

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

КУЗЬМЕНКО Михайло Юрійович



УДК 621.771.065:658.512:681.5

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УЗГОДЖЕНОГО КЕРУВАННЯ
РОЗКРОЄМ ПРОКАТУ НА БЕЗПЕРЕРВНИХ СОРТОВИХ
ПРОКАТНИХ СТАНАХ**

Спеціальність: 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Єгоров Олександр Петрович,
Національна металургійна академія України (м. Дніпро)
Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри
автоматизації виробничих процесів. Лауреат Державної
премії Української РСР в галузі науки і техніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Пазюк Михайло Юрійович, Запорізький Національний
Університет Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри автоматизованого управління
технологічними процесами.

кандидат технічних наук, доцент
Багрій Віктор Васильович, Дніпровський державний
технічний університет Міністерства освіти і науки
України, завідувач кафедри електроніки

Захист відбудеться «12» травня 2021 р. о 11-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19, корпус 1, ауд. 102, тел. (056) 746-22-00.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19, корпус 1.

Автореферат розіслано «09» квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д. 08.080.07, к.т.н., доцент



І. М. Удовик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дрібносортний прокат, що постачається в стрижнях, є найбільш масовим видом прокату, що виробляється в Україні. Так, обсяги виробництва довгомірного прокату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – одного з найбільших виробників сталевих прокатів в Україні, у 2019 році склав 4626 тис.тон, що становить 85 % до всієї виробленої та реалізованої продукції.

Практично 100% замовлень на цей вид продукції приходить на мірний прокат, тоді як реальний вихід мірного прокату становить 95%-98%, а решта припадає на немірний прокат, який реалізується за зниженою ціною.

На заключному етапі прокатного переділу при отриманні товарної продукції на безперервних прокатних станах, виникають втрати металу через наднормативну технологічну обрізь. Крім того виникають економічні втрати, що пов'язані з реалізацією пачок немірних стрижнів за меншою вартістю. Одним з важливих напрямів є удосконалення систем автоматичного керування розкром металопрокату і систем автоматичного контролю режимів прокатки, які створюють умови для досягнення мінімуму втрат металу через наднормативну обрізь при максимальному виході мірного стрижневого прокату.

Розробці таких систем керування присвячені дослідження вчених О.П. Чекмарьова, В.С. Єгорова, В.М. Куваєва, О.М. Кукушкіна, В.В. Багрія та інших.

Аналіз досліджень і публікацій систем автоматичного керування розкром металопрокату дозволяє визначити невирішену проблему, а саме вибір таких стратегій та алгоритмів керування розкром, що забезпечують необхідну якість готового прокату завдяки узгодженому керуванню безперервними заготовочними станами (БЗС) та безперервними дрібносортними станами (БДС).

У зв'язку з цим розробка універсальних методів, моделей та систем керування розкром в умовах масового характеру виробництва мірного стрижневого прокату, які враховують закономірності параметрів прокатки та можливості існуючого устаткування, і побудова на базі цих закономірностей алгоритмів узгодженого керування розкром є актуальною науково-технічною задачею, розв'язання якої забезпечить підвищення конкурентоспроможності вітчизняної металопродукції шляхом збільшення виходу мірного стрижневого прокату.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України «Енергетика та енергоефективність». В основу роботи покладено матеріали, які узагальнюють дослідження автора в рамках реалізації науково-дослідних робіт, які виконувалися в Національній металургійній академії України у відповідності з законом України № 2623-14 від 11.07.2001 р. «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», Постановами Кабінету Міністрів України: «Про заходи щодо розвитку гірничо-металургійного комплексу», «Про хід виконання Програми розвитку залізорудної промисловості України», «Державної комплексної програми розвитку України», затвердженої Постановою Кабінету Міністрів

України, а також відповідно до «Основних напрямів енергетичної стратегії України на період до 2030 року». Дисертаційна робота є складовою частиною досліджень, проведених в Національному гірничому університеті та Національній металургійній академії України за держбюджетними науково-дослідними роботами: «Підвищення енергоефективності електромеханічного комплексу виробництва сортового прокату» (№0113U003260с), «Енергозберігаюче управління електромеханічними та виробничими комплексами на основі адаптивних моделей технологічних об'єктів» №0115U003178с), а також «Розробка та дослідження системи програмного управління режимом натягу на безперервному дрібносортному стані» (№0116U008359), в яких автор брав участь як відповідальний виконавець. Робота відповідає напряму наукових досліджень кафедри автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України. Результати досліджень за даними темами, отримані автором особисто, представлені в даній роботі.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення методів та алгоритмів узгодженого керування технологічним процесом в умовах виробництва дрібносортного прокату для скорочення втрат металопрокату і енергоресурсів при його виробництві.

Досягнення цієї мети передбачає вирішення наступних завдань:

- дослідити та провести аналіз особливостей технології виробництва заготовок і дрібносортного прокату з метою визначення досконалих методів узгодженого керування розкром прокату на них;
- на основі теоретичних і експериментальних досліджень режимів прокатки та алгоритмів розкрою встановити залежності довжини розкату від параметрів первинної заготовки (маси, довжини, поперечного перетину, температури);
- дослідити похибки систем розкрою заготівельного стану для визначення досконалості наскрізного розкрою;
- провести аналіз впливу змінної швидкості прокатки на роботу системи розкрою, з метою вибору методів керування режимом прокатки;
- розв'язати задачу узгодженого керування розкром прокату на безперервних сортових прокатних станах, враховуючи особливості та умови виробництва дрібносортного прокату;
- визначити загальні правила розкрою металопрокату на заготівельному стані з метою встановлення меж ефективності алгоритмів розкрою при виробництві стрижневого прокату різних профілерозмірів;
- розробити метод налаштування швидкісного режиму прокатки в чорнових клітках дрібносортного стану для зменшення його впливу на точність прогнозування довжини прокату на виході прокатної лінії;
- розв'язати задачу точного групування торців прутків на холодильнику при їх гальмуванні;
- розробити функціональну структуру та алгоритм роботи автоматизованої системи керування розкром прокату на виході безперервного дрібносортного стану, яка забезпечить скорочення робіт з сортування прокату на виході холодильника цього стану.

Об'єкт дослідження – процеси автоматизованого керування виробництвом заготовок та стрижневого прокату.

Предмет дослідження – взаємозв'язок методів та алгоритмів керування операціями, що впливають на формування стрижнів сортового прокату, з параметрами технологічного процесу його виробництва.

Основна ідея полягає в узгодженому керуванні технологічним процесом на безперервних заготовочних та безперервних дрібносортних станах, що забезпечують виробництво сортового прокату у стрижнях, на основі як апріорної, так і апостеріорної інформації технологічного процесу.

Методи дослідження. В основу досліджень покладено методи теорії автоматичного керування для розробки структури і алгоритмів керування універсальної автоматизованої системи розкрою; методи теорії імовірності для визначення розмірів заготовки; методи імітаційного моделювання для визначення закономірностей формозміни металу в прокатних валках, довжини відрізуваних заготовок на БЗС і прутків на БДС, досконалості запропонованих рішень; статистичні методи для обробки модельних і експериментальних даних.

Наукові положення, що захищаються в дисертації.

1. Рациональний наскрізний розкрій прокату на виході заготівельного стану є поєднанням розкрою по уставці і рівномірного розкрою, що забезпечує мінімізацію втрат прокату і максимізацію виходу мірної продукції, однак при виробництві стрижневого прокату малого перетину розкрій прокатної штанги на заготовки не впливає на вихід мірної продукції, а довжина заготовок визначається, виходячи з максимального заповнення холодильника дрібносортного стану, що забезпечує максимальну продуктивність останнього.

