

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУЗЬМЕНКО МИХАЙЛО ЮРІЙОВИЧ

УДК 621.771.065:658.512:681.5

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

05.13.07 - Автоматизація процесів керування

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Науковий керівник:

Єгоров Олександр Петрович, кандидат технічних наук, доцент

Дніпро 2021

АНОТАЦІЯ

Кузьменко М. Ю. Автоматизація процесів узгодженого керування розкромом 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 розкромом в умовах масового характеру виробництва мірного стрижневого прокату, які враховують закономірності параметрів прокатки та можливості існуючого устаткування.

Аналіз досліджень і публікацій систем автоматичного керування розкромом металопрокату дозволив визначити невирішену проблему, а саме вибір таких стратегій та алгоритмів керування розкромом, що забезпечують необхідну якість готового прокату завдяки узгодженому керуванню безперервними заготовочними станами та безперервними дрібносортовими станами.

Проведено системний аналіз технологічної схеми виробництва заготовок і дрібносортового прокату. Показано, що на заключному етапі прокатного виробництва, при виробництві товарної продукції на безперервних прокатних станах, виникають втрати металу за рахунок немірних залишків і наднормативної обрізи, 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 розкромом. При цьому зазначено, що основною складовою собівартості готового металопрокату, зокрема стрижневого, є вартість заготовки.

Показано, що зменшення наднормативної обрізи металу наразі вирішується на кожному прокатному стані окремо, тоді як загальний техніко-

економічний ефект виробництва металопрокату визначають процеси, які одночасно протікають в усіх підсистемах прокатних станів.

Удосконалено модель прокатки в однитковому прокатному стані за рахунок включення підмоделі системи регулювання петлі і прогину прокату. На основі проведеного аналізу роботи моделі прокатного стану встановлено вплив окремих складових технологічного процесу прокатки на зміну розмірів готового прокату. При цьому визначено, що стабілізований швидкісний режим прокатки зі стабільними розмірами поперечного перетину прокату забезпечує 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 чистою групами клітей, яка може сягати 2,5 м, вимагає застосування складної процедури прогнозування висоти петлі та складного налаштування регуляторів взаємопов'язаних електроприводів. На підставі отриманих результатів моделювання впливу температури і геометричних розмірів заготовки на довжини прокату зроблений висновок про те, що найбільш значимо на площу поперечного перетину і довжину прокату впливають температура та маса заготовки, які необхідно враховувати при побудові розкрійних планів.

Вперше запропоновано метод налаштування швидкісного режиму прокатки, за яким узгоджена зміна частоти обертання валків чорної 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. При цьому доведено, що впливи в контурі регулювання петлі прокату мають високочастотну складову, викликану динамічними процесами в самому контурі і низькочастотну, пов'язану зі зміною режиму обтиску від передньої ділянки прокату до задньої ділянки в першій чистовій кліті. За допомогою

моделі виконано оцінку величини натягу в чорновій групі клітей, що дозволило удосконалити роботу системи автоматичного регулювання швидкості 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.

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. 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 розкроєм на відрізки товарної довжини. На підставі аналізу граничних відхилень геометричних розмірів заготовки та дрібносортного прокату виявлено, що в умовах використання наявного технологічного устаткування реалізація розкрою на БЗС з одночасним забезпеченням економічного критерію та критерію максимального виходу мірного прокату можливо лише при виробництві арматурних профілів не менше №14, а при виробництві більш дрібних профілів належить використовувати критерій максимального заповнення холодильника. На підставі аналізу результатів математичного моделювання розкрою прокату з раціональної заготовки встановлено, що при виробництві дрібносортних профілів найбільш ефективним виявляється спосіб розкрою прокату з обрубанням немірної частини.

Розроблено новий спосіб та систему 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 чистової 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.

Розроблено математичну та динамічну комп'ютерну модель системи примусового гальмування прутків на холодильнику дрібносортного стану для дослідження процесів керування режимами роботи. Запропонований алгоритм керування включенням електромагнітів для гальмування прутків різної довжини забезпечує точне вирівнювання прокату на настилі холодильника, що підтверджується результатами моделювання. Показано, 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 121,0 м і середньому квадратичному відхиленні 0,124 м. Це свідчить про ефективну роботу системи і достатню точність укладання прутків.

Розроблено спосіб та систему автоматичного керування примусовим електромагнітним гальмуванням прутків термозміцненого прокату на холодильнику дрібносортного стану. При цьому запропонована система автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортного стану дозволила істотно підвищити точність вирівнювання передніх торців прокату на холодильнику, де немає систем з підрівнювальними роликами.

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

ABSTRACT

Kuzmenko M. Automation of coordinated control processes of rolled products cutting on continuous section rolling mills. – Qualifying scientific work as a manuscript.

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

The thesis is dealing with an 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.

Using an analysis of research and publications about automatic control systems for rolled product cutting, it was identified an unresolved problem, namely the choice of strategies and algorithms for cutting control that provide the required quality of finished rolled products through coordinated control of continuous billet mills and continuous light-section mills.

A systematic analysis of the technological scheme of billet and bar stock production was carried out. It is shown that there are metal losses at the final stage of rolling during the production of marketable products on continuous rolling mills. It occurs due to excessive residues and trimming, which appears due to the fact that the length of the billet is rational for this profile, on the one hand. On the other hand, it happens because of equipment features of rolling mills. It is noted that the main component of the production cost of a finished rolled stock, in particular a rod stock, is the cost of the billet.

It is shown that the reduction of excess metal trim is currently solved at each rolling mill separately, while the overall technical and economic effect of metal production is determined by processes that occur simultaneously in all subsystems of rolling mills.

The model of rolling in a single-strand mill was improved after including a submodel of the loop control system and rolling deflection. Based on the analysis of the rolling mill model, an influence of individual components of the rolling process on a finished product size change was established. It is determined that the stabilized rolling speed with stable cross-sectional dimensions of the roll is being provided by a system in which the rolling speed control in the finishing group is being carried out by applying a control effect against the direction of rolling. However, the use of this system is associated with the need for additional equipment to form a loop between a rough and finishing groups of mill stands which can reach 2.5 m. It requires a complex procedure of predicting a finished product height of a loop and a complex adjustment of interconnected drives. Based on the obtained results of modeling the effect of temperature and geometric dimensions of a billet on a rolling lengths, it is concluded that the most significant cross-sectional area and rolling length are affected by a temperature and a weight of a billet, which must be taken into account when designing cutting plans.

A method of adjusting the rolling speed was proposed for the first time. According to it, the coherent change of rotation frequency of the rolls of the roughing group of continuous light-section mill is carried out by a loop regulator between a roughing and a finishing groups. It also significantly reduces the effect of tension instability on transverse dimensions and increases an accuracy of cutting on flying shears. It is proved that influences in the control loop of the rolled loop have a high-frequency component caused by dynamic processes in the circuit and low-frequency associated with changing the compression mode from the front of the rolled to the rear in the first finishing mill stand. The model was used to estimate tension in the rough group of mill stands, which improved the automated control system of rolls rotation speed and, thus, to minimize the instability of the cross-sectional area of the roll at the entrance to the finishing group of mill stands. It is achieved using an active tension control of a rolling stock in the last intercellular space of the rough group by implementing it into the existing control system of the tension regulator.

General regularities which provide efficient cutting of a long product at various stages of rod production are established. They provide combination in the cutting plan of two basic cutting plans: 1) on a setpoint – cutting on segments of the set length, and 2) on the uniform program - cutting on segments of same length. It is shown that the choice of cutting plan according to the criterion of the maximum cost of the received segments is made from two cutting plans: cutting of all long rolled stock on a set and cutting plan of rolled stock when one part of it is cut on a set on segments of the preset length, and another one will be done with uniform cutting on marketable length. Based on the analysis of the maximum deviations of the geometric dimensions of the billet and low-grade rolled products, it is revealed that in the conditions of using the available technological equipment cutting on continuous light-section mills with simultaneous supply of economic criterion and criterion of maximum yield of measured rolled metal is possible only in small (#14) rebars production. And a criterion of maximum filling of the cooling plate should be used in production of smaller rebars. On the basis of the results analysis of mathematical modeling of rolled stock cutting from a streamlined billet, it is established that the most effective way of cutting in production of light-section rebars is cutting off an immeasurable part.

A new method and system of cutting rolled products on light-section mill which provides rods output to the cooling plate in lengths multiple to a measuring rod, regardless of an original billet length, regardless of output billet dimensions preset. This goal is achieved by forecasting the length of the finished product, which will be rolled from this billet on a continuous light-section mill when the rear end of a billet stays in the rough group of mill stands, and by calculating an expected length of a final non-gage segment (a rod). Emergency shears that are located between the finishing and rough groups of mill stands cut the tip off the back part of a billet. Losses of useful metal into scraps during such a cutting do not exceed one measured rod length of a finished product from one billet, with that it reduces a product sorting process on a cooling place of a light-section mill.

A mathematical and dynamic computer model of a forced bar braking system on a cooling plate of a light-section mill for research of operating modes control processes was developed. The proposed algorithm for controlling the activation of electromagnets for braking rods of different lengths provides an accurate alignment of the rolled product on the floor of the cooling plate, which is confirmed by the simulation results. It is shown that when the rod length range is 12.5 m, the spread of the front ends does not exceed 0.4 m with an expectance of the coordinates of the front rod end from the beginning of the cooling plate 121.0 m and has a standard deviation of 0.124 m. sufficient accuracy of laying rods. This indicates an efficient operation of the system and a sufficient accuracy of rods laying.

A method and a system for automatic control of forced electromagnetic braking of heat-rolled rods on a light-section mill cooling plate were developed. Thus the offered system of automatic control of a rolled stock alignment on a cooling plate of a light-section mill allowed to essentially increase an accuracy of a rolled stock front ends alignment on the cooling plate, where there are no systems with leveling rollers.

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

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, в яких містяться основні наукові результати дисертації:

Статті у періодичних фахових виданнях України:

1. Кузьменко М.Ю. Анализ потерь годного металла в обрезь и систем оптимального раскроя / 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 науко метричної 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 NHU*. –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 // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – №2. – С. 119-122.

12. Кузьменко М.Ю. Система автоматизированного управления раскроем проката на непрерывном мелкосортном стане / А.С. Бешта, М.Ю. Кузьменко, О.А. Бойко, А.П. Крячко, В.В. Дудкина // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – №5. – С. 111-113.

13. Кузьменко М.Ю. Вибір раціональної структури моделі міжкільцевого 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 // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 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 стана за енергетичним критерієм на комп'ютерній моделі / М.Ю. Кузьменко, О.П. Єгоров, О.Ю. Потап, В.О. Кузюков, О.П. Крячко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2017. –№2. –С. 83-88.

Патенти:

17. Патент на корисну модель №19194, Система автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортового стана / Потап О.Ю., Єгоров О.П., Кузьменко М.Ю., 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., Політов І.В.; - №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., 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 стана / 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 стана / 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 станах / 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

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	16
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ВТРАТ ПРИДАТНОГО МЕТАЛУ В ОБРІЗЬ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТОВАРНОГО МЕТАЛОПРОКАТУ	25
1.1 Аналіз технологічної схеми виробництва заготовок і дрібносортного прокату.....	25
1.2 Аналіз підсистеми отримання блюма зі злитка	33
1.3 Аналіз підсистеми отримання заготовки з блюма.....	35
1.4 Аналіз підсистеми виробництва заготовок машиною безперервного лиття заготовок.....	41
1.5 Аналіз підсистеми отримання прокату із заготовки на безперервному дрібносортному стані.....	43
1.6 Аналіз підсистеми отримання прутків з прокату на безперервному дрібносортному стані.....	45
1.7 Визначення похибки при розкрої прокату на прутки мірних довжин	48
1.8 Аналіз підсистеми технологічного процесу виробництва мірного стрижневого прокату	50
1.9 Огляд і обґрунтування вибору критерію розкрою металопрокату.....	53
1.10 Висновки та постановка задачі дослідження	58
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ТА МІРНОГО СТРИЖНЕВОГО ПРОКАТУ.....	61
2.1. Визначення статистичних характеристик розмірів заготовки на безперервному заготовочному стані	61
2.2 Дослідження моделі технологічного процесу прокатки на безперервному дрібносортному стані.....	66
2.3 Дослідження впливу температури і геометричних розмірів заготовки на зміну довжини прокату.....	76

2.3.1 Вплив температури заготовки на довжину прокату	76
2.3.2 Вплив геометричних розмірів і маси заготовки на довжину розкату	77
2.4 Визначення статистичних закономірностей параметрів металопродукату на виході безперервного дрібносортного стану	81
2.5 Дослідження роботи системи примусового гальмування прутків на холодильнику	87
2.5.1 Математичний опис процесу примусового гальмування прутків на холодильнику	88
2.5.2 Результати роботи моделі процесу примусового гальмування прутків на холодильнику	93
2.6 Висновки по розділу 2.....	96
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ РОЗКРОЮ НА БЕЗПЕРЕРВНОМУ ЗАГОТОВОЧНОМУ ТА ДРІБНОСОРТНОМУ СТАНАХ.....	99
3.1 Розробка принципів розкрою довгомірного прокату на прокат товарної довжини	99
3.2 Визначення раціональних довжин заготовок	110
3.3 Розкрій прокату з раціональної заготовки на безперервному дрібносортному стані.....	116
3.3.1 Математична модель рівномірного способу розкрою.....	116
3.3.2 Математична модель способу розкрою по уставці на крат з обрубанням немірної частини заготовки	117
3.4 Ефективне використання безперервнолитого злитка в наскрізній схемі розкрою.....	121
3.5 Висновки по розділу 3.....	125
РАЗДІЛ 4 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ, ЩО ПІДВИЩУЮТЬ ТОЧНІСТЬ КЕРУВАННЯ ОПЕРАЦІЯМИ РОЗКРОЮ НА БЕЗПЕРЕРВНИХ ДРІБНОСОРТНИХ СТАНАХ	126
4.1 Розробка методу налаштування швидкісного режиму прокатки.....	126

4.2. Розробка алгоритму розкрою металопрокату на безперервному дрібносортному стані	131
4.3 Розробка автоматизованої системи розкрою металопрокату на безперервному дрібносортному стані	134
4.4 Розробка системи автоматичного керування вирівнюванням термозміцненого прокату на холодильнику дрібносортного стану	138
4.5 Висновки по розділу 4.....	141
ВИСНОВКИ	143
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	146
ДОДАТКИ	161

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

САК – система автоматичного керування

БЗС – безперервний заготовочний стан

БДС – безперервний дрібносортний стан

МБЛЗ – машина безперервного лиття заготовок

БЛЗ – безперервнолита заготовка

САРШ – система автоматичного регулювання швидкості

ВПЛН – важільно-планетарні летючі ножиці

КЛ – прокатна кліть

ПР – міжклітьовий проміжок

ЕП – електропривод

РН – регулятор натягу

РП – регулятор петлі

ДП – датчик петлі

ВСТУП

Актуальність роботи.

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 4626,0 тис.тон, що становить 84,9% до всієї виробленої продукції, при цьому 84,7% до всієї реалізованої продукції.

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

На заключному етапі переділу прокатного виробництва, при отриманні товарної продукції на безперервних прокатних станах, виникають втрати металу за рахунок наднормової технологічної обрізи. Крім цього виникають економічні втрати пов'язані з реалізацією пачок немірних стрижнів за меншою вартістю. У зв'язку з цим одним з важливих напрямків є удосконалення систем автоматичного керування розкром металопрокату і систем автоматичного контролю режимів прокатки, так як вони створюють умови для досягнення мінімуму втрат металу на наднормативну обрізь при максимальному виході мірного стрижневого прокату. Тому проблема підвищення виходу мірної продукції і скорочення технологічної обрізи при виробництві прокату в стрижнях є актуальною.

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

на безперервному заготовочному стані (БЗС) та безперервному дрібносортному стані (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 основі 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, планами, 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 «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 напрямку наукових досліджень кафедри Автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України. Результати досліджень за даними темами, отриманих автором особисто, представлені в даній роботі.

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 дослідження:

- дослідити та провести аналіз особливостей технології виробництва заготовок і дрібносортного прокату з метою визначення досконалих методів узгодженого керування розкромом прокату на них;

- на основі теоретичних і експериментальних досліджень режимів прокатки та алгоритмів розкромом встановити залежності довжини розкату від параметрів первинної заготовки (маси, довжини, поперечного перетину, температури);

- дослідити похибки систем розкромом заготівельного стану для визначення досконалості наскрізного розкромом;

- провести аналіз впливу змінної швидкості прокатки на роботу системи розкромом, з метою вибору методів керування режимом прокатки;

- розв'язати задачу узгодженого керування розкромом прокату на безперервних сортових прокатних станах, враховуючи особливості та умови виробництва дрібносортного прокату;

- визначити загальні правила розкромом металопрокату на заготівельному стані з метою встановлення меж ефективності алгоритмів розкромом при виробництві стрижневого прокату різних профілерозмірів;

– розробити метод налаштування швидкісного режиму прокатки в чорнових клітях 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.

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

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.

Методи досліджень. 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.

1. Раціональний 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 металопродукату за рахунок підвищення точності прогнозування довжини прокату на виході з випускної кліті.

2. Удосконалено динамічну модель процесу прокатки заготовки в одностанковій 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 дрібносортового 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 отриманих результатів.

1. Розроблено алгоритм керування розкромом прокату на БДС, який забезпечує вихід прутків на холодильник довжиною тільки кратних мірному стрижню, що враховує виробку калібрів БДС і не залежить від довжини сортової заготовки.

2. Розроблено функціональну структуру та алгоритм роботи автоматизованої системи керування розкромом на БДС, придатної до використання на металургійних підприємствах, при розробці і модернізації існуючих САК розкромом металопркату.

3. Запропонований в роботі спосіб та система автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортового стану забезпечує істотне підвищення точності вирівнювання передніх торців термозміцненого

прокату на холодильнику та може бути поєднана із системою з підрівнюючими роликами.

4. Передача отриманих результатів досліджень ТОВ НВП «Центр Електромеханічної Діагностики», НВП «Дніпрочорметавтоматика».

5. Окремі розділи дисертаційної роботи використані в навчальному процесі кафедри автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України при вивченні дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» студентами за напрямом підготовки 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Особистий внесок автора

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 роботи.

Матеріали дисертаційної роботи представлені та обговорені на наступних науково-технічних конференціях: Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів і молодих учених «Молода академія 2011» (м. Дніпропетровськ, НМетАУ, 2011р.); XIX Міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика / Automatics – 2012» (Київ, НУХТ, 2012р.); VI научно-практичній конференції «ГИПОпром-2012: от теории к практике», (м. Дніпропетровськ, НМетАУ, 2012 р.); «XI Міжнародній конференції з проблем розвитку впровадження інформаційних технологій в науку та інноваційну сферу освіти: матеріали науково-технічної конференції» (м. Дніпропетровськ, НГУ, 2014р.); «Міжнародній конференції з проблем використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: матеріали науково-технічної конференції» (м. Дніпропетровськ, НГУ, 2014р.); «Всеукраїнській науково-технічній конференції «НАУКА І

МЕТАЛУРГІЯ» присвячена 80-річчю Інституту чорної металургії ім. З.І.Некрасова Національної академії наук України» (м. Дніпро, ІЧМ ім. З.І.Некрасова, 2019).

Публікації.

Опубліковано 24 наукових праць, 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.

РОЗДІЛ 1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ВТРАТ ПРИДАТНОГО МЕТАЛУ В ОБРІЗЬ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТОВАРНОГО МЕТАЛОПРОКАТУ

1.1 Аналіз технологічної схеми виробництва заготовок і дрібносортного прокату

На сучасному етапі розвитку чорної металургії скорочення наднормативних втрат металу в обрізь на всіх етапах прокатного виробництва є найбільш важливим при виробництві заготовки і дрібносортного металопрокату.

Незважаючи на широке впровадження в металургійне виробництво машин безперервного розливання сталі, на багатьох металургійних підприємствах України продовжують експлуатуватися обтискні прокатні стани – блюмінги і слябінги, призначені для попереднього обтиску сталевих злитків, що надходять з сталеплавильних цехів, в заготовки великих розмірів і перетину – блюми і сляби [1, 2]. Це пояснюється тим, що на сьогоднішній день заготовки, які отримані на МБЛЗ, мають багато дефектів через наявність внутрішніх напружень і не досконалості технології безперервного розливання – це дефекти форми, поверхневі і поперечні термічні тріщини напруги в заготовці.

Блюми не є товарною продукцією металургійного підприємства, і для придбання товарних властивостей вони прокочуються на безперервно-заготівельних станах (БЗС) в заготовки меншого перетину. Структурна схема виробництва дрібносортного металопрокату приведена на рисунку 1.1



Рисунок 1.1 - Структурна схема виробництва дрібносортного металопрокату

Прокатка на станах при виробництві товарного металопрокату включає в себе два етапи. Перший етап, як традиційно склалося, є виробництво заготовок, другий – виробництво готового прокату.

Виробництво заготовок може проводитися або на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) або на технологічних комплексах, які зазвичай включають сукупність робочих машин та інших технологічних агрегатів, які виконують послідовну переробку матеріалу із заготовки в готову продукцію – блюмінги, заготівельні та дрібносортні стани [3, 4].

Після розливання конвертерної сталі у виливниці і охолодження її як готовий продукт отримують злиток, який після обрізання головної і донної частин направляється на блюмінг. При прокатці злитка на блюмінгу отримують блюм – заготовку великого перетину, яка служить вихідною сировиною для БЗС. У блюма, який надходить на БЗС, проводиться зачистка переднього і заднього кінців, а відходи металу в такому випадку є технологічною обрізкою. На виході останньої прокатної кліти БЗС отримують прокатну штангу заданого перетину, яка барабанными летючими або маятниковими ножицями розрізається на заготовки. Отримані таким чином заготовки або надходять на ринок в якості товарної продукції, або стають вихідною сировиною для прокатних станів, які виробляють готову продукцію: арматуру, катанку, спеціальні профілі тощо.

Безумовно, для продажу та експорту безостаточний розкрій прокатної штанги на заготовки заданих довжин є найкращим. Однак при прокатці їх в готову продукцію – інша справа [3, 4, 5].

Основний обсяг виробництва дрібносортного прокату, зокрема арматурного, в Україні і за кордоном припадає на високопродуктивні безперервні дрібносортні стани (БДС).

При поставці прокату в стрижнях стандартами обумовлюються вимоги до їх довжини [81]. Залежно від довжини стрижня, розрізняють два основних види продукції:

- мірний прокат із стрижнями однакової довжини, обумовленої умовами замовлення;
- немірний прокат, що містить стрижні різної довжини в заданих межах.

Стандарти на дрібносортний прокат визначають стандартні граничні значення довжини стрижнів мірної і немірної довжини: 6 м і 12 м [72]. Низка стандартів допускає при поставці немірних стрижнів наявність в пачках стрижнів довжиною від 3 до 6 м не більше 7% від маси партії [82]. Деякі стандарти обумовлюють такий вид продукції, як прокат мірної довжини з немірними відрізками, довжиною не менше 2 м і не більше 15% від маси партії [82].

Існує безліч конструкцій БДС, які відрізняються схемами розташування клітей і складом устаткування [12]. Безперервні стани можуть бути одно- та багатонитковими, коли в кожній кліті чорнової групи одночасно прокочується кілька заготовок, а потім ці заготовки прокочуються в одну нитку в двох або чотирьох паралельно розташованих чистових групах клітей. Швидкість прокатки в останній кліті БДС становить 16...23 м/с.

Вихідною заготовкою для подальшої переробки на дрібносортних і дротових станах є продукція БЗС і МБЛЗ.

Перед прокаткою заготовки на БДС необхідне її нагрівання в методичній нагрівальній печі до температури, яка визначена технологічною інструкцією. Максимальна довжина заготовки обмежена шириною печі, а мінімальна – обладнанням для її переміщення. Після прокатки на виході останньої кліті БДС отримують прокат. При поставці товарної продукції в стрижнях, прокат 2 розрізається на прутки летючими ножицями 3, встановленими за чистовою групою 1 (рис. 2). Відрізані летючими ножицями прутки довжиною 96-100 м надходять по відвідному рольгангу 8 на холодильник 6.

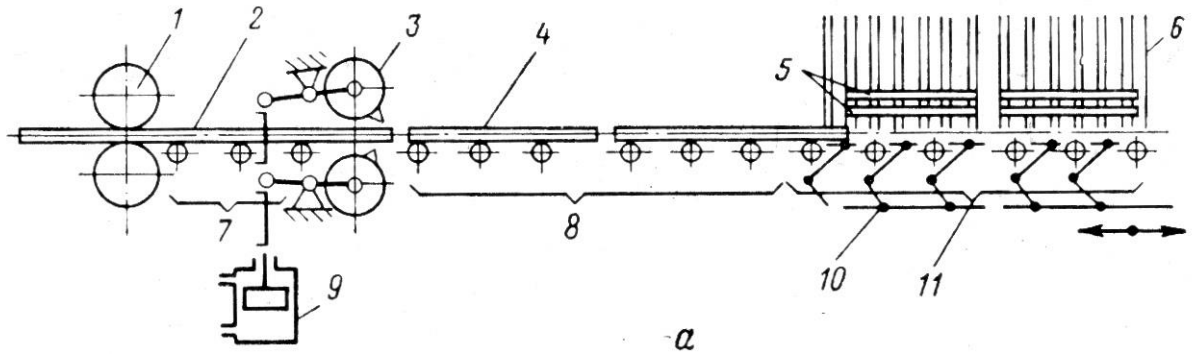


Рисунок 1.2 – Схема розташування обладнання вихідної сторони стану

1– прокатна кліть; 2– прокат; 3 – летучі ножиці; 4 – пруток; 5 – пакет прутків; 6 – настил холодильника; 7 – підвідний рольганг; 8 – відвідний рольганг; 9 – пневмопривід летючих ножиць; 10 – механізм клапанів зкидача; 11 – рихтувальний жолоб холодильника.

Для охолодження дрібносортного прокату використовують рейкові холодильники. Як правило, холодильники дрібносортних станів мають довжину 110-125 м і забезпечують прийом та охолодження прокату відповідної довжини.

Відрізані від прокату прутки транспортуються до холодильника підвідним рольгангом. У процесі транспортування прутки під дією сили тяжіння зміщуються до краю рольганга, розташовуючись над гальмівними поверхнями клапанів зкидача, призначеного для гальмування і скидання рухомих прутків з рольганга в рихтувальних жолоб холодильника [12]. Охолоджені прутки збираються в пакети, які відвідним рольгангом подаються до стаціонарних ножиць холодного різання для розкрою на пачки стрижнів мірної довжини.

Після формується пачки прутків і на завершення, після їх порізки на ножицях холодного різання, отримують пачки стрижнів.

Таким чином, отримання мірної продукції на дрібносортних станах пов'язане з багаторазовим розподілом вихідного продукту. Відбувається багатостадійний розподіл і його перетворення з однієї форми і в іншу. Виникають наднормативні втрати металу, що пов'язані з обрізанням головної і донної частин злитка, переднього і заднього кінців бlyма, вигаром

заготовки в печі, можливою зачисткою охолодженого торця заготовки, неефективністю розкрою та похибкою порізки прокатної штанги на заготовки, прокату на прутки і пакета прутків на пачки стрижнів [6, 7, 8].

Тому основні втрати при виробництві заготовок і сортового прокату становлять відходи металу у вигляді немірних залишків і наднормативної обрізі [10, 11].

Значимим чинником конкурентоспроможності виробленої продукції є також економічний аспект. З огляду на дані робіт [5, 6] можна зробити висновок про те, що основною складовою собівартості готового металопрокату, зокрема, стрижневого прокату, є вартість заготовки (рис. 3).

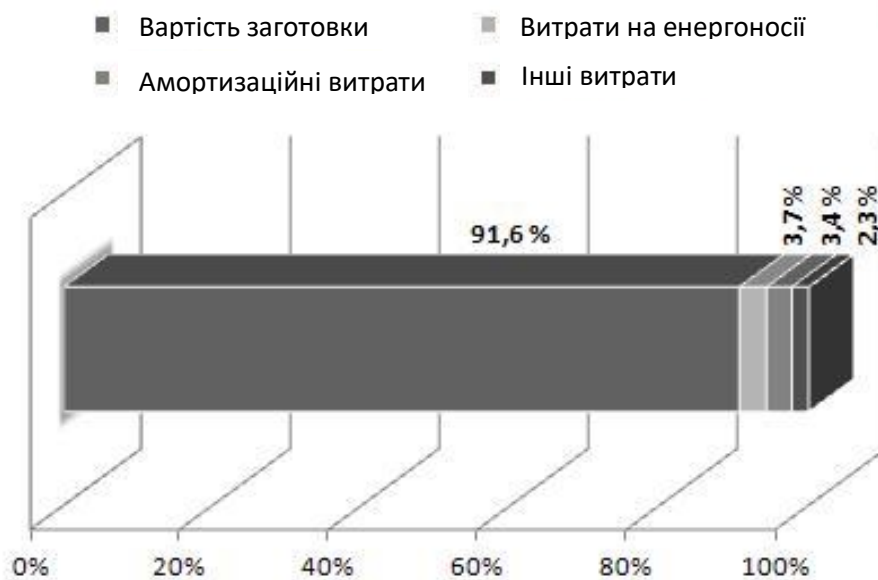


Рисунок 1.3 – Структура собівартості стрижневого металопрокату.

Тому найбільш ефективними виявляються заходи, спрямовані на скорочення наднормативних втрат металу в обрізь і збільшення кількості мірного металопрокату.

Одним з найважливіших чинників, що забезпечують мінімізацію наднормативних відходів виробництва, є ефективність алгоритмів і систем розкрою.

В роботі [5] проведено оптимізацію і взаємозалежне керування операціями виробництва арматурного прокату в стрижнях. Наведено оцінку виходу мірної продукції при різному рівні автоматизації вихідної ділянки

важливим, бо витрати на заготівлю є найбільшою частиною в собівартості прокату в процесі виробництва товарної продукції.

Ефективність систем розкрою прокату в області енерго- і ресурсозбереження оцінюється виходом мірної продукції - він повинен бути максимально можливим, і величиною некондиційного прокату в загальному обсязі виробництва, тобто продукції зі зниженими показниками якості - вона повинна бути мінімальною [65]).

Для визначення основних втрат придатного металу проведемо аналіз технологічного процесу виробництва заготовок і дрібносортного прокату, методів і систем розкрою на прокатних станах і МНЛЗ на прикладі ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг».

ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» є одним з найбільших виробників сталевого прокату в Україні, який спеціалізується на виробництві довгомірного прокату, зокрема, арматури і катанки зі звичайних і низьколегованих марок сталі.

Прокатна переробка ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» складається з:

- цех блюмінг (виробничі ділянки № 1 і № 2), який призначений для виробництва заготовки для дрібносортних і дротяних станів підприємства, а також для виробництва заготовки для відвантаження на експорт;

- сортопрокатний цех № 1 (три дрібносортних і один дротяний стан). Виробництво арматурних профілів, кутиків, смуг, катанки, кругів, квадратів;

- сортопрокатний цех № 2 (два дрібносортних стани). Виробництво арматурних профілів, катанки, кругів, квадратів;

- прокатний цех № 3. Виробництво кругів і катанки з конструкційних марок сталі, арматурного прокату в мотках.

Для виробництва квадратної заготовки на підприємстві також застосовується машина безперервного ліття заготовки (МБЛЗ).

Виробнича дільниця № 1 (блюмінг-1) призначена для прокатки зливків масою до 20 тонн в блюми перетином 200x200÷340x360 мм і сляби розміром 110-250x600-950мм [11]. Блюмінг-1 складається з прокатного стану 1300 і

БДС 900/700/500, сортамент якого складається з квадратної заготовки 60x60, 80x80, 130x130, 150x150, 160x160, а також круглої заготовки перетином з діаметром 160 мм.

Виробнича дільниця № 2 (Блюмінг-2) ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» включає в себе два прокатних стани: реверсивний обтискний стан 1250 і БДС 730/500 [12, 13]. Стан 1250 призначений для прокатки сталевих злитків вагою 8-10 тонн в заготовки (блюми) перетином 240x240÷300x300мм.

Детальний аналіз наднормативних втрат металу в обрізь при виробництві металопрокату доцільно провести, розглядаючи підсистеми виробничих ділянок металургійного підприємства.

1.2 Аналіз підсистеми отримання блюма зі злитка

Початковий процес виробництва заготовки здійснюється після розливання сталі у виливниці для отримання злитків. Існує два способи розливання – зверху і сифоном (знизу). Вважають, що процес розливання металу у виливниці сифонним способом забезпечує однакові розміри злитків і штанги, отримані при їх прокатці, теж матимуть близьку довжину [2, 3, 14]. Однак через розпал футерування виливниць злитки в ряді випадків будуть дещо відрізнятися один від одного за масою. Крім цього, перед подачею злитка на блюмінг проводять видалення усадкової раковини та інших дефектів макроструктури головної і донної частини злитка. Таким чином, довжина штанги, а відповідно, довжина заготовок від штанги до штанги при їх рівномірному розкрої, теж буде змінюватися.

В якості основного сортаменту на блюмінгу прийняті блюми перетином 340x360 мм, що прокатуються з 8-13-тонних злитків киплячої, напівспокійної і низьколегованої сталі. Граничні відхилення по сторонам блюма наведені в табл. 1.

Таблиця 1.1- Граничні відхилення по сторонам блюма.

Перетин, мм		Граничні відхилення, мм		Різниця діагоналей блюма (не більше), мм	Радіус закруглення кутів, мм	Довжина, мм
висота	ширина	по висоті	по ширині			
340	360	+/- 10	+/- 10	20	50	9500-14000

Після прокатки злитка на блюмінгу кінцеві ділянки блюма видаляються. Це обумовлено необхідністю виключення ділянок блюма неправильної геометричної форми після прокатки – торцевої утяжки, величина якої залежить, як від якості самого злитка, що надходить з сталеплавильного цеху, так і від технології оцінки величини дефектів, прийнятої в конкретному обтискному цеху.

Величину технологічної обрізі блюмів і слябів визначають відповідно до норм, встановлених технологічною інструкцією [11], а також досвідченим шляхом залежно від величини деформації ділянок на торцях блюма.

Аналіз технології прокатки зливків в обтискних цехах показує, що втрати металу виникають при нагріванні злитків: окалина до 2% від загальної маси придатного металу, при вогневій зачистці блюмів на машинах вогневого зачищення до 3,5% від маси блюма, при зачистці кінцевих ділянок блюмов на ножицях – до 14% [1-4, 7, 11, 13]. Таким чином, величина технологічної обрізі злитків і блюмів становить основну частину відходів металу даної прокатної переробки і має ймовірнісний характер.

Отже, спрогнозувати очікувану довжину блюма отриманого із злитка, через втрати металу при нагріванні злитків і вогневому зачищенні, видаленні усадкової раковини та інших дефектів макроструктури головної і донної частин злитка, видалення торцевої утяжки блюмів складно.

1.3 Аналіз підсистеми отримання заготовки з блюма

Теоретичні та практичні дослідження, спрямовані на удосконалення технології виробництва сортової заготовки є актуальними, про що свідчать численні дослідні роботи, присвячені даній проблемі [1, 5-9, 17, 18, 24, 28, 36].

Технологічний процес виробництва заготовок розглянемо на прикладі БЗС 730 / 500 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». БЗС складається з двох безперервних груп прокатних клітей (див. рис. 2) і призначений для перекату блюмів в заготовки для дротяних і дрібносортних станів сортопрокатних цехів (СПЦ) №№ 1, 2 і прокатного цеху ПЦ-3, а також для випуску товарної продукції [4].

Кінцевий перетин квадратних заготовок після прокатки на БЗС:

- 80x80 мм (для дрібносортних станів, ПС 250-3 і товарної заготовки);
- 125x125мм (для ПС 150-1, МПС 250 / 150-6 і товарної заготовки);
- 130x130мм (для ПС 150-1, МПС 250 / 150-6 і товарної заготовки);
- 150x150мм (для ПС 150-1, МПС 250 / 150-6, товарної заготовки і бандажної смуги (за особливою вказівкою)).

Після прокатки в безперервної групі клітей I (рис. 5), прокат надходить на рольганг між станами 730 і 500. Довжина рольганга між станами обрана з урахуванням можливості розміщення на ньому квадратної заготовки перетином 125×125 мм, довжиною до 68 м.

У прокатів, які вийшли зі стану 730 і підлягають подальшій прокатці в стані 500, обрізають дефектні кінці на маятникових ножицях в наступних випадках:

- а) при прокатці заготовки 62×62 мм – постійно;
- б) при прокатці заготовки 80×80 мм – тільки в тому випадку, коли є розшарування, рванини, рихлості та інші дефекти.

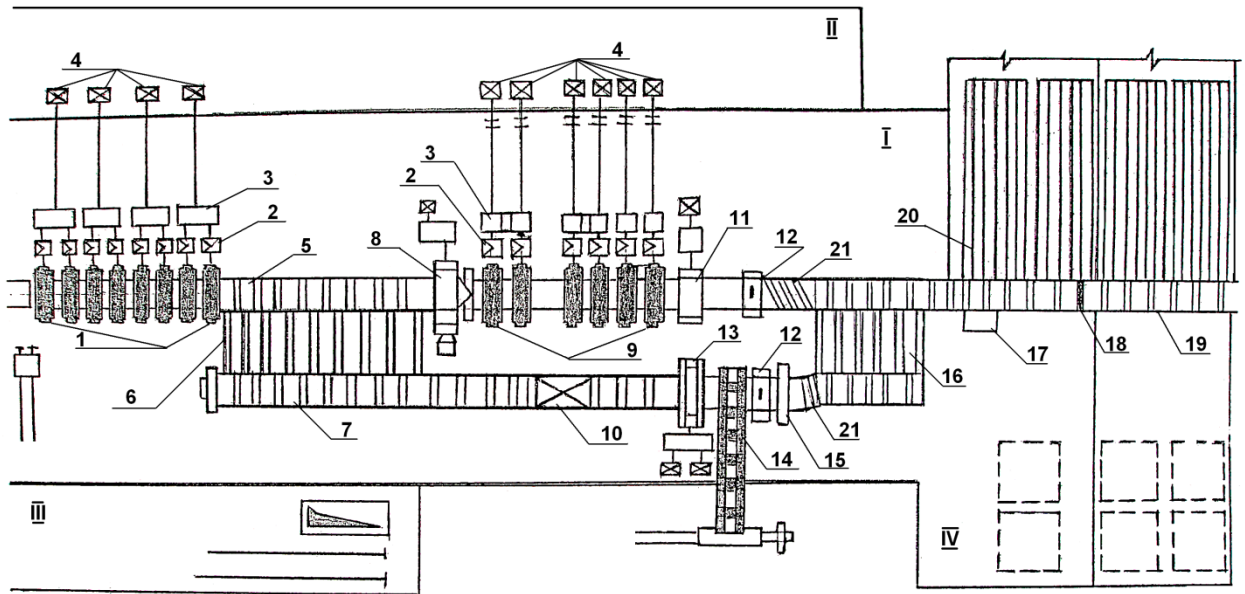


Рисунок 1.5 – Схема розташування обладнання безперервно-заготівельного стану 730/500:

I – становий прогін; II – машзал; III – прогін блюмов и слябов; IV – склад заготовок; 1 – стан-730; 2 – шестеренна кліть; 3 – редуктор; 4 – електродвигуни; 5 – рольганг між станами; 6, 16 – шлеперний пристрій; 7 – обвідний рольганг; 8 – маятникові ножиці; 9 – стан 500; 10 – правильна машина; 11 – летючі ножиці; 12 – клеймітель; 13 – ножиці зусиллям 800 тонн; 14 – конвеєр прибирання обрізі; 15, 18 – упори, що опускаються; 17 – ділянка обрізання заднього кінця прокату; 19 – рольганг холодильника; 20 – холодильник; 21 – пакетувальні рольганги

У другій групі клітей стану прокочуються квадратні заготовки перетином 125×125 до перетину 80×80 мм. Загальна довжина прокату, що виходить з стану 500 повинна становити не більше 184 м.

Після прокатки на БЗС прокатні штанги на ходу розрізаються летючими планетарними ножицями на заготовки необхідної довжини, потім клеймуються в торець клеймовочною машиною, збираються в пакети на рольгангу і передаються рольгангом на холодильники. Довжина порізаных заготовок після барабанных летючих ножиць ВПЛН-150 БЗС обмежена і знаходиться в діапазоні $10,5 \div 11,8$ м. Це обумовлено, по-перше, довжиною вантажних залізнодорожних вагонів, а по-друге, шириною методичної нагрівальної печі та особливостями її обладнання.

Втрати придатного металу на БЗС при виробництві заготовок практично повністю пов'язані з операцією розкрою прокатної штанги, яка складається з зачистки переднього, а в ряді випадків, і заднього кінця заготовки. Від реалізації алгоритмів розкрою прокатної штанги залежить також довжина заготовки. Укорочені заготовки прирівнюються до обрізі.

Норми мінімально можливої технологічної обрізі наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Норми мінімально можливої технологічної обрізі на ножицях БЗС 730/500

Типи ножиць	Перетин заготовки, мм×мм	Кінець прокату	Величина обрізі		Примітки
			м	% від посаду	
Ножиці обвідної лінії 800 тон	150×150	передній	0,3	0,6	До повного видалення дефектів
		задній	0,3	0,6	
Ножиці обвідної лінії 800 тон	125×125	передній	0,30	0,4	До повного видалення дефектів
		задній	0,20	0,3	
Маятникові ножиці 150 тон	125×125	передній	0,30	0,4	До повного видалення дефектів
		задній	0,30	0,4	
Реверсивні планетарні летючі ножиці	80×80	передній	0,25	0,15	Дефекти на заготовці після обрізання її кінців видаляють на ад'юстажі
		задній	0,3	0,18	
Реверсивні планетарні летючі ножиці	62×62	передній	0,25	0,09	Дефекти на заготовці після обрізки кінців видаляють на ад'юстаже

На розкид довжини заготовок при розкрої прокатної штанги великий вплив мають змінна швидкість прокатної штанги під порізку летючими ножицями, неточність синхронізації летючих ножиць і швидкості прокатної штанги, випадкові процеси в електромеханічній системі стану, які впливають на точність різу, а так само, довжина передньої і задньої обрізі [3, 11, 30, 66].

