалізованого обладнання для ПКП, а з іншого боку – розширити технологічні можливості обладнання за рахунок багатоцільового використання. Так, заміна валкового інструменту на накатні ролики дозволяє використовувати накатні машини за їх прямим призначенням для накатки різьблення, що забезпечує рентабельність для умов дрібносерійного виробництва.

Функціонування комплексу ПКП здійснюється в наступній послідовності. В режимі прокатки валковим інструментам надається зустрічна обертальна хода. Робота модуля подачі синхронізується з частотою обертання валкового інструменту за допомогою датчика синхронізації (ДС). Так при суміщенні завантажувальних ділянок, які характеризуються зниженням радіуса нижче нульової робочої поверхні валків, створюється умова для безперешкодного завантаження, і цанговий вузол механізму подачі за сигналом з ДС забезпечує переміщення відрізка прутка поперек валкового інструменту на необхідну довжину. Довжина цього відрізка прутка дорівнює довжині потрібної заготовки для прокатки готової деталі.

Укладений упоперек початкових вхідних частин інструментів прутки потрапляє в зону обробки, де захоплюється деформуючими ребрами клинового інструменту і приводиться в обертальний рух. Цанговий вузол знаходиться в цьому передньому до валкового інструменту положенні до моменту надійного защемлення прутка клинами

інструментів, а потім переводиться в початкове положення. При цьому цанга ковзає по прутку, відходить назад до упору та підготовлює новий відрізок прутка необхідної довжини. Час витримки цанги в передньому положенні визначається оператором для кожного типорозміру деталей.

Вхідні частини обох інструментів втискаються в заготовку з діаметрально протилежних сторін. По мірі поступального переміщення уздовж клинового інструменту відбувається поверхнева деформація, в результаті якої заготовка набуває негативного профілю інструменту. На завершальній стадії прокатки здійснюють калібрування профілю ножами, встановленими по обидві сторони інструментів, відрізають надлишки металу від прокатоного виробу. Таким чином відбувається формоутворення деталі і її відділення від прутка.

Наступне суміщення завантажувальних ділянок валкового інструменту призводить до нової подачі прутка. Сформована деталь при цьому виштовхується прутком з міжвалкового простору, і робочий цикл завантаження повторюється. Цикл формування виробу становить від 0.5 с до 2 с і залежить від складності його формоутворення.

Процес прокатки циклічний і повторюється до тих пір, поки повністю не виробиться правлений пруток, що визначається датчиком наявності прутка (ДНП), вмонтованого в цанговий вузол модуля подачі. За цим сигналом формується сигнал запуску правильної машини та відбувається перехід до режиму правки нового прутка.

При отриманні підтвердження пуску правильної машини виконавчий механізм ВМ1 стискає ролики транспортування, і дріт з бунту через правильну рамку по напрямній трубці рухається в напрямку до цанги механізму подачі. Процес правлення дроту контролюється датчиком завантаження (ДЗД) на вході правильної машини та датчиком обриву дроту (ДОД) на її виході. Це дозволяє відстежувати можливі обриви дроту в процесі правки та повного вироблення бунта дроту.

При досягненні переднім вільним кінцем дроту зони дії ДНП процес правки завершується. Транспортуючі ролики розводяться і тим самим припиняється подальше просування дроту. Запускається виконавчий привод механізму різання ВМ2, який відокремлює правлений пруток від бунту. Комплекс переходить до режиму підготовки прокатки.

В режимі підготовки до прокатки знімається блокування з роботи модуля подачі та відбувається поновлення синхронізації з обертанням валкового інструменту. Крім того, виконується підготовка подачі відрізка прутка до валкового інструменту із збільшеною довжиною, що необхідно тільки для першої подачі після заправки модуля подачі новим прутком. Пояснюється це тим, що конструктивні особливості валків та модуля подачі не дозволяють подавати відрізок прутка безпосередньо на ділянку, де відбувається формоутворення деталі. Між крайнім переднім положенням цанги, в якій затиснено пруток, і цією ділянкою утворюється неробоча ділянка фіксованої довжини, яку і треба компенсувати при першій подачі. В іншому випадку відрізок прутка буде мати меншу довжину, що призведе до браку виробу.