2. Використання вихідного сигналу регулятора петлі, для активного регулювання натягу прокату в останньому проміжку чорнової групи клітей, дозволяє стабілізувати швидкісний режим прокатки і ширину прокату на вході до першої чистової кліті та підвищує точність прогнозування довжини прокату на виході прокатного стану.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше запропоновано метод активного регулювання натягу прокату в останньому міжклітьовому проміжку чорнової групи клітей, завдяки введенню в існуючу систему керування регулятора натягу, що забезпечує стабілізацію поперечних розмірів прокату на виході чорнової групи клітей та скорочення втрат металопрокату за рахунок підвищення точності прогнозування довжини прокату на виході з випускної кліті.

2. Удосконалено динамічну модель процесу прокатки заготовки в однокитковій чорновій і чистовій групі клітей БДС, що, на відміну від існуючих, включає в себе підмодель регулювання петлі між чорною та чистовими групами та модель регулювання прогину прокату в останніх трьох проміжках чистової групи прокатного стану і дозволяє на основі моделювання визначити режим прокатки заготовки з допустимими розмірами, змінною в часі температурою, а також визначити кількість і довжину прутків на виході останньої кліті БДС.

3. Обґрунтовано критерій при узгодженому керуванні розкромом прокату на

безперервних сортових прокатних станах, який визначається техніко-економічними показниками виробництва прокату, основними з яких є: мінімальні очікувані втрати, віднесені до однієї прокатної штанги БЗС для прокатки певного профілерозміру дрібносортного прокату, що забезпечує максимальний вихід мірних стрижнів при раціональній довжині прутка такого прокату.

4. Набув подальшого розвитку принцип керування розкромом при виробництві мірного дрібносортного прокату в стрижнях, що полягає у визначенні довжини немірного залишку, який за величиною буде меншим, ніж один мірний стрижень, та його відрізання перед чистовою групою клітей.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів підтверджується коректною постановкою завдання; адекватністю удосконаленої моделі реальним технологічним параметрам прокатного виробництва; використанням сучасних уявлень теорії прокатки, методик математичного моделювання процесу формозміни прокату в міжклітьових проміжках і формування мірних пакетів стрижнів на вихідній стороні БДС з урахуванням загальноприйнятих припущень, порівнянням загальновідомих статистичних даних з результатами імітаційного моделювання роботи прокатних станів; використання сучасних програмних пакетів для наукових обчислень; моделювання та дослідження розробленої системи автоматичного керування.

Практичне значення роботи полягає у:

- розробці алгоритму керування розкромом прокату на БДС, який забезпечує вихід на холодильник прутків довжиною, кратною мірному стрижню, що враховує виробку калібрів БДС і не залежить від довжини сортової заготовки;
- розробці функціональної структури та алгоритму роботи автоматизованої системи керування розкромом на БДС, придатної до використання на металургійних підприємствах, при розробці і модернізації існуючих САУ розкромом металопрокату;
- розробці способу та системи автоматичного керування вирівнюванням арматурного термозміцненого прокату на холодильнику дрібносортного стану, яка забезпечує істотне підвищення точності вирівнювання передніх торців прокату на холодильнику та може бути поєднана із системою з підрівнюючими роликами;
- передачі отриманих результатів досліджень ТОВ НВП «Центр Електромеханічної Діагностики» і НВП «Дніпрочорметавтоматика»;
- використанні окремих розділів дисертаційної роботи в навчальному процесі кафедри автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України при вивченні дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» студентами за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Реалізація результатів роботи. Запропоновані за результатами роботи науково-технічні рішення та експериментальні дані, отримані на стані 500 ділянки стану 1250 цеху Блюмінг ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», зокрема, статистично оброблені дані замірів передньої та задньої обрізи прокатної штанги при її розкрої на заготовки, статистичні дані відхилення довжин заготовок при

безвідходному розкрою прокатної штанги, математичну модель та статистично оброблені результати моделювання технологічного процесу розкрою прокатної штанги на безперервному заготовочному стані 500 надані ТОВ НВП «Центр Електромеханічної Діагностики» при розробці технічного завдання та модернізації системи безвідходного розкрою на стані 500 ділянки стану 1250 цеху Блюмінг ПАО «АрселорМіттал Кривий Ріг». Результати досліджень і розробок, що отримані при виконанні дисертаційної роботи, надані у практичне використання ТОВ «НВП Дніпрочорметавтоматика» при розробці АСУ безперервними сортовими прокатними станами, а саме, спосіб та система керування розкром прокату на безперервних дрібносортних станах і рекомендації щодо розробки системи автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортного стана.

Особистий внесок здобувача. Результати дисертації, що виносяться на захист, одержані автором особисто. Автор самостійно сформулював мету і завдання дослідження, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, виконав теоретичну частину роботи та удосконалив математичну модель прокатки на БДС. Експериментальні дослідження, які увійшли в дисертаційну роботу, виконані безпосередньо здобувачем.

Апробація результатів роботи

Основні положення та наукові результати роботи розглядалися на міжнародних наукових і науково-практичних конференціях: Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів і молодих учених «Молода академія 2011» (м. Дніпро, НМетАУ, 2011р.); XIX Міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика / Automatics – 2012» (Київ, НУХТ, 2012р.); VI науково-практичній конференції «ГИПОпром-2012: от теории к практике» (м. Дніпро, НМетАУ, 2012 р.); «XI Міжнародній конференції з проблем розвитку впровадження інформаційних технологій в науку та інноваційну сферу освіти: матеріали науково-технічної конференції» (м. Дніпро, НГУ, 2014р.); «Міжнародній конференції з проблем використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: матеріали науково-технічної конференції» (м. Дніпро, НГУ, 2014р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції «НАУКА І МЕТАЛУРГІЯ», присвяченій 80-річчю Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України (м. Дніпро, ІЧМ, 2019р.).

Публікації. Основні наукові положення і результати дисертації опубліковані у 24 наукових працях, з них: 9 статей – у фахових виданнях, що входять до переліку МОН України (у т. ч. 2 статті – в журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus), 5 статей – в матеріалах наукових конференцій, 3 патенти (з яких 2 – на винахід, 1 – на корисну модель) та 7 – у інших виданнях.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, 9 додатків, списку використаних джерел, що містить 122 найменування на 14 сторінках. Текстова частина містить 146 сторінок машинописного тексту, 32 рисунки і 14 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 202 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми; розкрито зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами; поставлено мету і сформульовано завдання, об'єкт та предмет дослідження; викладено ідею роботи; визначено методи дослідження; зазначено наукові положення та наукову новизну отриманих результатів; наведено наукове та практичне значення результатів роботи; задекларовано особистий внесок автора; висвітлено апробацію результатів роботи, публікації за темою.

У **першому розділі** проведений аналіз технологічної схеми виробництва заготовок і дрібносортного прокату, за результатами якого зроблений висновок, що основними втратами при виробництві заготовок і сортового прокату є відходи металу у вигляді немірних залишків і наднормативної обрізі. При цьому основною складовою собівартості готового металопродукату, зокрема стрижневого, є вартість заготовки.

Виконаний аналіз підсистеми отримання блюма зі злитка, підсистеми отримання заготовки з блюма, підсистеми виробництва заготовок машиною безперервного лиття заготовок, підсистеми отримання прокату із заготовки на безперервному дрібносортному стані. Встановлено, що на заключному етапі переділу прокатного виробництва, при виробництві товарної продукції на безперервних прокатних станах, виникають втрати металу за рахунок наднормативної обрізі, яка виникає, з одного боку, внаслідок того, що довжина заготовки, яка подається на вхід прокатного стану не є раціональною для цього профілю, а з іншого – через особливості обладнання прокатних станів, що реалізують операції розкрою.

Аналіз запропонованих наразі рішень щодо автоматизації процесів керування прокатними станами показав, що проблема зменшення наднормативної обрізі металу вирішується на кожному прокатному стані окремо, тоді як загальний техніко-економічний ефект виробництва металопродукату визначають процеси, які одночасно протікають в усіх підсистемах прокатних станів.