Порізка прокатної штанги на летючих ножицях ВПЛН-150 здійснюється тільки при синхронізації швидкості різання зі швидкістю виходу металу з останньої кліті [12, 38, 49]. Момент включення синхронізації швидкості обертання ножиць і швидкості руху прокату в більшості випадків визначає довжину технологічної обрізи переднього кінця. Цей факт дуже впливає на виникнення аварійних ситуацій при розкрої штанги. Застрявання обрізи переднього кінця в ножах ВПЛН-150 призводить до поломки обладнання та дефектів на торцях відрізаних заготовок.

Однією з проблем автоматизації розкрою на БЗС є невизначеність довжини прокатної штанги, що надходить на порізку: ножиці встановлені близько від чистових клітей стану, і коли відрізається перша заготовка, кінець прокату ще не заданий в стан. Таким чином, безпосереднє вимірювання довжини прокату на виході БЗС до розкрою неможливо, а точне прогнозування її пов'язано з непостійністю температурних умов прокатки, виробки валків, непостійністю натягу прокату між клітями заготовочного стану, які в свою чергу впливають на остаточну довжину прокатної штанги.

Використовувана на БЗС автоматизована система керування розкром прокату «СУРП», розроблена в ДонДТУ і НВО «Донікс», дозволяє реалізовувати ряд технологій розкрою прокату [38]:

- рівномірний безостаточний розкрій;
- розкрій на штанги мірної довжини по заданій уставці;
- розкрій на заготовки мірних довжин декількох уставок, значення яких розраховується шляхом багатофакторного аналізу за критерієм отримання сумарних мінімальних відходів на БЗС і в подальшому виробництві.

З матеріалів опису системи розкрою найбільший інтерес викликає вказаний спосіб розкрою на заготовки мірних довжин декількох уставок. Однак, критерій отримання сумарних мінімальних відходів і порядок розрахунку не наведено і для забезпечення мінімальних втрат придатного металу в обрізь на БЗС, в загальному випадку, застосовують рівномірний безостаточний спосіб розкрою. Також необхідно відзначити, що ніде не

роз'яснюється, яким чином системою «СУРП» визначається обсяг заготовки під замовлення БДС. Застосовуваний на БЗС рівномірний розкрій прокатної штанги на заготовки виключає появу відходів придатного металу, проте призводить до утворення значних немірних залишків і наднормативної обрізу при виробництві готової продукції, отриманої при прокатці заготовки на БДС [16, 52].

При безостаточному розкріі на БЗС довжина відрізаних заготовок в межах однієї штанги вважається однаковою. На останній заготовці задній кінець летючими ножицями не обрізується. Згідно [3], вальцювальник візуально оцінює стан хвостовій частині заготовки і, з огляду на регламентовану інструкцією довжину задньої обрізі, відрізає останню. Якщо в хвостовій частині останньої заготовки немає явних дефектів, і загальна довжина заготовки входить в діапазон допустимих довжин, то її відправляють на подальшу прокатку без відрізання хвостової частини.

Відповідно до опису прийнятої системи «СУРП», похибка вимірювання довжин прокатних штанг після стану 700 не перевищує ± 5 см. Похибка прогнозування довжини прокатної штанги після стану 500 становить $\pm 0,5$ м [38, 50].

Також відомі роботи, в яких проведені дослідження «наскрізної» технології виробництва мірного прокату [7, 19, 30, 66, 68].

Так, в роботі [68] запропонований спосіб керування летючими ножицями безперервно-заготівельного стану в режимі реалізації безвідходного розкрою на сортових станах. Відповідно до даного способу, визначають довжину прокату після чистової групи і розраховують два розкрійних плани, згідно з якими визначається кількість і довжини заготовок після летючих ножиць з урахуванням заданого на сортовому стані профілю, заданої на сортовому стані довжини мірного різання і довжини холодильника.

Незважаючи на те, що запропонований спосіб розкрою металопродукату показує хороші розрахункові дані щодо зменшення витрат придатного

металу в обрізь, він не застосовується, так як на сьогоднішній день практична реалізація такого розкрою утруднена. В сьогоднішніх умовах на наявному обладнанні для виробництва металопрокату не вдається отримати заготовки строго заданих геометричних розмірів. Це можна пояснити тим, що на технологічний процес виробництва металопрокату діє велика кількість збурень, багато з яких виникають випадковим чином і важко піддаються контролю [50].

Таким чином, встановлено, що достовірно спрогнозувати очікувану довжину прокатної штанги, отриманої зі злитка, через втрати металу при нагріванні і вогневій зачистці злитків, а так само через вилучення торцевої утяжки блюмів неможливо. Ймовірну довжину прокатної штанги можна визначити тільки під час прокатки на БЗС. Безпосереднє вимірювання довжини розкату на виході БЗС до розкрою неможливо, а точне прогнозування її пов'язане з непостійністю температурних умов прокатки, виробкою валків, непостійністю натягу прокату між клітьми заготовочного стану, які в свою чергу впливають на підсумкову довжину прокатної штанги.

Таким чином прокатні штанги, кількість отриманих з них заготовок та їх довжина змінюються від штанги до штанги. При цьому довжина останньої (кінцевої) заготовки практично завжди відрізняється від довжин інших. Недосконалість технології та недостатня точність системи розкрою прокатної штанги виключає можливість отримання заготовки точно заданих розмірів. Слід зазначити, що особливе значення при зниженні втрат мають способи розкрою, які в одних випадках (заготовки на експорт) досить вигідні, а в інших (заготовки під прокатку на БДС) – малоефективні.

1.4 Аналіз підсистеми виробництва заготовок машиною безперервного лиття заготовок

Технологія виробництва заготовок по низці «злиток – блюм – сортова заготовка» поступово витісняється більш прогресивною технологією із застосуванням машин безперервного лиття заготовок [43].

Найбільшим в Україні виробником круглої сталеві заготовки безперервнолитим способом є високотехнологічне підприємство ТОВ «МЗ «Інтерпайп Сталь», потужність якого становить 1,32 млн. тонн круглої сталеві заготовки на рік [46]. Тому подальший розгляд і аналіз технологічного процесу виробництва заготовок проведемо на базі обладнання даного підприємства.

У розливному відділенні ТОВ «МЗ «Інтерпайп Сталь» встановлено МБЛЗ №1 і МБЛЗ №2, які працюють в єдиному технологічному комплексі «дугова електросталеплавильна піч (ДСП) – установка ківш-піч (УКП) – вакууматор – МБЛЗ».

При нормальному ході безперервного розливання злиток, як правило, ріжуть на заготовки однієї заданої довжини. Ця довжина регламентується замовленнями прокатного виробництва (можливостями їх транспортних механізмів і умовами завантаження нагрівальних печей перед прокаткою). У разі виникнення дефектних ділянок в зливку при розливанні виникає необхідність оптимізації розкрою частини БЛЗ від останнього різку до початку області дефекту.

Згідно [47], виникаючу ділянку безперервнолитої заготовки (БЛЗ) вирізують на відстані 1000 мм вище і нижче спаю і бракують. Технологічну обрізь БЛЗ становлять головна обрізь (800 мм), хвостова обрізь (1000 мм) і ділянки змішування плавки. При розливанні методом «плавка на плавку» ділянку БЛЗ змішування плавки вирізають на відстані 1500 мм до і 1500 мм по області змішування плавки. У заключній фазі розливання, крім мінімізації

відходів, виникає задача мінімізації часу розливання для запобігання зайвого переохолодження металу в проміжному ковші.

Незважаючи на багато переваг безперервного розливання, є низка проблем, вирішення яких пов'язане з великими труднощами. Так, при безперервному розливанні інструментальних, легованих сталей і сталей з низьким вмістом вуглецю, якість безперервнолитих зливків не задовольняє вимогам за структурою та властивостями заготовок. Такі сталі мають підвищену чутливість до утворення тріщин [44].

Одною з найважливіших вимог до процесу безперервного розливання сталі є вимога максимізації виходу мірних заготовок з наявної кількості рідкого металу. В умовах стаціонарної фази процесу це завдання можна вважати вирішеним. На ряді МБЛЗ досягають виходу придатного металу в формі строго мірних заготовок до 96-97% [45]. Подальше збільшення виходу придатного металу пов'язане з удосконаленням алгоритму керування нестаціонарним кінцевим періодом розливання, тому що саме тут ще є резерв збільшення продуктивності багатоструменевих машин [43].

При закінченні розливання на багатоструменевих МБЛЗ виникає задача мінімізації сумарних немірних залишків металу з плавки. Так, на МБЛЗ ТОВ «МЗ «Інтерпайп Сталь» відходи придатного металу через розливання без мінімізації немірних залишків складають до 6% від плавки [47].

На підставі проведеного аналізу технології розливання і обладнання МБЛЗ встановлено, що при виробництві заготовок на МБЛЗ, на відміну від блюмінгів, точність відрізання заготовки дуже висока. Але не дивлячись на це, відсутні системи узгодження алгоритмів розкрою на МБЛЗ і наступного циклу переділу заготовки, що в свою чергу викликає додаткові відходи придатного металу в обрізь при виробництві товарної продукції.

Більшість наявних розробок у цій галузі [54-57] орієнтовані на оптимізацію керування закінченням розливання тільки для випадку завдання однієї фіксованої мірної довжини заготовки.

На сьогоднішній день на МБЛЗ № 1-2 ТОВ «МЗ «Інтерпайп Сталь» використовують спосіб отримання максимуму мірних заготовок на багатоструменевих МБЛЗ [47]. Відповідно до цього способу, з проміжної ємності метал подається у всі рівчаки машини (аж до моменту повного його витрачання). Після цього одночасно перекривають стопори проміжної ємності, припиняють подачу рідкого металу в усі рівчаки і здійснюють порізку отриманих злитків (за показаннями датчика мірної довжини) на задані мірні і кратні міри довжини. Цей спосіб керування нестационарною фазою процесу має істотний недолік, що полягає в тому, що при такому розкрої немірні залишки, що залишаються, можуть досягати значних величин, а число їх в загальному випадку дорівнює числу кристалізаторів (струмків). Таким чином, виникають істотні втрати металу в процесі розливання, які зменшують вихід придатних злитків з МБЛЗ. Втрати придатного металу викликані з одного боку технологією виробництва, а з іншого – недосконалістю алгоритмів розкрою. Втрати придатного металу, в такому випадку, досягають 6% від маси плавки [47, 59].

Таким чином, однією зі специфічних особливостей розкрою металу на МБЛЗ є можливість зміни і розрахунку довжини заготовки в деякому інтервалі під певну продукцію, що значно збільшує число можливих варіантів розкрою. Якщо вдасться розкрити безперервний злиток на довжини кратні мірної продукції, то створяться умови щодо істотного зниження сумарних втрат придатного металу в обріз на МБЛЗ і прокатних станах і підвищенню виходу мірного металопрокату.

1.5 Аналіз підсистеми отримання прокату із заготовки на безперервному дрібносортному стані

Технологічна операція прокатки заготовки до кінцевих розмірів може бути представлена набором операцій обтиску металу в клітях, порізки і транспортування прокату. Прямі втрати металу вихідної заготовки при

штатному протікання технологічного процесу прокатки на БДС виникають внаслідок обрізки кінцевих ділянок прокату перед групами клітей.

Залежно від режимів роботи обладнання, що бере участь у виробництві готового прокату, і способів керування ним кожен конкретний прокатний стан може забезпечити певний розкид поперечних розмірів готового прокату. Математичне очікування геометричних розмірів прокату з одного боку пов'язано з налаштуванням прокатного стану, а з іншого – з досконалістю технічного обладнання системи. Так, відомо, що геометричні розміри перетину прокату в основному залежать від зміни натягу заготовки [1, 6, 18].

Особливість прокатки заготовок на БДС – прокатка передньої ділянки заготовки до її захоплення подальшої кліттю і задньої ділянки заготовки після виходу її з попередньої кліті ведеться без переднього і заднього міжклітьових зусиль, відповідно [5, 18]. Прокатка середньої частині заготовки з міжклітьовими зусиллями призводить до зменшення поперечних розмірів прокату в порівнянні з кінцевими ділянками. Для забезпечення стабілізації поперечних розмірів готового прокату, на дрібносортному стані в останніх трьох міжклітьових проміжках здійснюють прокатку з вільним прогином.

Системи петлерегулювання і автоматичної стабілізації прокатки з вільним прогином прокату є традиційними для безперервних дрібносортних станів [48, 74-76]. Експлуатація системи АСРП на безперервних дрібносортних станах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» показала, що система підвищує точність розмірів перетину готового прокату в 2,5-3 рази [24, 26]. Однак вплив АСРП на зміну швидкості прокату на виході з останньої кліті і довжину відрізуваних прутків до кінця не вивчені.

Перед кожною групою клітей встановлюють ножиці для обрізки (зачистки) деформованого в попередніх клітях і підстуженого переднього, а іноді, і заднього кінця прокату для забезпечення безаварійного захоплення металу наступними клітями. Величина обрізи визначається похибкою ножиць.

Велика увага приділена також прогнозуванню довжини прокату, оскільки від точності прогнозування залежить довжина прутка, що відрізається, а також кількість відходів у вигляді обрізі придатного металу при розкрої пакета прутків на ножицях холодного різання [18, 31-33]. В якості інформації про довжину прокатів і прутків використовують або часові інтервали, які еквівалентні тривалість пересування прутків і прокатів через перетин летючих ножиць, або кількість оборотів валків чистової кліті, які відраховані після проходу переднього кінця прокату перетину летючих ножиць [38, 39]. Однак, через вплив стану прокатних валків, швидкісного режиму, прослизання на рольганзі, час переміщення заготовки по клітям прокатного стану – величина не постійна. А отже, і похибка прогнозування довжини прокату значно збільшується.

1.6 Аналіз підсистеми отримання прутків з прокату на безперервному дрібносортному стані

У роботах [1, 6, 19, 25-28] досить детально розглянуті способи розкрою прокату на прутки та їх вплив на вихід мірного металопрокату.

Більша частина втрат придатного металу у вигляді немірної обрізі утворюється при виробництві мірного прокату.

Ефективність способів розкрою прокату в області енерго- і ресурсозбереження характеризується непрямими втратами прокату, або використовуючи термінологію стандартів ISO 9000, часткою невідповідної продукції, тобто продукції зі зниженими показниками якості [65].

Так, на БДС 250 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виробляють стрижневий прокат переважно мірної довжини [4, 7]. Однак, стовідсотковий вихід мірного прокату утруднений через вплив ряду факторів. До них відносяться: неточні розміри вихідної заготовки і готового профілю, вплив випадкових факторів на технологічний процес прокатки, похибка

прогнозування кінцевої довжини прокату, неточна порізка прокату на прутки і подальша їх обробка, недосконалість устаткування стану тощо [1, 5, 18].

Як показує аналіз робіт [5, 7, 19, 20, 21, 22], способи розкрою прокату на БДС впливають на кількість мірної продукції та кількість обрізі придатного металу при розкрої.

Зазвичай при виборі використовуваного на БДС способу розкрою прокату віддають перевагу тому, який забезпечує найбільше заповнення охолоджуючої поверхні холодильника і мінімізує виникнення коротких прутків і в якому краще дотримується умова кратності довжини прутків довжині мірного стрижня [5, 6, 18, 23]. У відомих способах розкрою – рівномірний, ступінчастий і на крат (по уставці), всі ці умови одночасно не виконуються і, в кінцевому рахунку, доводиться йти на компроміс між вигодами і недоліками будь-якої програми порізки.

При змінній довжині прокатів неминуча поява кінцевих прутків довільної довжини. Можливість варіювання довжинами прутків обмежується вимогою максимального використання поверхні холодильника. Також є обмеження довжини останнього прутка, оскільки короткі прутки погано транспортуються від ножиць до холодильника та «засмічують» його настил.

Якби можна було забезпечити порізку прокату на прутки кратні всі мірному стрижню і без появи кінцевих укорочених прутків, то тоді при наявності підрівнювання передніх кінців створюються умови для виключення проблеми втрат на НМС.

Особливу увагу слід приділити системам розкрою прокату, що застосовуються. В основі функціонування систем розкрою лежить алгоритм складання плану розкрою для кожної заготовки, його реалізація – алгоритм керування летючими ножицями і алгоритм укладання відокремлюваних від прокату прутків на настил холодильника [17, 26].

Провідними дослідниками НТУ «Дніпровська політехніка» були здійснені роботи, спрямовані на розробку принципів керування операціями виробництва прокату в стрижнях, які забезпечують максимально можливий

вихід мірного прокату при будь-якому складі устаткування вихідної сторони сортопрокатного стану [5, 27, 65]. У запропонованому алгоритмі відносна величина втрат мірної продукції не перевищує відношення мірної довжини до довжини прокату від однієї заготовки на виході з випускної кліті. Незважаючи на це, в роботі немає обґрунтування ефективності застосування цього алгоритму розкрою для різних профілерозмірів металопрокату.

Відома система автоматизованого керування розкром прокатів на стані 250, що розроблена НВО «Дніпрочорметавтоматика» [17], яка реалізує такий спосіб розкрою, при якому прокат розкроюється на прутки двох модифікацій довжини. Спочатку від прокату відрізуються прутки, довжина яких є максимально можливою, враховуючи габарити холодильника, і кратна довжині мірного стрижня (перша модифікація довжини). потрапляння заднього кінця заготовки в кліті чорнової групи відбувається прогнозування довжини прокату, який буде прокатаний з ще не розкровою частини цієї заготовки, і здійснюється розкрий цієї частини на прутки однакової довжини (друга модифікація довжини)

$$l_p = m \times l_{np, \max} + n \times l_{np, II} ,$$

де m и $l_{np, \max}$ - кількість і довжина прутків першої модифікації, n и $l_{np, II}$ - кількість і довжина прутків другої модифікації.

Прогнозування довжини подальшого прокату здійснюється за часом переміщення заднього торця попереднього прокату через стан (метод контрольної заготовки). Точність цього методу $\pm 0,5\%$ [17].

Недолік даної автоматизованої системи розкрою полягає в тому, що в результаті розкрою довжина всіх прутків другої модифікації на холодильнику не кратна довжині мірного стрижня. Тому під час подальшого розкрою цих прутків на стрижні неминуче будуть утворюватися немірні пачки.

Також відома система [40], яка реалізує спосіб розкрою, при якому забезпечується зниження втрат мірної продукції шляхом порізки прокату з урахуванням рівномірного розподілу мірних довжин і немірного залишку

між прутами, які відділяються від прокату, за рахунок цього збільшується вихід мірних прутків при збереженні кількості пачок, що містять прутки як мірної, так і немірної довжини. В результаті розкрою прокату, утворюються прутки двох модифікацій, які відрізняються один від одного на мірну довжину. Однак при подальшому розкрої пакета даних прутків утворюється одна пачка стрижнів, яка містить стрижні як мірної так і немірної довжини.

Способам і системам розкрою прокату на БДС присвячена велика кількість робіт [1, 6, 17, 19, 25-28, 33, 40-42]. Незважаючи на це, існує ще резерв збільшення виходу мірного металопродукату за рахунок удосконалення алгоритмів та автоматизованих систем розкрою на БЗС і БДС за рахунок їх узгодження.

Вихід мірного прокату і втрати придатного металу в обрізь залежить як від алгоритмів керування процесами розкрою, так і від складу та конструктивних особливостей обладнання. На прокатних станах склад обладнання, що забезпечує операції виробництва мірного прокату не завжди відповідає рівню аналогічного обладнання сучасних станів. Так, наприклад, для підвищення виходу мірного прокату на сучасних станах використовують старт-стопні летючі ножиці для розкрою прокату на заміну барабанних летючих ножиць, що постійно обертаються [5, 15, 34].

Таким чином, у результаті виконаного аналізу переваг різних способів і систем розкрою прокатів в цілому, не можна не відзначити, що теоретичні дослідження, природно дають результати, що відрізняються від тих, які мають місце в реальних умовах роботи стану при існуючому обладнанні. Більш достовірні результати можуть бути отримані методом комп'ютерного моделювання, який передбачає складання алгоритму, що імітує досліджуваний процес прокатки і розкрою на БДС.

1.7 Визначення похибки при розкрої прокату на прутки мірних довжин

Прокат, що виходить з валків останньої кліті НМС, ділиться летючими ножицями на прутки, довжина яких визначається прийнятою програмою

розкрою, а також неточністю порізки в умовах дії зазначених вище збурюючих факторів.

При постійній лінійній швидкості V_H ножового барабану летючих ножиць і швидкості прокатки можна відрізати пруток, довжина якого змінюється дискретно на величину, кратну розгортці барабану. Лінійна швидкість ножиць перевищує швидкість прокатки на 2-7% [4, 5, 7].

Для порізки прокату на прутки заданої довжини вибирають певне ставлення швидкості ножиць до швидкості металу і числа обертів барабану між різами. Регулювання швидкості ножиць виконується на основі формули

$$l_{\text{прт}} \cdot k_0 = \pi \cdot D_H \cdot N, \quad (1.1)$$

де D_H - діаметр барабану по ріжучій кромці ножа; N – число обертів барабану між суміжними різами; $k_0 = \frac{V_H}{V_{\text{пр}}}$ - коефіцієнт обгону летючих ножиць, рівний величині відношення лінійної швидкості ножів V_H о швидкості прокатки $V_{\text{пр}}$; $l_{\text{прт}}$ - довжина прутка.

Ця формула може бути представлена у вигляді:

$$V_H = \frac{1}{l_{\text{прт}}} \cdot \pi \cdot D_H \cdot N \cdot V_{\text{пр}} \quad (1.2)$$

Зміною числа N обертів барабану між суміжними різами можна забезпечити тільки дискретну зміну довжин прутків на величину пропорційну розгортці барабану. Зміна довжини прутків всередині діапазону дискретності обмежена можливостями допустимого зміни коефіцієнта обгону ножиць, значення якого регламентуються інструктивними документами і знаходяться в діапазоні $k_0 = 1,02 \dots 1,12$.

Таким чином, двобарабанні летючі ножиці з механізмом пропуску різку не мають можливості забезпечити кратність $l_{\text{прт}}$. Відзначимо, що під час розкрою має місце похибка, пов'язана зі зміною коефіцієнта пропорційності лінійної швидкості прокату частоті обертання електроприводу випускній кліті через зміни натягу прокату перед кліттю. Виняток дискретності

можливо при використанні для порізки прокату летючих ножиць з запуском на різ [78]. Узгодження швидкості ножів зі швидкістю прокату відбувається за допомогою тахометричного способу керування. Точність відрізаних довжин забезпечується пуском ножиць перед кожним різом з строго фіксованого положення.

Летючі ножиці, які працюють за заданою програмою зміни швидкості обертання двигуна в періоди між різми і з вирівнюванням швидкості ножів і металу під час різу, забезпечують точність порізу $\pm 100 \div 150$ мм.

Для старт-стопних летючих ножиць автоматичне розрізання прокату на необхідні довжини здійснюється шляхом порівняння відстані пройденого прокатом і ножами. Зміна лінійної швидкості прокату в процесі руху ножів призводить до виникнення додаткової похибки різу, яка може бути досить суттєвою.

Ця похибка може бути викликана, як зміною величини випередження прокату в кліті, так і, що більш істотно, зміною частоти обертання приводу кліті, наприклад, через роботу системи автоматичної стабілізації режиму прокатки [36, 85, 86]. Через мінливість швидкості $V_{пр}$ прокатки та неточності $\Delta S_{н.нач}$ зупинки ножа в початковому положенні, реальна величина довжини різу $\Delta l_{рез}$ буде змінюватись випадково. При різанні прокату летючими ножицями на стані 250-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», обладнаними пристроєм синхронізації, різниця в довжинах основних прутків склала $\pm 0,24$ м [26].

Таким чином, для збільшення виходу мірного прокату при його розкрої необхідно враховувати не тільки тип ножиць, але і закон керування.

1.8 Аналіз підсистеми технологічного процесу виробництва мірного стрижневого прокату

Технологічний процес обробки продукції при виробництві прокату в стрижнях може бути представлений як двустадійний процес з першою

стадією формування пакета прутків і другою – формування товарних пачок стрижнів [7].

З систем автоматизації вихідної сторони дрібносортового стану, що мають найбільш визначальний вплив на вихід мірної продукції і величину відходів придатного металу в обрізь, крім автоматизованої системи розкрою також надає і система, яка забезпечує формування пакета прутків на холодильнику [5, 18].

Комплекс технологічних операцій, що визначають вихід мірного стрижневого прокату, найбільш повно був досліджений В.С. Єгоровим [6]. Ним вперше були сформульовані умови транспортування прутків до холодильника, запропоновані нові стратегії формування пакета прутків і правила його розкрою на стаціонарних ножицях. Однак застосований графоаналітичний спосіб, не дивлячись на свою наочність, в ряді випадків не дає можливості в повній мірі й з достатньою точністю розрахувати необхідні керуючі впливи.

Питання транспортування і гальмування прутків досліджені О.Е. Потапом [18]. Ним сформульована і вирішена задача оптимізації процесу транспортування, яка полягає в мінімізації часу розгону прутків до сталої швидкості, що забезпечує безаварійний поділ прутків перед холодильником, зменшення їх розкиду на його настилі і зниження швидкості прутків перед скиданням [18]. В роботі доведено ефективність застосування примусового електромагнітного гальмування термозміцненого прокату для позиціонування прутків на холодильнику. Не дивлячись на це, в роботі не досить враховані фактори мінливості геометричних розмірів прутків, що тягне за собою додатковий розкид торців при гальмуванні.

Для зупинки прутків приблизно на одному рівні по передніх кінцях застосовують спеціальні системи автоматизації, що забезпечують скидання прутків з рольганга в певний момент часу [60–64]. Внаслідок особливостей розкрійного плану і впливу випадкових факторів на процес розкрою прутки в пакеті мають різну довжину. Разом з тим через різну довжину прутків, що

виходять на холодильник, а отже, неоднакову їх масу практично не вдається забезпечити зупинку прутків на одному рівні по передньому кінцю (розбіг досягає до 2-7 м). При цьому в пакеті, зібраному на зворотному рольгангу, неможливо вирівняти кінці під упор через малу згинальну жорсткість прутків дрібносортного прокату. Крім цього розкид може бути по переднім або по заднім торцях, в залежності від обраного алгоритму укладання дрібносортного прокату на холодильник.

У зв'язку з цим на ножицях холодного різання отримують відходи металу в обрізь, тому що доводиться виконувати перший різ на ножицях з таким розрахунком, щоб відрізати передні кінці всіх прутків, що знаходяться в пакеті. Тому, від початкової і кінцевої ділянок пакета відокремлюють пачки, що містять стрижні різної довжини. В результаті формується немірна товарна продукція (згідно ГОСТ 34028-2016, вихід немірного прокату не повинен перевищувати 3% від загальної маси партії) і технологічна обрізь (прутки довжиною до 6 метрів), яка направляється на переплавку.

Щоб усунути цей недолік, холодильники нових станів обладнують спеціальними роликівими пристосуваннями, що підтягують. Так, наприклад, на стані 250-5 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» одна із секцій рейкового холодильника обладнана таким пристосуванням [63, 64]. Необхідно відзначити, що це пристосування надійно працює лише при виробництві великих розмірів дрібносортної сталі. На малих перетинах (наприклад, сталь кругла діаметром 8-12 мм) внаслідок малої жорсткості відбувається провисання прутків на роликах, їх кінці йдуть під рольганг тощо). Крім того, в разі необхідності переміщення прутків на великі відстані, з'являються складності через обмеження часу підтягування тривалістю циклу роботи рейок холодильника, що перекладають. При збільшенні швидкості обертання роликів, що підтягують, з'являється прослизання [106, 107].

Власні втрати на ділянці холодного різання – це погано організована операція розкрою: відсутнє безупорне підведення пакета прутків і є неточне його підведення під ніж. Тому в даний час ведеться інтенсивний пошук

технічних рішень по здійсненню підтяжки прутків дрібних перетинів на холодильнику дрібносортового стану, точного підведення і позиціонування пакету прутків.

Як видно з проведеного аналізу, найбільш перспективним напрямком збільшення точності гальмування прутків арматурного дрібносортового прокату є застосування керованого електромагнітного гальмування прокату на холодильнику. Цілком очевидно, що подальший резерв збільшення виробництва мірного прокату лежить у взаємопов'язаному керуванні комплексом операцій його виробництва, яке повинно враховувати особливості технологічного процесу і обладнання прокатного стану.

1.9 Огляд і обґрунтування вибору критерію розкрою металопрокату

Об'єктивні оцінки ефективності систем розкрою ґрунтуються на економічних критеріях [69, 71, 121].

В роботі [20] розглянуті приклади розв'язання ряду оптимізаційних задач прокатного виробництва. В якості базових критеріїв вибираються «локальні критерії оптимізації» або «наскрізні критерії». «Наскрізні критерії ефективності» застосовуються в основному для вибору оптимальної стратегії розкрою на БЗС з урахуванням наступних переділів.

Залежно від замовлення на мірний прокат на прокатному стані критерії мають різний вигляд. Застосовують наступні критерії: мінімум втрат придатного металу в обрізь, максимум корисного використання довжини або площі настилу холодильника.

Якщо прокатні стани розглядати незалежно один від одного, то в критеріях ефективності, що пред'являються до результатів розкрою прокату на цих станах, можуть бути істотні відмінності.

Так, для заготівельних станів більш доцільним є рівномірний розкрій прокатної штанги на заготовки, що забезпечує безостаточну порізку. Разом з тим, БДС зацікавлені в отриманні з БЗС вихідних заготовок мірних довжин

для виробництва готового прокату мірної довжини, що становить основну частку від загального випуску продукції на сортових станах.

Найбільш перспективним для ланцюжка прокатних станів є підхід, заснований на ідеї наскрізного розкрою.

В роботі [70] метод наскрізної оптимізації використовують для визначення довжини різання прокатів на летючих ножицях безперервно-заготівельного стану з урахуванням роботи комплексу безперервно-заготівельний стан – методична піч – сортовий стан. Функція наскрізної оптимізації (функція втрат) враховує: втрати від обрізі придатного металу на БЗС (С1), збільшення витрати палива через нагрівання в методичній печі укорочених заготовок (С2), втрати від додаткової обрізі на сортовому стані при розкрої укорочених заготовок (С3), зміна продуктивності БДС за рахунок прокатки додаткового металу, що йде у відходи, і збільшення числа пауз через прокатки більшого числа заготовок (С4). Таким чином, сумарна величина втрат становитиме

$$C_{\Sigma} = C1 + C2 + C3 + C4 \quad (1.3)$$

Складові суми описуються виразами:

$$C1 = \delta_{\text{НОМ}} \cdot q \cdot (C_{\text{НЗС}} - C_{\text{МЛ}}); \quad (1.4)$$

$$C2 = C_{\text{П}} \cdot q \cdot \sum_{j=1}^p (L_{\text{НОМ}} - L_j) \cdot Y_{\text{П}j}; \quad (1.5)$$

$$C3 = q \cdot \sum_{j=1}^p (L_j - E[\frac{L_j \cdot \mu_{\text{НМС}}}{l_{\text{НМС}}}] \cdot \frac{l_{\text{НМС}}}{\mu_{\text{НМС}}}) \cdot C_j \cdot Y_{\text{П}j}, \quad (1.6)$$

де

$$C_j = \begin{cases} C_{\text{НМС}} - \omega_{\text{ОТ}} & \text{при} \left| \begin{array}{l} L_j - E[\frac{L_j \cdot \mu_{\text{НМС}}}{l_{\text{НМС}}}] \cdot \frac{l_{\text{НМС}}}{\mu_{\text{НМС}}} < l_{2c} \\ L_j - E[\frac{L_j \cdot \mu_{\text{НМС}}}{l_{\text{НМС}}}] \cdot \frac{l_{\text{НМС}}}{\mu_{\text{НМС}}} \geq l_{2c} \end{array} \right. \\ C_{\text{СС}} - C_{2c} & \end{cases}, \quad (1.7)$$

$$C4 = [\frac{t_{\text{П}} \cdot \Pi_{\text{НМС}} \cdot L_{\text{НОМ}} \cdot (K - K_{\text{НОМ}})}{3600} + \delta_j - \delta_{\text{НОМ}}] \cdot q \cdot W'; \quad K = \sum_{j=1}^p Y_j, \quad (1.8)$$

де $C_{\text{БЗС}}, C_{\text{НМС}}, C_{2\text{с}}$ - ціна продукції відповідно після БЗС, готового прокату після БДС першого і другого сортів, грн/т; $C_{\text{МЛ}}$ - ціна металобрухту, грн/т; $C_{\text{П}}$ - витрати по нагріванню в методичній печі, грн/т; $K, K_{\text{НОМ}}, Y_j$ - відповідно кількість заготовок при порізі прокату на довжини $l_j, l_{\text{НОМ}}$ и число заготовок кожної довжини L_j (усього різних довжин $j = 1, 2, \dots, p$); $\mu_{\text{НМС}}$ - коефіцієнт витяжки при прокатці на НМС; $l_{\text{НМС}}$ - довжина порізу прокату на НМС; $l_{2\text{с}}$ - мінімальна довжина порізу прокату на БДС, що здається другим сортом; $t_{\text{П}}$ - тривалість паузи між заготовками на БДС, с; $P_{\text{НМС}}$ - продуктивність сортового стану при прокатці заготовок даного перетину, шт/ч; w' - умовно-постійна частина витрат по переділу на БДС, грн/т; $\delta_j, \delta_{\text{НОМ}}$ - величина відходів при розкрої прокату на БЗС на заготовки довжиною, відповідно L_j и $L_{\text{НОМ}}$; Q - маса 1 м довжини заготовки даного перетину, кг/м.

В результаті рішення задачі оптимізації розкрою прокату на летючих ножицях БЗС вибирають варіант розкрою, що дозволяє мінімізувати значення цільової функції (1.3).

Проте ця функція (1.3) носить неповний і спрощений характер. Так, наприклад, продуктивність БДС в більшій мірі залежить від зміни довжини вихідної заготовки, ніж це представлено у формулі С4, а втрати від нагрівання заготовок не значні в порівнянні з втратами на обрізь.

У роботах [19, 21] описаний наскрізний критерій ефективності розкрою на БЗС з урахуванням сортового стану

$$Q = f_1 - f_2 + f_3, \quad (1.9)$$

де f_1 - вартісні втрати в обрізь на БЗС; f_2 - втрати в обрізь на сортовому стані;

f_3 - прибуток від збільшення виробництва на сортовому стані при зниженні втрат в обрізь на БЗС.

Показано, що при побудові критеріїв ефективності необхідно враховувати основні економічні показники розкрою і показники ділянок,

пов'язаних з операціями розкрою. Недолік критерію полягає в тому, що в ньому не враховується двустадійність розкрою при оцінці втрат в обрізь на БДС.

В роботі [6] описано, що програми розкрою повинні враховувати кратність прутків на БДС довжині мірного стрижня і обмеженість довжини кінцевого прутка мінімальним значенням. Метод, викладений в цій роботі, спрямований на вибір оптимальної стратегії розкрою на БЗС стосовно випуску мірного прокату на БДС. Однак при виборі дозволеного інтервалу довжин заготовок необхідно знати фактичні коефіцієнти витяжки прокату на станах, що в ряді випадків утруднено.

В роботі [20] питання наскрізної оптимізації розширено з тим, щоб охопити ланцюжок «блюмінг – заготівельний – сортовий стан». Тут вважається, що маса блюма має переважаючий вплив на результати порізки штанги на заготовки, довжина яких виявиться найкращою для БДС при виробництві на ньому мірного готового прокату. Однак забезпечення належного дозування маси (довжини) блюма, що надходить на БЗС не зможе забезпечити максимальний вихід міри на БДС через можливе застосування додаткових зачисних різів на ножицях стану 730/500 та на аварійних ножицях після чорнової групи клітей БДС. Незважаючи на те, що теоретично показано, що наскрізний розкрій в рамках прокатного переділу дає зниження собівартості прокату, до теперішнього часу технологія наскрізного розкрою при виробництві мірного прокату не застосовується.

На основі проведеного системного аналізу технологічної схеми виробництва заготовок і дрібносортного прокату, потрібно звернути увагу на те, що при виробництві дрібносортних профілів довжина заготовки і вихід мірного стрижневого прокату взаємопов'язані. У разі, коли зв'язок слабкий, то доцільно використовувати критерій максимального заповнення холодильника, який забезпечить більш високу продуктивність стану:

$$Z = \sum_1^{n_{\text{прт } 3}} l_{\text{прт } (i)} \Rightarrow \max \quad (1.10)$$

де $n_{\text{прт}_z}$ – кількість прутків заданої довжини; $l_{\text{прт}(i)}$ – довжина i -го прутка з багатьох відрізків заданої довжини.

Для більших профілів металопрокату, коли під час прокатки однієї заготовки отримують один-два прутка необхідно вибирати критерій по максимальному виходу мірного прокату [5, 69]:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n l_M \cdot n_{M,i} \Rightarrow \max \quad (1.11)$$

де l_M - мірна довжина (за умовами заказу); $n_{M,i}$ - кількість мірних стрижнів в i -ій пачці.

З огляду на вищевикладене, можна сформулювати загальний економічний критерій ефективності розкрою на БЗС (при $L_{\min} \leq L_3(i) \leq L_{\max}$, $G_{\min} \leq G_3(i) \leq G_{\max}$) и НМС (при $l_{\min} \leq l_{\text{прт}}(i) \leq l_{\max}$, $g_{\min} \leq g_3(i) \leq g_{\max}$):

$$Q = a_1 \cdot [L_{\text{шт}}^{\text{НЗС}}(n) - \sum_{i=1}^m L_3(i)] + a_2 \cdot [l_{\text{р}}^{\text{МС}}(i) - \sum_{r=1}^R l_{\text{прт}}(r)] + a_3 \cdot [\sum_{r=1}^R l_{\text{прт}}(r) - \sum_{s=1}^S l_{\text{ст}}(s)] \rightarrow \min \quad (1.12)$$

де Q – очікувані втрати, віднесені до однієї прокатної штанги БЗС при прокатці певного профілерозміру готового прокату, грн; $a_1 a_2 a_3$ – собівартість одного кілограма заготовки, прокату, прутка, грн.; $L_{\text{шт}}^{\text{НЗС}}(n)$ – довжина штанги БЗС за n -м планом, який призначений для отримання заготовок, що передаються дрібносортному стану, м; $L_3(i)$ – довжина i -ої заготовки БЗС, м; $l_{\text{р}}^{\text{МС}}(i)$ – довжина прокату дрібносортного стану, м; $l_{\text{прт}}(r)$ – довжина прутка дрібносортного стану, м; $l_{\text{ст}}(s)$ – довжина стрижня дрібносортного стану, м; m – кількість заготовок прокату БЗС, шт; R – кількість прутків дрібносортного стану, шт.; S – кількість стрижнів дрібносортного стану, шт.

Таким чином, визначення ефективності розкрою металопрокату є багатокритеріальною задачею. При цьому, вибираючи критерії ефективності розкрою, необхідно враховувати технічні особливості прокатних станів і

сортамент металопрокату. Також можна обмежитися процесом виробництва сортової заготовки на БЗС і виробництвом стрижневого прокату на БДС.

Пов'язані з цим припущення розроблені і подані далі в цій роботі.

1.10 Висновки та постановка задачі дослідження

В результаті виконаного аналізу виробництва заготовок і стрижневого металопрокату встановлено, що одним з найважливіших факторів, що забезпечує економію прокату чорних металів шляхом мінімізації наднормативних відходів виробництва, є їх ефективний розкрій. Технологічна схема виробництва заготовок і дрібносортового стрижневого прокату включає багаторазовий розподіл продукту при різних способах розкрою. При кожній операції розкрою виникають втрати, що пов'язані з одного боку з забезпеченням продуктивності стану, а з іншого – із забезпеченням максимального виходу мірної продукції.

Аналіз існуючих способів і систем керування розкром прокату показав наступні недоліки:

- достовірно спрогнозувати очікувану довжину прокатної штанги, отриманої зі злитка, через втрати металу при нагріванні і вогневій зачистці злитків, а так само, через вилучення торцевої утяжки блюмів не представляється можливим. Недосконалість технології і недостатня точність системи розкрою прокатної штанги виключає можливість отримання заготовки точно заданих розмірів (маси);

- при виробництві заготовки на БЗС похибка прогнозування довжини прокатної штанги і її порізки на заготовки викликає додатковий розкид довжини заготовок в пакеті і впливає на величину обрізи придатного металу;

- при реалізації розкрою безперервного злитка на багатострумковій МБЛЗ, особливо при закінченні розливання через некратність залишкової маси металу в промковшій масі мірної заготовки, з'являються відходи

придатного металу у вигляді немірних залишків на рівчаках, що далі направляють на переплавку і досягають 6% від маси плавки;

– прокатка середньої частині заготовки з міжклітьовими зусиллями призводить до зменшення поперечних розмірів прокату в порівнянні з кінцевими ділянками, що тягне за собою зміну перетину на кінцях прокату і мінливість швидкісного режиму прокатки;

– відомі способи розкрою не виконують одночасно умови забезпечення максимального заповнення охолоджуючої поверхні холодильника, виключення виникнення коротких прутків і дотримання умови кратності довжини прутків довжині мірного стрижня;

– через мінливість швидкісного режиму прокатки та різну довжину прутків, що виходять на холодильник, а отже, неоднакову їх масу не вдається забезпечити зупинку прутків на одному рівні по передньому кінцю. Застосовувані підрівнювальні рольганги малоефективні при вирівнюванні торців прокату малого перетину через його малу згинальну жорсткість і обмежений час переміщення, а примусове електромагнітне гальмування можна застосовувати тільки для термозміщеного прокату;

– на ножицях холодного різання з'являються великі відходи металу в обрізь, тому що доводиться перший різ на ножицях виконувати з таким розрахунком, щоб відрізати передні кінці усіх прутків, що знаходяться в пакеті. При цьому вихід немірного прокату може досягати 3% в обсязі товарного прокату.

