

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, розкрій смуги на мірні довжини з мінімальною кількістю браку з огляду на необхідність попереднього поділу для його розміщення на холодильнику. В процесі розкрою смуги на мірні довжини утворюються немірні залишки – продукція, яка не відповідає замовній довжині, тобто по суті є браком.

Для умов прокатного виробництва в Україні основним напрямом підвищення ефективності прокатки є розробка відповідних заходів, спрямованих на скорочення пауз, за умови дотримання максимально можливої середньої машинної швидкості прокатки. Ця нерівномірність проявляється в різних вимогах щодо дотримання точності установки або підтримки на заданому рівні режимних параметрів при плющенні від однієї групи пропусків до іншої. Технологічний процес вже протягом одного циклу прокатки приймає властивості нестационарного, характеризується невизначеністю і обмеженістю вимірювальної інформації, а також багатозначністю варіантів управління, що істотно ускладнює прийняття оператором стану правильних рішень. Якість розкрою залежить від ефективності алгоритму розкрою. Фактично існує кілька способів вирішення завдання розкрою, наприклад, спосіб нескінченної прокатки. Автори [1, 2] розглядають 6 різних способів вирішення даного завдання. На основі проведених досліджень автори роблять висновок, що метод варіювання площі поперечного перерізу готової продукції в

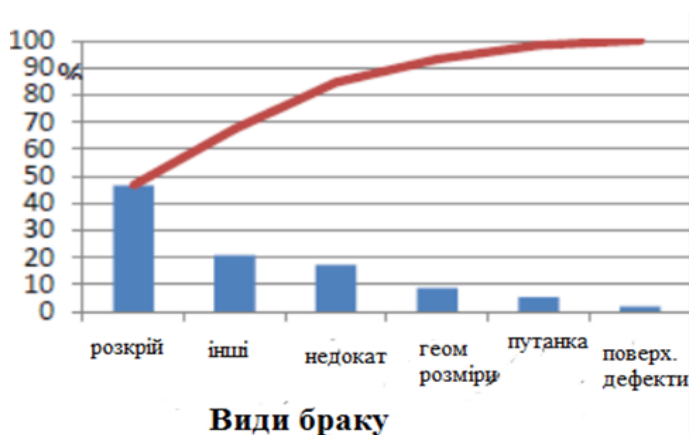


Рисунок 1 – Розподіл дефектів (види браку)

межах допустимих значень (далі Метод) є більш дешевим та універсальним. У ході досліджень [3] з'ясовано, що немірна довжина в сортопрокатному виробництві є найбільш вагомим видом браку (рис.1).

Діаграма Парето показує, що усунення немірної довжини дозволяє скоротити практично на 50% кількість браку в прокатному виробництві. До розкрою і пов'язаної з ним мірної продукції пред'являються певні вимоги до якості, наприклад, зовнішніми факторами є вимоги замовника до якості у вигляді мірної довжини і вимоги до якості продукції на законодавчому рівні, тобто відповідність до ДСТУ. Вплив внутрішніх і зовнішніх чинників можна показати схематично (рис.2). Стандарт ІСО визначає не тільки якість процесу, а і його ефективність. Стандарт ІСО 9000:2000 визначає ефективність як співвідношення досягнутих результатів і використаних ресурсів. Тобто, фактично мова йде про коефіцієнт виходу придатного. Таким чином, коефіцієнт виходу придатного є показником ефективності процесу розкрою, що, в свою чергу, є його якістю.