Встановлено, що досягнення високих техніко-економічних показників при виробництві стрижневого металопродукату є багатокритеріальною задачею. При цьому, вибираючи критерії ефективності розкрою, необхідно враховувати технічні особливості прокатних станів і сортамент металопродукату.

Зроблений висновок про необхідність нового підходу до автоматизації процесів керування розкром прокату, що передбачає узгоджене керування усіма підсистемами виробництва товарного металопродукату, які підвищують точність керування операціями розкрою.

У **другому розділі** з метою дослідження процесів керування розкром прокату проведено експериментальне дослідження процесу виробництва заготовок та мірного стрижневого прокату.

Визначення та аналіз статистичних характеристик розмірів заготовок на безперервному заготовочному стані 730/500 ПАО «АрселорМіттал Кривий Ріг» дозволив встановити, що похибка розкрою прокатної штанги викликає випадкові коливання довжин заготовок в пакеті, які сягають $R[\Delta L_{3_ПАК}] = 0,15$ м. При цьому

математичне очікування відхилення довжини заготовок в пакеті становило $M[\Delta L_{3_ПАК}] = 0,08\text{ м}$ та середньоквадратичне відхилення $\sigma[\Delta L_{3_ПАК}] = 0,027\text{ м}$.

Враховуючи теоретичну вагу стрижневого прокату, визначені розрахункові довжини для різного перетину прутків, які можуть бути отримані при прокатці частини заготовки площею поперечного перетину $S_{3AG} = 0,000064\text{ м}^2$ та довжиною $R[\Delta L_{3_ПАК}] = 0,15\text{ м}$:

$$l_{РОЗР} = \frac{S_{3AG} * R[\Delta L_{3_ПАК}] * \rho_0}{P_{ПР_ТЕОР}}, \quad (1)$$

де S_{3AG} – площа поперечного перетину заготовки, м^2 ; $R[L_{3_ПАК}]$ – відхилення довжин заготовок в пакеті при розкрії однієї штанги, м ; ρ_0 – питома щільність металу, $\text{кг}/\text{м}^3$; $P_{ПР_ТЕОР}$ – теоретична вага стрижневого прокату, $\text{кг}/\text{м}$.

Для встановлення впливу окремих складових технологічного процесу прокатки на зміну розмірів готового прокату використана відома математична модель процесу одниткової безперервної прокатки в чорновій і чистовій групах клітей, яка включає в себе підмодель регулювання петлі між чорною та чистовими групами та модель регулювання прогину прокату в останніх трьох проміжках чистової групи прокатного стану. За результатами моделювання встановлено, що при розузгодженні частоти обертання валків чорнової групи клітей в межах 0,5-1,5% зміна довжини прокату на виході з чистової групи клітей складає 20-50 м.

Для визначення величини розкиду довжин прутків при рівномірному розкрію прокату за часом проведено експериментальне дослідження на моделі. При цьому імітаційне моделювання прокатки здійснювалося за відсутності та за наявності автоматичного регулювання прогину з подачею керуючого впливу за ходом і проти ходу прокатки з однаковими розмірами заготовок $L_3 = 10,53\text{ м}$, $S_{3AG} = 0,000064\text{ м}^2$. Встановлено, що без автоматичного регулювання прогину при рівномірному розкрію прокату середньоквадратичне відхилення довжини прутків становить $\sigma[l_{ПР}] = 0,42\text{ м}$, при загальному змінненні швидкості прокатки на виході з останньої кліті $R[V_{ПР}] = 0,35\text{ м}/\text{с}$ (рис. 1). При цьому максимальне відхилення довжин прутків становить 2,53 метра, а відхилення висоти профілю за межі поля допуску становить 0,8 мм.

Стабілізований швидкісний режим прокатки зі стабільними розмірами поперечного перетину прокату забезпечила система, в якій керування швидкісним режимом прокатки в чистовій групі відбувається шляхом подачі керуючого впливу проти напрямку прокатки. Проте, використання такої системи пов'язане із необхідністю застосування додаткового обладнання для формування петлі між чорною та чистовою групами клітей, яка може сягати 2,5 м, вимагає застосування складної процедури прогнозування висоти петлі та складного налаштування регуляторів взаємопов'язаних електроприводів.

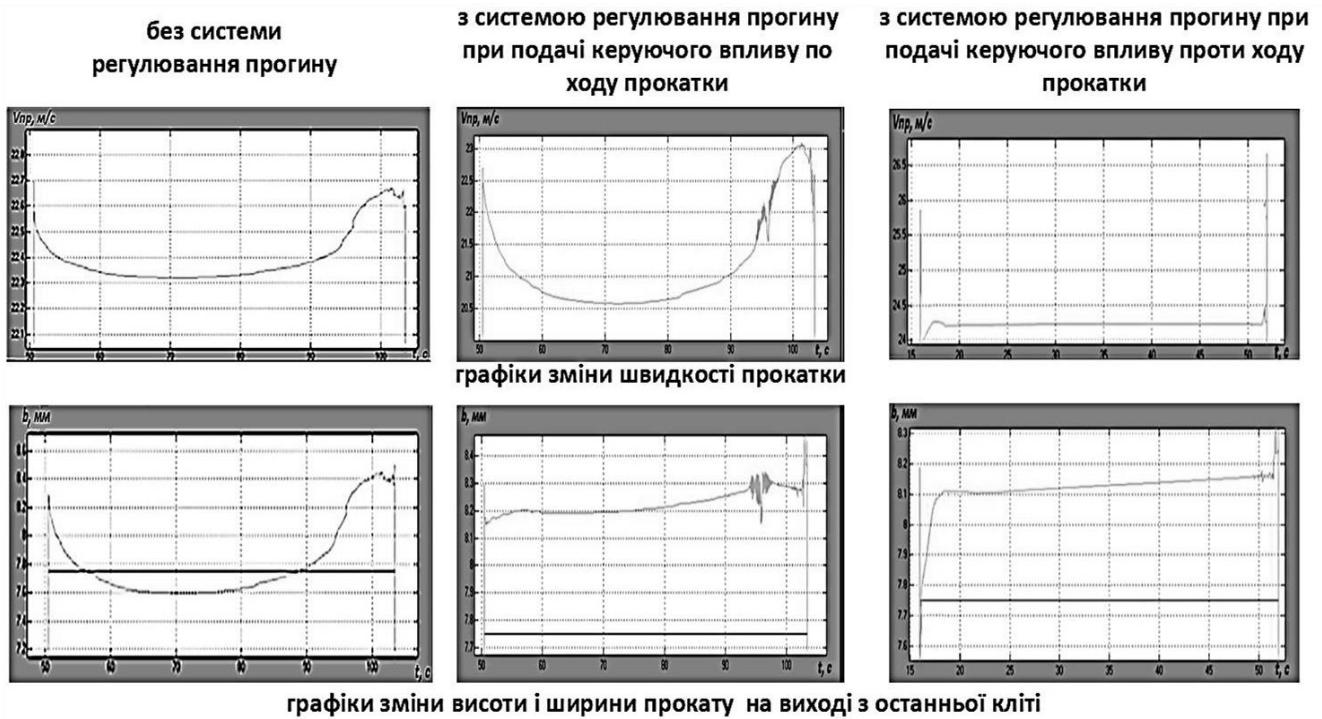


Рисунок 1 – Результати моделювання прокатки та розкрою прокату на дрібносортному стані

На підставі проведеного дослідження процесу прокатки на комп'ютерній моделі встановлено, що найбільш значимо на площу поперечного перетину і довжину прокату впливають температура та маса заготовки з коефіцієнтами кореляції відповідно $r_{S_p, T_3} = 0,81$ і $r_{l_p, T_3} = 0,86$.

З метою дослідження процесів керування режимами роботи системи примусового гальмування прутків на холодильнику дрібносортного стана створена відповідна математична та динамічна комп'ютерна модель, результати роботи якої наведені на рис. 2.