Так як основна мета роботи направлена на мінімізацію наднормативних втрат придатного металу при його розкрої в умовах масового виробництва мірного стрижневого прокату, то для її досягнення необхідна реалізація взаємопов'язаного керування комплексом операцій його виробництва, яке повинно враховувати особливості технологічного процесу і обладнання прокатного стану.

З огляду на вищевикладене, для визначення шляхів скорочення наднормативної обрізи та збільшення виходу мірного прокату необхідно вирішити наступні науково-технічні задачі:

1. Дослідити технологічний процес прокатки заготовок на безперервному дрібносортному стані, а також вплив геометричних параметрів заготовки на вихід мірної продукції на БДС.

2. Встановити, з урахуванням імовірнісного характеру розподілу довжини прутків, якісні та кількісні залежності, що зв'язують вихід мірних стрижнів з довжиною і масою заготовки.

3. Дослідити і вирішити задачу визначення розкрійного плану прокатної штанги на заготовки з урахуванням мінімальних сумарних залишків і максимального виходу мірної продукції.

4. Обґрунтувати критерії і розробити взаємопов'язані алгоритми розкрою для БЗС і БДС, що забезпечують максимальний вихід мірної продукції.

5. Розробити методи керування технологічними операціями на БДС, що забезпечують скорочення втрат металу на обрізь і максимальне заповнення холодильника.

РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ТА МІРНОГО СТРИЖНЕВОГО ПРОКАТУ

2.1. Визначення статистичних характеристик розмірів заготовки на безперервному заготовочному стані

З метою визначення резервів збільшення виходу мірної продукції на безперервних дрібносортних станах (БДС) за рахунок вдосконалення процесу керування розкром прокату на безперервних заготовочних станах (БЗС), проаналізуємо статистичні параметри довжини, поперечного перерізу прокатної штанги і отриманих з неї заготовок на БЗС.

Виділимо найбільш суттєві чинники, що впливають на геометричні розміри прокатної штанги на виході БЗС і розміри отриманих з цієї штанги заготовок. Це неточне дозування маси зливків, значні відхилення геометричних розмірів блюмів і непостійна величина технологічної обрізі при зачистці головної та донної частини блюмів на ножицях. Також поперечний переріз і довжина прокатної штанги на виході БЗС залежать від точності налаштування прокатного стану (режимів обтиснень), температури блюма, зносу калібрів валків тощо. З довжиною прокатної штанги на БЗС пов'язана довжина викроєних заготовок, довжина розкату на БДС і довжина прутків. У свою чергу довжина заготовок, визначається, в основному, точністю розкрою прокатної штанги на ножицях і, власне, способом розкрою.

З огляду на вищевикладене, для визначення шляхів збільшення виходу мірного товарного металопрокату, проведемо дослідження впливу технологічних факторів прокатки і розмірів заготовки на вихід мірної продукції і визначимо закон їх розподілу як випадкових величин. При цьому необхідно встановити статистичні характеристики довжин заготовок, отриманих при розкром прокатної штанги варіюючи геометричними параметрами штанги, величиною передньої обрізі і неточністю системи розкрою.

За результатами досліджень, наведених в роботах [1, 5, 6] із статистичної обробки технологічних факторів, стосовно до прокатних станів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» визначено основні імовірнісні розподіли геометричних розмірів прокатної штанги, а також отриманих з неї заготовок.

Згідно [1, 63] розподіл довжин штанг на БЗС блюмінга №1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» прийнято нормальним з наступними параметрами:

$$f(L_{ш}) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma(L_{ш})} \cdot \exp \left[-\frac{(L_{ш} - M(L_{ш}))^2}{2 \cdot \sigma(L_{ш})^2} \right] \quad (2.1)$$

де $M(L_{ш})$ - математичне очікування довжини прокатної штанги; $\sigma(L_{ш})$ - середньоквадратичне відхилення.

Статистичні параметри довжини прокатної штанги і її перетину зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Статистичні параметри довжини прокатної штанги і її перетину.

	Закон розподілу	$M(L_{ш})$	$\sigma(L_{ш})$
Довжина штанги, м	Нормальний	128,36	6,15
Перетин штанги, м ²	Нормальний	0,006346	0,0001892

Дрібносортні прокатні стани 250-1, 250-2 і 250-3 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» отримують заготовку від БЗС-1 на якому використовується система рівномірного розкрою. Згідно з технологічною інструкцією [3] нормативною технологічною обрізю переднього і заднього кінців прокатної штанги вважають обрізь завдовжки $L_{по_ш} = 0,25$ м и $L_{зо_ш} = 0,3$ м відповідно. Однак, на підставі проведених вимірювань передньої обрізі (табл. 2.2) і результатів статистичної обробки встановлено, що через неточності синхронізації швидкості обертання барабанів, зі швидкістю виходу металу з останньої кліті довжина обрізі переднього кінця прокатної штанги в ряді випадків відрізняється від номінальної з параметрами $M[L_{по_ш}] = 0,15$ м и $\sigma[L_{по_ш}] = 0,05$ м.

Таблиця 2.2 - Дані експериментальних вимірів довжини передньої технологічної обрізі прокатної штанги при виробництві заготовки 80x80мм на БЗС 730/500 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

№зп	Довжин а обрізі, мм	№з п	Довжин а обрізі, мм	№з п	Довжин а обрізі, мм	№з п	Довжин а обрізі, мм	№з п	Довжин а обрізі, мм
1	179	11	188	21	111	31	112	41	160
2	211	12	210	22	246	32	109	42	248
3	77	13	238	23	248	33	247	43	80
4	245	14	159	24	183	34	78	44	140
5	194	15	234	25	174	35	50	45	52
6	236	16	241	26	58	36	227	46	59
7	193	17	172	27	195	37	54	47	241
8	118	18	88	28	244	38	86	48	77
9	126	19	227	29	135	39	194	49	155
10	131	20	218	30	204	40	139	50	64

Таким чином придатну довжину прокатної штанги під розкрій на заготовки можна представити у вигляді:

$$L_{гш} = L_{ши} - M[L_{по_ш}] - L_{зо_ш} \quad (2.2)$$

де $L_{ши}$ – загальна довжина прокатної штанги після БЗС 730/500, м; $M[L_{по_ш}]$ – математичне очікування довжини обрізу переднього кінця прокатної штанги, м; $L_{зо_ш}$ – нормативна технологічна обрізь заднього кінця прокатної штанги, м.

Для визначення величини впливу довжин заготовок на розподіл довжини готового прокату визначимо статистичні параметри геометричних розмірів одержуваних заготовок.

Довжина кожної заготовки при рівномірному розкрої придатної частини прокатної штанги $L_{гш}$ і з урахуванням випадкових процесів в електромеханічній системі ножиць БЗС 730/500 [16, 84] розподілена по нормальному закону завдовжки $L_{з_r}$ зі середньоквадратичним відхиленням рівній точності різку на ножицях $\sigma[L_{тр}]$ і визначена виразом:

$$L_{зі} = normrnd(L_{з_r}, \sigma[L_{тр}]) \quad (2.3)$$

де $L_{з_р} = \frac{L_{гш}}{n}$ – довжина заготовки при рівномірному розкрої, м; $n = \left\lceil \frac{L_{гш}}{L_{з_маx}} \right\rceil$ – кількість заготовок при рівномірному розкрої однієї прокатної штанги $L_{гш}$; $L_{з_маx}$ – максимальная довжина заготовки; $\lceil \cdot \rceil$ – знак округлення до більшого; $\sigma[L_{тр}]$ – середньоквадратичне відхилення точності різі, м.

При розкрої прокатної штанги довжина кожної відрізаної заготовки дещо відрізняється від довжини попередньої (рисунок 2.1).

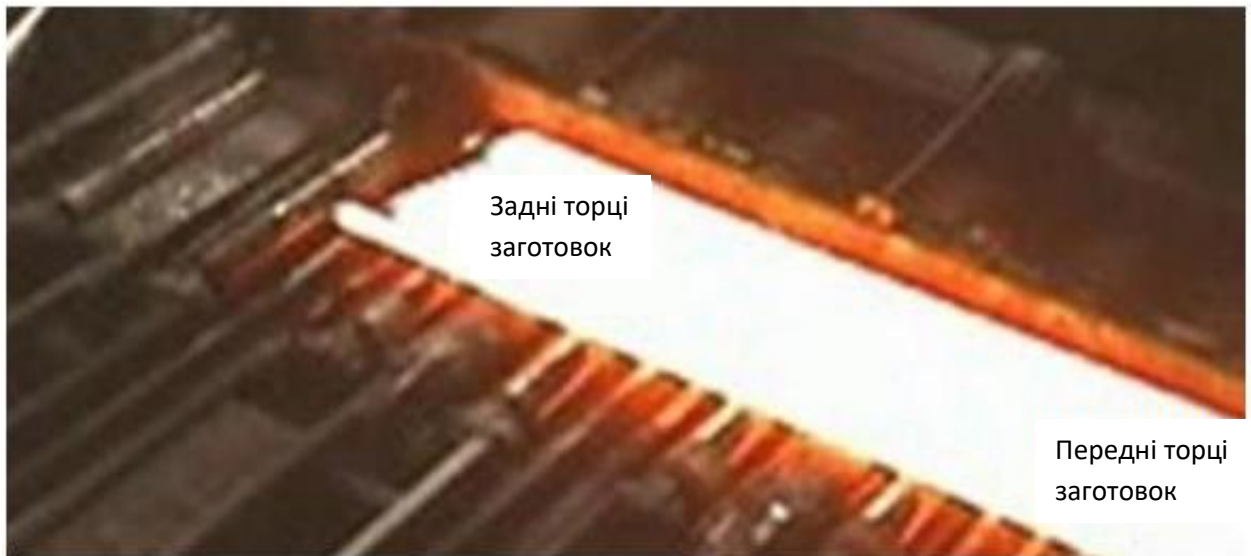


Рисунок 2.1 - Пакет заготовок після розкрою однієї штанги (передні торці вирівняні)

Для визначення дійсного розподілу довжин заготовок в пакеті при рівномірному розкрої прокатної штанги ножицями ВПЛН-150 на БЗС 730/500, проведено аналіз даних, отриманих з архіву системи керування розкрою.

Встановлено, що при наявному обладнанні системи розкрою розкид довжин заготовок в пакеті досягає $R[\Delta L_{з_пак}] = 0,15$ м. При цьому математичне очікування відхилення довжини заготовок в пакеті склало $M[\Delta L_{з_пак}] = 0,08$ м та середньоквадратичне відхилення $\sigma[\Delta L_{з_пак}] = 0,027$ м.

Таблиця 2.3 - Значення експериментальних вимірів довжин заготовок при рівномірному розкрої прокатної штанги ножицями ВПЛН-150 на БЗС 730/500 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Довжина штанги, м	Довжина заготовки, м	Довжина штанги, м	Довжина заготовки, м	Довжина штанги, м	Довжина заготовки, м
123,17	11,15	108,55	10,8	118,31	11,86
	11,12		10,94		11,81
	11,08		10,80		11,87
	11,16		10,94		11,85
	11,19		10,79		11,88
	11,23		10,81		11,89
	11,18		10,83		11,75
	11,24		10,91		11,78
	11,28		10,75		11,77
	11,25		10,99		11,85

Враховуючи теоретичну вагу стрижневого прокату, визначені розрахункові довжини для різного перетину прутків, які можуть бути отримані при прокатці частини заготовки площею поперечного перерізу $S_{заг} = 0,000064 \text{ м}^2$ та довжиною $R[\Delta L_{з_пак}] = 0,15 \text{ м}$ (табл. 2.4).

$$l_{розр} = \frac{S_{заг} * R[L_{з_пак}] * \rho_0}{P_{пр_теор}}, \quad (2.4)$$

де $S_{заг}$ - площа поперечного перерізу заготовки, м^2 ; $R[L_{з_пак}]$ - відхилення довжин заготовок в пакеті при розкрої однієї штанги, м; ρ_0 - питома щільність металу, $\text{кг}/\text{м}^3$; $P_{пр_теор}$ - теоретична вага стрижневого прокату, $\text{кг}/\text{м}$.

Таким чином, встановлено, що результати подальшої прокатки заготовки на БДС і розкрій прокату в значній мірі залежать від результатів виробництва заготовки.

Таблиця 2.4 - Розрахункові довжини для різного перетину прутків, які можуть бути отримані при прокатці частини заготовки площею поперечного перерізу $S_{заз} = 0,000064 \text{ м}^2$ та довжиною $R[\Delta L_{зпак}] = 0,15 \text{ м}$.

№ профілю	Теоретична вага стрижневого прокату, кг/м	Довжина стрижневого прокату, м	№ профілю	Теоретична вага стрижневого прокату, кг/м	Довжина стрижневого прокату, м
№6	0,222	33,8	№18	2	3,8
№8	0,395	19,0	№20	2,47	3,0
№10	0,617	12,2	№22	2,98	2,5
№12	0,888	8,4	№25	3,85	1,9
№14	1,21	6,2	№28	4,83	1,6
№16	1,58	4,7	№32	6,31	1,2

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що похибка розкрою прокатної штанги викликає відповідні випадкові коливання довжин заготовок в пакеті, які досягають $R[\Delta L_{зпак}] = 0,15 \text{ м}$. У свою чергу, похибка розкрою прокатної штанги вносить додатковий розкид довжин прокату на виході БДС при прокатці заготовок. Цей факт необхідно враховувати при побудові розкрійних планів при виробництві товарного металопрокату на БДС.

2.2 Дослідження моделі технологічного процесу прокатки на безперервному дрібносортному стані

У перших клітях чорнової групи сучасних сортових станів, через коливання розмірів перетину заготовок пов'язаних із зачищенням їх поверхні має місце порушення сталості секундних об'ємів, що призводить до значних змін міжклітьових зусиль [29, 103, 104]. У свою чергу, зміна поздовжніх зусиль в перших клітях чорнової групи через випередження металу призводить до порушення швидкісного режиму всього прокатного стану і, як наслідок, знижується точність прогнозування довжини розкату на виході

чистої групи клітей. Похибка прогнозу визначається багатьма факторами. Одним з них є вплив зміни швидкісного режиму прокатки в чорновій групі на сумарну витяжку і довжину розкату. Найбільш точним методом оцінки впливу на натяг прокату різних технологічних факторів було б проведення експериментальних досліджень, однак на діючому стані важко достовірно виміряти довжину прокату після останньої кліті стану, а тим більше величину натягу прокату в чорновій групі клітей.

Для встановлення впливу окремих складових технологічного процесу прокатки на зміну розмірів готового прокату була використана відома математична модель процесу одниткової безперервної прокатки в чорновій і чистовій групах клітей, до якої включена під модель регулювання петлі між чорною та чистовими групами та модель регулювання прогину прокату в останніх трьох проміжках чистої групи прокатного стану [7, 18, 89, 90].

У математичній моделі використана методика розрахунку показників формозміни і енергосилових параметрів, заснована на використанні методу відповідної смуги, який є основним при розрахунках калібрувань і широко застосовується в практиці моделювання сортової прокатки.

Деформація прокату в калібрах має характерні відмінності від деформації в гладких валках. Ці відмінності докладно описані в роботах [73, 91-96] і виникають вони, перш за все, через складність конфігурації осередку деформації в калібрі, через обмеженості розширення прокату в ньому, кантування прокату перед деякими клітями стану і з інших причин. Облік впливу всіх факторів, що впливають, наприклад, на зусилля прокатки в калібрі, призводить до громіздких розрахунковим формулам, а також відомі формули дають в ряді випадків помітні відхилення від експериментальних даних [18, 89, 93]. Тому при виконанні інженерних розрахунків доводиться вдаватися до спрощень, використовуючи для цього рішення, отримані для умов прокатки на гладкій бочці, тому що вони простіші, добре опрацьовані і мають зрозумілий фізичний зміст.

Відомо кілька прийомів переходу від аналізу прокатки в калібрах до аналізу прокатки на гладкій бочці [96]. Це так звані методи: відповідної, еквівалентній або приведеної смуги. При застосуванні будь-якого з них здійснюється свого роду проектування осередків деформації клітей безперервного стану з гладкими валками, який з тих чи інших прийнятих критеріїв адекватний реальному БДС. Якщо прийняти як критерій адекватності дотримання коефіцієнтів витяжки прокату в клітях безперервного стану, то в цьому випадку найзручніше скористатися методом відповідної смуги (див. [87]) А.Ф.Головіна, згідно з яким розміри відповідних смуг зв'язуються формулами

$$h_c = \sqrt{\frac{F}{a}}, \quad b_c = a_c \cdot h_c, \quad (2.5)$$

де $h_c, b_c, a_c = \frac{b_c}{h_c}$, F_c - висота, ширина, їх співвідношення і площа відповідного прямокутного профілю, що дорівнює площі поперечного перерізу прокату на вході (виході) калібру валків; $h, b, a = \frac{b}{h}$, F - те ж для фасонних профілерозмірів прокату, при цьому $F_c = F$.

Алгоритм розрахунку формозміни і енергосилових параметрів дрібносортового стану містить:

- дані, що містять вихідні значення профілю заготовки, калібрів клітей прокатного стану і технологічні параметри прокатки;
- цикл розрахунку формозміни металу в калібрах всіх клітей досліджуваного стану;
- обчислення енергосилових параметрів для кожної з клітей стану з урахуванням отриманої формозміни, а також параметрів прокатки;
- вивід отриманих результатів на екран.

Використовувана модель відрізняється від [7, 18, 90] доповненими контурами регулювання петлі і прогину. Модель дозволяє здійснювати «наскрізне» моделювання формозміни в відомих калібруваннях при зміні

технологічних факторів і енергосилових параметрів прокатки в чорновій і чистовій групі клітей прокатного стану БДС-250 [97-102].

Частина структури математичної моделі процесу одноступенчової безперервної прокатки представлена на рисунку 2.2. Модель включає ряд типових блоків, які моделюють геометричні, кінематичні та енергосилові параметри прокатки в клітях (блоки Кл), стан металу в міжклітьових проміжках (блоки Пр), роботу головних електроприводів прокатних клітей (блоки Еп), а також параметри заготовки (блок З) [98-102].

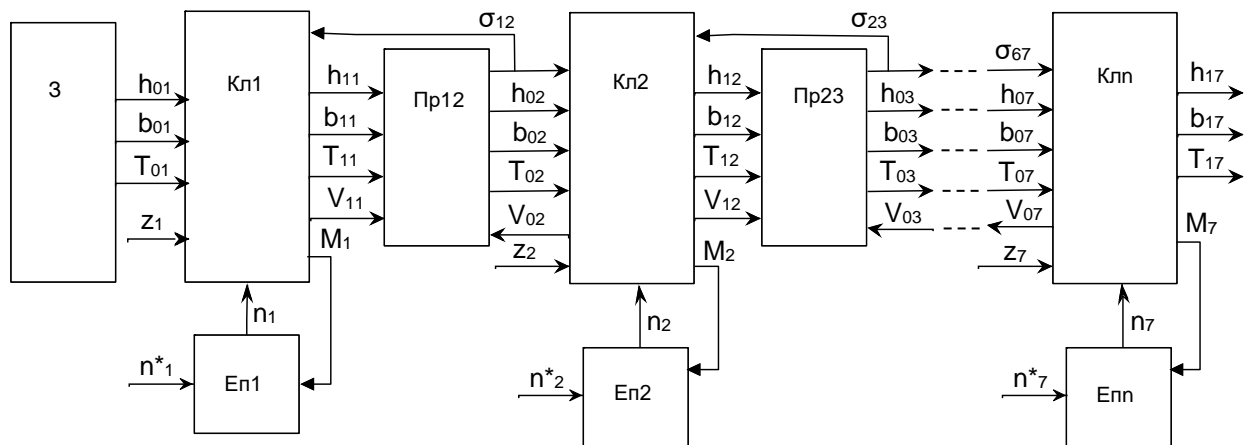


Рисунок 2.2 – Частина структури математичної моделі процесу одноступенчової безперервної прокатки

Вхідними змінними кожного блоку Клі, які моделюють процес деформації металу в кліті, є геометричні розміри (ширина b_{0i} та висота h_{0i}) и температура T_{0i} заготовки, передній $\sigma_{i,i+1}$ та задній $\sigma_{i-1,i}$ натяг, а також частота n_i обертання валу прокатного двигуна і міжвалковий зазор z_i . До вихідних змінних блоку Клі відносяться геометричні розміри (ширина b_{1i} та висота h_{1i}) і температура прокату T_{1i} на виході з кліті, швидкості металу на вході V_{0i} та виході V_{1i} кліті, зусилля P_i і момент M_i прокатки [101].

Розрахунок міжклітьових зусиль в зазначеній моделі здійснюється в блоках $\text{Пр}_{i,i+1}$, які моделюють стан металу в проміжках між клітями. Вхідними змінними цих блоків є швидкість V_{1i} , геометричні розміри b_{1i} та

h_{1i} , температура прокату T_{1i} на виході з попередньої кліті, а також швидкість прокатки V_{0i+1} на вході в наступну кліть.

Вихідними параметрами блоків $\text{Pr}_{i,i+1}$ є питомий натяг $\sigma_{i,i+1}$, а також температура T_{0i+1} та геометричні розміри b_{0i+1} і h_{0i+1} прокату на вході в наступну кліть, величина петлі та прогину прокату в міжклітьових проміжках. При цьому значення геометричних розмірів прокату на вході в наступну кліть повторюють значення на виході з попередньої з транспортним запізненням, відповідним часу переміщення металу через міжклітьовий проміжок.

В блоках Ep_i моделюється робота головних електроприводів прокатних клітей. На виході зазначених блоків формується поточне значення частоти обертання вала прокатного двигуна. Вхідними змінними тут є задані значення n_i^* частоти обертання валу двигунів і момент опору на валу двигуна, що представляє собою момент M_i прокатки в даній кліті.

Розрахунок формозміни металу в процесі прокатки в моделі включає наступні вхідні дані, для проведення обчислень:

- діаметр прокатки (ширина і висота профілю);
- зазор між валками;
- температура металу в момент прокатки в кожній з клітей;
- коефіцієнт тертя;
- швидкість прокатки в кожній з клітей;
- межа текучості металу;
- величина підпору і натягу;
- наявність інформації про кантування на 90 градусів;
- опис профілю перетину підкату в першу чорнову кліть.

При моделюванні процесу прокатки на БДС використовували методику робіт [18, 90] стосовно прокатці круглого профілю $\text{Ø}10$ мм в чистовій групі клітей дрібносортового стану 250-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Питомий натяг визначали в функції відносної неузгодженості швидкостей

кінцевих перетинів прокату в міжклітьовому проміжку з урахуванням впливу температури металу на модуль пружності прокату. При проведенні моделювання процес прокатки в чистовій групі проводили без натягу с регульованим прогином в трьох останніх міжклітьових проміжках. Вихідними параметрами заготовки визначили її довжину $L_3=11,26$ м, та ширину сторони $b=80$ мм. Параметри прокатних двигунів і редукторів взяті за даними дрібносортового стану 250-1 ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Зміна натягу в клітях проводили шляхом почергового зменшення частоти обертання кожного наступного приводу кліті в рівних процентних співвідношеннях (табл. 2.5). При цьому неузгодженість частоти обертання електроприводу на 0,5%; 1%; 1,5% взято по [4] з урахуванням граничних допустимих значень неузгодженості.

Таблиця 2.5 - Послідовність зміни натягу в клітях чорнової групи при неузгодженості частоти обертання електроприводу.

№ міжклітьового проміжку	Натяг прокату, Н/мм ²					
	7	7,5	8,2	5,8	9,2	7,5
1	10	9	9	6,2	10	8
2	7,1	10,1	9,7	6,6	10,7	8,5
3	7	7,6	10,5	7	10,8	8,8
4	7,1	7,8	8,3	8,6	11	8,8
5	7,1	7,7	8,4	5,9	12,3	9
6	7,1	7,7	8,4	5,9	9,2	9,9

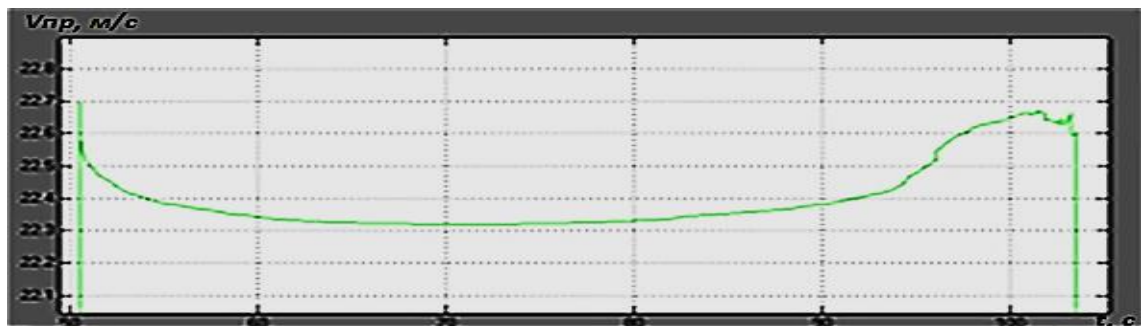
За експериментальними даними моделювання визначено, що найбільші відхилення довжини прокату на виході БДС при неузгодженості оборотів валків на 0,5%; 1%; 1,5%, відповідно склали $L_{w-0,5\%}=20,8$ м, $L_{w-1\%}=46,4$ м, $L_{w-1,5\%}=79,2$ м.

Таким чином, при реальних коливаннях частоти обертання валків в чорновій групі клітей зміна довжини прокату на виході з чистової групи клітей може скласти 20-50 метрів.

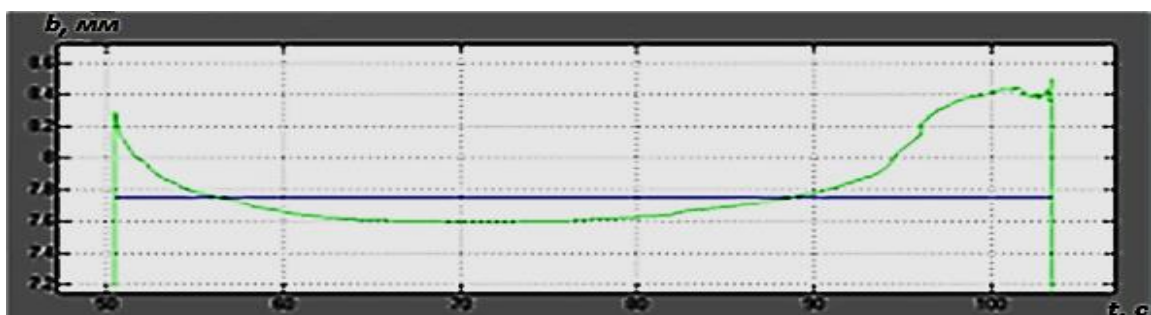
Недостатня точність системи непрямого обчислення натягу по якірним струмах електроприводу додатково вносить неточність в прогнозування довжини розкату.

Для визначення величини розкиду довжин прутків при рівномірному розкрою прокату по часу, проведено на моделі експериментальне дослідження. При цьому моделювання прокатки здійснювалося без системи регулювання прогину, з системою регулювання прогину з подачею керуючого впливу по ходу і проти ходу прокатки з однаковими розмірами заготовок $L_3=10,53$ м, $F_3=0,000064$ м².

Так, при рівномірному розкрої прокату без системи регулювання прогину, середньоквадратичне відхилення довжин прутків склало $\sigma[l_{пр}] = 0,42$ м, зміна швидкості прокатки на виході з останньої кліті $R[V_{пр}] = 0,35$ м/с (рис. 2.3). При цьому максимальне відхилення довжин прутків склало 2,53 метра, а зміна висоти профілю на 0,8мм.



а)



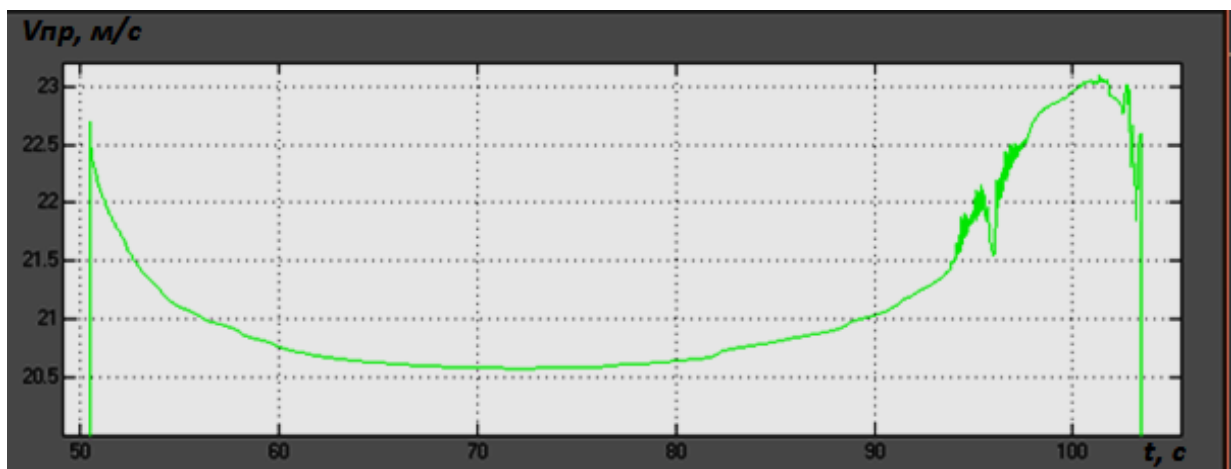
б)

а) – графік швидкості прокатки;

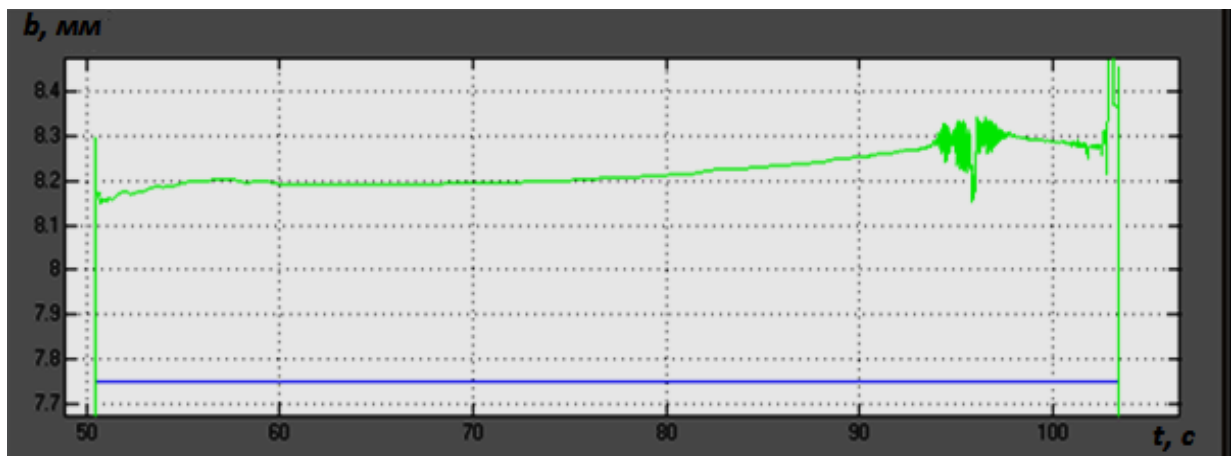
б) - графік зміни висоти і ширини прокату на виході з останньої кліті.

Рисунок 2.3 – Результати моделювання процесу прокатки без системи регулювання прогину.

Результати моделювання прокатки заготовки з системою регулювання прогину при подачі керуючого впливу по ходу прокатки показують, що середньоквадратичне відхилення довжин прутків складає $\sigma[l_{\text{пр}}] = 1,68 \text{ м}$, зміна швидкості прокатки на виході з останньої кліті $R[V_{\text{пр}}]=0,41 \text{ м/с}$ (рис. 2.4). При цьому максимальний розкид довжин прутків при рівномірному розкрою склав 10,1 метрів. Висота профілю практично не змінюється по всій довжині прокату.



а)



б)

а) – графік швидкості прокатки;

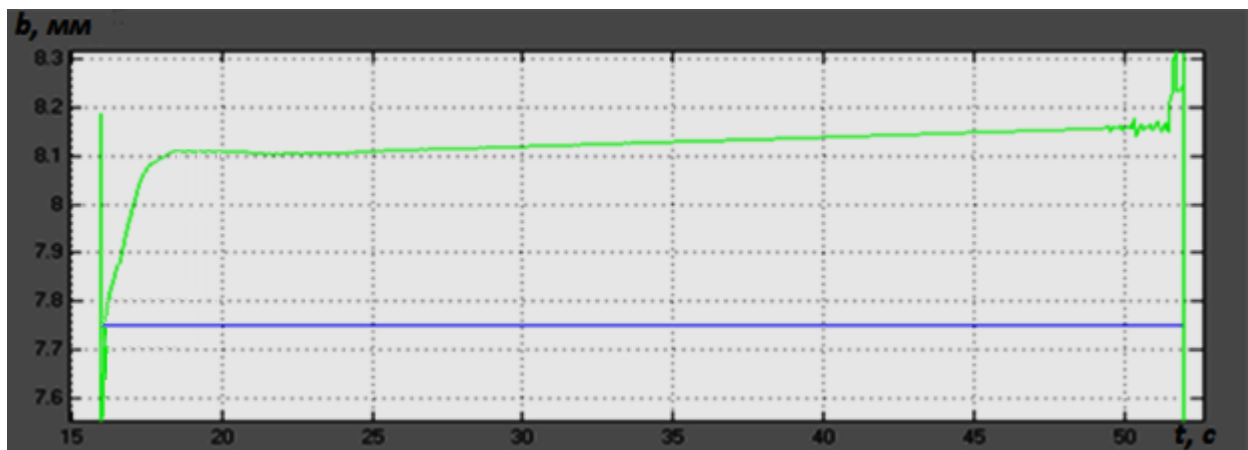
б) - графік зміни висоти і ширини прокату на виході з останньої кліті.

Рисунок 2.4 – Результати моделювання процесу прокатки з системою регулювання прогину при подачі керуючого впливу по ходу прокатки.

При керуванні швидкісним режимом прокатки в чистовій групі методом «назад», тобто при подачі керуючого впливу проти напрямку прокатки, результати моделювання показали, що швидкість прокату на виході з останньої кліти стабілізована і розміри перетину профілю не виходять за поле допусків (рис 2.5).



а)



б)

а) – графік швидкості прокатки;

б) - графік зміни висоти і ширини прокату на виході з останньої кліти.

Рисунок 2.5 – Результати моделювання процесу прокатки з системою регулювання прогину при подачі керуючого впливу проти ходу прокатки

Однак така система вимагає складної настройки регуляторів взаємопов'язаних приводів, крім того, викликає необхідність застосування додаткового обладнання для формування петлі на петлевому столі між

чорною і чистою групами клітей, висота якої може досягати 2,5 метрів (рис. 2.6) і, яку необхідно заздалегідь спрогнозувати.

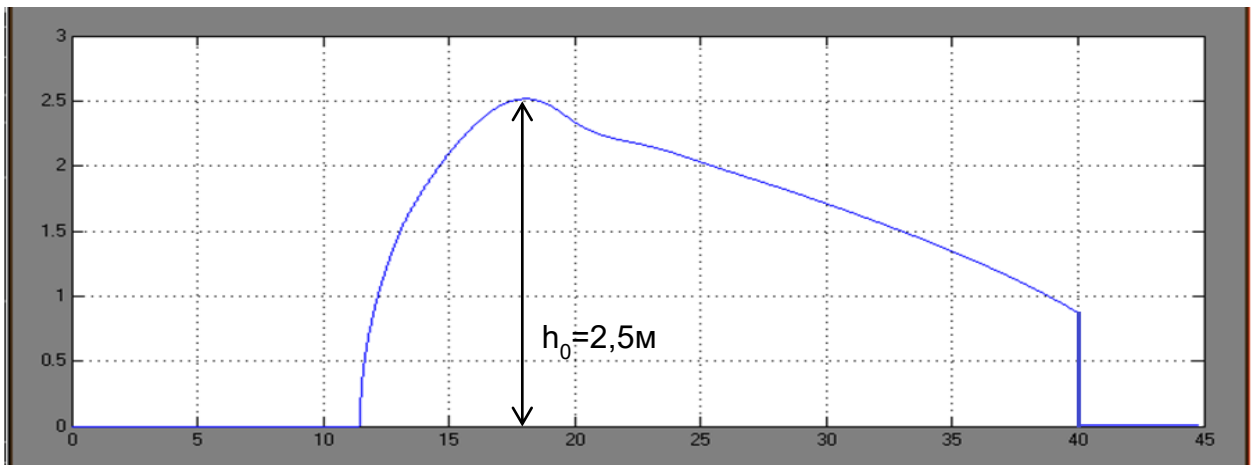


Рисунок 2.6 – Величина петлі прокату при моделюванні процесу прокатки з системою регулювання прогину (подача керуючого впливу проти ходу прокатки).

За допомогою моделі встановлено, що зменшення перетину заготовки на 1 мм^2 призводить до неузгодженості швидкостей в останньому міжклітьовому проміжку чорнової групи на величину $1\div 2\%$.

З огляду на результати моделювання прокатки на БДС 250-1 встановлено, що при середній швидкості прокатки 22 м/с її зміна може досягати 6% або $1,32\text{ м/с}$.

Неможливість створення на практиці умов, що відповідають умовам машинного експерименту, а також відсутність необхідних засобів вимірювання технологічних параметрів не дозволяють скористатися для оцінки адекватності моделі загальновідомими методами кількісного порівняння розрахункових кривих з експериментальними. Перевірка адекватності моделі здійснювалася шляхом зіставлення якісних ефектів, що виникають в процесі моделювання, при зміні параметрів обладнання (міжвалкового зазор, діаметр, частота обертання валків) і заготовки (розміри, температура), з відомими з практики ефектами, які спостерігаються при аналогічних впливах [6, 27, 38, 40, 46, 90]. З результатів проведеного моделювання слідує, що робота системи автоматичного регулювання

прогину значно впливає на швидкість прокату на виході з чистової групи клітей, а також зміни висоти профілю. При цьому, зміна швидкості прокату на виході з останньої кліті може перевищувати до 6% середню швидкість прокатки $M(V_{пр}) = 22 \text{ м/с}$. Це в свою чергу впливає на довжину відрізуваних прутків, розкид довжин яких склав 2,53м, отже позначається на величині наднормативної обрізі при порізці пакета прутків на стаціонарних ножицях.

2.3 Дослідження впливу температури і геометричних розмірів заготовки на зміну довжини прокату

2.3.1 Вплив температури заготовки на довжину прокату

Перед прокаткою заготовки піддаються нагріву 1180-1200 °С [4]. При цьому, температура різних заготовок може відрізнитися на 60-80 °С, що пояснюється випадковим характером і тривалістю простоїв пічного агрегату, нестабільністю режиму нагріву заготовок в печі і їх можливих затримок в лінії стану [120], а перепад температури по довжині окремої заготовки може досягати 40 °С (температурний клин). Цей факт також впливає на нестабільність коефіцієнта витяжки, і як наслідок - вихідну швидкість прокату на виході з чистової кліті БДС і довжину розкату. За експериментальними даними, отриманими при моделюванні, визначений коефіцієнт кореляції, і рівняння регресії, які описують вплив температури на довжину готового прокату.

При моделюванні прокатки арматурного профілю №10 із заготовок довжиною $L_3=11,26\text{м}$ та шириною сторони $b=80\text{ мм}$ з температурою $R(T_3)=1120-1200\text{ °С}$ коефіцієнт кореляції довжини розкату і температури заготовки склав $r_{l_p, T_3} = 0,86$. Рівняння регресії, отримане при аналізі отриманих даних має вигляд:

$$l_p = 811,23 + 0,095 * T_3 \quad (2.6)$$

При оцінці ступеня впливу температури заготовки на перетин готового прокату, отриманий коефіцієнт кореляції $r_{S_p, T_3} = 0,81$, який також вказує на надто тісний зв'язок. Рівняння регресії, має вигляд:

$$S_p = 91,25 - 0,011 * T_3 \quad (2.7)$$

Наведена залежність показує, що при підвищенні температури заготовки збільшується і довжина розкату. Підвищення температури на 80 °С призводить до зменшення розширення по клітях через зменшення коефіцієнта тертя, а також до зменшення натягу прокату, що призводить до збільшення його довжини при прокатці на 7-10%.

Таким чином, нестабільна температура заготовки є причиною коливань не тільки розмірів висоти і ширини готового профілю, а й довжини прокату.

2.3.2 Вплив геометричних розмірів і маси заготовки на довжину розкату

Для визначення тісноти зв'язку геометричних розмірів заготовки та довжини розкату на виході БДС, проведено моделювання прокатки заготовки довжиною $M[L_3] = 11,26 \text{ м}$, $\sigma[L_3] = 0,26 \text{ м}$ та площею перетину $M[F_3] = 0,006346 \text{ м}^2$, $\sigma[F_3] = 0,0001892 \text{ м}^2$.

Необхідно звернути увагу на те, що перетин заготовки в полі допуску є випадковою величиною. За допомогою моделювання отримані дані про довжини прокатів з заготовок з максимальними і мінімальними розмірами поперечного перерізу, а також з урахуванням випадкової складової перетину заготовки.

На підставі даних, отриманих за допомогою комп'ютерної моделі, встановлені коефіцієнти кореляції, які пов'язують між собою довжину розкату на виході БДС з довжиною і перерізом заготовки. Коефіцієнт кореляції між довжиною розкату і довжиною заготовки склав $r_{l_p, L_3} = 0,67$, а

тісноту зв'язку довжини розкату з перетином заготовки пов'язує коефіцієнт $r_{l_p, F_3} = 0,21$.