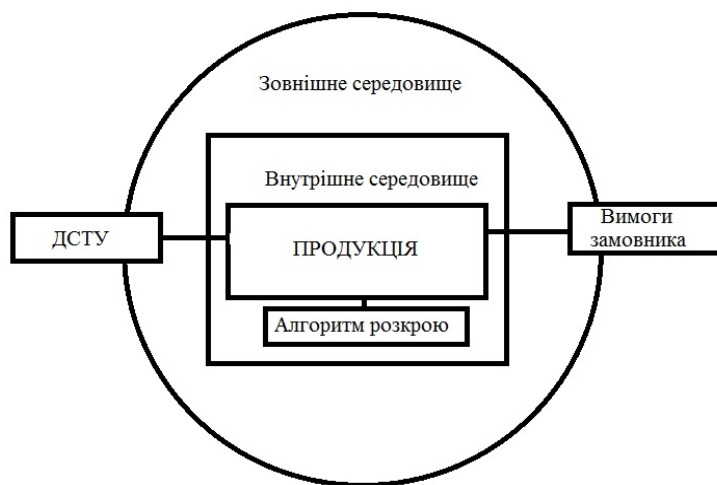


Рисунок 2 – Вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на продукцію

Існує спіраль якості, запропонована Джураном [3], яка включає 14 етапів: 1 – дослідження ринку, 2 – розробка проектного завдання, 3 – виконання НДР, 4 – складання ТУ, 5 – технологічна підготовка виробництва, 6 – матеріально-технічне по-

стачання, 7 – виготовлення інструменту, пристосувань, 8 – виробництво, 9 – контроль виробничого процесу, 10 – контроль готової продукції, 11 – випробування продукції, 12 – збут, 13 – технічне обслуговування, 14 – дослідження ринку.

Для виявлення найбільш значущих чинників, що впливають на коефіцієнт виходу придатного, побудовано схему Ісікави (рис.3).



Рисунок 3 – Структурна схема Ісікави

У загальному випадку показник технічної справності системи (в нашому випадку прокатного стану) $P_u(t_{cm})$ визначається як ймовірність того, що в момент t_{cm} система знаходиться в технічно справному стані:

$$P_u(t_{cm}) = \sum_{j=1}^{N_p} P_j(t_{cm}), \quad t_{cm} = n(T_n + t_p), \quad (1)$$

де $P_j(t_{cm})$ – ймовірності, що характеризують можливості прокатного стану після закінчення тривалості промислової зміни t_{cm} ; T_n – період функціонування прокатного стану; t_p – тривалість проведення технічного обслуговування; N_p – кількість підсистем, які пройшли технічне обслуговування; n – порядковий номер технічного обслуговування (кількість технічних обслуговувань).

Для визначення цього показника досить підрахувати число реалізацій m_u , при яких в момент t_{cm} прокатний стан був справний, тобто число реалізацій, при яких $x_i \in R$ (R – ймовірність безвідмовної роботи системи). Тоді статистична оцінка $P_u(t_{cm})$ визначається наступним співвідношенням:

$$P_u(t_{cm}) = m_u / L. \quad (2)$$

Для обчислення ймовірності безвідмовної роботи прокатного стану за час τ необхідно вести підрахунок всіх реалізацій, при яких він вперше досяг $x_i \in Q$ в проміжку часу τ (Q – ймовірність відмови). Нехай це число реалізацій m_0 . Тоді статистична оцінка зазначеного показника

$$P(\tau) = (L - m_0) / L, \quad (3)$$

де L – число реалізацій.

Математичне очікування часу безвідмовної роботи прокатного стану оцінюється за формулою

$$T_L = \frac{L-1}{L} T_{L-1} + \frac{1}{L} t_L, \quad (4)$$

де T_L – середній час безвідмовної роботи прокатного стану; t_L – тривалість простою прокатного стану.

Зазвичай процес технічного обслуговування виконується відповідно до технологічного регламенту. Однак, стосовно до прокатного стану можуть мати місце позапланові зупинки для технічного обслуговування, пов'язані з виходом значень параметрів, що характеризують надійність його функціонування, за межі їх допустимого діапазону змін. Технологічний графік проведення технічного обслуговування може бути представлений у вигляді мережного графіка [4]. Позначимо тривалість i -го шляху мережного графіка через L_i , а тривалість критичного шляху – символом L_{ik} .

Тоді час проведення технічного обслуговування є довжиною критичного шляху. Тривалість виконання відповідних технологічних операцій

$$L_i = \sum_{j=1}^{k_i} \tau_{ij}, \quad (5)$$

де τ_{ij} – час виконання j -ї технологічної операції; k_i – число технологічних операцій, які становлять i -й шлях.