Запропонований алгоритм керування включенням електромагнітів для гальмування прутків різної довжини забезпечує точне вирівнювання прокату на настилі холодильника. Аналіз результатів моделювання визначив, що при розмаху коливань довжини прутків 12,5 м розкид передніх торців не перевищує, що при розмаху коливань довжини прутків 12,5 м розкид передніх торців не перевищує 0,4 м при математичному очікуванні координати переднього торця прутка від початку настилу холодильника $M[X_{п_т}] = 121,0$ м і середньому квадратичному відхиленні $\sigma[X_{п_т}] = 0,124$ м. Це свідчить про ефективну роботу системи і достатню точність укладання прутків.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи проведено дослідження алгоритмів розкрою на безперервному заготовочному та дрібносортному станах. Встановлено, що локальні завдання розкрою в технологічному ланцюжку виробництва сортового прокату в стрижнях є взаємопов'язаними.

При розкрою довгомірного прокату постають дві основні задачі.

Перша – максимізація кількості стрижнів заданої довжини:

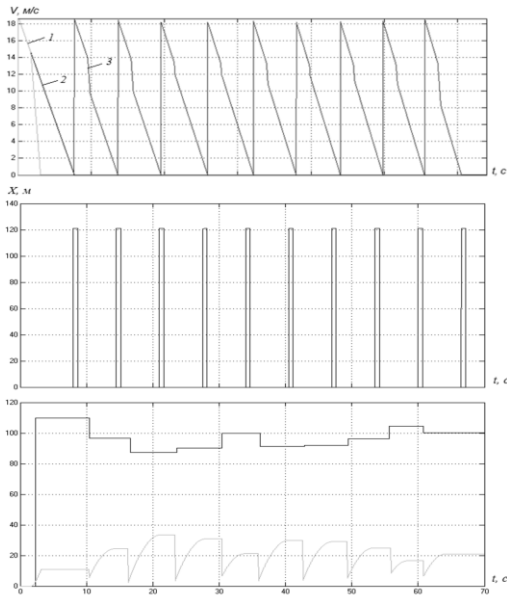


Рисунок 2 – Результати моделювання роботи системи керування примусовим гальмуванням прутків на холодильнику:

(а) - графіки зміни швидкості прутків; (б) - координати переднього торця прутків після зупинки; (в) - довжина і графіки

однакової довжини. При цьому вибір розкрійного плану за критерієм максимальної вартості отриманих відрізків проводиться з двох розкрійних планів: розкрою всього довгомірного прокату по уставці і розкрійного плану, за яким частина прокату розрізається за уставкою на відрізки заданої довжини, а частина - за рівномірною програмою різки на відрізки однакової довжини.

Визначено раціональні довжини заготовок в залежності від визначених критеріїв (1) та (2). Завдання розкрою прокатної штанги на БЗС передбачає визначення довжини заготовки, виходячи з максимальної ймовірності $\tilde{P}()$ виходу максимальної кількості прутків, кратних мірній довжині:

$$\tilde{P}(N_{\text{ПР_МЕР}}) \rightarrow \max \quad (3)$$

У разі рівномірного розкрою штанги максимальна кількість заготовок визначається як:

$$N_{3_РАВН} = \left\lfloor \frac{L_{\text{ШТ}}}{L_3} \right\rfloor \quad \text{при } (L_{3_min} < L_3 < L_{3_max}) \quad (4)$$

де $L_{\text{ШТ}}$ – довжина прокатної штанги; L_3 – початкова довжина заготовки з діапазону допустимих довжин $L_{3_min} < L_3 < L_{3_max}$; $\lfloor \rfloor$ – операція округлення до більшого цілого.

При цьому з імовірністю

$$P(M[L_3] - 3 \cdot \sigma[\Delta L_{3_ПАК}] < L_3 < M[L_3] + 3 \cdot \sigma[\Delta L_{3_ПАК}]) =$$

$$\Phi = \sum_{i=1}^{n_{\text{отр}_3}} l_3(i) \Rightarrow \max \quad (1)$$

де $n_{\text{отр}_3}$ – кількість стрижнів заданої довжини; $l_3(i)$ – довжина i -го стрижня з множини стрижнів заданої довжини (довжин).

Друга – максимізація вартості стрижнів, отриманих в результаті розкрою довгомірного прокату:

$$\Psi = \sum_{i=1}^{N_{\text{отр}}} C_i \cdot l_i \Rightarrow \max, \quad (2)$$

де $N_{\text{отр}}$ – загальна кількість стрижнів, отриманих після різки довгомірного прокату; l_i – довжина i -го стрижня; C_i – питома вартість стрижня довжиною l_i .

Раціональний план розкрою довгомірного прокату є поєднанням двох базових розкрійних планів: розкрою по уставці – на відрізки заданої довжини, та рівномірного розкрою – на відрізки

$$= \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{\left(L_3 + \frac{\Delta L_{3_ПАК}}{2} \right) - M[L_3]}{\sigma[\Delta L_{3_ПАК}] \sqrt{2}} \right) - \Phi \left(\frac{\left(L_3 - \frac{\Delta L_{3_ПАК}}{2} \right) - M[L_3]}{\sigma[\Delta L_{3_ПАК}] \sqrt{2}} \right) \right] \quad (5)$$

буде викорєсно $N_{3_РАВН}$ заготовок довжиною L_3 .

При виробництві заготовок на експорт такий розкрій є найбільш ефективним за критерієм (2). В даному випадку виконується тільки один критерій мінімізації відходів придатного металу на БЗС і не виконуються економічні критерії. Для розкрою прокатної штанги довжина заготовки повинна бути скоригована з таким розрахунком, що останній пруток буде розрізано на стрижні тільки мірної довжини.

З цією метою довжина заготовки $L_3^{ОПТ}$ буде визначена з виразу:

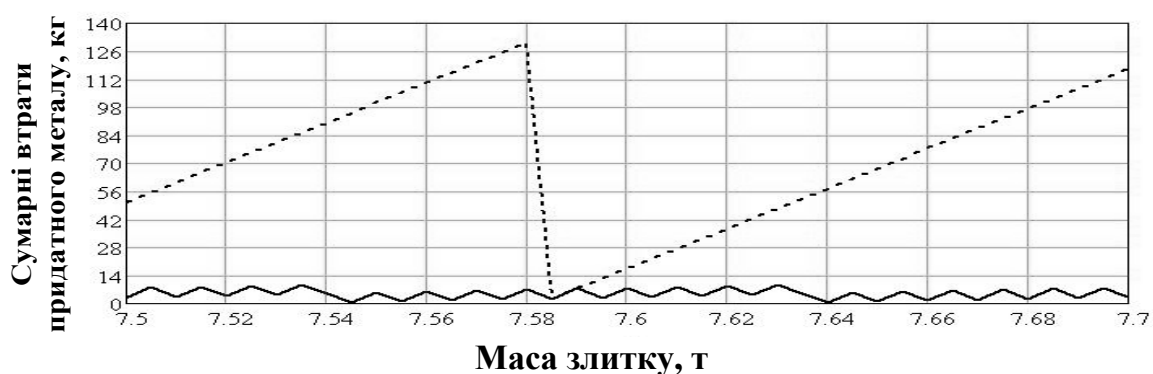
$$L_3^{ОПТ} = \frac{P_3^{ОПТ} \times L_3}{P_3} \quad (6)$$

де $P_3^{ОПТ} = P_3 - P_{\Delta O_C}$ – раціональна маса заготовки, звідки $P_{\Delta O_C} = \Delta O_C \times P_C$ – маса немірного стрижня на останньому різу прутка $l_{пр_п}$; ΔO_C - залишок від ділення.