З урахуванням випадкового характеру зміни геометричних розмірів заготовки доцільно і актуальним є визначення впливу маси заготовки на довжину прокату на виході з останньої чистової кліті. Для цієї мети за статистичними даними довжини і перетину заготовки визначено коефіцієнт кореляції, який склав $r_{l_p, P_3} = 0,86$.

Залежність довжини розкату від маси заготовки показана на рис. 2.7.

Рівняння регресії довжини прокату як функції від маси заготовки має вигляд: $l_p = 60,69 + 1,49 * P_3$ (2.8)

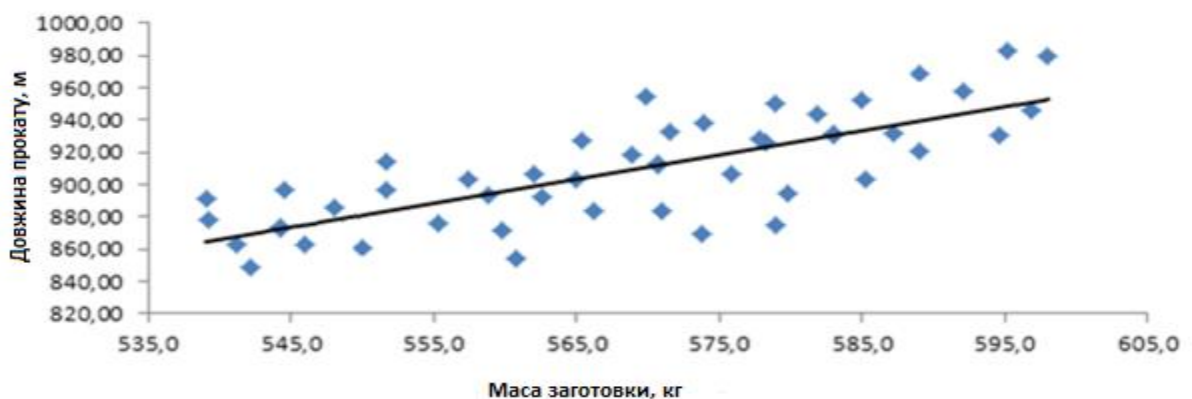


Рисунок 2.7 – Залежність довжини розкату l_p від маси заготовки P_3

На підставі отриманих результатів дослідження можна зробити висновок про те, що найбільш сильний вплив на довжину прокату надає маса заготовки P_3 з коефіцієнтом кореляції $r_{l_p, P_3} = 0,86$. Отриманий коефіцієнт кореляції вказують на досить тісний лінійний зв'язок.

Залежність довжини прокату від Довжина заготовки так само має дуже тісний зв'язок з коефіцієнтом кореляції $r_{l_p, L_3} = 0,67$.

Зв'язок між перетином заготовки і довжиною прокату слабший - $r_{l_p, F_3} = 0,21$.

Оцінку статистичної значущості рівняння регресії (2.8) в цілому проведемо за допомогою F-критерію Фішера. Фактичне значення F-критерію $F_{\text{факт}}=16,92 > F_{\text{табл}}=4,96$.

Оцінку статистичної значущості параметрів регресії і кореляції проведемо за допомогою t-статистики Стюдента. Табличне значення t-критерію для числа ступенів свободи $df = n-2 = 12-2 = 10$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ складає $t_{\text{табл}} = 2,23$. Фактичні значення t критерію Стюдента - $t_a = 2,29$, $t_b = 4,11$. Фактичні значення t-статистики переверщують табличне, тому коефіцієнти регресії r_{l, P_3} не випадково відрізняються від нуля, а статистично значущі. Отже, підтверджується статистична значимість всього рівняння і показника тісноти зв'язку маси заготовки та довжини прокату.

На підставі отриманих даних, вплив маси заготовки на довжину прокату для різних профілів представимо графічно на рисунку 2.8. Як видно, при зміні маси заготовки довжиною $M[L_3] = 11,25 \text{ м}$ внаслідок зміни її перетину від F_{z_min} до F_{z_max} утворюється область існування довжин прокатів в залежності від регламентованих параметрів поперечного перерізу дрібносортового прокату. Так, тільки зміна перерізу прокатної заготовки в полі допуску викликає варіацію довжини арматурного прокату №10 в 100 метрів. В цьому випадку для підвищення продуктивності БДС доцільно використовувати критерій (1.10).

Звідси слідує, що розкрійний план повинен будуватися на БЗС на основі маси заготовки. Необхідно мати інформацію про коефіцієнт погонного метра заготовки, так як вплив маси заготовки на довжину прокату на виході БДС очевидний.

Таким чином встановлено, для того щоб забезпечити найбільш повне задоволення критеріїв (1.10) і (1.11) розкрій на блюмінгу повинен проводитися виходячи не з довжини одержуваної заготовки, а з її маси.

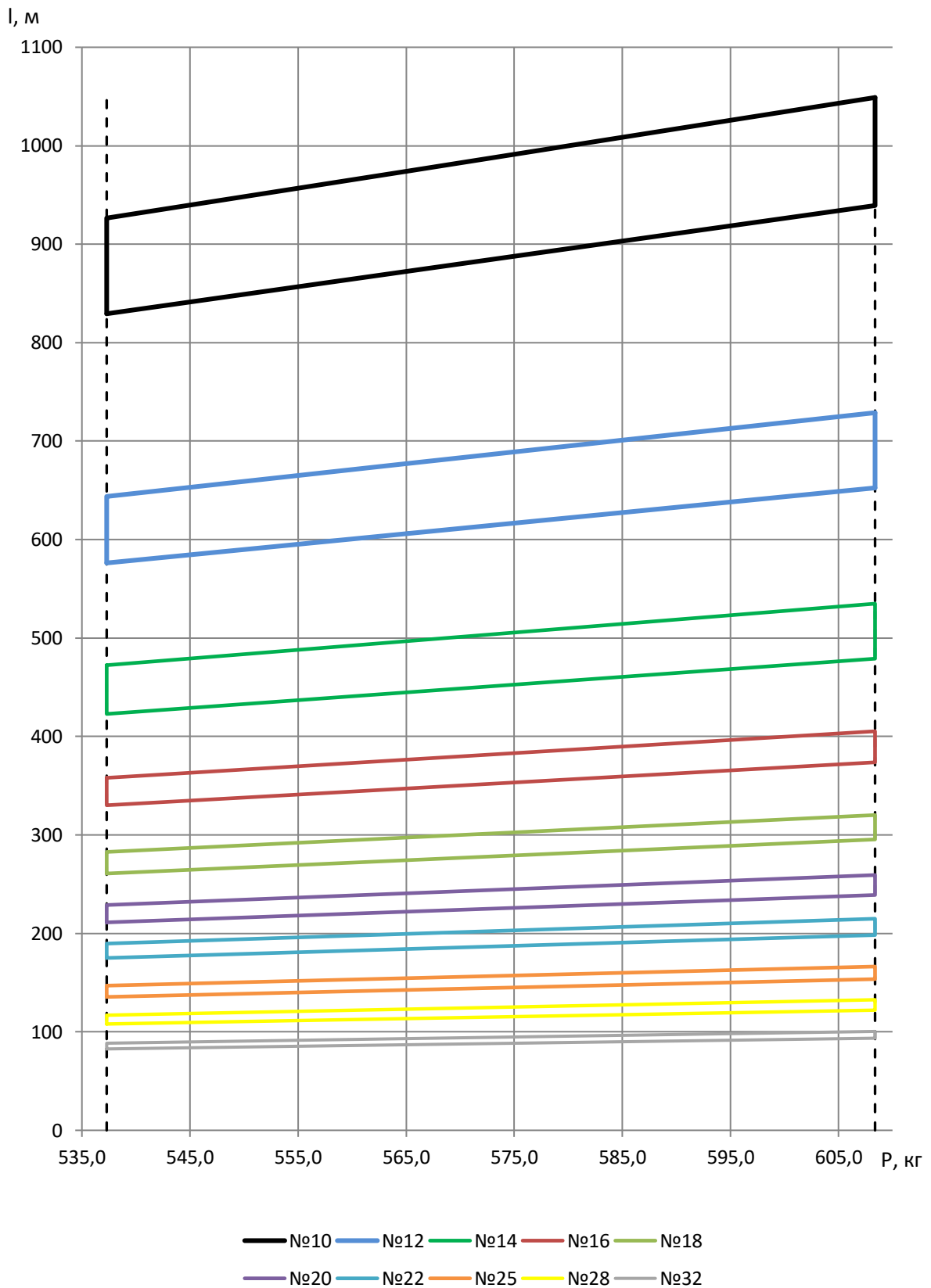


Рисунок 2.8 – Номограма взаємозв'язку можливих довжин прокату з урахуванням варіації його перетину в полі допуску на виході БДС і маси

заготовки $P_{M[L_3]} = 537,3 \div 608,4 \text{ кг}$ довжиною $M[L_3] = 11,25 \text{ м}$

2.4 Визначення статистичних закономірностей параметрів металопрокату на виході безперервного дрібносортового стану

Довжина прокату на виході з останньої кліті БДС залежить від довжини заготовки, площі її поперечного перерізу і геометричних розмірів готового профілю. Результати статистичної обробки даних моделювання для дрібносортовних станів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», а також робіт [1, 4, 18, 26, 30, 35] наведені в таблиці 2.7-2.8.

Таблиця 2.7 - Основні результати статистичної обробки результатів дослідження, отриманих під час прокатки профілів №10 ÷ 32

Номер профілю	Мінімальна довжина прутка $l_p(\min)$, м	Максимальна довжина прутка $l_p(\max)$, м	$M[l_p]$, м	$\sigma[l_p]$, м
10	814,3	1039,5	926,9	37,5
12	565,8	722,3	644,0	26,1
14	415,2	530,1	472,6	19,1
16	324,1	401,7	362,9	12,9
18	256,1	317,3	286,7	10,2
20	207,4	256,9	232,1	8,3
22	171,9	213,0	192,4	6,8
25	133,0	164,8	148,9	5,3
28	106,0	131,4	118,7	4,2
32	81,2	99,5	90,3	3,1

Таблиця 2.8 - Основні результати статистичної обробки результатів дослідження, отриманих при виробництві профілів діаметром Ø10 на стані 250-1 і діаметром Ø14 стані 250-4 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Стан	Параметр	Закон розподілу	Параметри розподілу	
			М.О.	С.К.В.
БДС 250-1	Площа поперечного перерізу	Нормальний	76,93 мм ²	2,06 мм ²
БДС 250-4			151,66 мм ²	2,9 мм ²
БДС 250-1	Коефіцієнт витяжки	Нормальний	83,2	3,354
БДС 250-4			42,2	1,51

Стан	Параметр	Закон розподілу	Параметри розподілу	
			М.О.	С.К.В.
БДС 250-1	Коливання часу транспортування Δt	Нормальний	0,013 с	0,043 с
БДС 250-4			0,04 с	0,013 с
БДС 250-1	Коливання початкової швидкості прутка перед гальмуванням $\Delta V_{пр}$	Нормальний	0,22 м/с	0,127 м/с
БДС 250-4			0,265 м/с	0,153 м/с
БДС 250-1	Розкид торців прутків на холодильнику	Нормальний	2,5 м	0,85 м
БДС 250-4			3,65 м	1,21 м
БДС 250-1	Розузгодженість положення ножа і початку прокату Δl	Рівномірний	1,85 м	1,068 м
БДС 250-4			1,16 м	0,67 м

На підставі аналізу даних отримана залежність між довжиною розкату l_p і довжиною прутків l_n при різній кількості прутків $n=l \div 11$, на які ділиться прокат профілерозмірів $\varnothing 10 \div 32$ мм, з законами розподілу $f(l_p)_{10} \div f(l_p)_{32}$, яка показана на малюнку 2.9.

З графіка видно, що для дрібних профілів характерна наявність більшої кількості прутків, на які розрізеться прокат із заготовки довжиною $M [L_3] = 11,25$ м. З огляду на варіацію довжини прокату, яка виникає через похибку прогнозування довжини прокату, мінливості геометричних розмірів заготовки, неточності розкрою, зв'язок маси заготовки і виходу мірного товарного металопрокату знижується.

Враховуючи існуючі способи побудови розкрійних планів, системи розкрою можуть бути розділені на дві групи: системи з прогнозуванням довжини прокату перед порізкою і системи без такого прогнозування [26].

В роботі [26] наведені результати експериментального дослідження на станах 250-1 і 250-4 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» величини відхилення довжини при прогнозуванні прокату.

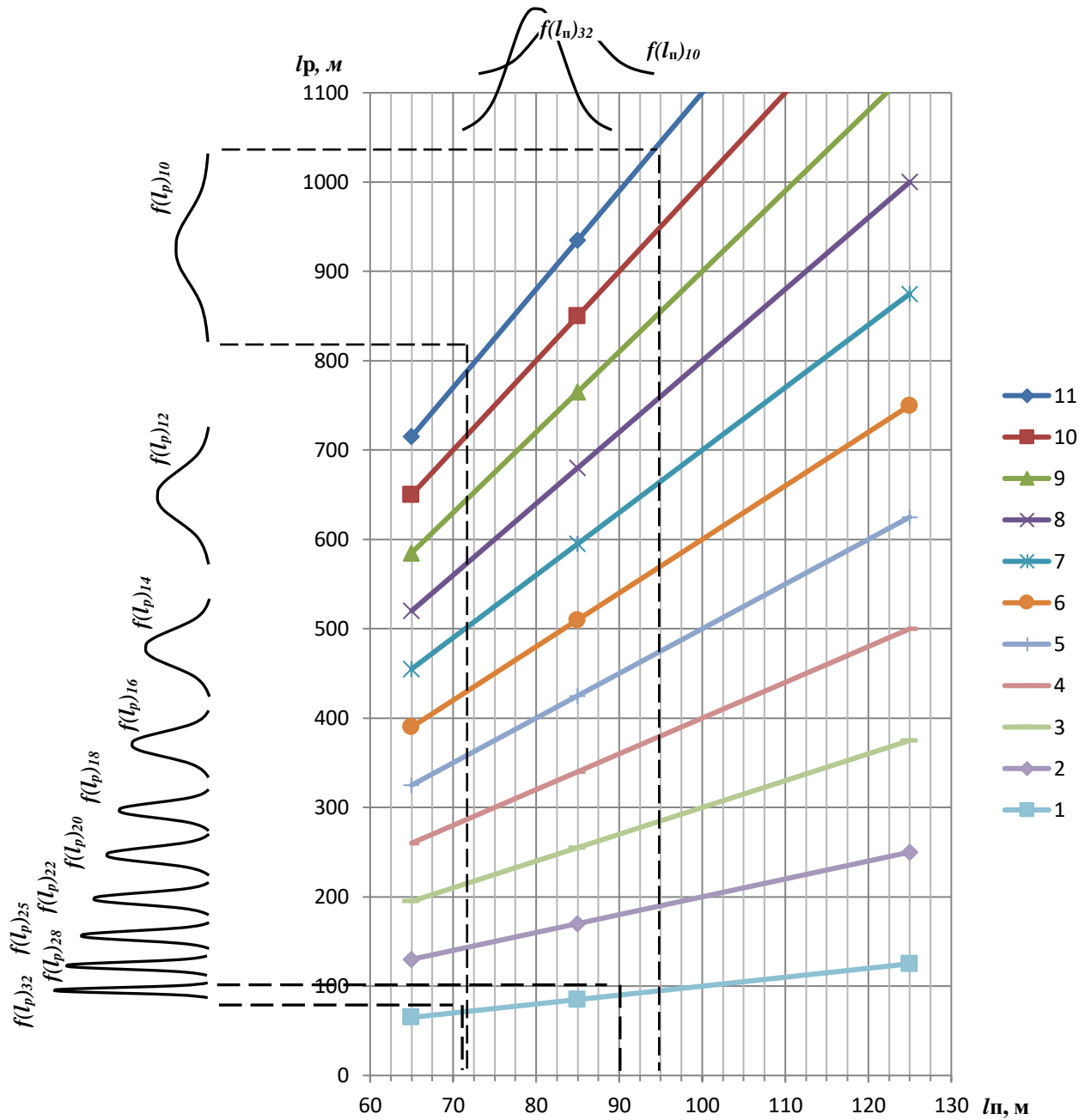


Рисунок 2.9 - Залежність між довжиною l_p прокату і довжиною l_n прутків, що змінюються за законами розподілів $f(l_p)_{10} \div f(l_p)_{32}$; при різній кількості $n = 1 \div 11$ прутків, на які ділиться прокат профілерозмірів діаметром 10 ÷ 32 мм.

Так встановлено, що величина відхилення при прогнозуванні довжини прокату розподілена за нормальним законом, а похибка прогнозування довжини розкату склала $R(\Delta l_{\text{прогн}}) = \pm 2 - 5\%$ для арматурних сталей.

Визначимо величину зниження виходу мірного прокату через наявність похибки прогнозування довжини розкату.

Згідно [81, 111] геометричну суму середньоквадратичного відхилення цих величин можна визначити як:

$$\sigma[l_p \pm \Delta l_{\text{прогн}}] = \sqrt{\sigma_{[l_p]}^2 + \sigma_{[\Delta l_{\text{прогн}}]}^2}, \quad (2.9)$$

де $\sigma[l_p]$ - середньоквадратичне відхилення довжини прокату, м;

$\sigma[\Delta l_{\text{прогн}}] = \frac{R(\Delta l_{\text{прогн}})}{6}$ - середньоквадратичне відхилення похибки прогнозування довжини розкату, м.

З огляду на (2.9) фактична довжина прокату буде змінюватися в діапазоні $M[l_p] - \sigma[l_p + \Delta l_{\text{прогн}}] \leq M[l_p] \leq M[l_p] + \sigma[l_p + \Delta l_{\text{прогн}}]$ (2.10)

З урахуванням (2.9) і (2.10) щільність розподілу довжини розкату запишемо у вигляді

$$f[l_p] = \frac{1}{\sqrt{2 * \pi * \sigma[l_p + \Delta l_{\text{прогн}}]}} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{l_p - M[l_p]}{\sigma[l_p + \Delta l_{\text{прогн}}]} \right)^2 \right) \quad (2.11)$$

В умовах стану 250-1 ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» при прокатці арматурного профілю №10 з статистичними параметрами довжини розкату $M[l_p] = 926,9\text{ м}$ та $\sigma[l_p] = 37,5\text{ м}$ середня довжина прутків при рівномірному розкрії прокату на $n = 8$ штук складе $M[l_{\text{пр}}] = 115,9\text{ м}$.

З огляду на (2.9) і (2.10) останній відрізаний пруток, отримуючи добавку довжини від похибки прогнозування $R(\Delta l_{\text{прогн}}) = \pm 5\%$ або зменшиться на величину $\Delta l_{\text{пр}} = 46,35\text{ м}$, або одержить збільшення довжини такої ж величини. У першому випадку довжина останнього відрізаного

прутка складе $l_{\text{пр}} = M[l_{\text{пр}}] - \Delta l_{\text{пр}} = 115,9\text{ м} - 46,35\text{ м} = 69,55\text{ м}$ і він буде випущений на поверхню холодильника так як задовольняє умову $l_{\text{пр}} > l_{\text{нх_мін}} = 60\text{ м}$, де $l_{\text{нх_мін}}$ - мінімальна довжина прутка, що може бути прийнята на поверхню холодильника. В іншому випадку буде отримано додатковий укорочений прутки, який буде розрізаним аварійними ножицями в відходи.

Розрахунки показують (рис. 2.10), що втрати мірного металу в обрізь за рахунок похибки прогнозування довжини розкату досягають $W_{\text{раск}}(\Delta l_{\text{прогн}}) = 5,8\%$.

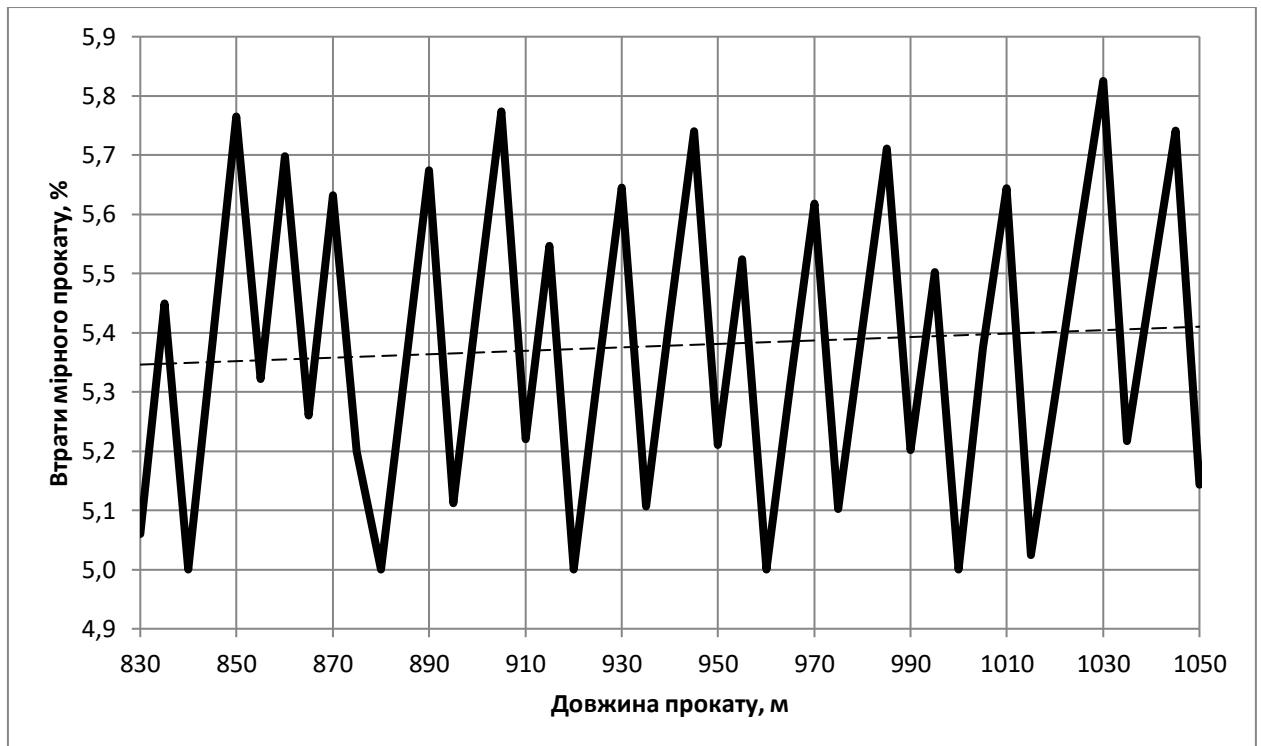


Рисунок 2.10 – Втрати мірного прокату в обрізь при рівномірному способі розкату внаслідок присутності похибки прогнозування довжини розкату арматурного профілю №10.

Істотний вплив на вихід мірного прокату надає операція розкату прокату на прутки.

З огляду на відомі підходи аналізу результатів програм розкрою [108], проведемо дослідження втрат придатного металу в обрізь з урахуванням впливу вихідних параметрів заготовки на вихід мірного прокату.

Для визначення величини втрат при розкрої прокату використовують показник виходу немірного прокату [6, 108]:

$$W_{\text{раск}} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{l_{pi}} * 100\% \quad (2.12)$$

де W_i - сумарна немірна обрізь на i -тому прокаті довжиною l_{pi} , n — кількість прокатів, вибраного з умови статистичної стійкості результатів.

Якщо взяти до уваги те, що перетин заготовки і готового прокату змінюється випадковим чином в полі допуску (див. табл. 2.1.-2.3), то сумарна наднормативна обрізь так само буде змінюватися. З огляду на (2.12) і регламентовані допуски на перетин, отримані області і величина втрат мірного прокату при різних способах розкрою (рис. 2.11).

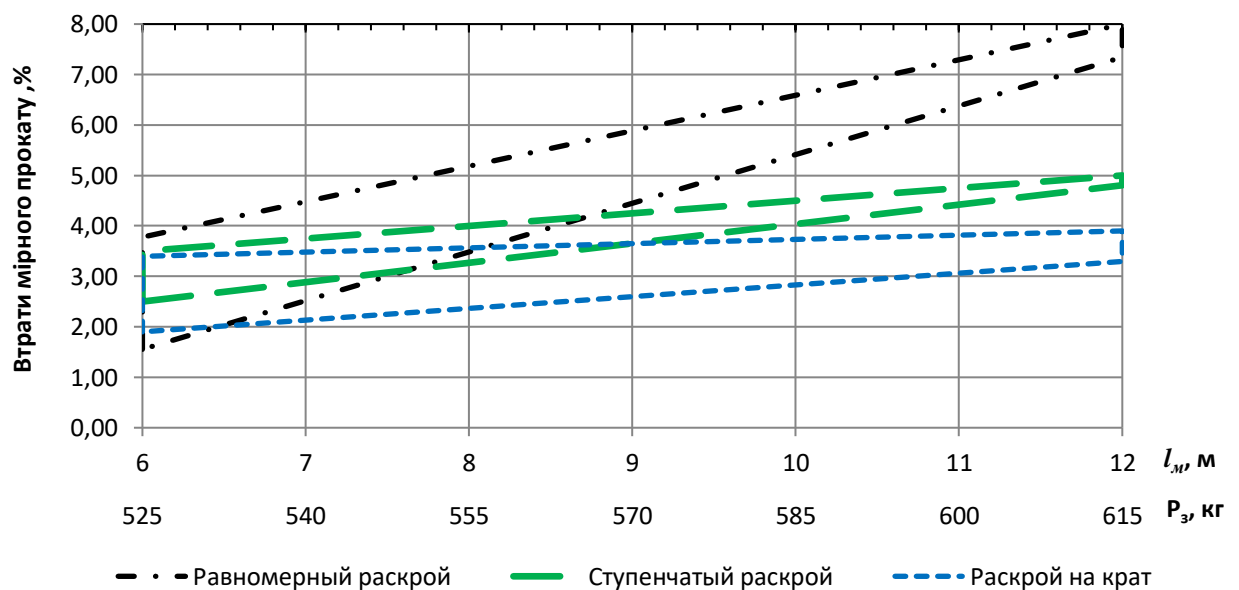


Рисунок 2.11 – Втрати мірного прокату при різних способах розкрою прокату на прутки в залежності від маси вихідної заготовки довжиною

$$M[L_3] = 11,25 \text{ м і довжини мірного стрижня } l_M.$$

При аналізі отриманих результатів, встановлено, що частка втрат мірного прокату, обумовлена коливаннями маси заготовки, становить 1-2,5%.

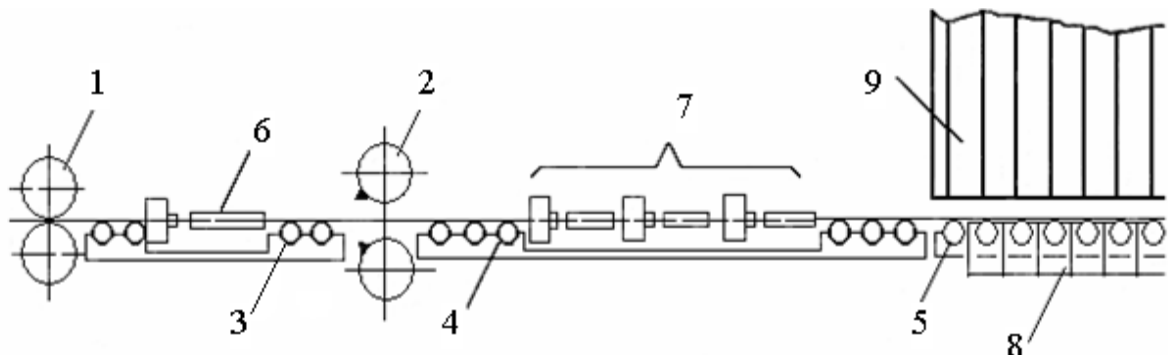
Істотне зниження виходу мірного прокату спостерігається при рівномірному розкрої, при якому втрати досягають 8%.

2.5 Дослідження роботи системи примусового гальмування прутків на холодильнику

З усіх систем автоматизації вихідної сторони прокатного стану, що мають визначальний вплив на вихід мірної продукції, виділяють дві системи: систему розкрою прокату і систему, що забезпечує формування пакета прутків арматурного прокату на холодильнику, точніше, системи, що забезпечують певне взаємне розташування прутків в пакеті [5].

Необхідність обліку і компенсації коливань швидкості прутків перед початком гальмування визначається можливими змінами швидкості рольгангу. У сортопрокатному виробництві широкого поширення набув процес примусового гальмування термзміцненого прокату на холодильнику.

Відрізані від прокату прутки транспортуються до холодильника рольгангом з частотно-регульованим асинхронним приводом роликів. Рольганг розділений на три секції, привід кожної з яких здійснюється від окремого перетворювача частоти. Перша секція займає ділянку від останньої кліти до летючих ножиць, друга - від ножиць до холодильника, третя - уздовж холодильника (рисунок 2.12).



1 – остання прокатна кліть; 2 – летючі ножиці; 3, 4 і 5 – перша, друга і третя секції транспортного рольгангу відповідно; 6 і 7 – лінії попереднього і глибокого охолодження (термоустановка) 8 – клапанний скидач; 9 – холодильник

Рисунок 2.12– Компонування обладнання на вихідній стороні БДС

Для досягнення мети, щодо зменшення наднормативної обрізків і збільшення виходу мірного стрижневого прокату необхідно, з огляду на зміну швидкості прутків перед скиданням, а також зміну інтенсивності гальмування прутка на холодильнику, визначити ефективність роботи систем гальмування прокату, а також розкид прутків після зупинки на настелі холодильника. Подальше дослідження проведемо методом комп'ютерного моделювання.

2.5.1 Математичний опис процесу примусового гальмування прутків на холодильнику

Прокат, що виходить із валків останньої кліті, ділиться летючими ножицями на прутки, довжина яких визначається прийнятою програмою порізки та, зазвичай, коливається в межах 80-110 м. Час скидання прутка стабілізований [18, 27] і становить $t_c = 1.78$ с.

Технологічними збуреннями приймаються зміна швидкості валків третьої секції рольганга і зміна коефіцієнта гальмування прутка на клапанах скидача і на поверхні холодильника. Відповідно до результатів досліджень, описаних в [18], вихідні дані представлені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Вихідні дані для моделювання роботи процесу

Найменування	позначення	величина
Довжина першої прутка	l	110 м
Довжина кожної наступної прутка	l_i	80-110
Коефіцієнт, рівний відношенню погонної гальмівної сили при включених магнітах до погонної гальмівної сили при відключених магнітах	k	78
Початковий коефіцієнт гальмування	μ	0.25
Діапазон зміни коефіцієнта гальмування	μ	0.25 - 0.31
Прискорення вільного падіння	g	9.81 М/с^2

Продовження таблиці 2.6

Початкова швидкість прутка перед скиданням	V_0	19 м/с
Час скидання	t_{01}	1.78 с
Довжина одного магніту	l_m	1 м

При використанні електромагнітів, вбудованих в струмок рихтувальних жолоба холодильника, процес гальмування протікає відповідно до графіка 1 на рис. 2.13.

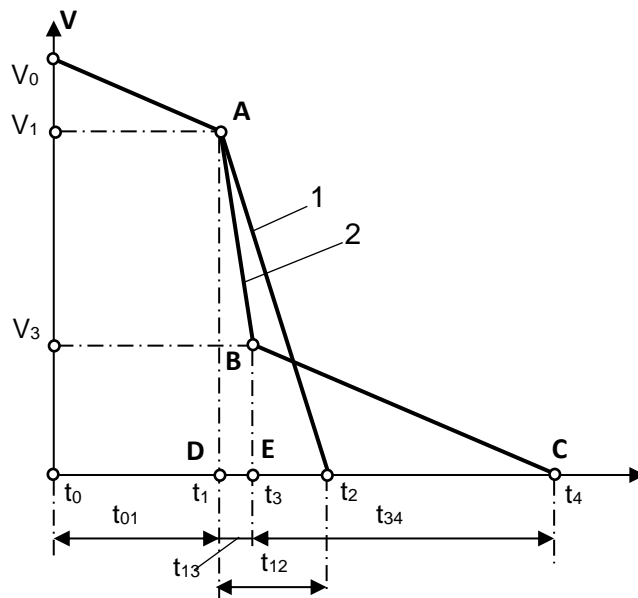


Рисунок 2.13 – Графіки зміни швидкості прутка в умовах керованого електромагнітного гальмування

В момент t_0 вмикання скидача прутки має швидкість V_0 рівну швидкості підвідного рольгангу. Рухаючись на скидачі, прутки гальмується силами тертя з інтенсивністю

$$a = g \cdot \mu, \quad (2.13)$$

де g – прискорення сили тяжіння, μ – коефіцієнт тертя;

У момент часу t_1 попадання прутка в жолоб його швидкість становить

$$V_1 = V_0 - g \cdot \mu \cdot t_{01}, \quad (2.14)$$

де $t_{01} = t_1 - t_0$.

У жолобі до прутка прикладається додаткове зусилля гальмування Q з боку електромагнітів

$$Q = m l_{\text{маг}} g \mu k, \quad (2.15)$$

де m – погонна маса прутка; $l_{\text{маг}}$ – довжина ділянки, на якій, розміщені електромагніти; k – коефіцієнт, рівний відношенню погонної гальмівної сили при включених магнітах до погонної гальмівної сили при відключених магнітах.

Інтенсивність гальмування прутка на електромагнітах визначається з рівності кінетичної енергії прутка в момент t_1 і роботи всіх гальмівних сил

$$\frac{m l V_I^2}{2} = m(l - l_{\text{маг}}) g \mu S + m l_{\text{маг}} g \mu k S, \quad (2.16)$$

де l – довжина прутка; S – шлях гальмування в жолобі.

Звідси

$$S = \frac{V_I^2}{2g\mu \left[1 + \frac{l_{\text{маг}}}{l} (k - 1) \right]} = \frac{V_I^2}{2a_M}, \quad (2.17)$$

Інтенсивність a_M гальмування прутка на електромагнітах залежить від його довжини і становить $a_M = ar$, де

$$r = 1 + \frac{l_{\text{маг}}}{l} (k - 1), \quad (2.18)$$

У момент часу t_2 пруток зупиняється. Відповідно до графіка 1 (див. рис. 2.13)

$$\alpha = \frac{V_0}{t_{01} + r t_{12}}, \quad (2.19)$$

$$S = \frac{V_0 r t_{12}^2}{2(t_{01} + r t_{12})}, \quad (2.20)$$

де $t_{12} = t_2 - t_1$.

Вмикання скидача здійснюється за командою датчика заднього торця прутка, встановленого на шляху переміщення, тобто в момент часу t_1 задні

торці всіх прутків знаходяться на однаковій відстані від датчика заднього торця прутка. У цьому випадку умова вирівнювання передніх торців термозміцнених прутків на холодильнику

$$S_i = S_1 + \Delta l_i, \quad (2.21)$$

де i – індекс, що відповідає порядковому номеру прутка;

S_i – шлях гальмування i -того прутка; $\Delta l_i = l_i - l_1$.

Таким чином, для більш коротких прутків необхідно забезпечити відповідне подовження гальмівного шляху [88]. Це досягається відключенням електромагнітів в момент часу t_3 (див. графік 2, рис. 2.13), внаслідок чого шлях гальмування визначається через площу плоскої фігури ABCD

$$S = S_{ABED} + S_{BCE} = \frac{V_1 + V_3}{2} t_{13} + \frac{V_3^2}{2\alpha} = \frac{\alpha}{2} r(r-1) \cdot t_{13} + \frac{V_1^2}{2\alpha}, \quad (2.22)$$

де $V_1 = V_0 - \alpha t_{01}$, $t_{13} = t_3 - t_1$.

Величина витримки часу $t_{13,i}$ а відключення електромагнітів при скиданні i -того прутка визначається після підстановки виразу (2.21) в умову (2.22)

$$t_{13,i} = \frac{V_{0,i} - a_i t_{01}}{a_i r_i} - \sqrt{-\frac{(V_{0,i} - a_i t_{01})^2}{a_i^2 r_i^2 (r_i - 1)} + \frac{2(S_1 + \Delta l_i)}{a_i r_i (r_i - 1)}}. \quad (2.23)$$

Фактична інтенсивність гальмування прутків може відрізнятись від інтенсивності гальмування першого прутка, яка визначається за формулою (2.19), через зміни умов тертя, зокрема, температури поверхні жолоба. Для i -того прутка вона може бути визначена, виходячи з виразу для часового інтервалу $t_{34,i}$

$$t_{34,i} = \frac{V_{3,i}}{a_i} = \frac{V_{0,i} - a_i t_{01} - a_i r_i t_{13,i}}{a_i} \quad (2.24)$$

звідси

$$a_i = \frac{V_{0,i}}{t_{34,i} + t_{01} + r_i t_{13,i}}, \quad (2.25)$$

При скиданні першого прутка, гальмування якого відбувається при постійно включених електромагнітах, в формулі (2.25) $t_{34,1} = 0$ і він повністю збігається з виразом (2.19).

Якщо вважати, що інтенсивність гальмування $(i+1)$ -го прутка за короткий час, який проходить після скидання i -того, не може істотно змінитися ($a_{i+1} = a_i$), можна, вимірявши часовий інтервал при гальмуванні i -того прутка, обчислити для нього фактичне значення інтенсивності гальмування за виразом (5.25) і використовувати це значення для визначення часової витримки при керуванні гальмівними магнітами під час скидання $(i+1)$ -го прутка.

Враховуючи вищезазначене, для вирівнювання передніх торців термозміцнених прутків на холодильнику необхідно діяти наступним чином:

1. При скиданні першого (завжди найбільшою довжиною) прутка включити магніти на весь період гальмування і виміряти значення параметрів $l_1, V_{0,1}, t_{01}, t_{12}$ і обчислити гальмівний шлях першого прутка за виразом (2.20) і інтенсивність гальмування першого прутка за виразом (2.19).

2. Перед скиданням другого прутка, використовуючи інформацію про його довжину, визначити за виразом (2.18) параметр i , вважаючи, що інтенсивність гальмування $a_2 = a_1$, обчислити витримку часу $t_{13,2}$ за виразом (2.23).

3. При скиданні другого прутка, відрахувавши від моменту його потрапляння в приймальний жолоб часовий інтервал $t_{13,2}$, відключити електромагніти, виміряти часовий інтервал $t_{34,2}$ і обчислити фактичну інтенсивність гальмування a_2 за виразом (2.25).

4. При скиданні третього і всіх наступних i -тих прутків, вважаючи $a_i = a_{i-1}$, обчислювати витримку часу $t_{13,i}$ за виразом (2.23) і після її відліку від моменту потрапляння прутка в жолоб відключати електромагніти.

Динамічна модель САУ процесом примусового гальмування прутків наведена в додатку В.

2.5.2 Результати роботи моделі процесу примусового гальмування прутків на холодильнику

Зміну швидкості прутка в процесі гальмування показано на рис. 2.14. Крива 1 відображає зміну швидкості прутка в процесі природного гальмування без застосування електромагнітів. Процес повної зупинки прутка довжиною 110 м триває близько 7 с: протягом 1.78 с відбувається гальмування на клапанах скидача, а наступні 5 с пруток гальмується силами тертя в жолобі холодильника. Гальмівний шлях цього прутка склав 43.5 м (рис. 2.15) і є верхньою межею регулювання системи примусового гальмування прутків, тобто це максимальний гальмівний шлях, який може забезпечити система.

Крива 2 відображає зміну швидкості прутка в процесі гальмування на електромагнітах за умови їх роботи до повної зупинки прутка. Процес повної зупинки прутка довжиною 110 м триває близько 3 с: протягом 1.78с відбувається гальмування на клапанах скидача, а наступні 1.22с пруток гальмується п'ятьма електромагнітами, загальна довжина поверхні яких становить 5 метрів. Гальмівний шлях цього прутка склав 9.7 м (див. рис. 2.15) і є нижньою межею регулювання системи примусового гальмування прутків, тобто це мінімальний гальмівний шлях, який може забезпечити система.

Крива 3 відображає зміну швидкості прутка в процесі гальмування при комбінованій роботі електромагнітів. Процес гальмування прутка довжиною 96 м триває близько 6 с: протягом $t_{01} = 1.78$ с відбувається гальмування на

клапанах скидача; протягом $t_{13}=0.3$ с пруток гальмується п'ятьма електромагнітами, загальна довжина поверхні яких становить 5 метрів; протягом $t_{32}= 1.9$ с пруток гальмується силами тертя в жолобі холодильника. Гальмівний шлях цього прутка склав 22.5 м, що відповідає заданій межі регулювання системи примусового гальмування прутків.

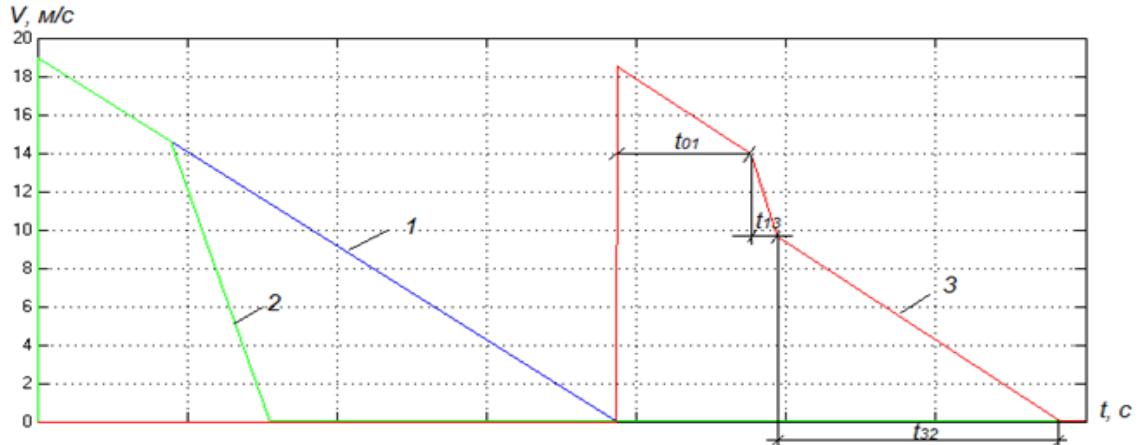


Рисунок 2.14 – Зміна швидкості прутка:

- 1 – гальмування прутка при виключених електромагнітах;
- 2 – гальмування прутка при включених електромагнітах;
- 3 – гальмування прутка при комбінованій роботі електромагнітів;

t_{01} – час роботи клапанного скидача;

t_{13} – час гальмування прутка на включених електромагнітах;

t_{32} – час гальмування прутка після відключення електромагнітів.