Таким шляхом завдання моделювання часу проведення технічного обслуговування може бути зведене до моделювання тривалості технологічних операцій. Час проведення однієї технологічної операції може бути розділений на дві складові:

$$\tau_{ij} = \tau'_{ij} + \Delta\tau_{ij}, \quad (6)$$

де τ'_{ij} – час виконання технологічної операції при відсутності відмов; $\Delta\tau_{ij}$ – приріст часу виконання технологічної операції, викликаний появою відмов обладнання, що бере участь в її виконанні.

При виконанні технічного обслуговування можуть мати місце два види відмов. Відмови першого виду, як правило, проявляються на початку технологічної операції, але виявляються лише при обслуговуванні. Час виконання операції при їх появі збільшується на величину часу відновлення працездатності обладнання. Час відновлення працездатності i -го елемента підсистеми τ_i^e також є випадковою величиною і може бути промодельований на підставі відомого закону розподілу. Відмови другого виду виникають в процесі виконання технологічної операції і іноді призводять до того, що після усунення причини їх появи, доводиться повторювати частину робіт технологічної операції, виконаних до появи відмови. Тривалість часу τ_i^0 , необхідного на повторення виконаних раніше робіт, є величиною, що однозначно визначається часом появи відмови для кожного виду обладнання. Момент появи цього виду відмов при моделюванні може бути встановлено шляхом перевірки логічної умови:

$$R_i \geq t_{ij}, \quad (7)$$

де R_i – випадкове число, підпорядковане тим же законам розподілу, що і час безвідмовної роботи для даної підсистеми; t_{ij} – час роботи підсистеми при виконанні технологічної операції. Виконання умови (7) відповідає випадку відсутності відмов за час виконання технологічної операції. Якщо зазначена умова не виконується, то має місце відмова в момент часу, що дорівнює величині R_i .

Таким чином, час виконання технологічної операції при одній реалізації процесу моделювання τ_{ij} може бути визначеним за формулою:

$$\tau_{ij} = \sum_{\mu=0}^a \tau_{ij}^{\epsilon(\mu)} + \sum_{\mu=0}^c (\tau_{ij}^{0(\mu)} + \tau_{ij}^{\epsilon(\mu)}) + \tau_{ij}', \quad (8)$$

де a, c – число відмов першого і другого видів; μ – інтенсивність відновлення працездатності.

Після визначення тривалості виконання кожної технологічної операції згідно з (7), можна визначити довжини всіх шляхів мережевого графіка.

Час виконання технічного обслуговування в s -й реалізації процесу

$$t_p^s = L_k^s = \max \{L_i^s\}, \quad (9)$$

де L_k^s – довжина критичного шляху мережного графіка обслуговування в s -й реалізації процесу.

Розглянуте вище співвідношення дозволяє за допомогою ЕОМ моделювати реалізації процесу технічного обслуговування прокатного стана. Статистична щільність розподілу величини t_p^s може бути отримана шляхом обчислення на ЕОМ частот появи подій:

$$t_p^s \in [t_i, t_{i+1}], \quad (10)$$

де t_i, t_{i+1} – межі інтервалів групування, що використовуються при побудові статистичної щільності розподілу.

Для визначення частоти появи події (10) поточний час може бути розбитим на ряд інтервалів відповідно до правил математичної статистики. Вхідні величини у виразі (10) задаються вихідними даними. Формально математична модель надійності функціонування прокатного стана може бути представлена співвідношенням, що встановлює функціональний зв'язок між рівнем надійності прокатного стана і рівнем надійності його підсистем:

$$H = \Phi[F(r_i, \tau_i, N), U(r_i, \tau_i, \partial, T_c, T_n, N)], \quad (11)$$

де $F(r_i, \tau_i, N)$ – функціональне уявлення структури прокатного стана і взаємозв'язку його підсистем протягом деякого відрізка часу τ_i ; r_i – показник надійності i -ої підсистеми; N – число підсистем прокатного стана; U – оператор, що враховує ступінь впливу керованих факторів на рівень надійності прокатного стана; ∂, T_n – обсяг і період проведення технічного обслуговування прокатного стана; T_c – час зниження коефіцієнта готовності прокатного стана при обслуговуванні; H – досліджуваній показник надійності прокатного стана. Кількість можливих елементів, та число підсистем в прокатному стані, множина E . Знаходимо їх кількість:

$$\prod_{i=1}^J k_i, \quad (12)$$

де k_i – число можливих значень i -ї підсистеми прокатного стана.