Для коректування довжини першої подачі перед поверненням цанги в початкове задне положення виконавчий механізм ВМ3 видаляє додатковий упор, довжина якого дорівнює довжині неробочої ділянки. Внаслідок цього цанговий вузол просувається назад на більшу відстань, що надає можливість підготувати відрізок прутка збільшеної довжини.

Після виконання першої подачі додатковий упор повертається на місце. Н7адалі довжина подачі буде дорівнювати довжині заготовки, потрібній для формоутворення готового виробу. Таким чином комплекс ПКП повертається до режиму прокатки.

Система управління забезпечує роботу комплексу в робочому та налагоджувальному режимах. Робочий режим характеризується заданою послідовністю елементарних операцій. У налагоджувальному режимі послідовність операцій може бути довільною, її вибирає сам оператор за допомогою органів ручного управління.

Робочий режим складається з нормальної послідовності операцій. При нормальній роботі перехід до кожної наступної операції здійснюється автоматично або в мо-

мент спрацьовування відповідних датчиків, що підтверджують закінчення попередньої операції, або по закінченню встановленого інтервалу часу.

Переривання нормальної послідовності операцій виникає при появі так званих нерегулярних ситуацій, що визначаються поломками технологічного обладнання, браком продукції, виходом технологічних параметрів за встановлені межі та ін. Переривання завжди пов'язане із зупинкою системи в положенні поточної операції. Подальше відновлення нормальної послідовності операцій можливе тільки після втручання обслуговуючого персоналу і переведення в налагоджувальний режим роботи.

Аналіз алгоритму функціонування комплексу ПКП показав наявність задач логічного управління, вирішення яких дозволяє об'єднати усі операції процесу в єдиний керований ланцюг. Основною характеристикою об'єктів логічного управління є властивість перебувати протягом певних проміжків часу у відносно незмінному стані. При цьому в деякі моменти часу відбувається перехід об'єктів логічного управління з одного стану в інший. Забезпечення заданих переходів між різними станами і є метою логічного управління об'єктом. Тому найважливішою проблемою автоматизації розглянутого процесу, в першу чергу, є побудова системи логічного управління (СЛУ).

Логічне управління полягає в необхідній послідовності перемикальних дій управління на виконавчі пристрої технологічного об'єкта, що забезпечують задане функціонування системи. Дії управління формуються на основі даних про стан об'єкта (сигналів з датчиків), а також сигналів від цифрової інформаційної моделі об'єкта. Таким чином, логічне управління забезпечує узгоджену роботу механізмів і агрегатів, які взаємодіють між собою і представляють єдину систему. Апаратною основою СЛУ є логічний контролер, який може бути реалізований двома способами – за допомогою „жорсткої” логіки (виконаної на інтегральних логічних схемах) або на базі ПЛК.

Побудова системи логічного управління комплексом ПКП базувалась на використанні відкритої програмованої апаратної платформи Arduino [6]. Суттєвими перевагами платформи є відкрите апаратне та програмне забезпечення, просте і зручне середовище програмування, можливість програмного забезпечення працювати на операційних системах Windows, Macintosh OSX і Linux та відносно низька вартість. Платформа користується величезною популярністю і отримала широке визнання у розробників нових електронних пристроїв, викладачів і студентів інженерних напрямів підготовки та використовується для роботи з різними фізичними об'єктами [7].

Програмується Arduino на мові, яка фактично є версією мови C/C++. Як середовище програмування використовується Arduino IDE (інтегроване середовище розробки). Розробники середовища оснастили її багатьма готовими функціями і бібліотеками функцій, щоб спростити створення коду для інтерфейсу плати Arduino з іншими апаратними пристроями.