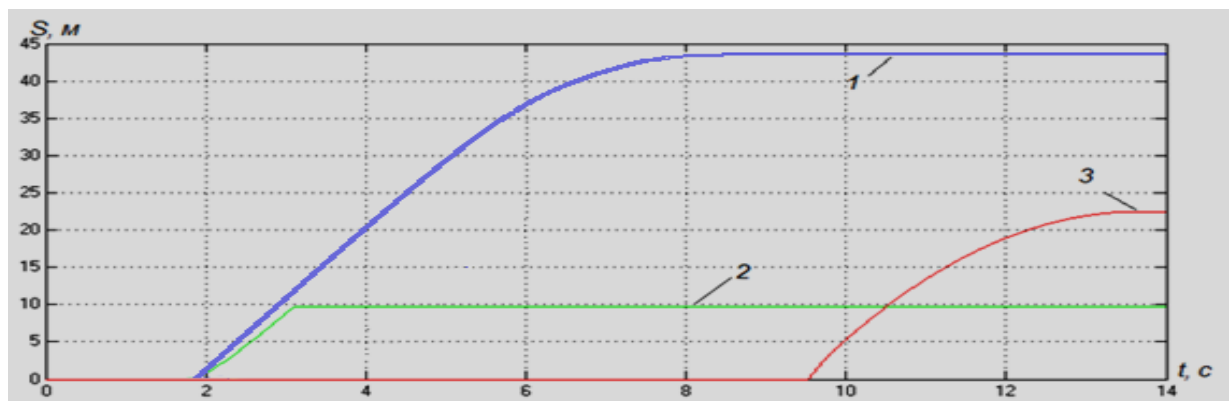


Рисунок 2.15 – Гальмівний шлях прутка:

- 1 – гальмування прутка при виключених електромагнітах;
- 2 – гальмування прутка при включених електромагнітах;
- 3 – гальмування прутка при комбінованій роботі електромагнітів

На рисунку 2.16 і в таблиці 2.6 наведені результати моделювання роботи системи при укладанні 10-ти прутків різної довжини.

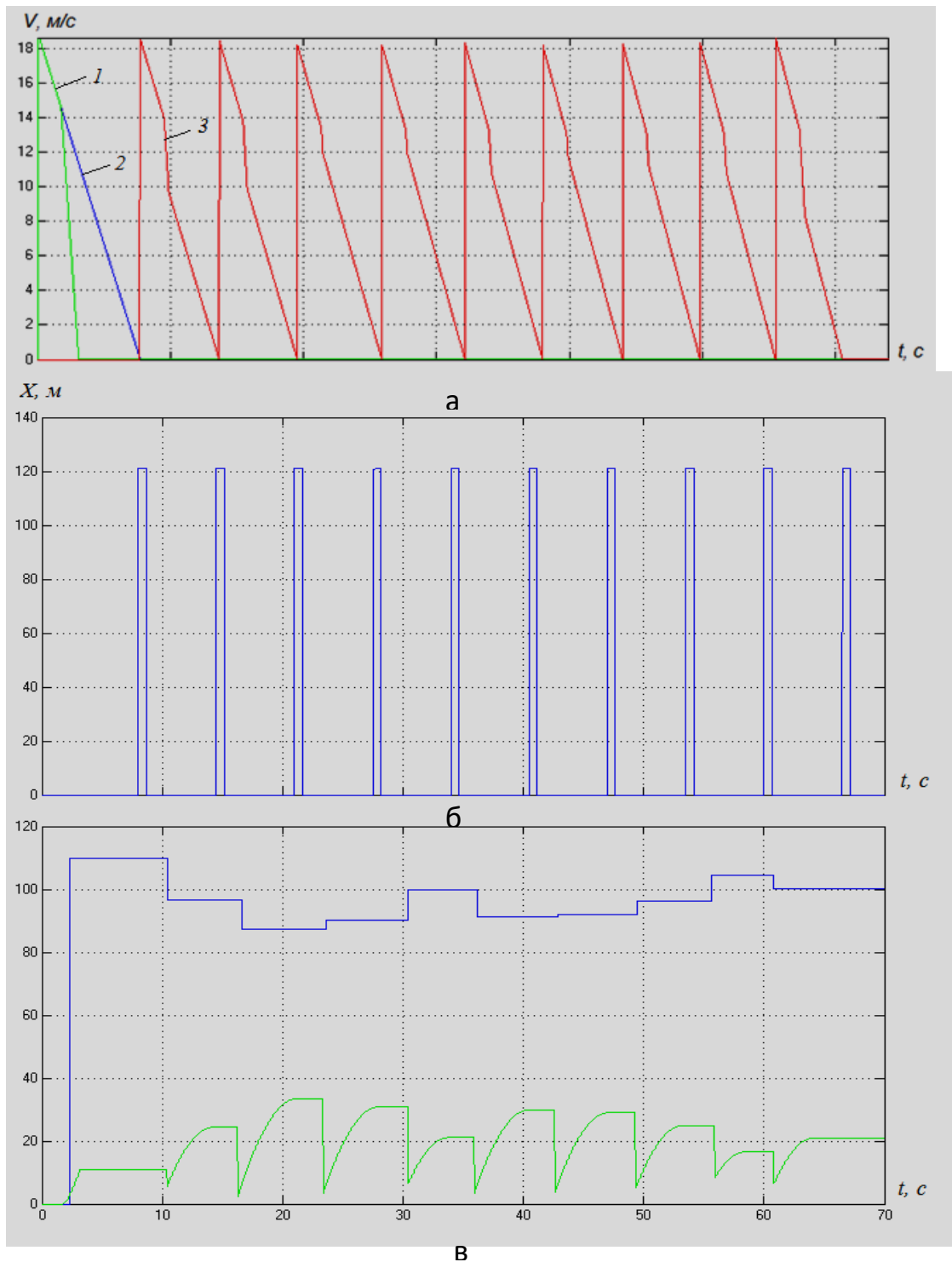


Рисунок 2.16 – Результати моделювання роботи системи керування примусовим гальмуванням прутків на холодильнику:

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

Таблиця 2.6 - Результати моделювання роботи системи керування примусовим гальмуванням прутків на холодильнику

№ прутка	Коефіцієнт гальмування	Початкова швидкість прутка, м/с	Довжина прутка, м	Гальмівний шлях прутка, м	Координата переднього торця, м
1	0,25	19,0	110,0	11,0	121,00
2	0,253	18,6	96,67	24,2	120,87
3	0,256	18,2	87,5	33,5	121,00
4	0,259	18,3	90,0	30,9	120,90
5	0,262	18,7	100,0	21,2	121,20
6	0,265	18,3	91,2	30,0	121,20
7	0,268	18,4	92,2	29,0	121,20
8	0,271	18,5	96,5	24,3	120,80
9	0,274	18,9	104,5	16,5	121,00
10	0,277	18,7	100,5	20,3	120,80

Аналіз результатів моделювання показує, 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 $M[x] = 121,0$ м і середньому квадратичному відхиленні $\sigma[x] = 0,124$ м. Це свідчить про ефективну роботу системи і досить високу точність укладання прутків.

Адекватність отриманої динамічної моделі підтверджує той факт, що при використанні відомого масиву початкових даних, були отримані статистичні дані ($M[x]$ и σ), близькі до результатів досліджень [18].

2.6 Висновки по розділу 2

1. На підставі аналізу експериментальних даних замірів довжини прокатної штанги, її перетину, передньої і задньої обрізи штанги встановлено,

що передня і задня обрізь при розкрої штанги не завжди відповідає регламентованим розмірам відповідно до технологічної інструкції. Існуюча система розкрою забезпечує точність розкрою штанги на заготовки з розкидом довжин заготовок ± 150 мм. Встановлено статистичні дані розподілу довжин заготовок в пакеті.

2. Показано, що робота системи автоматичного регулювання прогину значно впливає на швидкість прокату на виході з чистової групи клітей, а також зміни висоти профілю. При цьому, зміна швидкості прокату на виході з останньої кліті може перевищувати до 6% середню швидкість прокатки. Це в свою чергу впливає на довжину відрізуваних прутків, розкид довжин яких складає 2,53м, отже позначається на величині наднормативної обрізі при порізці пакета прутків на стаціонарних ножицях.

3. За допомогою комп'ютерного моделювання встановлено, що при керуванні швидкісним режимом прокатки в чистовій групі подачею керуючого впливу проти напрямку прокатки, швидкість прокату на виході з останньої кліті стабілізована і розміри перетину профілю не виходять за поле допусків. Однак така система вимагає складного налаштування регуляторів взаємопов'язаних приводів, крім того, викликає необхідність застосування додаткового обладнання для формування петлі на петлевому столі між чорною і чистовою групами клітей, висота якої може досягати 2,5 метрів.

4. На підставі отриманих результатів дослідження впливу температури і геометричних розмірів заготовки на довжини прокату можна зробити висновок про те, що найбільш сильні впливи на площу поперечного перерізу і довжину прокату вносить температура та маса заготовки з коефіцієнтами кореляції відповідно $r_{S_p, T_3} = 0,81$ і $r_{l_p, T_3} = 0,86$

5. Після проведеного аналізу статистичних даних розглянутих технологічних параметрів прокатки подальше підвищення виходу мірної продукції і зменшення втрат металу в обрізь можливий при використанні двох доповнюючих один одного підходів:

- застосування імовірнісного методу для визначення розмірів заготовки, що надходить на сортовий стан з БЗС, в основі якого лежить знаходження величини математичного очікування маси заготовки, що забезпечує мінімум відходів металу;

- автоматизованого обліку зміни технологічних параметрів прокатки і відповідне коригування розкрійних планів.

6. Для підвищення стабільності швидкісного режиму прокатки та зменшення впливу нестабільності натягу прокату між чорною і чистою групами клітей необхідна розробка автоматизованої системи оцінки та регулювання натягу прокату.

7. Встановлено, що істотний вплив на точність процесу торцювання прутків надає зміна початкової швидкості прутка перед його скиданням на холодильник, а також інтенсивність процесу гальмування прутків електромагнітами холодильника, яка збільшується в ході прокатки за рахунок нагрівання поверхні холодильника.

8. Для мінімізації впливу технології перетворення заготовки з фіксованою масою в довжину товарних прутків та стрижнів необхідно:

- забезпечити зменшення похибки прогнозування довжини прокату, стабілізацію початкової швидкості прутка перед його скиданням на холодильник шляхом розробки систем керування швидкісним режимом прокатки;

- забезпечити компенсацію змінного характеру геометричних розмірів заготовки для підвищення виходу мірного стрижневого прокату шляхом розробки автоматизованої системи керування розкромом арматурного прокату на виході безперервного дрібносортового стану;

- забезпечити підвищення точності процесу укладки і торцювання термозміцненого арматурного прокату на холодильнику дрібно сортового стану шляхом розробки системи автоматичного керування вирівнюванням термозміцненого прокату на холодильнику дрібносортового стану;

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ РОЗКРОЮ НА БЕЗПЕРЕРВНОМУ ЗАГОТОВОЧНОМУ ТА ДРІБНОСОРТНОМУ СТАНАХ

3.1 Розробка принципів розкрою довгомірного прокату на прокат товарної довжини

В процесі розкрою металопродукату, як правило, утворюється укорочені стрижні - обрізь, яка направляються на переплавку. На підставі проведеного аналізу видно, що величина обрізі придатного металу може досягати 10% і більше маси вихідного металопродукату [28].

Крім прямих енерговитрат, існують економічні втрати, пов'язані з диференціацією цін на товарний прокат в залежності від відповідності отриманої його довжини довжині, обумовленої замовленням.

Локальні завдання розкрою в технологічному ланцюжку виробництва сортового прокату в стрижнях є взаємопов'язаними [1, 5, 113].

При розкрої довгомірного прокату довжиною $l_{\text{дм}}$ має місце дві основні задачі [28] (формулювання критеріїв та обмежень виконано Бойко О.О. в [28]).

Перша - отримати максимальну кількість стрижнів заданої довжини, критерій (1.10).

$$\Phi = \sum_{i=1}^{n_{\text{отр}_3}} l_3(i) \Rightarrow \max x \quad (3.1)$$

де $n_{\text{отр}_3}$ - кількість відрізків заданої довжини; $l_3(i)$ - довжина і-го відрізка з безлічі відрізків заданої довжини (довжин).

Друга - вартість відрізків, отриманих в результаті розкрою довгомірного прокату, повинна бути максимальна:

$$\Psi = \sum_{i=1}^{N_{\text{отр}}} C_i \cdot l_i \Rightarrow \max, \quad (3.2)$$

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

Для кожної операції розкрою існує безліч товарних довжин відрізків – \mathbf{L}_T . Відрізок довжиною $l_{\text{отр}} \in \mathbf{L}_T$ є товарним, тобто. $l_{\text{отр}} \in \mathbf{L}_T$ якщо виконується умова

$$l_{T_min} \leq l_{\text{отр}} \leq l_{T_max} , \quad (3.3)$$

де $l_{T_min} \equiv \inf \{\mathbf{L}_T\}$, $l_{T_max} \equiv \sup \{\mathbf{L}_T\}$.

Операції розкрою такі як розкрій довгомірного прокату (штанги) на заготовки, або довгомірного прокату (прутків) на стрижні допускають утворення як відрізків товарної довжини, так і коротких відрізків довжиною – $l_{\text{отр_к}}$, обрізі, так, що

$$l_{\text{отр_к}} < l_{T_min} \quad (3.4)$$

Обрізь придатного металу, що не підлягають подальшій переробці і направляються на переплавку.

Для прокату, що поставляється в стрижнях задається мірна довжина стрижнів – $l_{\text{мер}}$, яка визначається умовами замовлення. Товарний прокат, що містить стрижні різної довжини, та належить до множини \mathbf{L}_T стрижнів, реалізується за ціною, меншою, ніж мірний прокат - стрижнів заданої довжини, але більшої вартості коротких відрізків:

$$C_3 > C_T > C_K , \quad (3.5)$$

де C_3 , C_T , C_K – питомі вартості відрізків заданої, товарної довжини і коротких відрізків відповідно.

Для прутків, які, по суті, є проміжним продуктом при виробництві товарного прокату в стрижнях [1], питома вартість може бути оцінена за вартістю товарної продукції, одержуваної з даного прутка при подальшому його розкрої на стрижні. При виробництві стрижнів вихід мірної продукції з прутка визначається його кратністю мірної довжині, а вихід немірного

прокату і/або обрізі - залишком після його відділення від прутка стрижнів мірної довжини. Аналіз залежності відносного виходу мірної продукції від довжини прутка і заготовки показав, що вона має чітко виражені локальні максимуми, віддалені один від одного на однакові відстані [1, 5]. Саме ці значення аргументу будемо приймати як задані при розкрої довгомірного прокату на прутки.

Таким чином, в даному випадку задані довжини відрізків – l_3 , складають підмножину $\mathbf{L}_{\text{мер}}$ множини \mathbf{L}_T , яке описується в такий спосіб:

$$l_3 = l_{3_min} + \Delta l_3 \cdot k_3, k_3 = 0, \dots, k_{3_max}, \quad (3.6)$$

де l_{3_min} – мінімальна довжина прутка, яка задовольняє нерівність (3.3), при розкрої якого має місце локальний максимум відносного виходу стрижнів мірної довжини, Δl_3 – крок, відстань між максимумами; k_3 – порядковий номер максимуму з натурального ряду чисел від нуля до максимального значення k_{3_max} , при якому виконується умова (3.3).

При виробництві заготовок диференціація відрізків і їх питомої вартості в залежності від довжини визначається умовами подальшої переробки заготовок.

Якщо передбачається використання заготовок на даному підприємстві, то для заготовок, які виготовляються для виробництва стрижневого прокату певного профілерозміру, в силу тих же причин, що і при виробництві прутків, маємо множину \mathbf{L}_T , яка визначається нерівністю (3.3) і множину \mathbf{L}_3 , яка визначається нерівностями (3.3) і (3.6). Однак, на відміну від прутків, при виробництві заготовок допустимо коротких відрізків (обрізків) безліч можливих довжин яких - $\mathbf{L}_{\text{отр_к}}$, визначається нерівністю (3.4). Для заготовок, вироблених не під конкретне замовлення (профілерозміри) або для виробництва прокату в мотках в результаті розкрою довгомірного прокату формуються відрізки, які можуть бути віднесені тільки до однієї з двох множин - \mathbf{L}_T або $\mathbf{L}_{\text{отр_к}}$.

При виробництві заготовок як кінцевої товарної продукції для підприємства-виробника, можливо або, як і в разі виробництва стрижнів мірної довжини, замовленням обговорена довжина заготовки, або замовленням обговорена довжина заготовки, але допускається певну частину заготовок поставляти товарною довжиною, відмінною від заданої.

Крім критеріїв і умов, що характеризують вимоги до результатів рішення оптимізаційної задачі, існують деякі відмінності у вихідних даних, використовуваних для її вирішення. Так, в переважній більшості випадків відома довжина довгомірного прокату, що підлягає розкрою - $l_{\text{дм}}$, а положення (координата) переднього торця довгомірного прокату завжди відома перед початком розкрою в двох випадках: при розкрої довгомірного прокату на заготовки і при розкрої довгомірного прокату на прутки.

При розкрої довгомірного прокату (прутка) на стрижні здійснюється, як правило, в складі пакету прутків на виході холодильника, а, іноді, - з безупорним позиціонуванням прокату, і тоді, в загальному випадку, нам відомі лише імовірнісні характеристики положення переднього торця прокату [15]. Однак, при різанні довгомірного прокату на стрижні задана одна фіксована замовна довжина прокату (міра) з можливого діапазону товарних довжин від шести до дванадцяти метрів включно, що обумовлено стандартом, тобто для даного випадку маємо:

$$l_{\text{т_max}} / l_{\text{т_min}} = 2 \quad (3.7)$$

Систематизуючи варіанти розкрою довгомірного прокату на відрізки, можна виділити наступні базові варіанти завдання оптимального розкрою:

1) Відомі довжина довгомірного прокату і координата його переднього торця.

Задані довжини відрізків у вигляді ряду (3.6), товарної довжини у вигляді обмеження (3.3), коротких відрізків у вигляді обмеження (3.4), їх питомі вартості задовольняють нерівності (3.5).

Потрібно визначити оптимальні, відповідно критеріїв (3.1) і (3.2) плани розкрою довгомірного прокату.

Окремими випадками даного варіанту завдання є:

- а) в (3.6) $k_{3_max} = 0$;
- б) задані тільки товарні довжини відрізків у вигляді обмеження (3.4);
- в) при розкрої не допускається утворення коротких відрізків.

2) Відомі довжина довгомірного прокату, математичне очікування (М.О.) і середньоквадратичне відхилення (С.К.О.) нормального закону розподілу координати його переднього торця.

Задані довжини відрізків у вигляді ряду (3.6) при $k_{3_max} = 0$ ($l_3 = l_{3_min}$), товарної довжини у вигляді обмеження (3.3) і (3.7), коротких відрізків у вигляді обмеження (3.4), їх питомі вартості задовольняють нерівності (3.5).

Потрібно визначити оптимальні, в сенсі критеріїв (3.1) і (3.2) плани розкрою довгомірного прокату.

Найбільш просте, рішення першого варіанту оптимізаційної задачі має місце для підваріанта 1а при оптимізації за критерієм (3.1).

Від довгомірного прокату послідовно, починаючи з переднього торця, відокремлюються відрізки довжиною l_3 : перший різ проводиться на відстані l_3 від переднього торця, а координата кожного наступного різку відстоїть від координати попереднього різку також на довжину l_3 . В результаті утворюється $n_{отр_3}$ відрізка довжиною l_3 . Максимальна кількість відрізків довжиною l_3 - $n_{отр_3_max}$, на яке можна поділити прокат:

$$n_{отр_3_max} = \left[\frac{l_{дм}}{l_3} \right] \quad (3.8)$$

де $[]$ - операція округлення до меншого цілого.

В результаті розкрою довгомірного прокату за критерієм (3.1) утвориться $n_{отр_3_max}$ відрізків l_3 довжиною і один відрізок-залишок

довжиною $l_{\text{ост}}$ які утворюють безліч довжин стрижнів, оптимальних по критерію (3.1) - \mathbf{L}_Φ :

$$l_{\text{ост}} = l_{\text{дм}} - n_{\text{отр}_z_{\text{max}}} \cdot l_z \quad (3.9)$$

Завдання оптимізації порізки довгомірного прокату за критерієм (3.2), можна сформулювати наступним чином: визначити, на скільки відрізків слід поділити довгомірний прокат і якої довжини повинен бути кожен відрізок, щоб їх сумарна вартість була максимальна. Кожному варіанту порізки, описуваної множиною координат різів, відповідає своя множина довжин відрізків \mathbf{L} , на які ділиться (розкроюється) довгомірний прокат. Причому для будь-якої такої множини справедливо:

$$\sum_{\forall l_{\text{дм}} \in \mathbf{L}} l_{\text{отр}} = l_{\text{дм}} \quad (3.10)$$

Два варіанти порізки описуваних множинами координат різів \mathbf{R}_i і \mathbf{R}_j будемо вважати рівнозначними, якщо кожній з них відповідає еквівалентні множини довжин відрізків $\mathbf{L}_i \equiv \mathbf{L}_j$, тому як саме множина \mathbf{L} визначає еквівалентну вартість довгомірного прокату при конкретному варіанті його розкрою.

Необхідно визначити таку множину \mathbf{L}_Ψ при якій має місце $\Psi(\mathbf{L}_\Psi) \Rightarrow \max$.

У загальному випадку таких множин може бути нескінченна кількість, тому що, якщо \mathbf{L}_Ψ містить елемент, відповідний короткому відрізку, то, оскільки останній може бути поділений на нескінченне число коротких відрізків, завжди знайдеться нескінченне число множин, відмінних від вихідної множини лише кількістю і величинами елементів відповідних коротким відрізках, які мають ту ж сумарну відносну вартість.

Для виключення неоднозначності рішення введемо додаткову умову оптимізації: з двох оптимальних множин \mathbf{L}_{Ψ_i} і \mathbf{L}_{Ψ_j} для яких має місце

рівність $\Psi(L_{\Psi_i}) = \Psi(L_{\Psi_j})$, будемо вважати оптимальним ту множину, яка має меншу кількість елементів.

Перш за все, доведемо, що в результаті оптимального розкрою утворюється не більше одного короткого відрізка. Справедливість цього твердження впливає з характеру функції питомої вартості і тим, що двом коротким відрізкам довжиною $l_{\text{отр}_k(i)}$ та $l_{\text{отр}_k(j)}$ може бути поставлений у відповідність або один відрізок довжиною $l_{\text{отр}_k\Sigma(i,j)} = l_{\text{отр}_k(i)} + l_{\text{отр}_k(j)}$ з питомою вартістю C_k якщо $l_{\text{отр}_k\Sigma(i,j)} < l_{T_{\min}}$, або з питомою вартістю не менше C_T якщо $l_{T_{\min}} \leq l_{\text{отр}_k\Sigma(i,j)} \leq l_{T_{\max}}$, або, при $l_{\text{отр}_k\Sigma(i,j)} > l_{T_{\max}}$, два відрізки - один товарної довжини, наприклад $l_{T_{\max}}$, а другий відрізок короткий, довжиною $l_{\text{отр}_k} = l_{\text{отр}_k\Sigma(i,j)} - l_{T_{\max}}$. Зрозуміло, що у всіх випадках сумарна вартість двох вихідних коротких відрізків буде не більше, ніж відрізка, отриманого в результаті їх об'єднання, або двох відрізків один з яких буде товарної довжини.

Відтак, з будь-якою множиною L' , що включає хоча б два стрижня (елемента) з довжиною менше $l_{T_{\min}}$ кожен, може бути співставлена множина L'' , що відрізняється тільки тим, що замість даних двох елементів присутній або один елемент - стрижень з довжиною, яка дорівнює сумі довжин вихідних стрижнів, і в цьому випадку множина L'' є прийнятнішою за додатковою умовою оптимізації, або два елементи, один з яких більше або дорівнює $l_{T_{\min}}$, що також робить прийнятнішою множину L'' , так як $\Psi(L'') > \Psi(L')$.

Звідси слідує, що, якщо при оптимізації розкрою довгомірного прокату за критерієм (3.1) утворюється в залишку відрізок такої довжини $l_{\text{ост}}$, що:

$$l_{\text{ост}} \geq l_{T_{\min}} \quad (3.11)$$

то дана множина стрижнів буде оптимально і в сенсі критерію (3.2).

Розглянемо випадок, коли умова (3.11) не виконується.

У цьому випадку оптимальним є один з двох варіантів: це або множина відрізків, сформованої відповідно до (3.8, 3.9), або множина відрізків, що містять максимальну кількість відрізків замовленої довжини, але не містить жодного короткого відрізка.

Розглянемо правило формування відрізків товарної довжини з частини довгомірного прокату. Якщо частину довгомірного прокату довжиною $l_{\text{дм}_ч}$ треба поділити на $N_{\text{отр}}$ відрізків так, щоб отримана множина довжин відрізків $\mathbf{L}_{\text{дм}_ч}$ ($\{l_{\text{отр}(i)} \mid i=1 \dots N_{\text{отр}}\} \in \mathbf{L}_{\text{дм}_ч}$), задовольняла умовам $\inf \{ \mathbf{L}_{\text{дм}_ч} \} \Rightarrow \max$, $\sup \{ \mathbf{L}_{\text{дм}_ч} \} \Rightarrow \min$, то відрізок повинен бути поділений на рівні частини, тобто:

$$l_{\text{отр}(1)} = \dots = l_{\text{отр}(i)} = \dots = l_{\text{отр}(N_{\text{отр}})} = \frac{l_{\text{дм}_ч}}{N_{\text{отр}}}.$$

Тому, якщо забезпечується умова:

$$\left[\frac{l_{\text{дм}_ч}}{l_{\text{т}_\text{min}}} \right] \geq \left[\frac{l_{\text{дм}_ч}}{l_{\text{т}_\text{max}}} \right], \quad (3.12)$$

де $\lceil \cdot \rceil$ - округлення до більшого цілого, то частина довгомірного прокату довжиною $l_{\text{дм}_ч}$ може бути поділена на відрізки товарної довжини.

Враховуючи додаткову умову оптимізації, кількість відрізків - $n_{\text{отр}_т}$ і довжину відрізків (всі відрізки мають рівну довжину) товарної довжини - $l_{\text{отр}_т}$ визначимо як:

$$n_{\text{отр}_т} = \left[\frac{l_{\text{дм}_ч}}{l_{\text{т}_\text{max}}} \right] \quad (3.13)$$

$$l_{\text{отр}_т} = \frac{l_{\text{дм}_ч}}{n_{\text{отр}_т}}. \quad (3.14)$$

Тоді, для визначення оптимального, в сенсі критерію (3.2), розкрійного плану в якості альтернативи варіанту, оптимальному в сенсі критерію (3.1), слід протиставити такий розкрійний план, при якому прокат умовно ділиться на дві частини. Перша частина кратна замовній довжині відрізка - $l_{\text{дм}_ч_з}$, тобто ділиться на $l_з$ без залишку, а друга частина може бути поділена на

відрізки товарної довжини без залишку - $l_{\text{дм}_ч_т}$, при цьому довжина першої частини повинна бути максимально можливою $l_{\text{дм}_ч_з} \Rightarrow \max$.

Алгоритм визначення альтернативного розкрійного плану в даному випадку наступний.

Якщо не виконується умова (3.11), то, послідовно задаючи кількість відрізків замовленої довжини - $n_{\text{отр}_з}$, від $(n_{\text{отр}_з_{\max}} - 1)$ до 0, перевіряємо, чи ділиться решта $l_{\text{дм}_ч} = l_{\text{дм}_ч} - n_{\text{отр}_з} \cdot l_з$, на відрізки товарної довжини, тобто чи виконується умова (3.12). Якщо так, то визначаємо довжину і кількість відрізків товарної, але не замовленої, довжини відповідно до (3.13, 3.14).

Отримана множина відрізків замовленої і товарної довжини є альтернативною множиною - L_A , для визначення оптимального, в сенсі критерію (3.2), розкрійного плану.

Остаточо визначаємо L_Ψ з двох множин - L_Φ і L_A , розраховуючи і зіставляючи значення критерію Ψ для даних множин відповідно до (3.2).

Рішення першого варіанту оптимізаційної задачі для підваріанту 1б при оптимізації за критерієм (3.1) не має сенсу, а за критерієм (3.2) має місце завжди якщо виконується умова (3.12) при $l_{\text{дм}_ч} = l_{\text{дм}}$ і визначається по (3.13, 3.14).

Якщо умова (3.12) не виконується, наприклад, $l_{т_{\min}} = l_{т_{\max}}$, тоді $\left[\frac{l_{\text{дм}_ч}}{l_{т_{\min}}} \right] = \left[\frac{l_{\text{дм}_ч}}{l_{т_{\max}}} \right] - 1$, і оптимальний розкрій передбачає розкрій довгомірного прокату на $n_{\text{отр}_т}$ відрізків довжиною $l_{т_{\max}}$ і один короткий відрізок довжиною $l_{\text{отр}_к} = l_{\text{дм}} - n_{\text{отр}_т} \cdot l_{т_{\max}}$.

Розглянемо чисельне рішення задачі по варіанту 1 в найбільш загальному вигляді.

Представимо кожен з відрізків замовленої довжини, відповідний (3.6), як об'єднання субмножини субвідрізків, в яке входить один субвідрізок завдовжки $l_{з_{\min}}$ і $k_з$ відрізка довжиною $\Delta l_з$, причому $0 \leq k_з \leq k_{з_{\max}}$.

В цьому випадку, розкрій довгомірного прокату на замовні довжини можна представити як розкрій його на множину субвідрізків відповідної довжини з подальшим виділенням з цієї множини субмножини по сформульованим вище правилам з подальшим об'єднанням даних підмножин в відрізки замовленої довжини.

У свою чергу, з множини субвідрізків можуть бути виділені підмножини субвідрізків завдовжки $l_{3_min} - L_{3_min}$, і підмножини субвідрізків завдовжки $\Delta l_3 - L_{\Delta}$, причому кількість елементів останньої підмножини повинно відповідати нерівності $0 \leq n_{\Delta} \leq n_{3_min} \cdot k_{3_max}$, де n_{3_min} - число елементів підмножини L_{3_min} ; n_{Δ} - число елементів підмножини L_{Δ} .

Тоді, завдання оптимального розкрою за варіантом 1 і критерієм (3.1) можна вирішувати в два етапи: на першому етапі визначимо число елементів підмножин L_{3_min} і L_{Δ} , при якому має місце максимум критерію (3.1), а, на другому етапі, розподілимо і об'єднаємо субвідрізки в відрізки заданої довжини.

Максимально - $n_{3_min_max}$, і мінімально - $n_{3_min_min}$, можливе число елементів підмножини L_{3_min} при довжині довгомірного прокату l_{DM}

$$\text{визначимо як } n_{3_min_max} = \left\lceil \frac{l_{DM}}{l_{3_min}} \right\rceil, n_{3_min_min} = \left\lfloor \frac{l_{DM}}{l_{3_min} + k_{3_max} \cdot \Delta l_3} \right\rfloor.$$

При фіксованому числі елементів підмножини $L_{3_min} - n_{3_min}$, для максимуму критерію (3.1) необхідно, щоб підмножина L_{Δ} містила n_{Δ} , яке

$$\text{визначимо як } n_{\Delta} = \left\lfloor \frac{l_{DM} - n_{3_min} \cdot l_{3_min}}{\Delta l_3} \right\rfloor.$$

У цьому випадку довжина відрізка-залишку визначається як:

$$l_{ост} = l_{DM} - n_{3_min} \cdot l_{3_min} - n_{\Delta} \cdot \Delta l_3.$$

Очевидно, що з двох можливих пар підмножин $L_{3_min(i)}, L_{\Delta(i)}$ і $L_{3_min(j)}, L_{\Delta(j)}$ прийнятніше, в сенсі критерію (3.1), буде та множина, значення залишку для якої буде менше.

Звідси слідує алгоритм визначення оптимальних, в сенсі критерію (3.1), підмножин L_{z_min} і L_{Δ} . Задаючи n_{z_min} від $n_{z_min_min}$ до $n_{z_min_max}$ через одиницю визначаємо для відповідної пари підмножин довжину відрізка-залишку $l_{ост}$ і в якості оптимальної пари залишаємо ту, для якої довжина відрізка-залишку менше. У разі, коли довжини відрізків-залишків збігаються, то, в силу додаткової умови оптимізації, в якості оптимальної пари залишаємо ту, у якій множина L_{z_min} містить меншу кількість елементів - для якого n_{z_min} менше.

На другому етапі оптимізації визначаємо множину довжин відрізків замовної довжини виходячи з того міркування, що з технологічної точки зору найбільш раціональним є рівномірний розкрій. В цьому випадку довжини відрізків замовної довжини повинні відрізнятися не більше, ніж на Δl_3 . В результаті маємо відрізки замовної довжини двох модифікацій. Для визначення довжини відрізків першої модифікації в (3.6) в якості k_3

підставляємо $k_{3_1} = \left\lceil \frac{n_{\Delta}}{n_{z_min}} \right\rceil$, а для другої $k_{3_2} = k_{3_1} + 1$.

Кількість відрізків першої - $n_{отр_3_1}$, і другої - $n_{отр_3_2}$, модифікацій відповідно рівні $n_{отр_3_1} = n_{z_min} \cdot k_{3_2} - n_{\Delta}$ та $n_{отр_3_2} = n_{\Delta} - n_{z_min} \cdot k_{3_1}$.

Рішення задачі оптимального розкрою за варіантом 1 і критерієм (3.2) досить очевидно і впливає з рішення задачі оптимального розкрою за критерієм (3.1) і, в окремому випадку, з рішення задачі 1а оптимального розкрою за критерієм (3.2).

Якщо відрізок-залишок є коротким відрізком, то, якщо $k_{3_1} < k_{3_max}$, досить один з відрізків першої модифікації об'єднати з відрізком-залишком. Оскільки $l_{ост} < \Delta l_3$, то довжина такого відрізка буде задовольняти умові (3.3), тобто буде відрізком товарної довжини. В результаті отримаємо альтернативну множину відрізків L_A , а оптимальну множину визначимо з двох множин L_{Φ} і L_A .

Якщо $k_{3_1} = k_{3_max}$, то можливі наступні випадки. При $l_{z_min} + \Delta l_3 \cdot k_{3_max} + l_{ост} \leq l_{T_max}$ альтернативна множина формується як було

розглянуто вище. В іншому випадку формується дві альтернативні множини: одна за правилами формування альтернативної множини, наведеною вище при вирішенні завдання 1а, а другу - при виборі оптимальної множини за критерієм (3.1) визначаємо субоптимальну множину, накладаючи додаткову умову $k_{3,1} < k_{3,max}$.

Таким чином, оптимальний план розкрою довгомірного прокату є поєднанням двох базових розкрійних планів: розкрою по уставці - на відрізки заданої довжини, і рівномірного розкрою - на відрізки 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 прокату, коли одна частина прокату розкроюється по уставці на відрізки заданої довжини, а інша - рівномірним розкроєм на відрізки товарної довжини.

3.2 Визначення раціональних довжин заготовок

Заготовка є основою для виробництва товарного металопрокату. У процесі її виробництва однією з основних операцій є операції розкрою прокатної штанги на заготовки.

При розкрої прокатної штанги на заготовки, які призначені для подальшої прокатки на БДС, для поліпшення техніко-економічних показників роботи прокатного виробництва, що охоплюють ланцюжок Блюмінг - БЗС - БДС повинні дотримуватися критерії (1.10), (1.11), а також (1.12).

З огляду на багатокритеріальність завдання, проведемо дослідження закономірності, що лежать в основі ефективності розкрою прокатної штанги на заготовки.

Частка витрат на виробництво заготовки становлять 90% в собівартості товарного прокату [5]. Тому розкрій на БЗС грає важливу роль у формуванні

техніко-економічних показників виробництва товарного сортового металопрокату.

Завдання ефективного розкрою прокатної штанги на БЗС за критеріями (1.11) і (1.12) передбачає визначення довжини заготовки виходячи з максимальної ймовірності $\tilde{P}()$ виходу максимальної кількості прутків кратних мірної довжині:

$$\tilde{P}(N_{\text{пр_мер}}) \rightarrow \max \quad (3.15)$$

У разі рівномірного розкрою штанги максимальна кількість заготовок визначається як:

$$N_{\text{з_равн}} = \left\lfloor \frac{L_{\text{шт}}}{L_3} \right\rfloor \text{ при } (L_{\text{з_min}} < L_3 < L_{\text{з_max}}) \quad (3.16)$$

де $L_{\text{шт}}$ – довжина прокатної штанги; L_3 – початкова довжина заготовки з діапазону допустимих довжин $L_{\text{з_min}} < L_3 < L_{\text{з_max}}$; $\lfloor \cdot \rfloor$ – операція округлення до більшого цілого.

При цьому з імовірністю

$$\begin{aligned} P(M[L_3] - 3 \cdot \sigma[\Delta L_{\text{з_пак}}] < L_3 < M[L_3] + 3 \cdot \sigma[\Delta L_{\text{з_пак}}]) = \\ = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{(L_3 + \frac{\Delta L_{\text{з_пак}}}{2}) - M[L_3]}{\sigma[\Delta L_{\text{з_пак}}] \sqrt{2}} \right) - \Phi \left(\frac{(L_3 - \frac{\Delta L_{\text{з_пак}}}{2}) - M[L_3]}{\sigma[\Delta L_{\text{з_пак}}] \sqrt{2}} \right) \right] \end{aligned} \quad (3.17)$$

буде викроїно $N_{\text{з_равн}}$ заготовок довжиною L_3 .

При виробництві заготовок на експорт такий розкрій є найбільш ефективним за критерієм (3.2). В даному випадку виконується тільки один критерій мінімізації відходів придатного металу на БЗС, і не виконуються критерії (1.12).

З огляду на статистичні дані (Глава 2) досить тісного зв'язку маси заготовки і довжини розкату, для виробництва сортового прокату, розкрійний план на БЗС повинен ґрунтуватися на інформації про масу прокатної штанги (коефіцієнті погонного метра).

З огляду на це, максимальна кількість прутків, які будуть отримані після прокатки заготовки довжиною L_3 і масою P_3 на сортовому стані визначимо як:

$$n_{\text{пр_max}} = \left[\frac{P_3}{P_{\text{пр}}} \right] + \Delta O_{\text{пр}} \quad (3.18)$$

де $P_{\text{пр}}$ - маса прутка заданого профілю на сортовому стані при ($P_{\text{пр_min}} < P_{\text{пр}} < P_{\text{пр_max}}$); $\Delta O_{\text{пр}}$ - залишок від ділення; $[]$ – операція округлення до меншого цілого. Маса прутка $P_{\text{пр}}$ заданого профілю на сортовому стані вибирається виходячи з критерію (1.10) або (1.11). У разі критерію (1.11) масу прутка вибирають з умови кратності масі мірного стрижня, а при (1.10) - максимальної довжини відрізуваних прутків з урахуванням параметрів технологічного обладнання вихідного боку прокатного стану (довжини холодильника).

У разі неефективного розкрою штанги на БЗС, довжина останнього прутка $l_{\text{пр_п}}$ при прокатці заготовки довжиною L_3 і масою P_3 буде відмінна і меншою від інших. Мінімальна довжина прутка, що буде викроєна з і-го прокату, обмежується за умовою мінімально допустимою довжиною прокату, прийнятого холодильником. З огляду на (1.11) кількість мірних стрижнів $n_{\text{с_}l_{\text{пр_п}}}$ і залишку $\Delta O_{\text{с}}$ при порізці останнього прутка складе:

$$n_{\text{с_}l_{\text{пр_п}}} = \frac{\Delta O_{\text{пр}} \cdot P_{\text{пр}}}{P_{\text{с}}} + \Delta O_{\text{с}} \quad (3.19)$$

де $P_{\text{с}}$ – маса мірного стрижня замовленої довжини $l_{\text{с}}$ на сортовому стані; $\Delta O_{\text{с}}$ – залишок на останньому різу прутка $l_{\text{пр_п}}$.

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 $L_3^{\text{опт}}$ буде визначена з виразу:

$$L_3^{\text{опт}} = \frac{P_3^{\text{опт}} \cdot L_3}{P_3} \quad (3.20)$$

де $P_3^{\text{опт}} = P_3 - P_{\Delta O_{\text{с}}}$ – оптимальна маса заготовки, звідки $P_{\Delta O_{\text{с}}} = \Delta O_{\text{с}} \cdot P_{\text{с}}$ – маса немірного стрижня на останньому різу прутка $l_{\text{пр_п}}$.