Оскільки згідно (6) довжина заготовки L_3 буде змінена до $L_3^{ОПТ}$, і для виключення залишку після прокатки заготовки в чистовій групі, необхідно так само мінімізувати очікувані втрати, віднесені до однієї прокатної штанги БЗС при прокатці певного профілерозміру готового прокату. З цією метою $n_{\Delta O_C}$ штук заготовкам довжиною $L_3^{ОПТ}$ необхідно додати збільшення довжини на величину:

$$\Delta L_{\Delta O_C} = \frac{P_C}{P_{3_ПМ}} \quad (7)$$

де $P_{3_ПМ}$ – маса погонного метра заготовки.



----- сумарні втрати металу при існуючому розкрої; - - - - - наскрізний розкрій

Рисунок 3 – Діаграма залежності сумарних втрат придатного металу в обріз від маси прокату при існуючому і наскрізному розкрою на БЗС і БДС

Кількість заготовок, довжина яких буде збільшена на $\Delta L_{\Delta O_C}$ визначається з рівняння:

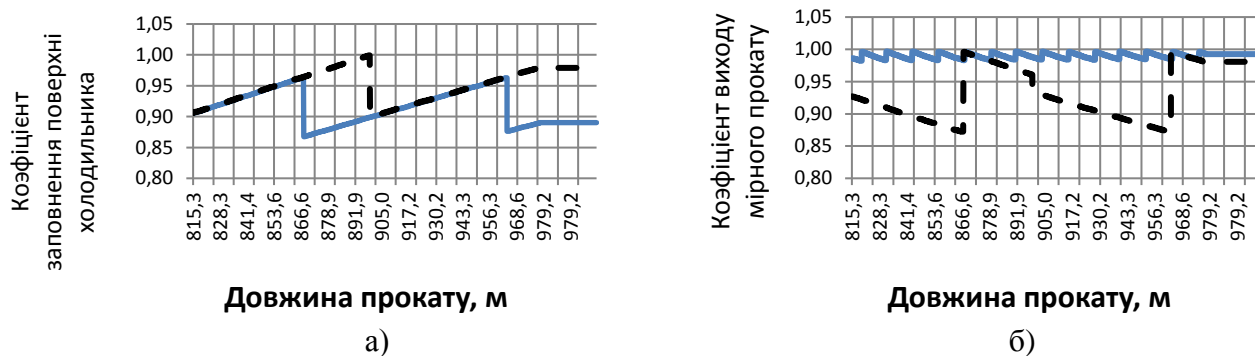
$$n_{\Delta O_C} = \left[\frac{P_{\Delta O_C} \times N_{3_МАХ}}{P_C} \right] \quad (8)$$

де ΔO_C – залишок при порізці останнього прутка.

Однак в сьогоднішніх умовах на наявному обладнанні прокатних станів для виробництва металопрокату не можливо отримати заготовки суворо замовленої довжини і маси (за виключенням МБЛЗ). Визначено межі ефективності запропонованого розкрою на БЗС. Таким чином, в умовах сьогодення, устаткування і технології прокатки, що використовуються ефективним розкрий на БЗС, з урахуванням критерію (1) можна вважати тільки при виробництві дрібносортних профілів номінального діаметру більш 14 мм.

З метою визначення найбільш раціонального алгоритму розкрою для різних профілерозмірів стрижневого прокату проведено розробку та дослідження математичних моделей розкрою прокату з раціональної заготовки на безперервному дрібносортному стані.

На підставі результатів аналізу отриманих графіків (рис.4) можна зробити висновок, що при виробництві дрібносортних профілів найбільш ефективним виявляється спосіб розкрою прокату з обрубанням немірної частини.



--- рівномірний розкрий розкрий з обрубкою немірної частини

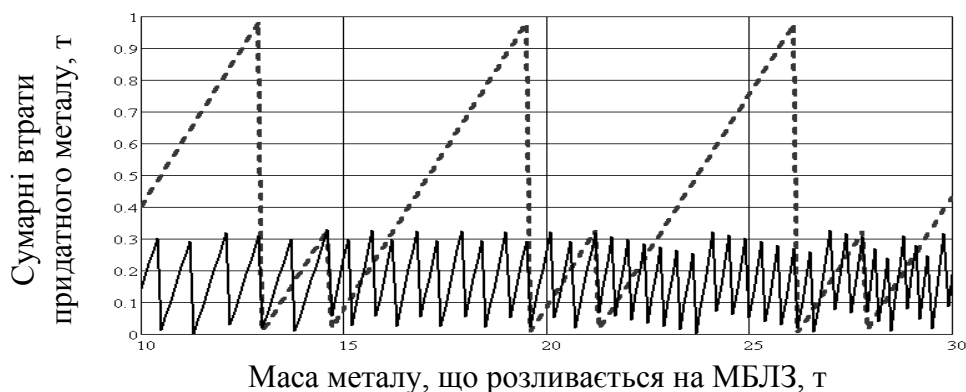
Рисунок 4 – Результати моделювання рівномірного і запропонованого способу розкрою для профілю № 10: а) – коефіцієнт заповнення для прокату однієї заготовки; б) – коефіцієнт виходу мірного прокату для прокату однієї заготовки.

Слід зазначити, що при обрубці немірної частини реальна обрізь не зменшується, а переноситься місце її утворення. У порівнянні двох способів розкрою: рівномірного і з обрубанням немірної частини видно, що найбільший вихід мірного прокату утворюється при використанні останнього способу. Незважаючи на це, продуктивність стану знижується внаслідок зменшення виходу немірного прокату.

У разі застосування рівномірного способу розкрою забезпечується більш висока продуктивність стану. При розкрою профілів товарного металопрокату більших за №14 з'являється зв'язок довжини розкату з масою вихідної заготовки. І в першому, і в другому випадку маса заготовки є основною, тільки в разі виробництва великих профілів вона більша за рахунок виходу мірного прокату, а в другому – за більш повне заповнення холодильника і за більш ритмічну роботу вихідної сторони і, загалом, за рахунок підвищення продуктивності стану.

Виконано розрахунок застосування наскрізного способу розкрою безперервно литої заготовки і заготовок посаду, що використовуються при виробництві гарячекатаних безшовних труб в умовах металургійного заводу "ІнтерпайпНікоТьюб". Встановлено, що при реалізації розкрою безперервного злитка на багатоструменевій МБЛЗ, особливо при завершенні розливання через не

кратність залишкової маси металу в промковшій масі мірної заготовки, неодмінно залишаються відходи придатного металу у вигляді немірних залишків на струмках, які в подальшому направляють на переплавку.



----- при існуючому розкрії; ----- раціональний (наскрізний) розкрії
Рисунок 5 – Діаграма втрат придатного металу при виробництві заготовки під замовлення для трубопрокатного виробництва та готової товарної продукції.

У разі застосування методу наскрізного розкрою на МБЛЗ, в основу якого закладено визначення довжини БЛЗ під певний вид товарної продукції з урахуванням технології виробництва, сумарні втрати придатного металу в обрізь значно знижуються (рис. 5).

В четвертому розділі виконано розробку методу налаштування швидкісного режиму прокатки. Ці зміни перетину при вступі до чистової групи клітей викликають відповідну зміну швидкості прокатки і зміну величини прогину. За допомогою моделі виконано оцінку величини натягу в чорновій групі

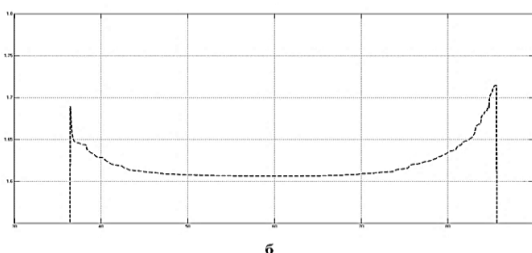
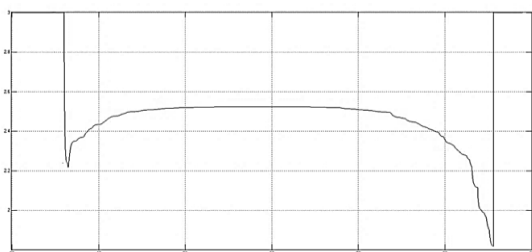


Рисунок 6 – Графік зміни вихідного сигналу регулятора прогину / петлі (а) і графік зміни ширини прокату на виході сьомий кліті (б).