Для реалізації апаратної частини ПЛК серед версій платформ Arduino обрано плату Arduino Mega, побудовану на мікроконтролері ATmega2560. Atmega2560 є 8-розрядним мікроконтролером низької потужності, виготовленим на базі ядра типу AVR з архітектурою типу RISC. Він здатний виконувати велику кількість різних інструкцій одночасно. Саме тому його продуктивність може досягати 1 мільйона операцій за 1 секунду. Його тактова частота при цьому дорівнює 1 МГц.

Мікроконтролер ATmega2560 має 256 Кб флеш-пам'яті для зберігання коду програми (4 Кб використовується для зберігання завантажувача), 8 Кб ОЗУ і 4 Кб енергонезалежної пам'яті EEPROM.

Плата Arduino Mega має 54 цифрових входів/виходів (14 з яких можуть використовуватися як виходи з широтно-імпульсною модуляцією), 16 аналогових входів, 4 послідовних портів UART, кварцовий генератор 16 МГц, USB конектор, рознімач живлення, конектор ICSP і кнопка перезавантаження. Кожен з 54 цифрових виводів Arduino

Mega може налаштуватися як на вхід, так і на вихід. Виводи працюють при напрузі 5 В. Кожен вивід має навантажувальний резистор (стандартно відключений) 20-50 кОм і може пропускати струм до 40 мА. Наявність значної кількості портів введення/виведення є перевагою цієї плати в порівнянні з іншими модифікаціями і дозволяє надалі нарощувати її додатковими сенсорами та допоміжними платами.

В апаратну частину розробленої системи керування комплексом ПКП входять плата Arduino Mega 2560 та додаткові модулі: дискретного введення, вихідних реле, дискретного виведення (рис.2).

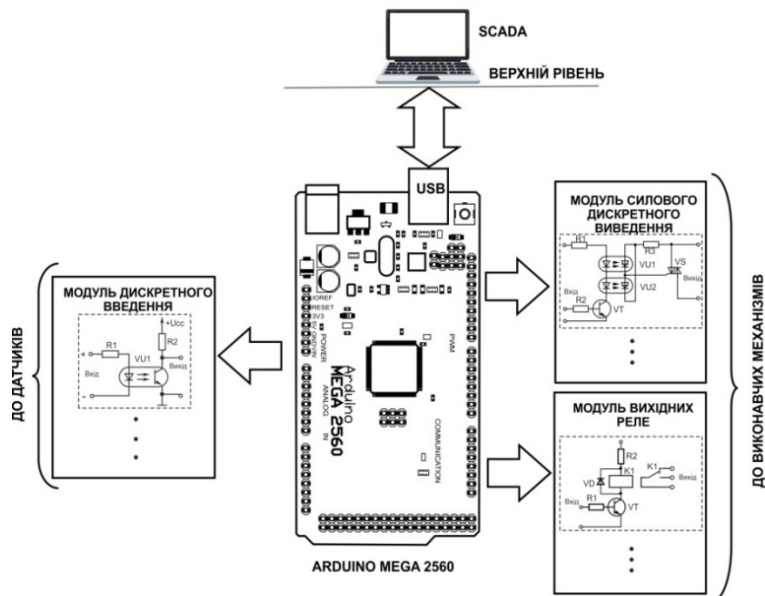


Рисунок 2 – Структура логічної системи управління комплексом ПКП

Модулі дискретного введення та дискретного виведення побудовано із використанням транзисторних та тиристорних оптопар, призначених для безконтактної комутації постійного струму із гальванічною розв'язкою між входом і виходом. Ці модулі застосовуються для узгодження і захисту дискретних входів та виходів контролера при підключенні зовнішніх кіл, які можуть бути схильними до різного роду замикань, перенапружень, наведень.

Спеціалізація ПЛК на виконання заданого алгоритму управління технічним об'єктом здійснюється

прикладною програмою користувача. В якості середовища розробки програмного забезпечення плат Arduino використовувалась безкоштовна система візуального програмування FLProg [8]. FLProg дозволяє вирішувати задачі програмування, застосовувати мову функціональних блокових діаграм FBD (Function Block Diagram) або мову релейної логіки LD (Ladder Diagram). Ці мови програмування рекомендовані стандартом IEC 1131-3 [9] і входять до складу програмного забезпечення багатьох ПЛК, що випускаються відомими в області автоматизації фірмами світу, наприклад, "Siemens" (Німеччина) [10, 11].