Оскільки довжина заготовки L_3 згідно з критерієм (1.11) буде змінена до $L_3^{\text{опт}}$, і для виключення залишку після прокатки заготовки в чистовій групі, необхідно так само мінімізувати критерій (1.12). З цією метою $n_{\Delta O_c}$ штук заготовкам довжиною $L_3^{\text{опт}}$ необхідно додати збільшення довжини на величину:

$$\Delta L_{\Delta O_c} = \frac{P_c}{P_{3_пм}} \quad (3.21)$$

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

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

$$n_{\Delta O_c} = \left[\frac{P_{\Delta O_c} \cdot N_{3_max}}{P_c} \right] \quad (3.22)$$

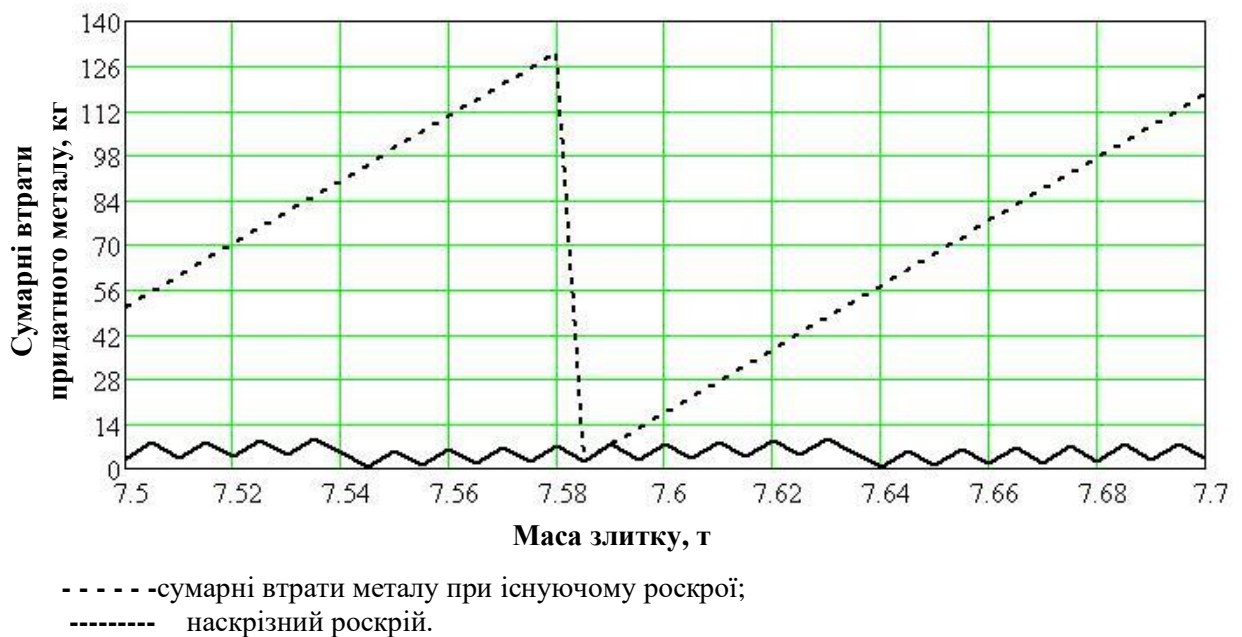


Рисунок 3.1 – Діаграма залежності сумарних втрат придатного металу в обріз від маси прокату при існуючому і наскрізному розкрію на БЗС і БДС

Як показують розрахунки, кількість відходів придатного металу в обріз при існуючому розкрію досягають 1,7% початкової маси зливка (рис. 3.1). У

разі застосування запропонованого розкрою на БЗС, відходи придатного металу у вигляді обрізків придатного металу при виробництві мірного прокату значно знижуються і становлять до 0,16%.

Однак слід зазначити, що в сьогоденних умовах на наявному обладнанні для виробництва металопрокату не вдається отримати заготовки суворо замовленої довжини і маси.

З огляду на вищевикладене є необхідним визначити межі ефективності запропонованого розкрою на БЗС.

За експериментальними даними встановлено середньостатистичний розкид довжин заготовок в пакеті при розкрої прокатної штанги $R[\Delta L_3]=0,15\text{м}$.

Даний факт викликає розкид вже на заготівельних стані в плюс-мінус один-два мірних стрижня при виробництві дрібносоротної продукції (арматура №6-10).

Для арматурного прокату відповідно до [72, 82] регламентовані основні параметри і розміри готового профілю (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 - Номери профілів, маса 1 метра довжини арматурної сталі гладкого і періодичного профілю, граничні відхилення по масі.

Номер профілю	Маса 1 м профілю		Номер профілю	Маса 1 м профілю	
	Номінальна, кг	Граничні відхилення, %		Номінальна, кг	Граничні відхилення, %
№6	0,222	-7,0/+9,0	№28	4,83	-5,0/+3,0
№8	0,395		№32	6,31	-4,0/+3,0
№10	0,617	№40	№36	7,99	
№12	0,888		№45	9,87	
№14	1,21	-6,0/+5,0	№50	12,48	-4,0/+2,0
№16	1,58		№55	15,41	
№18	2		№60	18,65	
№20	2,47		№70	22,19	
№22	2,98		№80	30,21	
№25	3,85			39,46	

Якщо прийняти мінімальну $l_{\text{прт_min}} = 65\text{ м}$ і максимальну $l_{\text{прт_max}} = 110\text{ м}$ довжину прутків на холодильнику, можемо визначити зміну маси прокату в полі допуску (Додаток Г).

З огляду на, що розкид довжин заготовок в пакеті складає $R[\Delta L_3] = 0,15\text{ м}$, при зміні перетину заготовки в полі допуску розкид маси окремих заготовок в пакеті складе $\Delta G_{3\text{ пак}_i} = 7,16 \dots 8,10\text{ кг}$.

Аналізуючи дані (Додаток Г) і рис. 3.2 можна зробити висновок, що ефективність розкрою обмежується можливістю компенсувати похибку розкрою прокатної штанги зміною перетину прокату в полі допуску на виході з останньої кліті БДС.

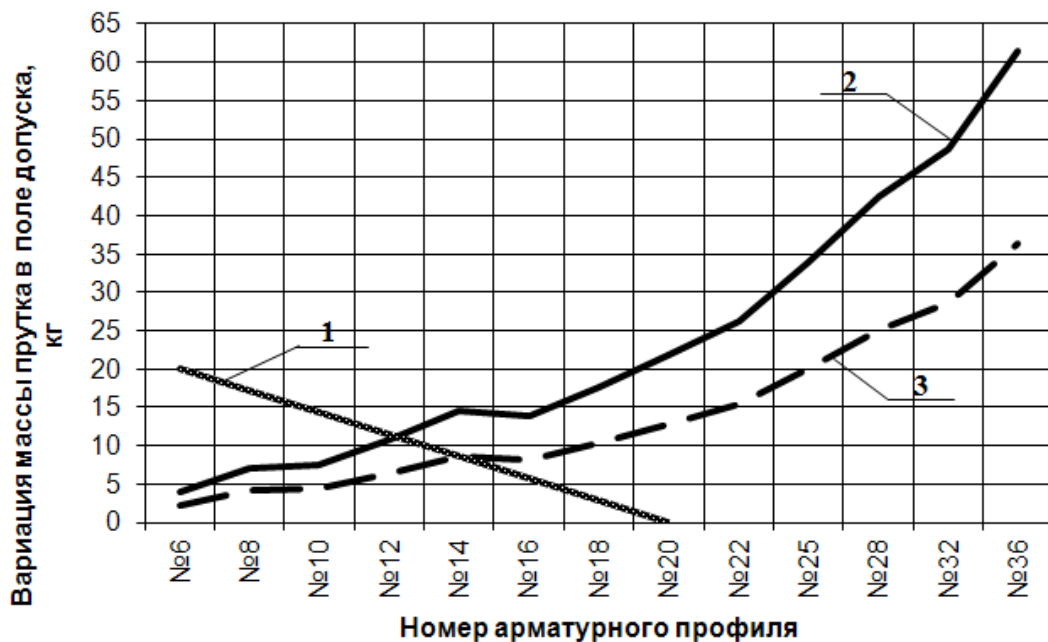


Рисунок 3.2 - До визначення області вигідності способів розкрою
 1 - пряма обмеження ефективності методу розкрою;
 2 - варіація маси прутка максимальної довжини (110 м) в полі допуску;
 3 - варіація маси прутка мінімальної довжини (65 м) в полі допуску.

Компенсувати цей розкид на БДС можна за допомогою вдосконалених методів і систем прогнозування довжини і розкрою штанги на виході БЗС.

Одним з перспективних методів компенсації неточності розкрою на БЗС може стати автоматизована система керування довжиною прокату за допомогою оперативної зміни довжини прокату на величину некратій

мірному стрижню залишку. Таким чином, в умовах використовуваного на сьогоднішній день устаткування і технології прокатки ефективним оптимальний розкрій на БЗС, з урахуванням критеріїв (1.11) і (1.12) можна вважати тільки при виробництві арматурних профілів з номерами вище №14. В іншому випадку необхідно використовувати критерій (1.10) для збільшення продуктивності стану і поліпшення його техніко-економічних показників.

3.3 Розкрій прокату з раціональної заготовки на безперервному дрібносортовному стані

З метою визначення найбільш ефективного алгоритму розкрою для різних профілерозмірів стрижневого прокату проведемо дослідження рівномірного способу і запропонованого способу розкрою за допомогою моделювання.

В якості вихідних даних прийняті:

- максимальна довжина прутків на холодильнику l_{x_max} ;
- мінімальна довжина прутка на холодильнику l_{x_min} ;
- мінімальна величина немірного залишку в прутку $\Delta l_{ост_пр_min}$;
- діаметр прокату $d_{п}$;
- початкова (мінімальна) довжина заготовки L_{3_min} ;
- кінцева (максимальна) довжина заготовки L_{3_max} ;
- сторона квадрата поперечного перетину заготовки $L_{с_3}$;
- крок по довжині заготовки ΔL_3 ;
- мірна довжина мірного стрижня $l_{с_м}$;
- мінімальна довжина немірна стрижня $l_{с_нм_min}$.

3.3.1 Математична модель рівномірного способу розкрою

Визначаємо довжину прутка $l_{\text{пр}} = \frac{l_{\text{п}}}{n_{\text{пр_min}}}$.

Визначаємо кількість мірних стрижнів в прутку – $K_{\text{м}}$

$$K_{\text{м}} = \left[\frac{l_{\text{пр}} - \Delta l_{\text{ост пр_min}}}{l_{\text{с_м}}} \right] \cdot n_{\text{пр_min}}$$

Визначаємо немірний залишок в прутку $l_{\text{с_нм}}$

$$l_{\text{с_нм}} = l_{\text{пр}} - \Delta l_{\text{ост пр_min}} - \frac{K_{\text{м}}}{n_{\text{пр_min}}} \cdot l_{\text{с_м}}$$

Перевіряємо умову $l_{\text{с_нм}} < l_{\text{с_нм_min}}$. Якщо воно виконується, то $l_{\text{с_нм}} = 0$.

Визначаємо сумарну довжину мірних стрижнів – $l_{\text{п_м}}$, немірних стрижнів – $l_{\text{п_нм}}$ і коротких стрижнів (обрізків) – $l_{\text{п_к}}$ в прокаті:

$$l_{\text{п_м}} = K_{\text{м}} \cdot l_{\text{с_м}},$$

$$l_{\text{п_нм}} = l_{\text{с_нм}} \cdot n_{\text{пр_min}},$$

$$l_{\text{п_к}} = l_{\text{п}} - l_{\text{п_м}} - l_{\text{п_нм}}.$$

Визначаємо довжину прокату, покладену на холодильник – $l_{\text{п_хх}}$

$$l_{\text{п_хх}} = l_{\text{п}}.$$

Визначаємо кількість прутків, на які ділиться прокат

$$n_{\text{пр}} = n_{\text{пр_min}} \cdot$$

Визначаємо максимальну $l_{\text{пр_max}}$ і мінімальну $l_{\text{пр_min}}$ довжину прутків, на які ділиться прокат: $l_{\text{пр_max}} = l_{\text{пр}}$ и $l_{\text{пр_min}} = l_{\text{пр}}$, відповідно.

3.3.2 Математична модель способу розкрою по уставці на крат з обрубанням немірної частини заготовки

Розраховуємо довжину залишкового прутка $l_{\text{пр_ост}}$

$$l_{\text{пр_ост}} = l_{\text{п}} - n_{\text{пр_м}} \cdot l_{\text{пр_м_max}}.$$

Визначаємо максимальну довжину прутка $l_{\text{пр_max}}$

$$l_{\text{пр_max}} = l_{\text{пр_м_max}} \cdot$$

Перевіряємо довжину залишкового прутка. Якщо $l_{\text{пр_ост}} < l_{x_min}$, Якщо, то рубаємо залишок і визначаємо послідовно наступні параметри:

– загальну кількість мірних стрижнів, які викроюють з прокату

$$K_{\text{м}} = K_{\text{пр_м_max}} \cdot n_{\text{пр_м}};$$

– загальну кількість прутків, які викроюють з прокату

$$n_{\text{пр}} = n_{\text{пр_м}};$$

– довжину прокату, покладену на холодильник

$$l_{\text{п_xx}} = l_{\text{п}} - l_{\text{пр_ост}};$$

– сумарну довжину мірних стрижнів в прокаті

$$l_{\text{п_м}} = K_{\text{м}} \cdot l_{\text{с_м}};$$

– сумарну довжину немірних стрижнів

$$l_{\text{п_нм}} = 0;$$

– сумарну довжину коротких стрижнів (обрізі)

$$l_{\text{п_к}} = l_{\text{п}} - l_{\text{п_м}};$$

– мінімальну довжину прутка, на які ділиться прокат

$$l_{\text{пр_min}} = l_{\text{пр_м_max}} \cdot$$

Якщо $l_{\text{пр_ост}} \geq l_{x_min}$, то визначаємо:

– кількість мірних стрижнів в залишковому прутку

$$K_{\text{пр_м_ост}} = \left\lceil \frac{l_{\text{пр_ост}} - \Delta l_{\text{ост_пр_min}}}{l_{\text{с_м}}} \right\rceil;$$

– загальну кількість мірних стрижнів, які викроюють з прокату

$$K_{\text{м}} = n_{\text{пр_м}} \cdot K_{\text{пр_м_max}} + K_{\text{пр_м_ост}};$$

– загальну кількість прутків, які викроюють з прокату

$$n_{\text{пр}} = n_{\text{пр_м}} + 1;$$

– довжину прокату, покладену на холодильник

$$l_{\text{п_xx}} = l_{\text{п}};$$

– сумарну довжину мірних стрижнів в прокаті

$$l_{\pi_m} = K_m \cdot l_{c_m};$$

– довжину немірна стрижня в залишку і, що те саме, сумарну довжину немірних стрижнів

$$l_{\pi_nm} = l_{\text{пр_ост}} - \Delta l_{\text{ост пр_min}} - K_{\text{пр_м_ост}} \cdot l_{c_m};$$

– сумарну довжину коротких стрижнів (обрізі)

$$l_{\pi_к} = l_{\pi} - l_{\pi_m} - l_{\pi_nm};$$

– мінімальну довжину прутків, на які ділиться прокат

$$l_{\text{пр_min}} = l_{\text{пр_ост}}.$$

Коефіцієнт виходу міри для прокату однієї заготовки $k_{m_п}$ визначається

$$\text{як } k_{m_п} = \frac{l_{\pi_m}}{l_{\pi}}.$$

Коефіцієнт заповнення для прокату однієї заготовки $k_{з_п}$ визначається як

$$k_{з_п} = \frac{l_{\pi_xx}}{l_{x_max} \cdot n_{\text{пр}}}.$$

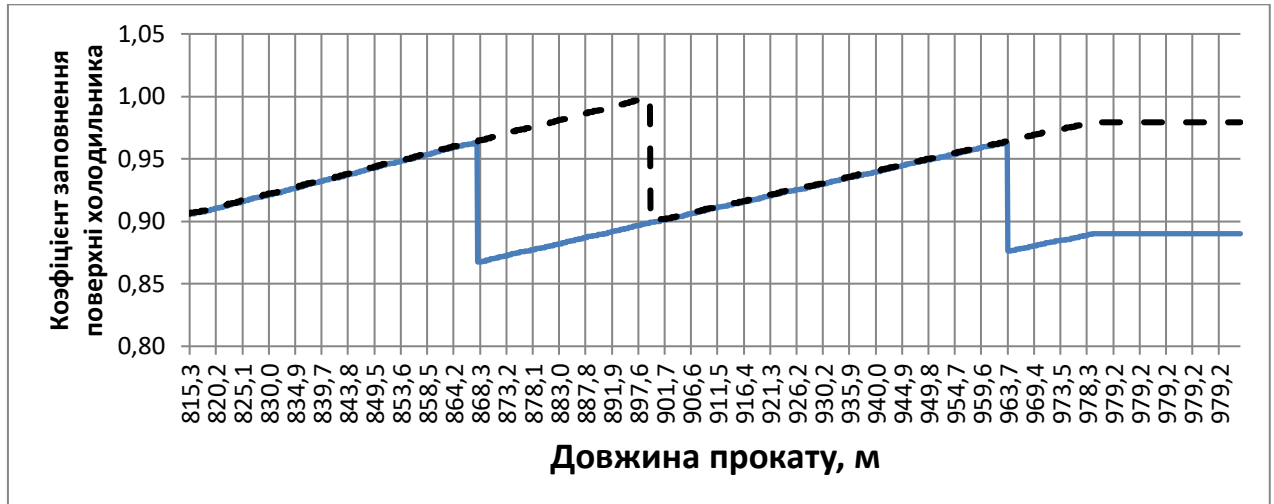
Результати моделювання рівномірного способу розкрою і запропонованого способу для профілю № 10 наведені на рисунку 3.3.

Результати моделювання для профілерозмірів № 6-32 наведені в Додатку Д.

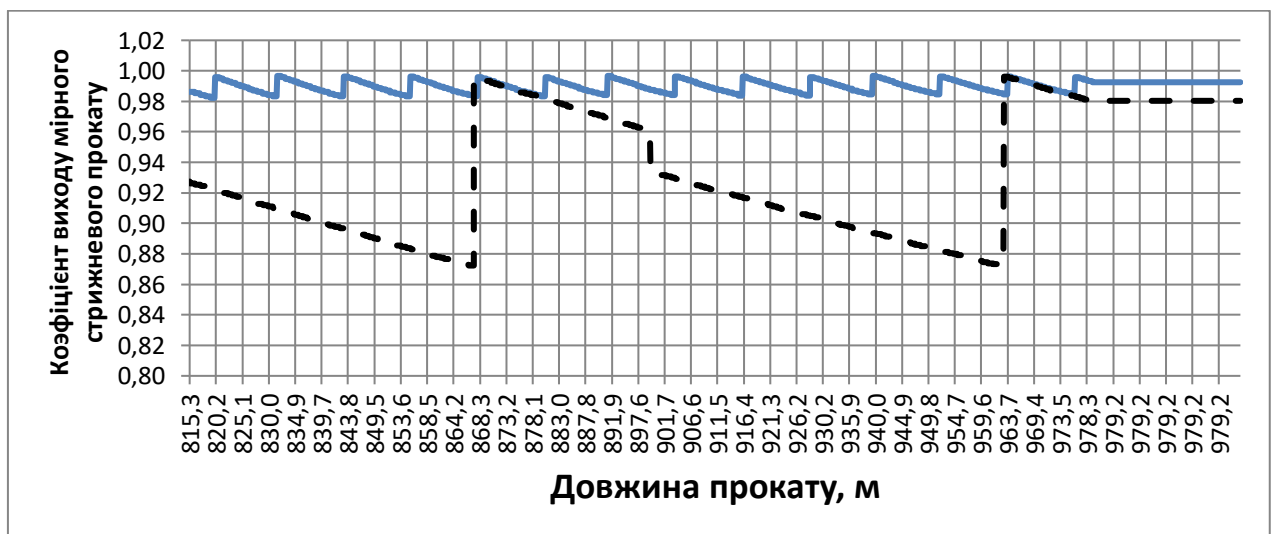
На підставі результатів аналізу отриманих графіків можна зробити висновок, що при виробництві дрібносортних профілів найбільш ефективним виявляється спосіб розкрою розкату з обрубанням немірної частини. У порівнянні двох способів розкрою: рівномірного і з обрубанням немірної частини видно, що найбільший вихід мірного прокату утворюється при використанні останнього способу. Незважаючи на це, продуктивність стану знижується внаслідок зменшення заповнення настилу холодильника.

У разі застосування рівномірного способу розкрою забезпечується більш висока продуктивність стану. При великих профілях товарного металопрокату 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 (1.11), а в другому – за більш повне заповнення холодильника і за більш ритмічну роботу вихідної сторони і, загалом, за рахунок підвищення продуктивності стану (1.10).



а)



----- рівномірний розкрій

----- розкрій з обрубкою немірної частини

б)

Рисунок 3.3 - Результати моделювання рівномірного і запропонованого способу розкрою для профілю № 10: а – коефіцієнт заповнення для прокату однієї заготовки $k_{з.п}$; б – коефіцієнт виходу міри для прокату однієї

заготовки $k_{м.п}$

3.4 Ефективне використання безперервнолитого злитка в наскрізній схемі розкрою

На сьогоднішній день є багато робіт присвячених дослідженню розкрою злитка на однострумковій МБЛЗ в разі завдання допустимих довжин заготовок у вигляді однієї або декількох фіксованих мірних довжин [54-57].

Незважаючи на наявні роботи цікавим є застосування методу оптимального розкрою в умовах виробництва трубних і колісних заготовок на МБЛЗ.

Довжини, безперервно литих заготовок (БЛЗ) і використовуваних заготовок посаду при виробництві гарячекатаних безшовних труб на металургійному заводі "ІнтерпайпНікоТьюб" наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Стандартизовані довжини заготовок і заготовок посада по безостаточного розкрої при виробництві гарячекатаних безшовних труб.

Довжина БЗС до розкрою, м	7,2			9,6				11		11,8		
Кратність порізки БЗС	4	3	2	6	5	4	3	5	4	6	5	4
Довжина заготовок посаду, м	1,8	2,4	3,6	1,6	1,92	2,4	3,2	2,2	2,75	1,97	2,36	2,95

При складанні розкрійного плану на трубопрокатному виробництві, довжина заготовки посада вибирається залежно від конкретних вимог до готової продукції, умов прокату і наявності вихідної заготовки. Так, на редуційному стані металургійного заводу "ІнтерпайпНікоТьюб" довжини з заготовок посада в більшості випадках знаходяться в діапазоні від 2 до 3м., на калібрувальному – від 2 до 3,5м (Додаток Е). При такому розкрої БЛЗ неодмінно виникають втрати придатного металу - відходи у вигляді обрізи.

В умовах економії енергетичних і матеріальних ресурсів, на сьогоднішній день, як ніколи раніше, назріла необхідність в розробці і реалізації нових напрямків оптимальних методів розкрою безперервного злитка під замовлення трубопрокатного і колесопркатного виробництв. Якщо вдасться розкроїти безперервний злиток на БЛЗ з довжинами кратними мірі, що викроюються під певний вид продукції, то створяться умови щодо істотного зниження сумарних втрат придатного металу в обріз на МБЛЗ і передільних станах і підвищенню виходу мірного товарного металопрокату.

При реалізації розкрою безперервного злитка на багатострумковій МБЛЗ, особливо при закінченні розливання через не кратність залишкової маси металу в промковші масі мірної заготовки, неодмінно залишаються відходи придатного металу у вигляді немірних залишків на струмках, які в подальшому направляють на переплавку.

Втрати придатного металу викликані з одного боку технологією виробництва, а з іншого - недосконалістю алгоритмів розкрою. Як було зазначено вище, втрати придатного металу, в такому випадку, досягають 6% від маси плавки.

На рисунку 3.4 приведена діаграма втрат придатного металу при виробництві заготовки під замовлення для трубопрокатного виробництва довжиною $L_2 = 11\text{м}$ (номінальна ємність сталковша $P_{\text{ст}} = 160\text{ т}$).

Матаматична модель розрахунку втрат придатного металу наведені в Додатку Є.

Втрати придатного металу, в такому випадку, склали 5% від маси плавки.

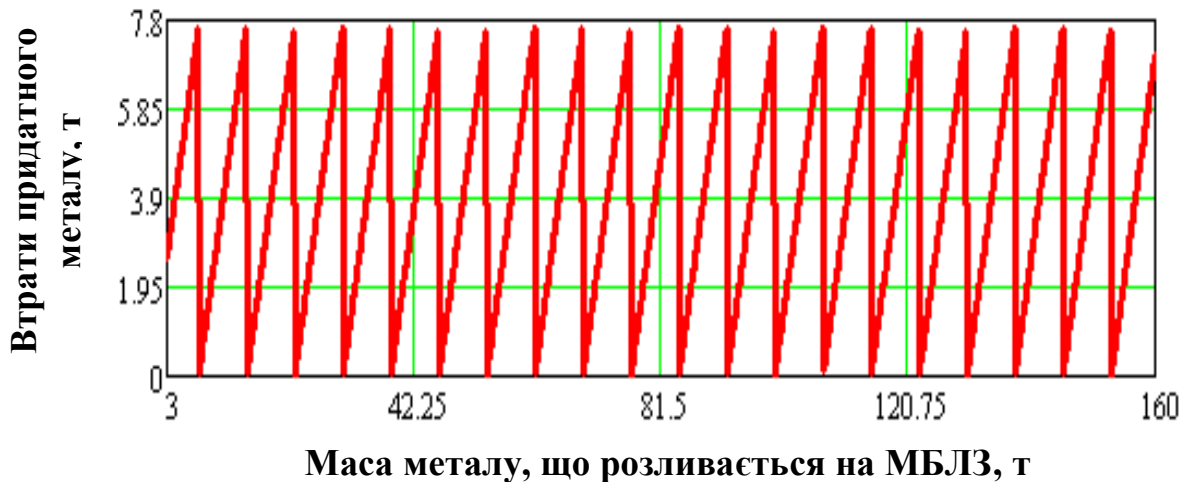


Рисунок 3.4 - Діаграма втрат придатного металу при виробництві заготовки під замовлення для трубопрокатного виробництва

При використанні отриманих заготовок для виробництва гарячекатаних безшовних труб на трубопрокатному заводі утворюються відходи металу у вигляді обрізків. Обрізь виходить при розкріі загальної довжини труби, отриманої під час прокати заготовки посада на мірні довжини труби під замовлення. Як зазначалося вище, довжина заготовки посада вибирається залежно від конкретних вимог до готової продукції і умов прокату.

На рисунку 3.6 зображена діаграма сумарних втрат придатного металу в обріз при виробництві БЛЗ довжиною та готової товарної продукції: труба мірної довжини , діаметр труби , товщина стінки (Додаток Д).

Як видно з рис. 3.5, сумарні втрати придатного металу в обріз при розкріі безперервного злитка на багатострумковій МБЛЗ з подальшим використанням отриманих БЛЗ для виробництва гарячекатаних безшовних труб можуть скласти до 11% з однієї плавки.

У разі застосування методу наскрізного розкрію на МБЛЗ, в основу якого закладено визначення довжини БЛЗ під певний вид товарної продукції з урахуванням технології виробництва, сумарні втрати придатного металу в обріз значно знижуються (рис. 3.6).

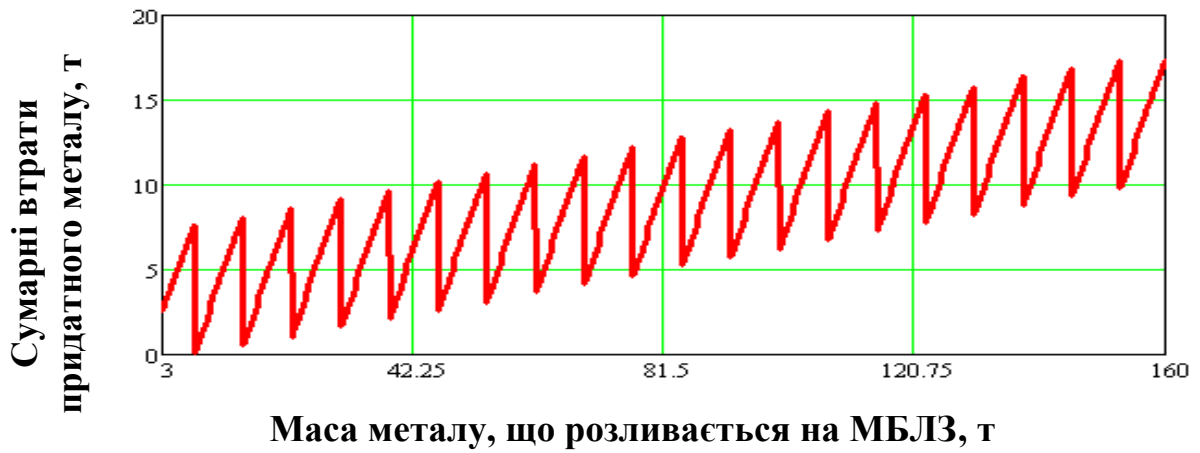


Рисунок 3.5 - Діаграма сумарних втрат придатного металу при виробництві заготовки під замовлення для трубопрокатного виробництва і готової товарної продукції

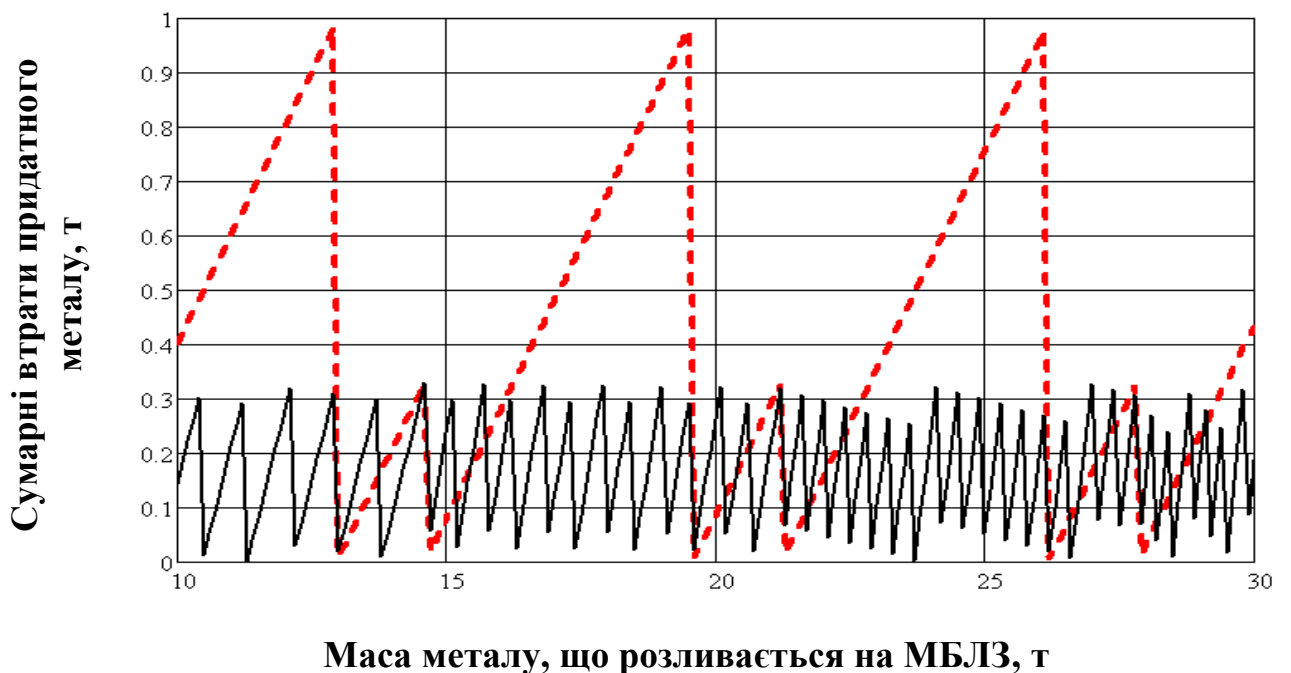


Рисунок 3.6 - Діаграма втрат придатного металу при виробництві заготовки під замовлення для трубопрокатного виробництва та готової товарної продукції:

1 – при існуючому розкрої; 2 – наскрізний розкрій

Узагальнюючи отримані результати, можна зробити висновок про ефективність застосування наскрізного розкрою безперервнолитої заготовки МБЛЗ та прокатних станах.

3.5 Висновки по розділу 3

3.1 Встановлено загальні закономірності, які забезпечують оптимальний розкрій довгомірного прокату на різних стадіях виробництва стрижневого прокату. Оптимальний план розкрою довгомірного прокату є поєднанням двох базових розкрійних планів: розкрою по уставці - на відрізки заданої довжини, і рівномірного розкрою - на відрізки однакової довжини.

3.2. 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 розкроєм на відрізки товарної довжини.

3.3 На підставі аналізу граничних відхилень геометричних розмірів заготовки і дрібносортного прокату підтверджено, що в умовах використовуваного на сьогоднішній день устаткування і технології прокатки ефективним оптимальний розкрій на БЗС, з урахуванням критеріїв (1.11) і (1.12) можна вважати тільки при виробництві арматурних профілів з номерами вище №14. В іншому випадку необхідно використовувати критерій (1.10) для збільшення продуктивності стану і поліпшення його техніко-економічних показників.

РАЗДІЛ 4 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ, ЩО ПІДВИЩУЮТЬ ТОЧНІСТЬ КЕРУВАННЯ ОПЕРАЦІЯМИ РОЗКРОЮ НА БЕЗПРЕРЕВНИХ ДРІБНОСОРТНИХ СТАНАХ

4.1 Розробка методу налаштування швидкісного режиму прокатки

Відомі два принципово відмінних один від іншого способи керування: за регульованим параметром і керування за непрямим параметром [116].

В першому випадку в системі керування неодмінно має бути пристрій, яким здійснюється вимір регульованої величини – натягу прокату. Систему керування в цьому випадку будують таким чином, що вимірювана величина порівнюється із заданою величиною, а їх різниця подається на підсилювач системи.

В другому випадку в системі керування відсутній датчик, що безпосередньо вимірює натяг. Регулювання ведеться за одним або кількома непрямыми параметрами.

Системи з датчиками натягу в даний час тільки набувають поширення з огляду на те, що створити надійну, досить точну, малоінерційну конструкцію датчика з широким діапазоном вимірювання до останнього часу не вдалося. Тому, як правило, в дрібносортних станах застосовують параметричні системи керування електроприводом, в яких стабілізація натягу смуги здійснюється за непрямыми параметрами.

При сортовій прокатці натяг не піддається безпосередньому виміру. З існуючих способів непрямого вимірювання натягу найбільш ефективним і легко здійсненним є спосіб з контролем прогину прокату в міжклітьовому проміжку.

Прокатка з петлею (вільна прокатка) є найкращим технологічним режимом, так як в цьому випадку забезпечується більш висока точність готового профілю. При прокатці з петлею між клітьями чистової групи

усувається різноширинність розкату, яка спостерігається після чорнової групи клітей, де прокатка ведеться з натягом. Натяг прокату впливає не тільки на швидкісний режим прокатки, а й на геометричні параметри розкату.

Створення петлі розкату між клітями відбувається тоді, коли порушується узгоджений режим процесу безперервної прокатки, тобто якщо швидкість розкату, що виходить з попередньої кліті, більше швидкості входу його в наступну кліть. Приріст довжини петлі, що знаходиться на петлевому столі розкату, визначається залежністю:

$$\Delta l_i = \int_0^t (V_{1i} - V_{0(i+1)}) dt, \quad (4.1)$$

де Δl_i – збільшення довжини петлі прокату; V_{1i} – швидкість прокату на виході з i -тої кліті; $V_{0(i+1)}$ – швидкість прокату на вході в $(i+1)$ -у кліть.

Так як початкова ділянка заготовки при заповненні чорнової групи прокочується без переднього, а кінцева ділянка при звільненні чорнової групи – без заднього натягу, це призводить до відносного збільшення поперечного перетину профілю на кінцях розкату в порівнянні з середньою частиною. Ці зміни перетину при вступі до чистової групи клітей викличуть відповідну зміну швидкості прокатки, а отже, і зміну величини прогину.

Разом з тим, оцінка величини натягу в чорновій групі клітей дозволить удосконалити роботу САРШ обертання валків і таким чином мінімізувати нестабільність площі поперечного перетину підкату на вході в чистову групу клітей [114, 115].

При моделюванні процесу прокатки в однопитковому прокатному стані встановлено наявність взаємозв'язку між напругою на виході регулятора петлі і сумарною витяжкою в безперервній чорновій групі клітей, що опосередковано свідчить про зміну натягу прокату [122].

Так як вихід регулятора петлі легко виміряти, то його сигналом можна компенсувати зміну поперечного перетину профілю на кінцях розкату.

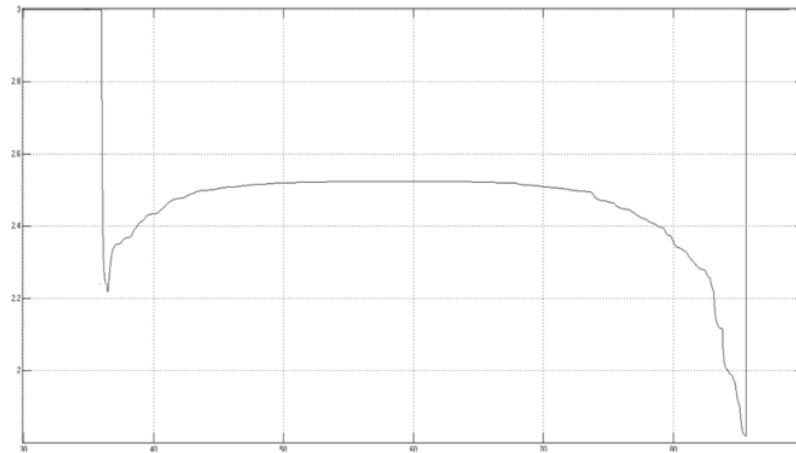
Для перевірки цього припущення проведено дослідження на розробленій комп'ютерній моделі (див. п. 2.2) прокатки заготовки в БДС. Структурна схема системи керування натягу чорнової групи клітей і першої кліті чистової групи наведена в Додатку Ж.

Впливи в контурі регулювання петлі прокату мають високочастотну складову, викликану динамічними процесами в самому контурі і низькочастотну, пов'язану зі зміною режиму обтиску від передньої ділянки прокату до задньої ділянки в першій чистової кліті. Високочастотні складові збурення знижуються пропорційною частиною регулятора, а низькочастотні інтегральною частиною. Тому вихідний сигнал регулятора петлі може бути використаний для системи керування натягом в останньому міжклітьових проміжку чорнової групи клітей з метою вирівнювання розширення по довжині прокату.

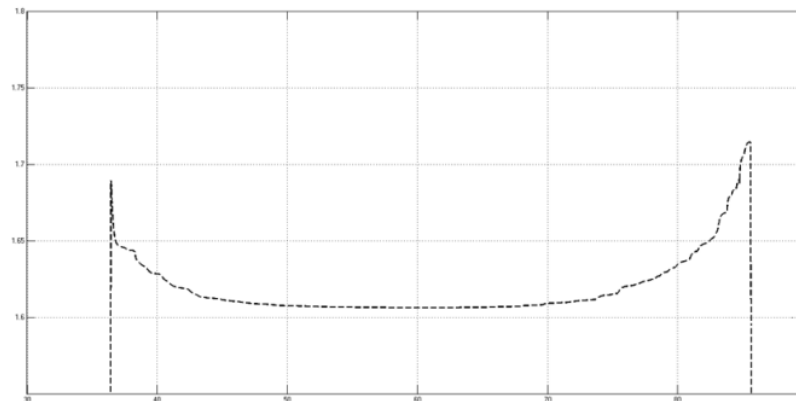
На рисунку 4.1 наведені графік вихідного сигналу регулятора петлі (а) і графік зміни ширини прокату на виході сьомої кліті (б). Як бачимо з графіка, дані криві в дзеркальному відображенні практично ідентичні. Статистична обробка результатів показала, що коефіцієнт кореляції між шириною прокату на виході сьомої кліті і вихідного сигналу регулятора /петлі становить 0,88, що дозволяє оцінювати різноширинність прокату на виході чорнової групи зі зміни вихідного сигналу регулятора петлі прокату [122].

Регулювання розмірів прокату на виході чорнової групи клітей може бути досягнуто регулюванням натягу прокату в міжклітьових проміжках групи. Для чорнової групи клітей таке регулювання доцільно здійснювати шляхом зміною швидкісного режиму прокатки в останньому міжклітьовому проміжку, в нашому випадку - неузгодженістю частот обертання п'ятої та шостої кліті, в залежності від зміни вихідного сигналу регулятора петлі перед шостою кліттю.

В цьому випадку мінімізується час запізнювання в каналі керування, а саме керування не вносить скільки-небудь помітні збурювання в швидкісний режим прокатки в інших міжклітьових проміжках групи.



а



б

Рисунок 4.1 - Графік зміни вихідного сигналу регулятора прогину/ петлі (а) і графік зміни ширини прокату на виході сьомої кліти (б).

Спочатку моделювався штатний режим прокатки без автоматичного регулювання натягу в останньому міжклітьовому проміжку чорнової групи клітей (рис. 4.2, крива 2). Як прийнято на практиці, коефіцієнти узгодження швидкості обертання клітей вибиралися такими, щоб мінімальна неузгодженість швидкостей для міжклітьових проміжків становила 1,0...1,5 % відносно швидкісного режиму прокатки, який відповідає нульовому натягу, що забезпечує стійкість режиму безперервної прокатки в чорновій групі клітей в умовах наявності неконтрольованих збурень.