клітей, що дозволило удосконалити роботу системи автоматичного регулювання швидкості (САРШ) обертання валків і, таким чином, мінімізувати нестабільність площі поперечного перетину підкату на вході в чистову групу клітей за рахунок активного регулювання натягу прокату в останньому міжклітьовому проміжку чорнової групи шляхом введення в існуючу систему керування регулятора натягу. На рис. 6 наведені графік вихідного сигналу регулятора петлі (а) і графік зміни ширини прокату на виході кліті 8 (б).

Вихідний сигнал регулятора помножено на коефіцієнт співвідношення частоти обертання валків і задано на вхід завдання швидкості електроприводу прокатних клітей чорнової групи (рис. 7).

Таким чином, при зміні відносного збільшення поперечного перетину профілю на кінцях розкату буде змінюватися частота обертання приводів перших

6 клітей і, відповідно, в проміжку між 6 та 7 клітями буде змінюватися натяг прокату (рис. 8.).

Запропонована система активного регулювання натягу прокату дозволяє стабілізувати поперечні розміри прокату в чистовій групі клітей.

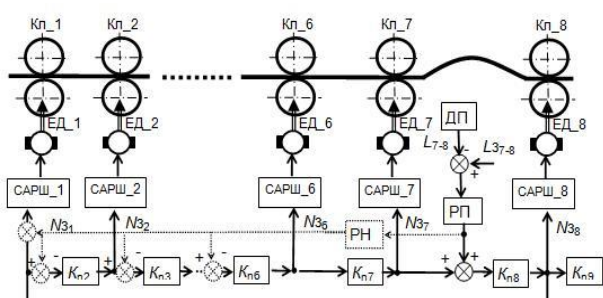


Рисунок 7 – Структурна схема системи керування натягу чорнової групи клітей і першої кліті чистової групи

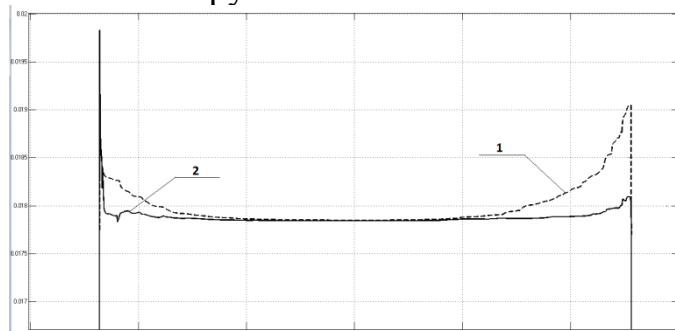


Рисунок 8 – Графік зміни розширення прокату на виході з чорнової групи клітей: 1 – без системи регулювання; 2 – з системою програмного регулювання натягу прокату

В роботі запропоновано спосіб та розроблено систему раціонального розкрою прокату на дрібносортному стані, який забезпечує видачу прутків на холодильник з довжинами, кратними мірному стрижню, незалежно від параметрів вихідної заготовки. Поставлена мета досягається тим, що на безперервному дрібносортному стані під час перебування заднього кінця заготовки в чорновій групі клітей здійснюють прогнозування довжини готового прокату, який буде прокатаний з даної заготовки, обчислюють очікувану довжину кінцевого немірного відрізка (стрижня) і аварійними ножицями, які розміщені між чорною і чистовою групами клітей, відрізають від заднього кінця заготовки цей кінцевий відрізок. Втрати придатного металу в обрізь при такому розкрою становлять не більше однієї мірної довжини готового прокату з однієї заготовки, при цьому забезпечується скорочення робіт із сортування прокату на холодильнику дрібносортного стану.

Вирішена задача точного групування торців прутків на холодильнику при їх гальмуванні шляхом удосконалення системи автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортного стану, яка забезпечує середньоквадратичне відхилення передніх торців прутків арматурного профілю №10 від перетину їх групування до 0,12 метра. Таким чином за допомогою запропонованої системи можна істотно підвищити точність вирівнювання передніх торців прокату на холодильнику, де немає систем з підрівнювальними роликами. Однак слід зазначити, що даний спосіб може застосовуватися тільки для термозміцненого прокату.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеною науково-дослідною роботою вирішена важлива наукова задача автоматизації процесів узгодженого керування

розкром прокату на безперервних сортових прокатних станах шляхом розробки універсальних методів, моделей та систем керування розкромом в умовах масового виробництва мірного стрижневого прокату, які враховують закономірності параметрів прокатки та можливості існуючого устаткування.

Виконані у даній дисертаційній роботі дослідження дозволяють сформулювати такі висновки щодо її результатів:

1. В умовах роботи існуючої системи розкрою штанг на БЗС розкид довжини заготовок становить ± 150 мм з математичним очікуванням довжини заготовок в пакеті $M[\Delta L_{з_пак}] = 0,08$ м та середньоквадратичне відхилення – $\sigma[\Delta L_{з_пак}] = 0,027$ м.

2. Виявлено, що робота системи автоматичного регулювання прогину в чистовій групі клітей призводить до зміни швидкості прокатки на виході з чистової групи клітей до 6% від базової, що спричиняє розкид довжини відрізуваних летючими ножицями прутків у 2,53 м і збільшує наднормативну обрізь при порізці пакета прутків на стаціонарних ножицях.

3. Результати імітаційного комп'ютерного моделювання свідчать, що при керуванні швидкісним режимом прокатки в чистовій групі шляхом подання керуючого впливу проти напрямку прокатки швидкість прокату на виході з останньої кліті стабілізується, а розміри перетину профілю не виходять за межі поля допусків.

4. За результатами дослідження впливу технологічних факторів на геометричні параметри готового прокату визначено, що на площу поперечного перетину прокату найвідчутніше впливає температура заготовки (коефіцієнт кореляції $r_{S_p, T_3} = 0,81$), а на довжину прокату - маса заготовки (коефіцієнт кореляції $r_{l_p, T_3} = 0,86$).

5. Встановлені загальні закономірності, які забезпечують раціональний розкрій довгомірного прокату на різних стадіях виробництва стрижневого прокату, передбачаючи поєднання в розкрійному плані двох базових розкрійних планів: за уставкою – на відрізки заданої довжини та за рівномірною програмою – на відрізки однакової довжини.

6. Показано, що вибір розкрійного плану за критерієм максимальної вартості отриманих відрізків проводиться з двох розкрійних планів: розкрою всього довгомірного прокату по уставці і розкрійного плану прокату, коли одна частина прокату розкроюється по уставці на відрізки заданої довжини, а інша - рівномірним розкромом на відрізки товарної довжини.

7. На підставі аналізу граничних відхилень геометричних розмірів заготовки та дрібносортового прокату виявлено, що в умовах використання наявного технологічного устаткування реалізація розкрою на БЗС з одночасним забезпеченням економічного критерію та критерію максимального виходу мірного прокату можлива лише при виробництві арматурних профілів не менше №14, а при виробництві більш дрібних профілів належить використовувати критерій максимального заповнення холодильника.

8. Запропонований новий спосіб розкрою прокату на дрібносортовому стані

забезпечує утворення на холодильнику лише прутків, довжина яких є кратною довжині мірного стрижня, за рахунок завчасного видалення немірного залишку на аварійних ножицях, усуваючи додаткові витрати на вишукування та вилучення вручну немірних стрижнів з пачок..

9. Запропонований спосіб автоматичного керування примусовим електромагнітним гальмуванням прутків на холодильнику дрібносортового стана забезпечує групування передніх торців прутків з достатньою для практики точністю, яка, зокрема, для арматурного профілю №10 відповідає середньоквадратичному відхиленню 0,12 м.