Так, якщо кожен елемент системи може знаходитися тільки в двох станах – «справний» чи «несправний», то множина E буде містити 2^N різних несумісних стани.

Кожен стан $x_i \in E$, характеризується деяким значенням умовної ймовірності $\alpha_i(t)$ виконання завдання системою за умови, що вона перебуває в стані x_i . Для деяких станів x_i величина $\alpha_i(t) = 0$. Тому множину E можна розбити на дві підмножини Q і R так, щоб в Q входили всі $x_i \in E$, для яких $\alpha_i(t) = 0$, а в R – всі інші стани.

Повинні бути виконані наступні умови [4]:

$$R \cup Q = E, R \cap Q = \emptyset; \text{ якщо система справна, то } \alpha_i(t) > 0.$$

Нехай P_{ij} – ймовірність переходу прокатного стану з x_{0j} в x_i за час t_{cm} .

Тоді за формулою повної ймовірності

$$P_j(t_{cm}) = \sum_{j=1}^M P_{0j} \cdot P_{ij}(t_{cm}), \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (13)$$

де $P_i(t_{cm})$ – ймовірність того, що в момент t_{cm} стан буде перебувати в стані x_i ; M – число підсистем прокатного стану.

Ймовірність знаходження прокатного стану в момент часу t_{cm} в технічно справному стані (ймовірність безвідмовної роботи)

$$P(t_{cm}) = \sum_{i=1}^M P_i(t_{cm}) \cdot \alpha_i = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M P_{0j} \cdot P_{ji} \cdot \alpha_i. \quad (14)$$

Таким чином, математична модель надійності функціонування прокатного стану може бути представлена в наступному вигляді. Ймовірність переходу прокатного стану з повністю працездатного стану (справні всі підсистеми прокатного стану) x_i в стан x_s (несправна хоча б одна з підсистем прокатного стану)

$$P(t_{cm}) = \prod_{v=1}^k P_v(t_{cm}) \cdot \prod_{\mu=1}^k [1 - P_{\mu}(t_{cm})], \quad (15)$$

де $P_v(t_{cm})$ – ймовірність безвідмовної роботи v -го елемента прокатного стану за час t_{cm} ; $1 - P_{\mu}(t_{cm})$ – ймовірність появи відмови μ -го елемента прокатного стану за час t_{cm} .

Висновки. Проведені аналітичні дослідження дозволяють зробити висновок, що на сучасному етапі розвитку сортопрокатного виробництва необхідно розробити сучасне програмне забезпечення, яке може враховувати усі фактори, що впливають на якість та ефективність виробничого процесу. Проаналізовано вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на якість продукції. Виділено найбільш значущі фактори.

Розроблено математичну модель надійності функціонування прокатного стану, яка може бути використана при розробці сучасного програмного забезпечення системи керування прокатними станами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Саранча С.Ю., Моллер А.Б., Новицкий Р.В. Немерная длина в сортопрокатном производстве и способы ее устранения. М.: Калибровочное бюро, 2013. 155с.
2. Моллер А.Б. Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. *Международный сборник научных трудов КПИ*, 2014. №20. С.61-70.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материалознаство. М.: Машиностроение, 1990. 432с.
4. Червоний А.А., Лукьященко В.И. Надежность сложных систем. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1976. 288с.
5. Геллер Ю.О., Рахштадт О.Г. Методи аналізу, лабораторні праці та завдання. М.: Металургія, 1984. 294с.
6. Бернштейн М.Л. Металознаство і термічна обробка сталі. М.: Металургія, 1983. 320с.
7. Богодухова С.И., Бондаренко В.А. Технологічні процеси машинобудівного виробництва. Оренбург: ОДУ, 1996. 476с.
8. Жадан В.Т., Полухин П.І. Материалознаство й технологія матеріалів. М.: Металургія, 1994. 354с.
9. Глинков, Г.Я., Климовицкий М.Д. Теоретические основы автоматического управления металлургическими процессами. М.: Металлургия, 1985. 304с.

Надійшла до редколегії 07.10.2019.