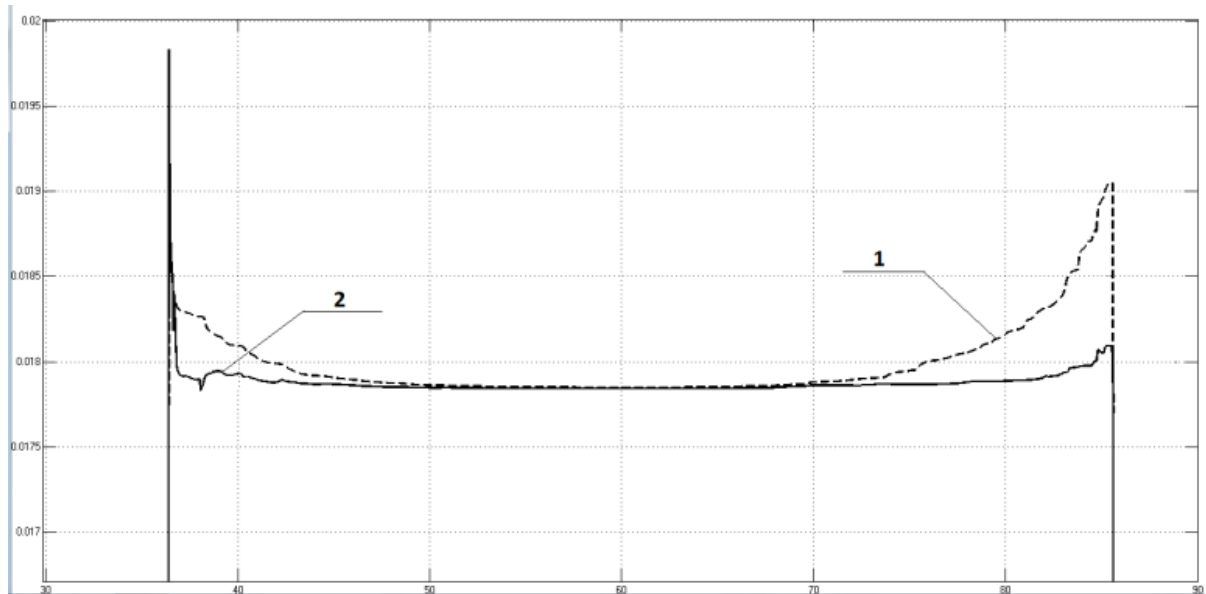


Рисунок 4.2 - Графік зміни розширення прокату на виході з чорнової групи клітей: 1 – без системи регулювання прокату;
2 – з системою програмного регулювання натягу.

З рисунка 4.2 видно, що під впливом натягу, викликаному порушенням співвідношення частоти обертання прокатних валків, змінюється коефіцієнт витяжки в чорновій групі, що тягне за собою зміну розширення Δb розкату на його кінцях.

У разі узгодженої подачі сигналу регулятора петлі в якості додатку до завдання частоти обертання валків перших шести клітей чорнової групи БДС зміна ширини прокату відсутня (рис. 4.2, крива 1).

Так як площа поперечного перетину прокату на виході чорнової групи практично не змінюється, то не змінюється і швидкісний режим прокатки перед сьомою кліттю (крива 2 на рисунку 4.2).

Результати моделювання дозволяють зробити висновок про те, що узгоджена зміна швидкісного режиму прокатки в перших шести клітях чорнової групи БДС по сигналу від регулятора петлі значно знижує розкид перетину розкату на виході з останньої кліті чорнової групи БДС.

Таким чином, запропонована система активного регулювання натягу прокату забезпечує стабілізацію поперечних розмірів прокату на виході чорнової групи клітей.

На підставі отриманих даних метод узгодженої зміни швидкісного режиму прокатки в чорновій групі БДС можна вважати працездатним, а його реалізація на існуючому обладнанні прокатного стану не представляє великої складності.

4.2. Розробка алгоритму розкрою металопродукату на безперервному дрібносортному стані

Після прокатки в чорновій і чистовій групах клітей прокат, який виходить з останньої чистової кліті, розрізається летючими ножицями на відрізки (прутки) довжиною від 60 до 110 метрів (перша стадія розкрою). Відрізані від розкату прутки транспортуються до холодильника і за допомогою клапанного скидача перекладаються на його настил, де здійснюється охолодження прутків і вирівнювання їх передніх торців шляхом підтягування за допомогою вбудованого рольганга.

З охолоджених і вирівняних прутків комплектуються пакети (по 20 ... 50 прутків), які рольгангом подаються на стаціонарні ножиці для розкрою на пачки мірних стрижнів, довжина яких визначається замовленням і може коливатися від 6 до 12 метрів (друга стадія розкрою).

Довжина прутків, які утворюються в результаті розкрою на летючих ножицях, обмежується зверху габаритами холодильника, а знизу – тривалістю циклу роботи клапанного скидача. Так, наприклад, при швидкості руху прокату на виході зі стану $V = 15$ м/с і тривалості робочого циклу скидача $t_{\text{ц}} = 4$ с мінімальна довжина прутка становитиме $l_{\text{c, min}} = V \times t_{\text{ц}} = 15 \times 4 = 60$ м. Якщо довжина прутка буде меншою за мінімальну, разом з ним на холодильник буде підкидатися початок наступного прутка, який рушить слідом, що призведе до аварії на холодильнику.

Якщо після розкрою пакета в пачках стрижнів відсутні стрижні немірної довжини, такі пачки вважаються мірними і можуть бути реалізовані за максимально високою ціною [83]. Наявність же в пачках немірних

стрижнів призводить до зниження ціни готового прокату або вимагає додаткових витрат на здійснення розбраковки – відшукування і вилучення немірних стрижнів з пачок.

З огляду на забезпечення максимального виходу мірної стрижневої продукції, ідеальний результат першої стадії розкрою полягає в тому, щоб довжина всіх прутків на холодильнику була кратною довжині мірного стрижня (перша вимога) і при цьому не перевищувала максимально допустимої і не була менше мінімально допустимої довжини прутка (друга вимога).

Якщо усунути шкідливий вплив наявності змінних по довжині кінцевих прутків, то створяться умови для суттєвого збільшення виходу мірних стрижнів.

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 чистою групами клітей, відрізають від заднього кінця заготовки цей кінцевий відрізок [83].

Алгоритм роботи системи полягає в наступному.

Перед переходом до виробництва пруткового прокату нової мірної довжини l_m визначають кратну їй задану довжину прутка $l_{np,max}$, яка є максимально можливою за габаритами холодильника

$$l_x > l_{np,max} = k \times l_m, \quad (4.2)$$

де l_x – довжина настилу холодильника, k – кількість мірних стрижнів, які можуть бути утворені з прутка.

Надалі замість довжини розкату і прутків використовують тимчасові інтервали, які є еквівалентними тривалості переміщення прутків і розкатів через перетин летючих ножиць.

Відповідно до [88] при прокатці вимірюють швидкість V прокату на виході з останньої чистової кліті і визначають часовий інтервал t_{np} , який відповідає заданій довжині прутка

$$t_{np} = l_{np, \max} / V, \quad (4.3)$$

а потім, відраховуючи його, послідовно відрізають від розкату прутки довжиною $l_{np, \max}$. Визначають також проміжок часу t_m , протягом якого через перетин летючих ножиць буде проходити відрізок розкату довжиною l_m

$$t_m = l_m / V, \quad (4.4)$$

У момент появи переднього кінця розкату в перетині летючих ножиць, використовуючи відомі з практики методи, здійснюють прогнозування часового інтервалу t_p , протягом якого прокат буде присутній в перетині летючих ножиць, і часу t_a , який залишився до моменту виходу заднього кінця прокату з перетину аварійних ножиць. Після цього обчислюють часовий інтервал, який відповідає довжині кінцевого прутка за формулою

$$t_k = t_p - E \left[\frac{t_p}{t_{np}} \right] t_{np}, \quad (4.5)$$

де $E \left[\frac{t_p}{t_{np}} \right]$ – ціле число, яке представляє собою кількість прутків заданої довжини, відрізаних від даного розкату.

Обчислюють часовий інтервал, еквівалентний довжині залишку, який повинен бути відрізаний аварійними ножицями для того, щоб довжина кінцевого прутка була кратною довжині мірного стрижня

$$t_{ocm} = t_k - E \left[\frac{t_k}{t_m} \right] t_m, \quad (4.6)$$

де $E \left[\frac{t_k}{t_m} \right]$ – ціле число, яке представляє собою кількість мірних стрижнів, які будуть утворені під час розкрою кінцевого прутка.

Здійснюють відлік часового інтервалу $\Delta t = t_a - t_{ocm}$, по завершенні якого видають команду аварійним ножицям на відрізання і подрібнення немірного залишку.

Таким чином здійснюється коригування довжини розкату на виході з чистової кліті і забезпечується її кратність довжині мірного стрижня. Розміщення на холодильнику прутків, які будуть отримані в результаті застосування запропонованого способу розкרוю, після вирівнювання їх торців наведено на рисунку 4.3.

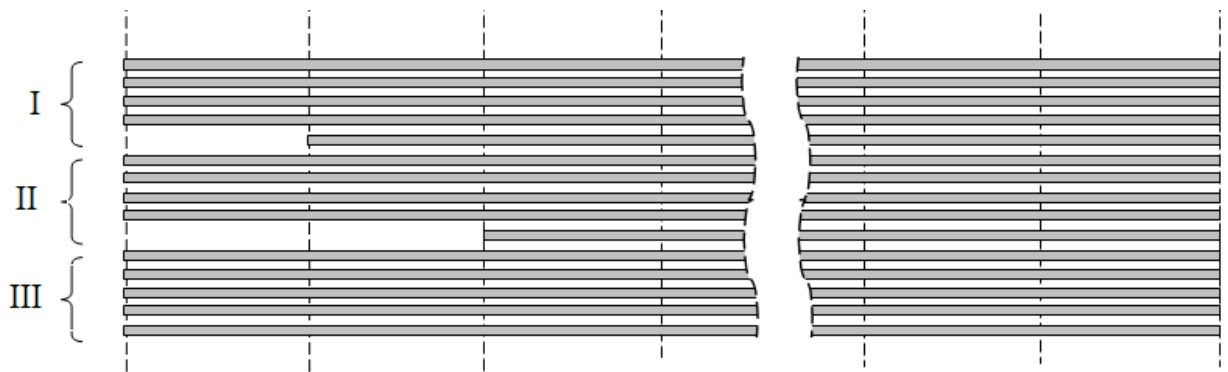


Рисунок 4.3 - Розміщення на холодильнику стрижнів

Якщо після розрахунку за формулою (4.5) довжина кінцевого прутка виявляється меншою мінімально допустимої довжини, $l_k < l_{np, \min}$, тобто $t_k < l_{np, \min} / V$, забезпечують збільшення довжини кінцевого прутка на необхідну кількість r кратностей $t'_k = t_k + r \times t_m > l_{np, \min} / V$ за рахунок відповідного зменшення довжини попередніх прутків.

4.3 Розробка автоматизованої системи розкרוю металопрокату на безперервному дрібносортному стані

Реалізація запропонованого способу розкרוю прокату може бути забезпечена автоматизованою системою, функціональна схема якої наведена на рисунку 4.4.

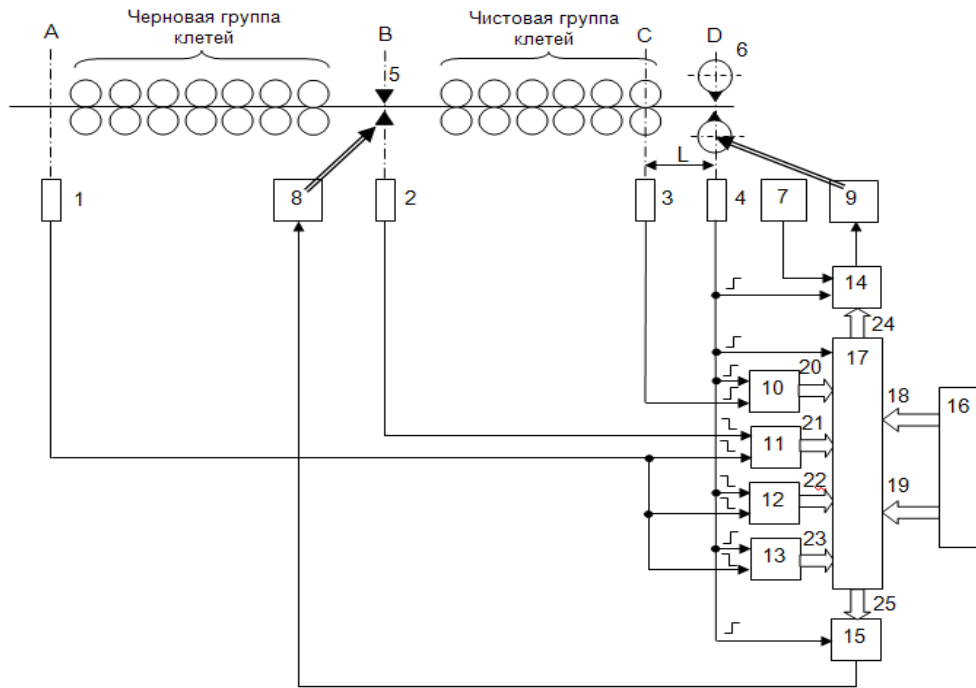


Рисунок 4.4 - Функціональна схема автоматизованої системи розкрою металопрокату: 1 ... 4 – датчики наявності прокату на вході в чорнову групу клетей; 5 – аварійні ножиці; 6 – летючі ножиці; 7 – датчик спрацьовування летючих ножиць; 8 – схема включення аварійних ножиць; 9 – схема включення летючих ножиць; 10 ... 13 – блоки вимірювання часових інтервалів; 14, 15 – блоки витримки часу; 16 – блок введення уставок; 17 – обчислювальний блок; 18... 25 – інформаційні виходи

Функціонування цієї системи відбувається наступним чином.

Перед початком прокатки оператор виставляє на виходах блоку 16 введення уставок значення мірної довжини l_m і заданої довжини прутків $l_{np,max}$, які надходять на входи 18 і 19 обчислювального блоку 17.

Перший (контрольний) прокат розкроюється на прутки довжиною з утворенням кінцевого прутка довільної довжини.

З появою переднього кінця першого розкату на виході з чистової групи клетей спрацьовує датчик наявності прокату 3, який своїм сигналом запускає блок 10 вимірювання часових інтервалів.

У момент, коли передній кінець розкату досягає перетину D летючих ножиць 6, спрацьовує датчик 4. Сигналом цього датчика:

– припиняється робота блоку 10, після чого з його виходу на інформаційний вхід 20 обчислювального блоку 17 передається інформація щодо проміжку часу t_{CD} , протягом якого передній кінець розкату проходить базову відстань між датчиками 3 і 4;

– ініціюється обчислення в блоці 17 швидкості прокату за формулою $V = L/t_{CD}$ і часового інтервалу t_{np} за формулою (4.3), який з виходу 24 блоку 17 видається на інформаційний вхід блоку 14 витримки часу;

– запускається відлік витримки часу t_{np} в блоці 14.

Після закінчення відліку витримки часу t_{np} з виходу блоку 14 видається сигнал в схему 9 запуску летючих ножиць 6. В момент відрізання прутка спрацьовує датчик 7 спрацьовування летючих ножиць і своїм сигналом знову запускає відлік часу t_{np} в блоці 14 для відрізання наступного прутка.

Таким чином відбувається розкрій першого (контрольного) розкату.

Для здійснення розкрою другого розкату необхідно спрогнозувати значення часових інтервалів t_p і t_a , очікувані при його прокатці [83]. Для цього на першому розкаті вимірюється час переміщення його заднього кінця від перетину, який контролюється датчиком 1 (перетин А), до перетину, який контролюється датчиком 4 (перетин D), а також час t_{AB} переміщення його заднього кінця від перетину, який контролюється датчиком 1 (перетин А), до перетину, який контролюється датчиком 2 (перетин В). Приймається, що тривалість переміщення заднього кінця другого розкату між зазначеними датчиками буде такою ж самою.

Отже, під час прокатки першого (контрольного) розкату здійснюється збір інформації для прогнозування часових інтервалів t_p і t_a , які очікуються при прокатці другої заготовки. Накопичення цієї інформації відбувається в блоках 11, 12 і 13 вимірювання часових інтервалів за сигналами датчиків 1, 2 і 4 наявності прокату:

- в блоці 11 фіксується часовий інтервал t_{AB} , який відповідає часу переміщення заднього кінця заготовки між перетинами А і В стану;
- в блоці 12 фіксується часовий інтервал t_{AD} , який відповідає часу переміщення заднього кінця заготовки між перетинами стану А і D.

Розкрій другого розкату на летючих ножицях 6 відбувається аналогічно розкрою першого (контрольного) розкату [83]. При цьому в блоці 13 вимірювання часового інтервалу за сигналами датчиків наявності прокату 1 і 4 визначається проміжок часу $t_{AD\bar{}}$ від моменту виходу заднього кінця другого розкату з перетину А до моменту появи переднього кінця цього розкату в перетині D. У момент появи переднього кінця розкату в перетині D сигналом датчика 4:

- ініціюється розрахунок в обчислювальному блоці 17 часових інтервалів за формулою, за формулою $t_p = t_{AD} - t_{AD\bar{}}$, t_m за формулою (4.4), t_a за формулою $t_a = t_{AB} - t_{AD\bar{}}$ і Δt за формулами (4.3-4.7);
- з виходу 25 обчислювального блоку 17 видається на інформаційний вхід блоку 15 витримки часу обчислене значення часового інтервалу Δt ;
- запускається відлік витримки часу Δt в блоці 15.

Після закінчення відліку витримки часу Δt і з виходу блоку 15 видається сигнал в схему 8 запуску аварійних ножиць 5, які здійснюють відрізання від заднього кінця заготовки немірного залишку та його подрібнення.

Таким чином, при прокатці другий заготовки забезпечується кратність довжини розкату, який піддається розкрою на летючих ножицях, довжині мірного стрижня.

Збір інформації для прогнозування часових інтервалів t_p і t_a , які очікуються при прокатці третьої заготовки, здійснюється в блоках 11 і 12 вимірювання часових інтервалів так само, як для другої заготовки.

Подальша робота системи під час розкрою наступних розкатів відбувається аналогічно роботі під час розкрою другого розкату [83].

Запропонований спосіб розкрою забезпечує видачу прутків на холодильник з довжинами, кратними мірному стрижню, що зменшує затрати на сортування прокату на ад'юстажі. Втрати придатного металу в обрізь при такому розкрої складають менше однієї мірної довжини стрижня на одній заготовці. Результати математичного моделювання показали (додаток Д), що при прокатці круглого профілю № 10 втрати придатного металу складуть 1,0...1,5% від заготовки.

4.4 Розробка системи автоматичного керування вирівнюванням термозміцненого прокату на холодильнику дрібносортного стану

На підставі проведеного аналізу ефективності застосування електромагнітного примусового гальмування прутків на холодильнику в умовах підвищення виходу мірної продукції (див. Розділ 2), при безпосередній участі автора, розроблена система автоматичного керування вирівнюванням термозміцненого прокату на холодильнику дрібносортного стану [88]. При використанні електромагнітів, вмонтованих в струмок рихтувальних жолобів холодильника, в процесі гальмування більш коротких прутків забезпечується відповідне подовження гальмівного шляху.

На кожному прутку визначається фактична інтенсивність його гальмування, яка може відрізнитися від інтенсивності гальмування попередніх і враховується при керуванні гальмівними магнітами під час скидання наступних прутків.

Функціональна схема системи автоматичного керування вирівнюванням термозміцненого прокату на холодильнику дрібносортного стану представлена на рисунку 4.5.

Система автоматичного керування вирівнюванням термозміцненого прокату 1 на холодильнику дрібносортного стану містить датчик 2 наявності

прокату в приймальному жолобі 3 холодильника, датчик 4 зупинки смуги, датчик 5 швидкості смуги перед скиданням, встановлений на валу одного з роликів 6 рольгангу, електромагніти 7, що встановлені в приймальному жолобі зі схемою 8 їхнього вмикання, блок 9 керування приводом 10 скидача 11, блок 12 введення уставок, три блоки 13, 14 та 15 відліку часу, блок 16 пам'яті, обчислювальний блок 17, блок 18 витримки часу, блок 19 ключів, копку 20 та вимірювач 21 довжини смуг [88].

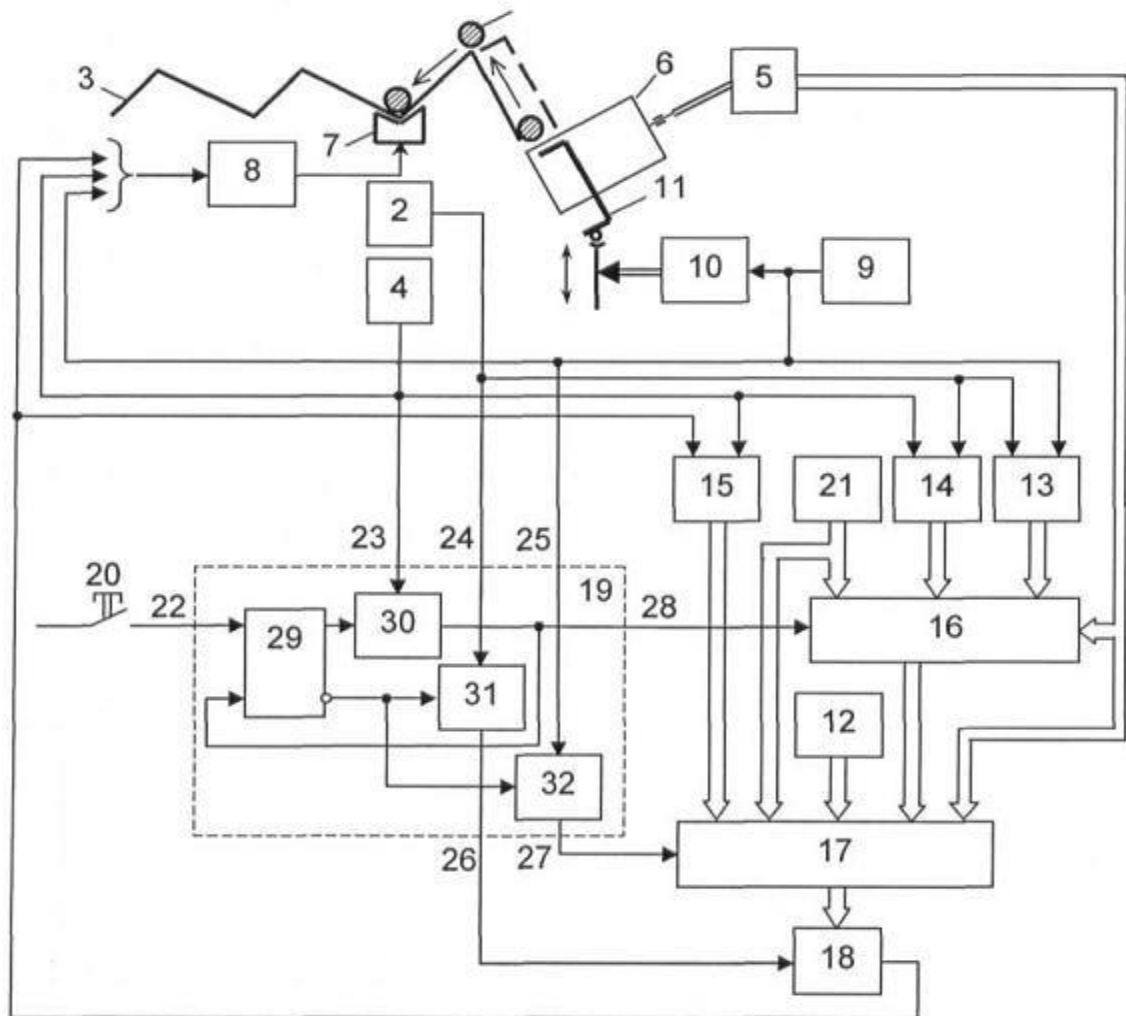


Рисунок 4.5 - Функціональна схема системи автоматичного керування вирівнюванням термозміцненого прокату на холодильнику дрібносортного стану

Процедура вимірювання довжини здійснюється у блоці 21, наприклад, шляхом вимірювання швидкості смуги за часом пересування її переднього

кінця крізь базову відстань та визначення довжини смуги за часовим інтервалом між послідовними різаними летючих ножиців.

Виходи датчика 5 швидкості смуги перед скиданням, блоків 13 та 14 відліку часу та вимірювача 21 довжини смуги з'єднані шинами переносу зі входами блока 16 пам'яті. Виходи блока 12 введення уставок, датчика 5, вимірювача 21, блока 16 пам'яті та блока 15 відліку часу з'єднані шинами переносу зі входами обчислювального блока 17, вихід якого з'єднаний шиною переносу з інформаційним входом блока 18 витримки часу. Перший вхід 22 блока 19 ключів з'єднаний з кнопкою 20. Вихід датчика 4 зупинки смуги з'єднаний зі входом схеми 8 вмикання електромагнітів, другим входом 23 блока 19 ключів, другим входом блока 14 та першим входом блока 15. Вихід датчика 2 наявності прокату в приймальному жолобі холодильника з'єднаний із третім входом 24 блока 19 ключів, другим входом блока 13 та першим входом блока 14. Вихід блока 9 керування приводом скидача з'єднаний зі входом схеми 8 вмикання електромагнітів, четвертим входом 25 блоку 19 ключів та першим входом блоку 13. Перший вихід 26 блока 19 ключів з'єднаний із керуючим входом блока 18 витримки часу, другий вихід 27 - із керуючим входом обчислювального блока 17, а третій вихід 28 - із керуючим входом блока 16 пам'яті. Вихід блока 18 витримки часу з'єднаний зі входом схеми 8 вмикання електромагнітів та другим входом блока 15 відліку часу. Блок 19 ключів може бути реалізований, наприклад, за допомогою RS-тригера 29, та ключів 30, 31 й 32. При цьому перший вхід 22 блока 19 підключений до S-входу тригера, а другий 23, третій 24 і четвертий 25 входи блока 19 підключені до перших входів ключів 30, 31 та 32. R-вхід тригера підключений до виходу ключа 30, другий вхід ключа 30 - до прямого, а другі входи ключів 31 та 32 - до інверсного виходу тригера 29. Виходи ключів 30, 31 та 32 є відповідно виходами 28, 26 та 27 блока 19 [88].

Робота системи, що пропонується, базується на наступних засадах.

Розміщення кінців смуг на холодильнику визначається величиною шляху гальмування смуг, тобто їхнім пересуванням від моменту початку скидання (моменту вмикання скидача) до зупинки.

На основі отриманих даних результатів моделювання (Додаток В) середньоквадратичне відхилення передніх торців прутків арматурного профілю №10 від перетину їх групування знижується з 2,32 метрів до 0,12 метра, тобто розкид передніх торців може бути знижений до 0,75 метра [114]. Таким чином за допомогою запропонованої системи можна істотно підвищити точність вирівнювання передніх торців термозміцненого прокату на холодильнику де немає систем з підрівнювання роликками. Однак слід зазначити, що даний спосіб може застосовуватися тільки для термозміцненого прокату.

4.5 Висновки по розділу 4

Запропоновано метод налаштування швидкісного режиму прокатки, в якому узгоджена зміна частоти обертання валків чорнової групи БДС сигналом від регулятора петлі, що є ефективним для зниження розкиду перетину розкату на виході з останньої кліті чорнової групи БДС.

На підставі аналізу граничних відхилень геометричних розмірів заготовки і дрібносортного прокату встановлені межі застосування розкрою металопрокату за критеріями максимального виходу мірного прокату і максимального заповнення настилу холодильника.

Запропоновано спосіб оптимального розкрою прокату на дрібносортному стані, який забезпечує видачу прутків на холодильник з довжинами, кратними мірному стрижню, незалежно від параметрів вихідної заготовки. Втрати придатного металу в обрізь при такому розкрої становлять не більше однієї мірної довжини готового прокату з однієї заготовки, при цьому вихід мірної продукції максимальний, а втрати придатного металу менше одного мірного стрижня із заготовки.

Розроблена система автоматичного керування вирівнюванням термозміцненого прокату на холодильнику дрібносортного стану забезпечує середньоквадратичне відхилення передніх торців прутків арматурного профілю №10 від перетину їх групування знижується з 2,32 метрів до 0,12 метра.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеною науково-дослідною роботою вирішена важлива наукова проблема автоматизації процесів узгодженого керування розкром прокату на безперервних сортових прокатних станах шляхом 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.

Виконані у даній дисертаційній роботі дослідження дали змогу зробити наступні висновки щодо результатів роботи:

1. Встановлено, що передня і задня обрізь при розкрої штанги на БЗС не завжди відповідає регламентованим розмірам відповідно до технологічної інструкції. 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. За допомогою комп'ютерного моделювання встановлено, що при керуванні швидкісним режимом прокатки в чистовій групі подачею керуючого впливу проти напрямку прокатки, швидкість прокату на виході з останньої кліті стабілізована і розміри перетину профілю не виходять за поле допусків. Однак така система вимагає складного налаштування регуляторів взаємопов'язаних приводів, крім того, викликає необхідність застосування додаткового обладнання для формування петлі на петлевому столі між чорною і чистовою групами клітей, висота якої може сягати 2,5 метрів.

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 $r_{l_p, P_3} = 0,86$)

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 розкроєм на відрізки товарної довжини.

7. На підставі аналізу граничних відхилень геометричних розмірів заготовки та дрібносортного 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 дрібносортному 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьменко А.Г. Производство мерного проката на непрерывных мелкосортных станах. // М.: Металлургия, 1997, 310с.
2. Терновский И.Я. Прокатка на блюминге / И. Я. Терновский, Е. В. Пальмов, В. А. Тягунов – М.:Металлургиздат, 1963.-388 с.
3. Технологическая инструкция. Прокатка слитков и производство заготовок в цехе Блюминг №1ТИ 228-Б1-02-2007 / «ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» - 29 с
4. Технологическая инструкция по производству сортового проката на непрерывных мелкосортных станах 250-1 и 250-2 СПЦ №1 комбината «Криворожсталь», ТИ 228-ПС2-01-96. – Кривой Рог, 1996. – с. 98.
5. Куваев В.М. Розвиток наукових основ автоматизації процесів виробництва арматурного прокату: автореф. дис. ... д-ра техн.наук. / В.М. Куваев [Національний гірничий університет]. – Дніпропетровськ, 2007.– 35 с.
6. Егоров В.С. Оптимизация технологических операций на непрерывных мелкосортных станах для перехода к массовому производству мерного проката / Автореф. Дис....докт. техн. наук // - М., 1988, 47с.
7. Підвищення енергоефективності електромеханічного комплексу виробництва сортового прокату; Отчет о НИР / Национальный горный университет /НГУ/;Руководитель Куваев В.Н. - Днепрпетровск, 2014. -100 с.
8. НИР Енергозберігаюче управління електромеханічними та виробничими комплексами на основі адаптивних моделей технологічних об'єктів / НМетАУ/ Керівник Єгоров О.П. – Дніпропетровськ, 2015.
9. Чумаков В.П., Коренко М.Г. Пути снижения расхода металла при прокатке на блюминге / Металлургическая и горнорудная промышленность. - Днепрпетровск. – 2009. – с. 39-43.
10. Ефимов В.Б. Исследование автоматических систем рационального раскрытия проката на заготовочных станах: Автореф. дис. канд. тех. наук: 05.16.05 / ДМетИ, Днепрпетровск 1969.

11. Прокатка слитков и производство заготовок в цехе блюминг №1. Технологическая инструкция ТИ 228-П. 03,2-01-99. ОАО «Криворожсталь»
12. Бешта А.С. Автоматизация технологических процессов на мелкосортных станах / А.С. Бешта, В.Н. Куваев, О.Е. Потап, А.П. Егоров. – Днепропетровск. – 2014. – 283 с.
13. Технологическая инструкция. Производство передельной и товарной заготовки на непрерывно-заготовочном стане 730/500ТИ 217-Б1-01-2006 / «ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» - 14 с.
14. Гетманец В.В. Исследование влияния основных технологических факторов на выход годного при прокатке слитков на блюминге / Теоретические проблемы прокатного производства. Труды V Международной научно-технической конференции /В.В. Гетманец, В.П. Романченко, И.Е. Полуновский, В.К. Спиняков.–Днепропетровск. –2000г. – 438с.
15. Куваев В.Н. Определение координат характерных участков пакета прутков мелкосортного проката перед егопорезкой на стационарных ножницах / В.Н.Куваев, О.А. Бойко, М.Ю. Кузьменко, Е.Д. Иванова // Теория и практика металлургии. – 2013. – №1-2. – С.74-79.
16. Кузьменко М.Ю. Анализ способов управления летучими ножницами на непрерывном заготовочном стане / Кузьменко М.Ю.,Егоров О.П.// Сборник докладов науч-практ. конф. / ДИПОпром -2012: Днепропетровск.с.28-31
17. Егоров В.С. Система автоматизированного управления раскроем раскатов на стане 250 / В.С. Егоров, О.Е. Потап, В.Н. Куваев и др. // Сталь. - 1992. - №11. - С.48-50.
18. Потап О.Е. Разработка и внедрение рациональных процессов транспортирования и торможения термоупрочненного проката на непрерывных мелкосортных станах с целью увеличения выпуска мерных прутковых изделий // Автореф. дис. канд. техн. наук. / О.Е Потап

[Днепропетровский металлургический институт]. – Днепропетровск, 1989. – 35 с.

19. Лагутин А.Б., Долина Н.С. Исследование эффективности систем автоматического управления раскром проката с учетом работы последующих переделов // кн. Вопросы математической теории управляемых систем и ее применение в металлургии. –М.: ИПУ, 1974. – с. 99-104.

20. Полевой Г.А. Исследование и разработка автоматических систем оптимального управления раскром проката в технологическом потоке «заготовочный-переделный стан»: Дисс. канд. техн. наук. – Днепропетровск: Металлургический инст., 1975. – 314с.

21. Ериклинцев В.В., Фридман Д.С., Резенфельд В.Х. Оптимизация раскром проката. – М.: Металлургия, 1984. – 159 с.

22. Егоров А.П., Разработка металлосберегающих методов и систем управления раскром заготовок на заготовочных станах и МНЛЗ / Егоров А.П., Хижняк В.Я. Кузьменко М.Ю. // Сборник тез докладов науч.-практ. конф. - Киев: НУПТ. -2012. -с.190-192.

23. Ревяко Г.М. Сравнительная характеристика алгоритмов управления раскром проката с учетом производительности сортового стана. – Ижевск: Политехнический институт, 1970. - №4. – с.209-215.

24. Кукушкин О.Н. Совершенствование непрерывных технологических линий прокатных цехов на базе системного анализа их функционирования: Дис. ... д-ра техн.наук: 05.03.05. - Свердловск, 1985. - 366 с.

25. Олевский А.Б. Исследования эффективности автоматизированного управления раскром проката на непрерывных мелкосортных станах / А.Б. Олевский, А.Б.Кузнецов // Челябинский металлургический завод, 1986.

26. Праздников А.В. Автоматизация непрерывных мелкосортных станов. А.В. Праздников, В. С. Егоров, С. Д. Гринберг, О. Н. Кукушкин, В.И. Лошкарев, Б. И. Мирошниченко. -М., «Металлургия», -1975.-216 с.

27. Куваев В.Н. Принципы оптимального раскря мелкосортного проката на полосы // Науковий вісник Національної гірничої академії України. –2002. –№2. –С.88-91.

28. Бешта С.А. Оптимальный раскрой длинномерного проката на прокат товарной длины. С.А. Бешта, М.Ю. Кузьменко, О.А. Бойко, А.С. Соколова / Науковий вісник НГУ. -Дніпропетровськ. -2014. -с. 76-85

29. Егоров А.П. Совершенствование системы автоматического управления многосвязными электроприводами группы клетей при прокатке с петлерегулированием // Автореф. дис. канд. техн. наук. / А.П.Егоров [Днепропетровский металлургический институт]. – Днепропетровск, 1981. – 35 с.

30. Исследование сквозной технологии производства мерного проката на переделе «Блюминг 1250 – БЗС 730/500 – НМС 250-3» КГГМК «Криворожсталь» / Отчет о НИР / Криворожский государственный горно-металлургический комбинат «Криворожсталь» / Руководитель Смияненко И.Н. – Кривой Рог. – 2001.

31. Kuzmenko M. The analysis of the optimal ways of rollcutting on the continuous light-section mill / M. Kuzmenko, O. Potap, A. Egorov, A. Kryachko, V. Dudkina // Metallurgical and Mining Industry. – 2015.

32. Beshta A. The automatic control system of rolling cut on the continuous light-section mill / A. Beshta, M. Kuzmenko, O. Boyko, A. Kryachko, V. Dudkina // Metallurgical and Mining Industry. – 2015.

33. Устройство для раскря мелкосортного проката на заданное число полос: а.с. № 519237, МПК В21В 37/00 // Егоров В.С., Цуркан В.А., Диниц Г.С., Костюченко М.И., Зубаков Н.П.; Опубл. 30.06.1976. Бюл. №24.

34. Третьяк Д.В. Аналитический метод оценки погрешности старто-стоповых ножниц / Д.В.Третьяк // Вісник КТУ, вип. 26, 2010.

35. Разработка методов и технических решений по увеличению точности и размеров сечений и качества арматурного проката на мелкосортном стане 250-3 СПЦ-1 КГГМК «Криворожсталь»; Отчет о НИР /

Научно-исследовательский институт металлургии и материаловедения / Руководитель Дударенко А.А. - №ГР0103V003750; Инв. №4.23-2003 . - Днепропетровск, 2003. - 117 с.

36. Разработка и внедрение системы управления режимом непрерывной прокатки клетей МПС 250/150-6; Отчет о НИР / Национальный горный университет /НГУ; Руководитель Куваев В.Н. – №ГР 0101U001822; Инв. №0204U000702 . – Днепропетровск, 2003. – 143 с.

37. Система контроля технологии и управления скоростными режимами прокатного стана // Р.А. Федоряк / Современные технологии автоматизации. -№1. -2001.

38. Гусев Б. С. Автоматизированная система управления раскромом проката для непрерывно-заготовочного стана / Б. С. Гусев, О. Г. Шевченко, А. В. Молдованов, В. А. Нечипоренко, И. Т. Ротару, Ю. С. Достлев, О. И. Демьяненко // Металл и литье Украины. -1999. -№5-6, стр. 28-31.

39. Спосіб одержання прокату мірної довжини: Пат. № 44534, МПК В23D 31/00 // Худік В.Т., Костюченко М.І., Квашин В.М., Блохін Д.П., Довгаль П.Г., Приходько Є.В., Білоус Г.П., Сокурєнко А.В; Опубл. 15.02.2002. Бюл. №2.

40. Спосіб розкром прокату: Пат. № 45778, МПК В21В39/34, G05В13/00 // Куваєв В.М., Сміяненко І.М., Шеремет В.О.; Опубл. 15.04.2002. Бюл. №4.

41. Спосіб прокатки заготовок на безперервних сортових станах: Пат. № 6982, МПК 7В21В1/18 // Бабенко М.А., Блохін Д.П., Карпинський Ю.П., Квашин В.М, Костюченко М.І., Куваєв В.М. та ін., опубл. 15.06.2005. Бюл. №6.

42. Спосіб автоматичної стабілізації режиму прокатки: Пат. №69693, МПК В21В1/00 // Сокурєнко А.В., Довгань С.М., Півняк Г.Г., Політов І.В., Бабенко М.А., Шеремет В.О., Куваєв В.М. та ін. Опубл. 15.09.2004р.

43. Краснов Б.И. Оптимальное управление режимами непрерывной разливки стали. –М., «Металлургия». -1975. – 312с.

44. Данченко В. Задача дорогостоящая, но иного пути нет / В. Данченко // «Металл». – 2000.

45. Современное состояние автоматизации машин непрерывного литья заготовок. (МНЛЗ). / А. Л. Вишняк, В. А. Карлик, Е. Г. Клейман и др. /7 Обзорная информация. Ин - т Информприбор. Сер. Автоматизированные системы управления. Вып.6. М.,1989. - 60с.

46. Виробництво Інтерпайп // Режим доступу: <https://interpipe.biz/>

47. Технологическая инструкция. Непрерывная разливка стали на МНЛЗ №1 и №2.ТИ ДС-03-2011. ООО "МЗ"Днепрсталь", - 39 с.

48. Исследование и освоение средств и систем автоматизации технологических процессов на стане 250-6 Криворожского металлургического завода; Отчет о НИР/ Научн.-исслед. и опытно-конструкт. ин-т автоматизации черной металлургии /НИИАчермет/; Руководитель В.И. Стахно. - Инв.№6808923. -Днепропетровск, 1979. - 165 с.

49. Шеремет В.А. Опыт сотрудничества НПО «Доникс» и КГГМК «Криворожсталь» в 1992-2000 гг./ В. А. Шеремет, И. Н. Смияненко, М. А. Бабенко // Металл и литье Украины. -2000. - №5-6. с.5-8.

50. Демьяненко О. И. Система автоматического раскроя и учёта проката на БЗС 900/700/500 / О. И. Демьяненко, А. А. Коринь, А. М. Достлев, А. В. Молдованов, О. Г. Шевченко, И. Т. Ротару // Металл и литье Украины. - 2004. -№8-10, стр. 65-67.

51. Ефимов В.Б. Исследование автоматических систем рационального раскроя проката на заготовочных станах: Автореф. дис. канд. тех. наук: 05.16.05 / ДМетИ, Днепропетровск 1969.

52. Егоров А.П. Анализ потерь годного металла в обречь и систем оптимального раскроя / А.П. Егоров, М.Ю. Кузьменко, В.М. Куваев, В.Я. Хижняк // Сборник научных трудов НГУ. -2012 с. 172-180.

53. Краснов Б.И. Оптимальное управление режимами непрерывной разливки стали. –М., «Металлургия». -1975. – 312 с.

54. А. с. 1212691 СССР, МКИ В 22 D 11/16. Устройство для оптимального раскроя слитка в машине непрерывной разливки металла / В. Ф. Лебедин, В. М. Шефтель, В. А. Карлик и др. (СССР). - №3752574/22 -02; Заявлено 13.06.84; Оpubл. 23.02.86. Бюл. №7.