10. Опрацьований метод налаштування швидкісного режиму прокатки, за яким узгоджена зміна частоти обертання валків чорнової групи БДС здійснюється за сигналом регулятора петлі між чорною та чистою групами, значно зменшує вплив нестабільності натягу на поперечні розміри прокату в чистовій групі клітей, стабілізує швидкість прокатки на виході зі стана і підвищує точність розкрою на летючих ножицях.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у періодичних фахових виданнях України:

1. Кузьменко М.Ю. Анализ потерь годного металла в обрешку и систем оптимального раскря / А.П. Егоров, М.Ю. Кузьменко, В.Н. Куваев, В.Я. Хижняк // Збірник наукових праць НГУ. – 2012. – №39, т.1. – С. 84-91.

2. Кузьменко М. Ю. Моделирование автоматизированной системы регулирования натяжения проката на непрерывном сортовом стане / М. Ю. Кузьменко, О. Е. Потап, А. П. Егоров, // Вестник ДГМА. – 2012. – №2(10Е). – С. 107-112.

3. Кузьменко М.Ю. Определение координат характерных участков пакета прутков мелкосортного проката перед его порезкой на стационарных ножницах / О.А. Бойко, М.Ю. Кузьменко, Е.Д. Иванова // Теория и практика металлургии. – 2013. – №1-2. – С.74-79

4. Кузьменко М.Ю. Технично-экономические показатели производства мелкосортного проката в стержнях как целевая функция управления / А.С. Бешта, А.П. Егоров, О.А. Бойко, М.Ю. Кузьменко, А.С. Соколова // Теория и практика металлургии. – 2013. – №3. – С. 57-61.

5. Кузьменко М.Ю. Оптимальный раскрой длинномерного проката на прокат товарной длины / А.С. Бешта, М.Ю. Кузьменко, О.А. Бойко, А.С. Соколова // Науковий вісник НГУ. – 2014. – №2. – С.76-85. (входить до міжнародної наукометричної бази «Scopus»)

6. Kuzmenko M. The choice of the rational structure model of intervals between rolling mills on continuous light-section rolling mill / O. Potap, O. Boyko, M. Kuzmenko, V. Dudkina // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №1-2. – С. 117-119.

7. Кузьменко М.Ю. Моделирование многосвязных систем управления скоростным режимом прокатки на непрерывном мелкосортном стане / М.Ю.

Кузьменко, А.П. Егоров, В.Б. Зворыкин, А.И. Михалев // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. –2016. – Випуск 5 (106). – С. 36-44.

8. Кузьменко М.Ю. Автоматичне управління режимом прокатки з натягом на основі зміни струму якоря двигунів приводів валків / М.Ю. Кузьменко, О.П. Єгоров, В.Б. Зворикін, О.І. Михальов // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. –2017. – Випуск 5 (112). – С. 108-118.

9. Kuzmenko M. Active control system of mill products take-up in output of roughing train in continuous light-section mill / M. Kuzmenko, M. Rybalchenko, O. Boyko, D. Beshta // Naukovyi Visnyk NHRU. –2018. –№ 5. – S. 122-129 (входить до міжнародної науко метричної бази «**Scopus**»)

Статті у періодичних виданнях України:

10. Кузьменко М.Ю. Оптимальное использование непрерывнолитого слитка в сквозной схеме раскроя / М.Ю. Кузьменко // Сборник научных трудов «Качество минерального сырья». – 2014. – С. 432-438

11. Кузьменко М.Ю. Динамическая модель двухниточной прокатки в черновой группе клетей мелкосортного стана / А.С. Бешта, В.Н. Куваев, О.Е. Потап, М.Ю. Кузьменко, А.П. Крячко // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2015. – №2. – С. 119-122.

12. Кузьменко М.Ю. Система автоматизированного управления раскромом проката на непрерывном мелкосортном стане / А.С. Бешта, М.Ю. Кузьменко, О.А. Бойко, А.П. Крячко, В.В. Дудкина // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2015. – №5. – С. 111-113.

13. Кузьменко М.Ю. Вибір раціональної структури моделі міжклітьового проміжку дрібносортового безперервного прокатного стану / М.Ю. Кузьменко, О.Ю. Потап, О.А. Бойко, В.В. Дудкіна // «Теория и практика металлургии» №1-2, Дніпро, 2015. - с. 114-116

14. Кузьменко М.Ю. Анализ оптимальных способов раскроя проката на непрерывном мелкосортном стане / М.Ю. Кузьменко, О.Е. Потап, А.П. Егоров, А.П. Крячко, В.В. Дудкина // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2015. – №6. – С. 126-129

15. Kuzmenko M. Optimization of setting process of continuous sheet rolling / Mikhail Kuzmenko, Volodymyr Egorov, Olexandr Egorov, Oleg Potap, Olexandr Kryachko, Volodymyr Kuvaev // «Metallurgical and Mining Industry» №6, Dnipro, 2016. – s.15-19

16. Кузьменко М.Ю. Дослідження налаштування листового стану за енергетичним критерієм на комп'ютерній моделі / М.Ю. Кузьменко, О.П. Єгоров, О.Ю. Потап, В.О. Кузюков, О.П. Крячко // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2017. –№2. –С. 83-88.

Патенти:

17. Патент на корисну модель №19194, Система автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортового стану / Потап О.Ю., Єгоров О.П., Кузьменко М.Ю., Миронов О.М., Бешта О.С., Куваєв В.М., Політов І.В.; - № u201400580; Заяв. 21.01.2014; Опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12.

18. Патент на винахід №107908. Спосіб управління розкромом прокату на безперервному дрібносортному стані / Потап О.Ю., Єгоров О.П., Кузьменко М.Ю., Бешта О.С., Куваєв В.М., Бойко О.О.; - №а201406350; Заяв. 10.06.2014; Опубл. 25.02.2015, Бюл. № 4.

19. Патент на винахід №107536. Система автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортного стану / Потап О.Ю., Єгоров О.П., Кузьменко М.Ю., Миронов О.М., Бешта О.С., Куваєв В.М., Політов І.В.; - №а201314423; Заяв. 09.12.2013; Опубл. 12.01.2015, Бюл. № 1.

Тези доповідей :

20. Кузьменко М. Ю. Разработка металлосберегающих методов и систем управления раскромом заготовок на заготовочных станах и МНЛЗ / М.Ю.Кузьменко, А.П. Егоров, В.Я. Хижняк // «Автоматика/Automatics-2012» XIX Міжнародна конференція з автоматичного управління, 26-28 вересня 2012 року», Київ: НУХТ, 2012. -190-192

21. Кузьменко М.Ю. Анализ способов управления летучими ножницами на непрерывном заготовочном стане / Кузьменко М.Ю., Єгоров А.П. // «ГИПОпром-2012: от теории к практике» VI научно-практическая конференция Дніпро: ГИПОпром, 2012. – с.28-30

22. Кузьменко М.Ю. Основные принципы построения модели однониточного мелкосортного непрерывного прокатного стану / А.С. Бешта, О.Е. Потап, О.А. Бойко, М.Ю. Кузьменко, Н.В. Меледин // «XI Міжнародна конференція з проблем розвитку впровадження інформаційних технологій в науку та інноваційну сферу освіти: матеріали науково-технічної конференції» м. Дніпро: НГУ, 2014. – с. 14-15

23. Кузьменко М.Ю. Математическое моделирование влияния межклетевого натяжения в черновой группе на изменение длины на выходе непрерывного мелкосортного стану / Кузьменко М.Ю., Єгоров О.П., Потап О.Ю., Бойко О.А. // «XI Міжнародна конференція з проблем розвитку впровадження інформаційних технологій в науку та інноваційну сферу освіти: матеріали науково-технічної конференції» м. Дніпро: НГУ, 2014. – с. 56-61