У роботі використовувалась мова FBD, яка є графічною мовою, і тому є найбільш зручною для інженерів-електронщиків. Програма на мові FBD зовні нагадує функціональну схему логічного пристрою – сукупність елементів (блоків), входи і виходи яких сполучені лініями зв'язку (рис.3). Ці зв'язки, що сполучають виходи одних блоків з входами інших, є змінними програми і служать для пересилки даних між блоками. Блок (елемент) – це підпрограма, функція або функціональний блок (I, АБО, НЕ, тригери, таймери, лічильники, блоки обробки аналогового сигналу, математичні операції та ін.).

Початкові значення змінних задаються за допомогою спеціальних блоків-входів або констант, вихідні кола можуть бути пов'язані або з фізичними виходами контролера, або з глобальними змінними програми. Графічна форма представлення алгоритму, простота в застосуванні і повторному використанні, бібліотеки функціональних блоків роблять мову FBD незамінною при розробці програмного забезпечення ПЛК.

Після завершення роботи над проектом програмного забезпечення виконується його компіляція в середовищі розробки Arduino IDE. У програмі Arduino IDE необхідно вказати номер COM-порту, до якого підключено базовий модуль мікроконтролера,

вибрати його тип, а потім завантажити його розробленим скетчем через USB-інтерфейс.

Коли завантажено прикладну програму виявлено в пам'яті, то ПЛК переходить до основної роботи, яка складається з постійного повторення послідовності дій, що входять в цикл контролера. Цикл починається зі збору даних з модулів введення, потім виконується програма ПЛК, і закінчується цикл виведенням даних в пристрої виводу. Тривалість циклу контролера залежить від часу виконання програми і швидкодії процесорного модуля.

Використовуючи можливості системи візуального програмування FLProg, в роботі розглянуто задачі розробки SCADA-системи як верхнього рівня автоматизованої системи управління комплексом ПКП.

Для впровадження SCADA-системи потрібна наявність зв'язку між датчиками, контролером і комп'ютером на автоматизованому робочому місці оператора-технолога.

Встановлення зв'язку можливе в разі використання внутрішнього протоколу FLProg через обмін змінними будь-якого типу через ComPort (для комп'ютера) з UART портом мікроконтролера Arduino Mega 2560.

Встановлення комунікації (зв'язку) між мікроконтролером Arduino Mega та OPC сервером і SCADA-системою, інтегрованою в FLProg, на комп'ютері використовується по протоколу Modbus. Зв'язок підтримується через інтерфейс RS485 на відстані до 1200 метрів.

Розроблена SCADA система забезпечує виконання наступних основних функцій:

- прийом інформації про контрольовані технологічні параметри від мікроконтролера і датчиків;
- графічне представлення перебігу технологічного процесу ПКП в зручній для сприйняття формі та інтуїтивно зрозумілому вигляді;
- сприйняття команд оператора і передача їх до адресу контролера та виконавчих механізмів;
- оповіщення експлуатаційного і обслуговуючого персоналу про виявлення аварійних ситуацій, пов'язаних з контрольованим технологічним процесом.

Модуль візуалізації і управління в SCADA-системі безпосередньо призначений для відображення технологічних параметрів. Технологічний процес представляється у