24. Кузьменко М.Ю. Автоматизація процесів узгодженого керування розкромом прокату на безперервних сортових прокатних стану / М.Ю. Кузьменко, О.П. Єгоров // Всеукраїнська науково-технічна конференція «НАУКА І МЕТАЛУРГІЯ» присвячена 80-річчю Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України, (9-10 жовтня) м. Дніпро, 2019

Особистий внесок дисертанта в роботах опублікованих у співавторстві: [1] - проведений аналіз втрат при виробництві прокату на безперервних дрібносортних стану; [2] – за допомогою імітаційного моделювання досліджено роботу системи автоматичного регулювання натягу прокату в одному міжкільцевому проміжку безперервного сортового стану; [3] – проведений аналіз публікацій за напрямом визначення способів укладки прутків на холодильник дрібно сортного стану, і проблеми при виробництві дрібно сортного прокату; [4] – визначено напрям підвищення техніко-економічних показників виробництва дрібносортного прокату

через канал формування параметрів заготовки, що поступає на його вхід; [5] – встановлені загальні закономірності, що забезпечують оптимальний безостаточний розкрій довгомірного прокату на заготівельних сортових станах; [6, 13, 22] – проведено вибір структури моделі міжклітьового проміжку дрібносортового безперервного прокатного стану; [7, 8] – проведена оцінка якості керування швидкісним режимом прокатки в чорновій групі клітей по зміні величини петлі прокату перед чистовою групою клітей; [9] – встановлені загальні закономірності, що забезпечують ідентифікацію міжклітьових зусиль по зміні вихідного сигналу регулятора петлі прокату; [11] – проведено дослідження імітаційної моделі двониткової прокатки в чорновій групі клітей дрібносортового стану; [12] – розроблена система автоматизованого керування розкрою прокату на безперервному дрібносортовому стані; [14] – проведений вибір оптимального способу розкрою прокату; [15, 16] – проведено аналіз налаштування стану перед прокаткою та визначений енергетичний критерій для прокатки смуг; [17, 19] – запропоновано підвищення точності вирівнювання передніх кінців прутків на холодильнику за рахунок контролю та урахування змін інтенсивності гальмування прокату; [18] – запропоновано спосіб керування розкром прокату з метою збільшення виходу мірного прокату за рахунок уникнення появи немірних кінцевих стрижнів під час розкрою розкатів на летючих ножицях; [20, 21] – досліджено метод наскрізного розкрою на заготовочних станах та машинах безперервного лиття заготовок; [23] – проведений аналіз подовження прокату на виході чистової групи при зміні швидкісного режиму прокатки в чорновій групі клітей; [24] – удосконалені методи узгодженого керування розкром в умовах масового виробництва дрібносортового прокату.

АНОТАЦІЯ

Кузьменко М.Ю. Автоматизація процесів узгодженого керування розкром прокату на безперервних сортових прокатних станах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 «Автоматизація процесів керування». - Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової задачі розробки універсальних методів, моделей та систем керування розкром в умовах масового характеру виробництва мірного стрижневого прокату, які враховують закономірності параметрів прокатки та можливості існуючого устаткування і побудова на основі цих закономірностей алгоритмів узгодженого керування розкром.

Встановлені загальні закономірності, які забезпечують раціональний розкрій довгомірного прокату на різних стадіях виробництва стрижневого прокату. Показано, що раціональний план розкрою довгомірного прокату є поєднанням двох базових розкрийних планів: розкрою по уставці - на відрізки заданої довжини, і рівномірного розкрою - на відрізки однакової довжини.

Вперше запропоновано метод активного регулювання натягу прокату в останньому міжклітьовому проміжку чорнової групи клітей, завдяки введенню в існуючу систему керування регулятора натягу, що забезпечує стабілізацію поперечних розмірів прокату на виході чорнової групи клітей та скорочення втрат металопрокату за рахунок підвищення точності прогнозування довжини прокату на виході з випускної кліті.

Розроблено функціональну структуру, алгоритм роботи автоматизованої системи керування розкромом та спосіб розкрою прокату на дрібносортному стані, який забезпечує видачу прутків на холодильник з довжинами, кратними мірному стрижню, незалежно від довжини вихідної заготовки, при цьому забезпечується скорочення робіт з сортування прокату на холодильнику дрібносортного стану.

Вирішена задача точного групування торців прутків на холодильнику при їх гальмуванні шляхом розробки способу та системи автоматичного керування вирівнюванням термозміцненого прокату на холодильнику дрібносортного стану.

Ключові слова: прокатний стан, регулятор натягу, система автоматичного керування, алгоритм керування, товарний прокат.

АННОТАЦІЯ

Кузьменко М.Ю. Автоматизация процессов согласованного управления раскромом проката на непрерывных сортовых прокатных станах. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 «Автоматизация процессов управления». - Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепро, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи разработки универсальных методов, моделей и систем управления раскромом в условиях массового характера производства мерного стержневого проката, учитывающих закономерности параметров прокатки и возможности существующего оборудования и построение на основе этих закономерностей алгоритмов согласованного управления раскромом.

Установлены общие закономерности, которые обеспечивают рациональный раскрой длинномерного проката на разных стадиях производства стержневого проката. Показано, что рациональный план раскроя длинномерного проката представляет собой сочетание двух базовых раскройных планов: раскроя по вставке - на отрезки заданной длины, и равномерного раскроя - на отрезки одинаковой длины.

Впервые предложен метод активного регулирования натяжения проката в последнем межклетьевом промежутке черновой группы клетей, благодаря введению в существующую систему управления регулятора натяжения, обеспечивающий стабилизацию поперечных размеров проката на выходе черновой группы клетей и сокращение потерь металопрокату за счет повышения точности прогнозирования длины проката на выходе из выпускной клетки.

Разработана функциональная структура, алгоритм работы

автоматизированной системы управления раскроем и способ раскроя проката на мелкосортном стане, обеспечивает выдачу прутков на холодильник с длинами, кратными мерному стержню, независимо от длины исходной заготовки, при этом обеспечивается сокращение работ по сортировке проката на холодильнике мелкосортного прокатного стана.

Решена задача точного группирования торцов прутков на холодильнике при их торможении путем разработки способа и системы автоматического управления выравниванием термоупрочненного проката на холодильнике мелкосортного стана.

Ключевые слова: прокатный стан, регулятор натяжения, система автоматического управления, алгоритм управления, товарный прокат.

ABSTRACT

Kuzmenko M. Yu. Automation of processes of coordinated control rolled products cutting on continuous section rolling mills. - Published as manuscript.

The thesis for Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.07 "Automation of control processes". - National Technical University Dnipro Polytechnic, Dnipro, 2021.

The thesis is dealing with the actual scientific problem of development of universal methods, models and control systems of cutting in conditions of a large-scale rod production. It considers rolling parameter regularities and possibilities of the existing equipment.

General regularities which provide efficient cutting of long product at various stages of rod production are established. It is shown that the efficient plan of long product cutting is a combination of two basic cutting plans: cutting for segments of a specified length according to settings, and uniform cutting on segments of same length.

A method for an active regulation of rolled products tension in the last inter-stand gap of a roughing train was firstly presented. Tension regulator implementation into the existing control system ensures stabilization of the transverse dimensions of rolled products at the exit and reduction of rolled product wastes by improving the accuracy of the rolled product length predicting at the exit of a cage.

A functional structure and an algorithm of the automated cutting control system and the method of rolled product cutting on a light section mill were established. The last method provides rods output to the cooling plate in lengths multiple to a measuring rod, regardless of an original workpiece length, while reducing rolled products sorting on the cooling plate of a light section mill.

The problem of precise grouping of rods ends faces on a cooling plate at their braking was solved by developing a system of an automatic alignment control of heat-treated rolling product on a cooling plate in a light-section mill.

Keywords: rolling mill, tension regulator, automated control system, control algorithm, rolling product.