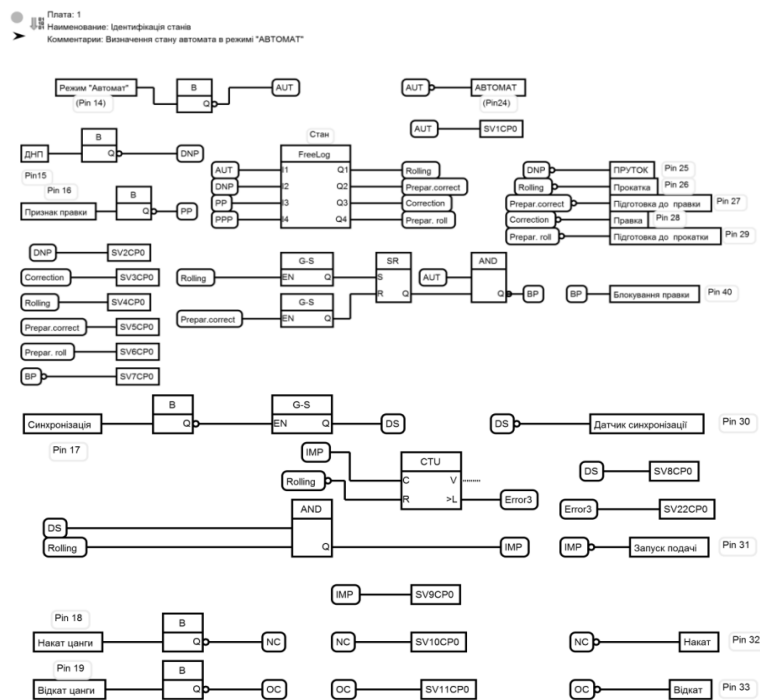


Рисунок 3 – Фрагмент робочої програми управління комплексом ПКП на мові FBD

9. SIMATIC. Simatic S7/M7/C7. Programmable Controllers. SIEMENS. // SIEMENS Catalog ST 70. – 1993. – №12. – С. 140.
10. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. Москва: СОЛОН-Пресс, 2004. 256с.

Надійшла до редколегії 06.05.2019.

УДК 621.771.25/26

DOI 10.31319/2519-2884.35.2019.39

МЕЩАНИНОВ С.К., д.т.н. професор
ВОЛОШИН Р.В., зав. лабораторії
ЛІ М.А., магістр
САЙ О.В., магістр

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Вступ. У сучасній промисловості все більшу роль відіграють інформаційні технології (ІТ) – електронні системи проектування, моделювання, системи управління виробничими потоками, системи контролю та обліку виробничих ресурсів. Металургійне виробництво – не виняток. На сьогоднішній день проблеми якості та ефективності є дуже актуальними, особливо в світлі проблеми енергозбереження. Саме ж поняття якості варто розуміти не тільки як якість матеріалу або продукції, а більш широко – стандарт ISO 9000 включає у визначення даного терміну ще і якість процесу або управління. У сортопрокатних цехах металургійного виробництва існує завдання, пов'язане з відвантаженням прокату по мірних довжинах. З практики виробництва сортових профілів простої форми відомо, що більше третини причин відбракування продукції є немірна довжина.

Постановка задачі. Застосування систем математичного моделювання на основі використання сучасних ІТ сприяє підвищенню ефективності вирішення такого завдання. Забезпечення якості процесу технології виробництва сприяє отриманню якісної металопродукції. Проведене дослідження формування якісного процесу для виробництва сортопрокатної продукції сьогодні знаходить розвиток в розробці аналогічного рішення. Тому метою даної роботи є дослідження можливостей підвищення ефективності прокатного виробництва за рахунок використання сучасних інформаційних технологій.

Розгляд ефективності будь-якої ділянки вимірювального тракту на сьогоднішній день найбільш доцільно проводити з використанням комплексного методу досліджень, в основі якого повинна знаходитись передача даних про об'єкт (або його частини) як складової технічної системи. При цьому найбільш важливим є аналіз можливостей контрольно-керуючої апаратури.

Результати роботи. Сучасні ринкові умови вимагають від сортопрокатного виробництва задачу готової продукції як в бунтах, так і мірними довжинами, що ставить перед виробництвом досить складні завдання, а саме, розкрий смуги на мірні довжини з мінімальною кількістю браку з огляду на необхідність попереднього поділу для його розміщення на холодильнику. В процесі розкрию смуги на мірні довжини утворюються немірні залишки – продукція, яка не відповідає замовній довжині, тобто по суті є браком.