55. А. с. 1447552 СССР, МКИ В 22 D 11/16. Устройство для оптимального раскроя слитка машины непрерывной разливки металла / В. М. Шефтель, Г. П. Демин, Ю. А. Успенский (СССР). - №41806507/23 - 02; Заявлено 27.01.87; Оpubл. 30.12.88. Бюл. №48.

56. А. с. 774784 СССР, МКИ В 22 D 11/16. Устройство для безотходного раскроя слитка, на машинах непрерывного литья металла / Б. И. Краснов, М. М. Туркин, Г. А. Смирнов, Л. И. Тедер (СССР).. №2578418/22-02; Заявлено 02.02.78; Оpubл. 30.10.80. Бюл. № 40.

57. А. с. 1696117 СССР, МКИ В 22 D 11/16. Способ управления разливкой металла на многоручьевой машине непрерывного литья заготовок / И. В. Беляев, А. П. Неретин, В.Н. Тонеев и др. (СССР).- №4474187 /00-02; Заявлено 15.08.88; Оpubл. 07.12.91. Бюл. №45.

58. Каплан В.Н. Разработка и исследование алгоритмов в АСУ ТП МНЛЗ, повышающих выход годного при непрерывной разливке стали // Автореф. дис. канд. техн. наук. / НПК «Киевский институт автоматики». – Киев, 1999. – 35 с.

59. Кузьменко М.Ю. Оптимальное использование непрерывнолитого слитка в сквозной схеме раскроя / М.Ю. Кузьменко // Сборник научных трудов «Качество минерального сырья». – Кривой Рог. – 2015. – с. 121-128.

60. Устройство автоматического управления скоростью транспортировки проката: А.с. 498053 СССР, МКИ В21В 39/00. / Олевский А.Б., Андрианов Ю.Г., Ямпольский Л.Е. и др. (СССР). - №1882669/22-2; Заявлено 16.02.73; Оpubл. 1976, Бюл.№1. - 4 с.

61. Устройство для автоматического управления механизмами сброса прутков на холодильник мелкосортного стана: А.с. 774644 СССР. МКИ В21В

37/00. / Нечитайло В.М., Баллон Д.И., Спивак А.Л. и др. (СССР); №2718111/22-02; Заявлено 09.11.78; Оpubл. 1980. Бюл.№40. - 4 с.

62. Устройство для управления сбрасывателем полосы на холодильник мелкосортного стана: А.с. 1196055 СССР, МКИ В21В 37/00. / Стахно В.И., Егоров В.С., Егоров А.П., Потап О.Е. (СССР); - №3770408/02; Заявлено 05.07.84; Оpubл. 1985г., Бюл.№45. - 5 с.

63. Кузьменко А.Г. Разработка, исследование и внедрение машин принудительного торможения термически упроченного проката для холодильников высокоскоростных мелкосортных станов: Автореф. дис. ... канд.техн.наук. - Москва, 1977.

64. Калинин В.П. Анализ торможения проката на холодильниках мелкосортных станов после порезки на летучих ножницах // В.П. Калинин, А.Ф. Ермоленко, А.Г.Кузьменко / Сб. науч. трудов ВНИИМЕТМАШ. -№40. - 1975. – с. 277-231.

65. Куваев В.Н. Энерго- и ресурсосбережение на непрерывных сортопрокатных станах на основе технологической автоматизации /Куваев В.Н., Чигринский В.А., Карпинский Ю.П.,Иванов Д.А., Политов И.В., Куваев Я.Г. / Вісник приазовського державного технічного університету. - 2008 р. - Вип. №18.

66. Егоров В.С., Молочков С.А., Мирошниченко Б.И. и др. Раскрой проката на переделе «блужинг – мелкосортные станы». – Металлургия и коксохимия. – 1975. – №46. – с. 24-28.

67. Спосіб управління летючими ножицями при розкрої розкату. Пат. № 41687, МПК 7В23D36/00//Бабенко М.А., Коротченков В.М., Носіков В. Л., Шеремет В. О., Хижняк В.Я. Оpubл. 17.09.2001. Бюл. №8.

68. Спосіб управління летючими ножицями. Пат. на корисну модель №5173, МПК 7В23D36/00 // Сокурєнко А.В., Шеремет В. О., Кєтух А.В., Бабенко М.А., Коротченков В.М., Курочкін О.Ф., Єгоров О.П., Хижняк В.Я. Оpubл. 15.02.2005. Бюл. №2.

69. Куваев В.Н. Экономический критерий оценки эффективности производства пруткового проката // Економічний вісник Національної гірничої академії України. — 1999. №4. - С.25-27.

70. Долинина Н.С. Вопросы математической теории управляемых процессов и ее применение в черной металлургии / Н.С. Долинина, А. Б. Лагутин // Ин-т проблем управления. –М.: Ин-т проблем управления. -1974. с. 99-104.

71. Техничко-економическіе показателі виробства мелкосортного проката в стержнях какцелевая функция управления / [Бешта А.С., Егоров А.П., Бойко О.А., Кузьменко М.Ю., Соколова А.С.] – Д.: Теория и практика металлургии, 2013. – №3. С. 57-61.

72. Дубина О.В. Арматурный прокат для железобетонных конструкций. Справочник-каталог / Дубина О.В., Худик Ю.Т., Большаков В.И. и др. – Днепропетровск: НИИИММ, 2000. – 88 с

73. Чекмарёв А.П., Прокатка на мелкосортных станах // А.П.Чекмарёв, В.П.Гречко, В.В.Гетманец, Б.В.Ховрин.-М.: Металлургия, 1967.-363с.

74. Куваев В.Н., Политов И.В., Чигринский В.А. Система управления режимом непрерывной прокатки мелкосортной группы клетей стана 350/250 АО «Электросталь» // Металлургическая и горнорудная промышленность. -1998.-№4. -с.87-91.

75. Освоение системы управления скоростным режимом прокатки в линии стана 350/250. / Калинин В.И., Кофман М.Е., Веселов В.Ф., Куваев В.Н., Карпинский Ю.П., Политов И.В., Чигринский В.А. // Сталь. - 2003. - №2. - с.59-62.

76. Системы управления скоростным режимом непрерывной прокатки сортовых станов / Шеремет В.А., Бабенко М.А., Скляр А.В., Щур В.А., Костюченко М.И., Куваев В.Н., Чигринский В.А., Карпинский Ю.П., Политов И.В., Иванов Д.А. / Металургійна наука – підприємствам Придніпров'я. Збірник наукових праць. Вип. 2. - Дніпропетровськ. „Системи технологи“. 2005. -С.52-62.

77. Гульяев А. П. Визуальное моделирование в среде Matlab: учебный курс. – СПб: Питер, 2000. – 432 с.

78. Кукушкин О.Н. Моделирование работы производственного участка средствами STATEFLOW. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наук. праць. –Краматорськ: ДДМА, 2002. - №12. –с.172-181.

79. Повышение точности непрерывной прокатки мелкосортного металла автоматической стабилизацией режима рокатки / Гринберг С.Д., Гетманец В.В., Карпинский Ю.П. и др. // Сталь. - 1973. - № 7. - С.639-641.

80. Кирпичников В.М., Ревяко Г.М., Шилейкин Л.П. Анализ систем автоматизированного управления раскромом проката.- Сталь, 1980, № 5, с. 394-395.

81. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. -М.: Наука, 1964.-576 с.

82. Хорольский Д.Ю. Справочник по сортовому прокату / Д.Ю. Хорольский, С.Л. Каныгин. –Х.: «Металлика», 2011. -416 с.

83. Патент на винахід №107908. Спосіб управління розкромом прокату на безперервному дрібносортовому 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.

84. Третьяк Д.В. Оценка погрешности старт-стоповых ножниц // Вісник Криворізького технічного університету. – Вип. 23, 2009, С. 134-136.

85. Освоение системы управления скоростным режимом прокатки в линии стана 350/250. / Калинин В.И., Кофман М.Е., Веселов В.Ф., Куваев В.Н., Карпинский Ю.П., Политов И.В., Чигринский В.А. // Сталь. – 2003. – №2. – С.59-62.

86. Система управления скоростным режимом прокатки сортовой линии мелкосортно-проволочного стана 250/150 ОАО «КГМК «Криворожсталь» / Шеремет В.А., Бабенко М.А., Щур В.А., Скляр А.В., Куваев В.Н., Политов И.В., Карпинский Ю.П., Чигринский В.А. //

Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. – №3. – С.104-110.

87. Целиков А.И. Теория продольной прокатки. А.И.Целиков, Г.С.Никитин, С.Е.Рокотян. -М.-: Metallurgy, 1980.-320 с.

88. Патент на винахід №107536. Система автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортового стана / Потап О.Ю., Егоров 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.

89. Егоров В.С. Упрощенные уравнения для моделирования процесса прокатки на сортовых станах / В.С. Егоров, О.Е Потап, В.И. Стахно, М.З.Хенкин // Днепропетровск, 1985. -19с. – Деп. в ин-те «Черметинформация».

90. Егоров В.С. Моделирование процессов прокатки на двухниточном непрерывном мелкосортном стане / В.С. Егоров, О.Е Потап, В.И. Стахно, М.З.Хенкин //Днепропетровск, 1985. -25с. – Деп. в ин-те «Черметинформация».

91. Клименко В.И.Кинематика и динамика процессов прокатки. Клименко В.И., Онищенко А.М. -М.: Metallurgy, 1984 г. - 232 с.

92. Выдрин В.А. Процесснепрерывной прокатки. Выдрин В.А., Федосиенко А.С, Крайнов В.И. -М.: Metallurgy, 1970 г. -456 с.

93. Топоровский М. П. Исследование переходных процессов непрерывной прокатки в чистовой группе мелкосортного стана // Автореф. дис. канд. техн. наук. / Институт черной металлургии. – Днепропетровск, 1966. – 20 с.

94. Смирнов В.К. Деформация и усилия в калибрах простой формы // В.К.Смирнов, В.А.Шилов, К.И.Литвинов.- М.: Metallurgy, 1982.-144 с.

95. Смирнов В.К. Калибровка прокатных валков // В.К.Смирнов, В.А.Шилов, Ю.В. Игнатович. - М.: Metallurgy, 1987.-368с.

96. Севреденко В.П. Валки для профильного проката // В.П. Севреденко, Ю.Б.Бахтинов, В.Б.Бахунов.-М.: Металлургия, 1979.-224 с.

97. Егоров А.П. Исследование влияния настройки черновой группы на выходную скорость проката / Егоров А.П., Кузьменко М.Ю. Потап О.Ю., Бойко О.А. // Сборник докладов науч-практ. конф / НГУ. - Днепропетровск. 2014. -с. 26-29

98. Потап О.Ю. Моделювання АСР натягнення прокату на безперервному сортовому стані // Потап О.Ю., Єгоров О.П., Кузьменко М.Ю. Науковий Вісник ДДМА. –Краматорськ: -2012. -№2(10Е). -с. 107-112.

99. Бешта А.С., Потап О.Е., Бойко О.А., Кузьменко М.Ю., Меледин Н.В.Основные принципы построения модели однониточного мелкосортного непрерывного прокатного стана. XI Міжнародна конференція з проблем розвитку впровадження інформаційних технологій в науку та інноваційну сферу освіти: матеріали науково-технічної конференції (м. Дніпропетровськ, 25 листопада 2014 року) – Дніпропетровськ: НГУ, 2014, с. 14-15.

100. Єгоров О.П., Кузьменко М.Ю. Потап О.Ю., Бойко О.А. Математическое моделирование влияния межклетевого натяжения в черновой группе на изменение длины на выходе непрерывного мелкосортного стана. Міжнародна конференція з проблем використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: матеріали науково-технічної конференції. – Дніпропетровськ: НГУ, 2014, с. 56-61.

101. Beshta A.S., Egorov, A.P., Kuvaev V.N., Potap O.E., Kuzmenko M.Y., Kryachko A.P. / Dynamic model of two-strand rolling in the roughing train of the light-section mill // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – с. 199-122.

102. O. Potap, O. Boyko, M. Kuzmenko, V. Dudkina / The choice of the rational structure model of intervals between rolling mills on continuous light-section rolling mill // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. –с. 117-119.

103. Мелешко В.И., Килиевич А.Ф. Измерение опережения при прокатке с натяжением // Прокатное производство. - М. :Металлургия, 1967. - Т.ХХУШ. -С. 187-192.

104. Особенности распространения межклетьевых натяжений в непрерывном мелкосортном стане / Выдрин В.Н., Амосов П.Н., Дубинский Ф.С. и др; / Челябинский политехн, ин-т. — Челябинск, 1976. — 8 с. — Деп. в ЦНИИТЭИЧермет 02.04.76, №32-76.

105. Сычев В.А., Старгунский А.В. Система косвенного измерения натяжения в двухниточной черновой группе клетей мелкосортного стана 250 // Всесоюзная научн.-техн. конф. «Новые технологические процессы прокатки как средство интенсификации производства и повышения качества продукции». Тезисы докладов. - Часть 1. - Челябинск: Госком СССР по науке и технике. - 1989. -С.152-153.

106. Рациональный режим электромагнитного торможения полос термоупрочненного проката на холодильнике мелкосортного стана. / Р.В. Гвоздев, А.П. Егоров, В.С. Егоров, О.Е. Потап, В.И. Стахно, В.С. Ткачев – Сталь, 1989, №4, с.59-60

107. Точность электромагнитного торможения полос на холодильнике мелкосортного стана / Смияненко И.Н., Бабенко М.А., Курочкин А.Ф.,Вернигоров В.П., Куваев В.Н., Ермократьев В.А., Егоров В.С., КононовД.А.// Науковийвісник Національногогірничого університету. – 2003. –№5. – С.74-76.

108. Кузьменко А.Г. Создание новых технологических процессов и оборудования непрерывных мелкосортных станов, обеспечивающих повышение эффективности их работы / Автореф. Дис....докт. техн. наук // - М., 1997, 50с.

109. Meiser-Engelen E., Ruttner H. I. — «Draht», 1972, Bd 23, № 5, S. 265—268.

110. «Прокатка и прокатное оборудование», 1970, № 45, реф. 121.

111. Денисенко В.А. Суммирование погрешностей измерений в системах автоматизации / СТА-ПРЕСС. – СТА1/2012. – с. 92-100.

112. Свердан П.Л. Вища математика, математичний аналіз і теорія ймовірностей / П.Л. Свердан // К: Знання, 2008, 450с.

113. Увеличение выхода мерного проката при производстве арматурных профилей / Юрьев А.Б., Погорелов А.И., Кузнецов И.С. и др. – М.: Сталь, 2003. – №2. – С. 63-64.

114. Автоматизация технологических процессов на мелкосортных прокатных станах: монография / А.С. Бешта, В.Н. Куваев, О.Е. Потап, А.П. Егоров. – Днепропетровск: Журфонд, 2014. – 283 с., ил.

115. Миронов А.Н. Моделирование процесса прокатки в двухниточной черновой группе клетей непрерывного мелкосортного стана /А.Н. Миронов, А.П. Егоров, О.Е. Потап, И.Г. Тригуб // - Вестник двигателестроения, 2017.

116. Егоров А.П. Совершенствование систем автоматического управления многосвязными электроприводами группы клетей при прокатке с петлерегулированием / Автореф. Дис. канд. техн. наук // - Д., 1981, 50с.

117. Состояние и основные пути развития непрерывной разливки стали на металлургических предприятиях Украины / С. Г. Грищенко, В. К. Грановский, В. Г. Добровольский, Д. К. Нестеров // Металл и литье Украины. - 1997, - №10. - С. 3 - 5.

118. Современное состояние автоматизации машин непрерывного литья заготовок. (МНЛЗ). / А. Л. Вишняк, В. А. Карлик, Е. Г, Клейман и др. /7 Обзорная информация. Ин - т Информприбор. Сер. Автоматизированные системы управления. Вып.6. М.,1989. - 60с.

119. Современные средства и системы автоматизации МНЛЗ / В. А. Карлик, Д. Демин, А. С. Сергеев и др. // Тезисы докладов VIII международной конференции стран - членовСЭВ и СФРЮ по автоматизации производственных процессов и управления в черной металлургии. -Москва. Ин-т «Черметинформация». - 1988. - С. 3-5.

120. Чекмарев А.П., Левченко Л.Н., Макшин Л.Ф. Исследование температурных условий нагрева и прокатки на мелкосортных станах. // Обработка металлов давлением// Тр. Ин-та/ДМетИ. 1971. т.57. с.44-49.

121. А.С. Бешта, О.А. Бойко, Т.В. Куваева Система рациональных технико-экономических показателей при производстве мелкосортного мерного проката в стержнях //Збірник наукових праць НГУ. –Д: - с. 183-188.

122. 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 NNU. –2018. –№ 5. – S. 122-129

ДОДАТКИ

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації*Статті у періодичних фахових виданнях України:*

1. Кузьменко М.Ю. Анализ потерь годного металла в обреш и систем оптимального раскроя / 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 науко метричної 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 NHU*. –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 // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – №2. – С. 119-122.

12. Кузьменко М.Ю. Система автоматизированного управления раскроем проката на непрерывном мелкосортном стане / А.С. Бешта, М.Ю. Кузьменко, О.А. Бойко, А.П. Крячко, В.В. Дудкина // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – №5. – С. 111-113.

13. Кузьменко М.Ю. Вибір раціональної структури моделі міжкільцевого 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 // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 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 стана за енергетичним критерієм на комп'ютерній моделі / М.Ю. Кузьменко, О.П. Єгоров, О.Ю. Потап, В.О. Кузюков, О.П. Крячко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2017. –№2. –С. 83-88.

Патенти:

17. Патент на корисну модель №19194, Система автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортового стана / Потап О.Ю., Єгоров О.П., Кузьменко М.Ю., 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.; - №a201406350; 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., Бешта О.С., Куваєв В.М., Політов І.В.; - №a201314423; 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 Днепро: 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 станах / 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 автора в праці, опубліковані у співавторстві, полягає:

[1] - проведений аналіз втрат при виробництві прокату на безперервних дрібносортних станах; [2] – за допомогою імітаційного моделювання досліджено роботу системи автоматичного регулювання натягу прокату в одному міжклітьовому проміжку безперервного сортового стана; [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 дрібносортного 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 дрібносортного стана; [12] – розроблена система автоматизованого керування розкром прокату на безперервному дрібносортному стані; [14] – проведений вибір оптимального способу розкром прокату; [15, 16] – проведено аналіз налаштування стана 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 розкром розкатів на летючих ножицях; [20, 21] – досліджено метод наскрізного розкром 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 розкромом в умовах масового виробництва дрібносортового прокату.

Додаток Б

Довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи


 «ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Проректор НМетАУ
 з наукової роботи,
 д.т.н., проф. 
 Пройдак Ю.С.
 « 17 » 12 2019 р.

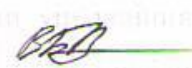
АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Кузьменка М.Ю. у навчальний процес на кафедрі Автоматизації виробничих процесів

Даним актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи Кузьменка М.Ю. використовуються в лекціях і практичних заняттях при вивченні дисципліни «Автоматизація технологічних процесів», а розроблені математичні моделі та алгоритми системи управління розкромом прокату і системи автоматичного управління вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортового стана використовуються студентами кафедри Автоматизації виробничих процесів при виконанні дипломних і випускних магістерських робіт.

Зав. кафедри АВП, д.т.н., проф. 

Головко В.І.

Начальник навчального відділу 

Пульпінський В.Б.

ТОВ НВП «Центр Електромеханічної Діагностики»



49064, Україна, м. Дніпро, вул. Мічуріна, 4

Тел./факс (056) 370 99 49

e-mail: cedgroup@ukr.net <http://ced.dp.ua>

Р/р 2600 90 50 50 21 76 в ПАТ «ПриватБанк», м. Дніпро, МФО 305299,
ЄДРПОУ 33718466, ІНН 337184604676, Свід. № 200155487

АКТ

про практичне використання результатів дисертаційної роботи на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук

здобувача

Кузьменка Михайла Юрійовича

на ТОВ НВП «Центр Електромеханічної Діагностики»

Цим актом підтверджуємо, що до ТОВ НВП «Центр Електромеханічної Діагностики» передано матеріали дисертаційної роботи, а саме науково-технічні рішення та експериментальні дані, отримані Кузьменком М.Ю. на стані 500 ділянки стану 1250 цеху Блюмінг ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», зокрема, статистично оброблені дані замірів передньої та задньої обрізі 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 науково-технічні пропозиції та рекомендації, що використані при розробці технічного завдання та модернізації системи безвідходного розкрою на стані 500 ділянки стану 1250 цеху Блюмінг ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (договір №2123 від 08.10.2018 р.), дозволили підвищити точність прогнозування довжини прокатної штанги, зменшити неточність першого різку та розкрою прокатної штанги на заготовки, полегшити працю операторів.

По даному Акту ТОВ НВП «Центр Електромеханічної Діагностики» фінансової відповідальності не несе.

Директор  Джур Р.В.





Науково-виробниче підприємство
ДНПРОЧОРМЕТАВТОМАТИКА

Україна, 49074, м. Дніпро,
вул. Батумська, 11, тел. (050) 340 13-19
E-mail: dnecheravt@gmail.com
р/р 26009000029410 в філії ПАО
"Укрксімбанка" м. Дніпро,
МФО 322313, ОКПО 32388296

20.05.2022 № 14

На № _____

АКТ

про практичне використання результатів дисертаційної роботи
Кузьменка Михайла Юрійовича
«Автоматизація процесів узгодженого керування розкром прокату на безперервних
сортових прокатних станах»
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Результати досліджень і розробок Кузьменка М.Ю., що отримані при виконанні дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, спрямовані на зменшення наднормової обрізі та підвищення виходу мірного сортового прокату.

Цим актом підтверджуємо практичне використання при розробці АСУ безперервними сортовими прокатними станами розроблених у дисертаційній роботі Кузьменка М.Ю. науково-технічних рішень, а саме способу та автоматизованої системи управління розкром прокату на безперервних дрібносортових станах і рекомендацій щодо розробки системи автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортового стана.

Технікоеконімічний ефект використання запропонованих рішень при виробництві сортового прокату досягається за рахунок узгодженого керування розкром прокату, завдяки якому на холодильник випускаються прутки довжиною лише кратні мірному стрижню, при цьому зменшується наднормова обрізь максимум до одного мірного стрижня із заготовки.

Директор
ТОВ «НВП Дніпрочорметавтоматика»
к.т.н.

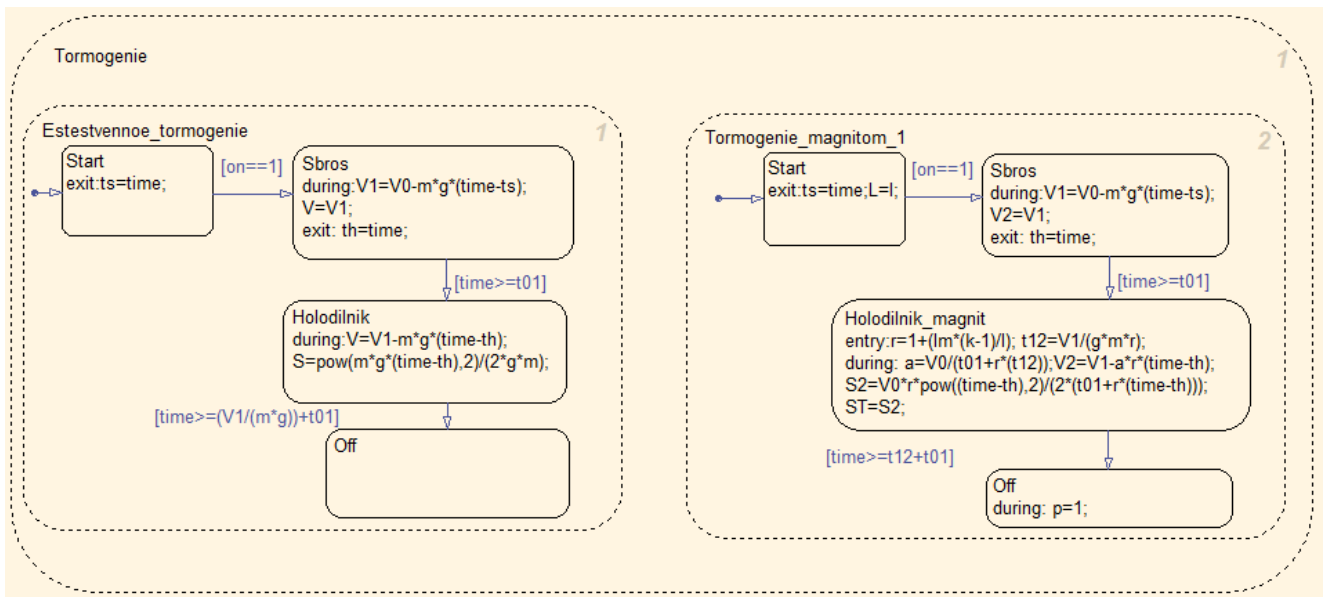


О.П. Крячко

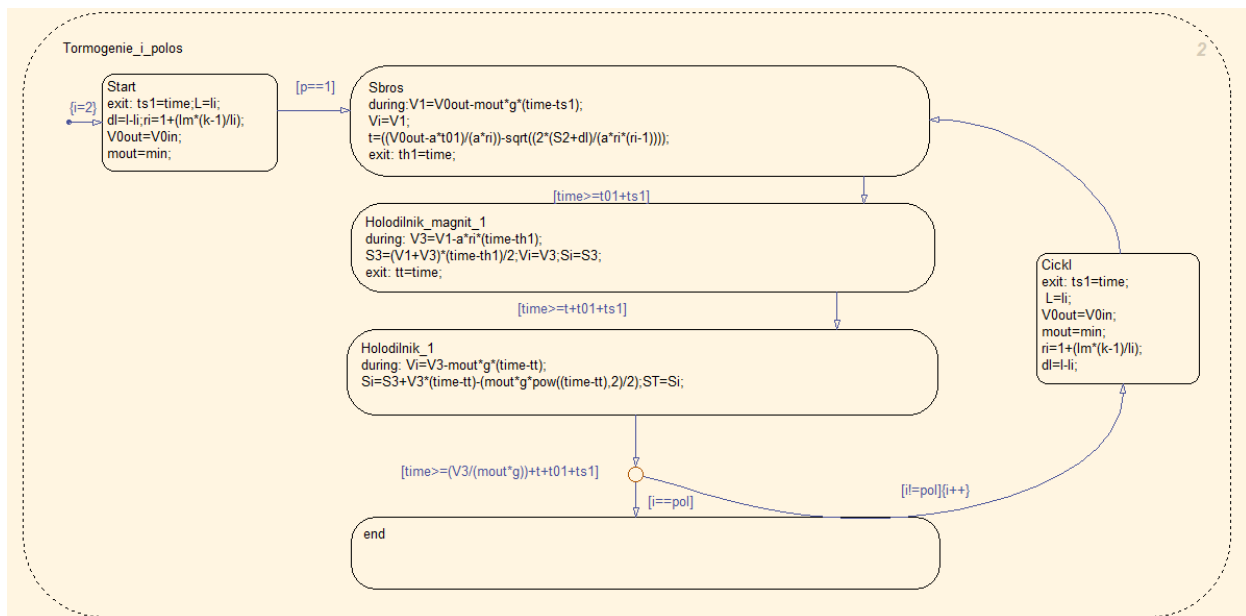
Додаток В

В.1 Розробка динамічної моделі САУ процесом примусового гальмування

У вікні редактора Stateflow була створена структурна схема моделі, показана на рис. В.1



а



б

Рисунок В.1 – Схема моделі процесу примусового гальмування прутків

Частина моделі на рисунку В.1(а) відображає процес гальмування прутка при відключених магнітах, або гальмування на повністю включених магнітах. Ця частина моделі дозволяє встановити межі регулювання електромагнітом гальмівного шляху наступних прутків, де гальмівний шлях найбільшого прутка при включених магнітах дасть нижню межу регулювання, а гальмівний шлях цього ж прутка без магнітів - верхню межу регулювання.

Стани **Estestvennoe_tormogenie** і **Tormogenie_magnitom_1** є паралельними і виконуються одночасно.

Розглянемо стан **Estestvennoe_tormogenie**.

Стан Start. За замовчуванням активізується стан Start, де фіксується час початку процесу гальмування: exit: ts = time.

Стан Sbros. Як тільки функція ON, що задається в Simulink в блоці Step стає рівною 1, починається процес скидання смуги на холодильник і активізується стан Sbros. У стані Sbros відбувається гальмування смуги на клапанах скидача, поточне зміна швидкості смуги (див. формулу 2.14) записана таким чином: during: $V1 = V0 - m * g * (time - ts)$; змінній швидкості першої смуги V присвоюється поточне її значення таким чином: $V = V1$. Фіксація моменту часу закінчення стану Sbros відбувається наступним чином: exit: th = time.

Стан Holodilnik. Як тільки значення часу time перевищити відомий час скидання t01, активізується стан Holodilnik, яке відображає процес гальмування смуги на холодильнику без магнітів. У стані Holodilnik відбувається розрахунок гальмівного шляху смуги (див. формулу 2.17), яка записана таким чином: during: $S = \text{pow}(m * g * (time - th), 2) / (2 * g * m)$. Як тільки значення часу time стає рівним виразу $V1 / (m * g) + t01$, активізується стан Off, яке говорить про те, що смуга повністю зупинилася.

Розглянемо стан **Tormogenie_magnitom_1**.

Стан Start. За замовчуванням активізується стан Start, де фіксується час початку процесу гальмування: exit: ts = time.

Стан Sbros. Як тільки функція ON, що задається в Simulink в блоці Step стає рівною 1, починається процес скидання смуги на холодильник і активізується стан Sbros. У стані Sbros відбувається гальмування смуги на клапанах скидача, поточне зміна швидкості смуги (див. формулу 2.14) записана таким чином: during: $V1 = V0 - m * g * (time - ts)$; змінній швидкості першої смуги V2 присвоюється поточне її значення таким чином: $V2 = V1$. Фіксація моменту часу закінчення стану Sbros відбувається наступним чином: exit: $th = time$.

Стан Holodilnik_magnit. Як тільки значення часу time перевищити відомий час скидання $t01$, активізується стан Holodilnik_magnit, який відображає процес гальмування смуги на холодильнику при включених магнітах. У стані Holodilnik_magnit відбувається розрахунок гальмівного шляху смуги (див. формулу 2.20) та зміну її швидкості, яка записана таким чином: during: $S2 = V0 * r * \text{pow}((time - th), 2) / (2 * (t01 + r * (time - th)))$; $V2 = V1 - a * r * (time - th)$. Також, відповідно до формул 2.18, 2.19, відбувається розрахунок коефіцієнта інтенсивності гальмування смуги на електромагнітах і коефіцієнта гальмування смуги: entry: $r = 1 + (lm * (k - 1) / l)$; $a = V0 / (t01 + r * (t12))$. У моделі відбувається імітація відліку часу гальмування смуги на магнітах до повної зупинки: $t12 = V1 / (g * m * r)$.

Стан Off. Як тільки значення часу time стає рівним виразу $t12 + t01$, активізується стан Off, яке говорить про те, що смуга повністю зупинилася. Також, під час виконання стану Off, активізується ознака закінчення розрахунків (див. формули 2.18, 2.19), який має вигляд: during: $p = 1$. Ця ознака говорить про те, що всі розрахунки, необхідні для керування примусовим гальмуванням смуги отримані і може виконуватися під-стан Sbros, стану Tormogenie_i_polos, (див. рис. B.2).

Розглянемо стан **Tormogenie_i_polos**.

Стан Start. За замовчуванням активізується стан Start, де фіксується час початку процесу гальмування: exit: $ts = time$, а також вхідні параметри: довжина поточної смуги, величина якої задається генератором випадкових

чисел з діапазоном: 80-110 м: $L = li$; значення початкової швидкості V_0 , яка задається генератором випадкових чисел в межах 19 - 20 м / с: $V_{0out} = V_{0in}$; значення коефіцієнта гальмування, який задається в межах: 0.25–0.31с.

Стан Sbros. Як тільки стає активним ознака закінчення розрахунків, що активізується в стані `Tormogenie_i_polos`, починається процес скидання і-ої смуги на холодильник і активізується стан `Sbros`. У стані `Sbros` відбувається гальмування смуги на клапанах скидача, поточне зміна швидкості смуги записана таким чином: `during: V1 = V0out-mout * g * (time-ts1)`; змінній швидкості і-ої смуги V_i присвоюється поточне її значення таким чином: $V_i = V_1$. У стані `Sbros` здійснюється розрахунок часу t_{13} (див. формулу 2.23).

Стан Holodilnik_magnit_1, відображає процес гальмування смуги на холодильнику при включених магнітах.

Стан Holodilnik_1. відображає гальмування прутка при відключених електромагнітах до повної зупинки.

Точка прийняття рішення. В ній здійснюється перехід до моделювання процесу гальмування наступного прутка.

Стан Sickl. При активізації стану `Sickl` фіксується час початку процесу гальмування: `exit: ts = time`, а також вхідні параметри: довжина поточного прутка, величина якої задається генератором випадкових чисел з діапазоном: 80-110м: $L = li$; значення початкової швидкості V_0 , яка задається генератором випадкових чисел в межах 19 – 20 м / с: $V_{0out} = V_{0in}$; значення коефіцієнта гальмування, який задається в межах: 0.25–0.31с.

Тип змінних, а також їх початкові значення та спосіб відображення вказані на рис. В.3.

Name	Scope	Trigger	Type	Size	Min	Max	InitVal
S3	Local		double				0
V0out	Local		double				0
V1	Local		double				0
V3	Local		double				0
a	Local		double				0
dl	Local		double				0
i	Local		double				0
mout	Local		double				0
p	Local		Real...				0
r	Local		double				0
ri	Local		double				0
t	Local		double				0
t12	Local		double				0
th	Local		double				0
th1	Local		double				0
ts	Local		double				0
ts1	Local		double				0
tt	Local		double				0
V0	Input(1)		double				
m	Input(2)		double				
t01	Input(3)		double				
time	Input(4)		double				
on	Input(5)		Real...				
g	Input(6)		double				
k	Input(7)		double				
l	Input(8)		double				
lm	Input(9)		double				
pol	Input(10)		double				
li	Input(11)		double				
V0in	Input(12)		double				
min	Input(13)		double				
V	Output(1)		double				0
S	Output(2)		double				0
V2	Output(3)		double				0
S2	Output(4)		double				0
Vi	Output(5)		double				0
Si	Output(6)		double				0
L	Output(7)		double				0
ST	Output(8)		double				0

Рисунок В.3 – Змінні

Для здійснення імітаційного моделювання та візуалізації його результатів модель Stateflow експортували в пакет Simulink. На рис. В.4 показано загальний вигляд динамічної моделі в Simulink.

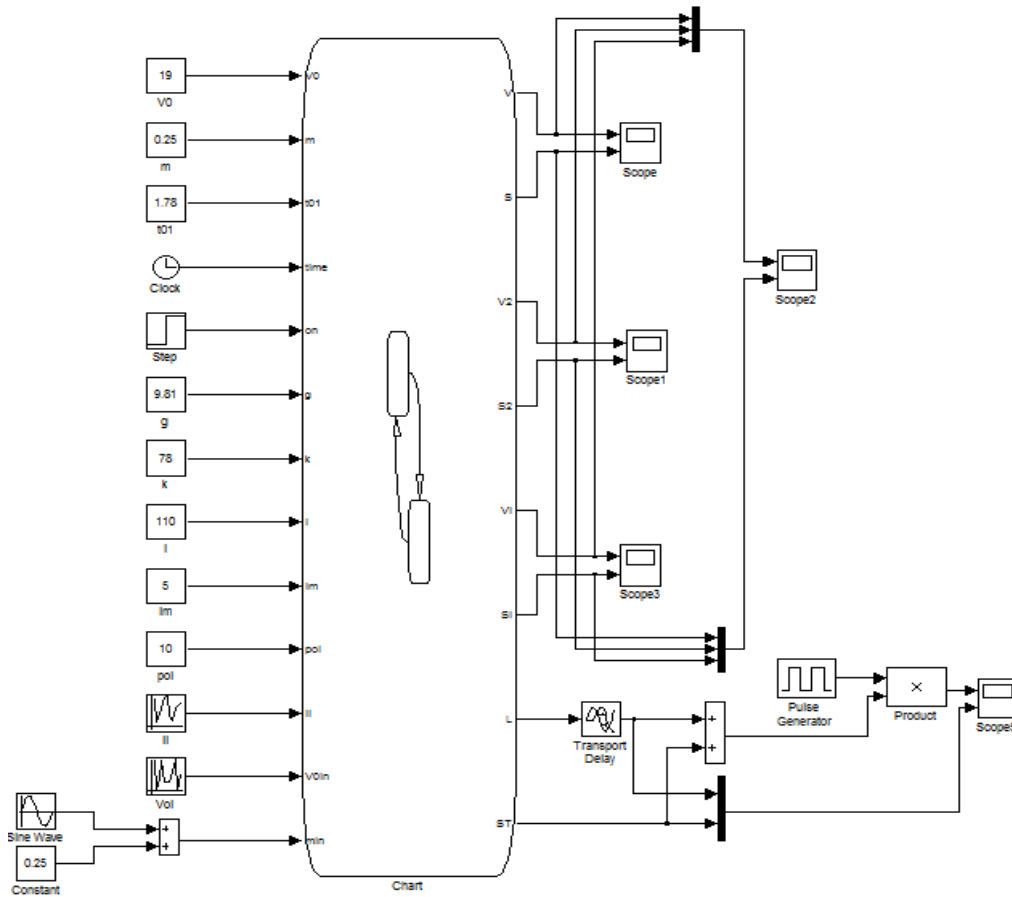


Рисунок В.4 – Структура динамічної моделі процесу примусового гальмування смуг на холодильнику в Simulink

Блок Clock дозволяє динамічній моделі відображати зміну параметрів з плином часу і є мірою часу.

Блок Step генерує одиничний сигнал, який дозволяє запуск моделі скидача.

Блок V0 – блок введення константи, величина якої відповідає початковій швидкості руху першої смуги перед скиданням (див. табл. 2.6).

Блок m – блок введення константи, величина якої відповідає початковому значенню коефіцієнта гальмування першої смуги перед скиданням (див. табл. 2.6).

Блок t01 – блок введення константи, величина якої відповідає часу скидання смуги клапанним скидачем (див. табл. 2.6). Для зручності моделювання, вихідний параметр моделі скидача представлений константою.

Блок g – блок введення константи, величина якої відповідає прискорення природного гальмування.

Блок k – блок введення константи, величина якої відповідає коефіцієнту відношення погонної гальмівної сили при включених магнітах до погонної сили при виключених магнітах (див. табл. 2.6).

Блок l – блок введення константи, величина якої відповідає довжині першої смуги (див. табл. 2.6).

Блок lm – блок введення константи, величина якої відповідає загальній довжині поверхні електромагнітів (див. табл. 2.6).

Блок rol – блок введення константи, величина якої відповідає кількості смуг, що скидаються на холодильник.

Блок li – блок введення константи, величина якої вибирається випадковим чином в діапазоні 80-110 м і відповідає довжині кожної наступної скидається смуги (див. табл. 2.6).

Блок $V0i$ – блок введення константи, величина якої вибирається випадковим чином в діапазоні 19 – 20 м / с і відповідає швидкості кожної наступної скидається смуги (див. табл. 2.6).

Технологічними збуреннями ϵ : зміна швидкості роликів третьої секції рольганга, а також зміни коефіцієнта гальмування прутка на клапанах скидача і в приймальному жолобі холодильника. Моделювання проводили при значеннях параметрів процесу таблиці 2.6.

Введення константи, значення якої відображає послідовну зміну коефіцієнта тертя смуги здійснено за допомогою додавання синусоїди (з частотою 0.025 рад/с і амплітудою 0.06) з константою рівною 0.25, яка позначає початкове положення синусоїди. Таким чином забезпечується плавна зміна коефіцієнта гальмування смуги на холодильнику з плином часу, максимально наближена до реальних значень у відомому діапазоні (див. табл. 2.6).

В.2 Дослідження на динамічній моделі величини розкиду торців смуг

Таблиця В.1 – Результат роботи моделі

№	Коефіцієнт гальмування	Початкова швидкість смуги, м/с	Довжина смуги, м	Гальмівний шлях смуги, м	Координата переднього торця, м
1	2	3	4	5	6
1	0.25025	19.0	110.0	9.7	119.68
2	0.2505	18.2	87.7	31.9	119.58
3	0.25075	18.4	101.4	18.1	119.54
4	0.251	18.0	104.6	14.9	119.52
5	0.25125	18.7	104.4	15.1	119.47
6	0.2515	18.4	104.4	15.0	119.42
7	0.25175	18.9	89.6	29.7	119.26
8	0.252	18.5	85.7	33.5	119.20
9	0.25225	18.4	91.2	28.0	119.16
10	0.2525	18.2	91.2	27.9	119.11
11	0.25275	18.8	87.2	31.8	119.00
12	0.253	18.9	91.6	27.4	118.97
13	0.25325	18.5	95.3	23.6	118.96
14	0.2535	19.0	89.4	29.5	118.82
15	0.25375	18.4	92.4	26.4	118.83
16	0.254	18.1	86.5	32.2	118.74
17	0.25425	18.1	100.8	18.1	118.86
18	0.2545	18.8	88.6	29.9	118.58
19	0.25475	18.2	89.5	29.1	118.59
20	0.255	18.8	89.3	29.2	118.47
21	0.25525	18.7	97.9	20.6	118.56
22	0.2555	18.9	93.5	24.9	118.41
23	0.25575	18.8	99.3	19.2	118.49
24	0.256	18.4	101.8	16.7	118.54
25	0.25625	18.1	107.5	11.3	118.78
26	0.2565	18.6	105.8	12.8	118.63
27	0.25675	18.4	93.1	25.1	118.16
28	0.257	18.6	86.3	31.6	117.98
29	0.25725	18.8	108.4	10.3	118.76
30	0.2575	18.1	85.3	32.6	117.91
31	0.25775	18.5	99.8	18.3	118.13
32	0.258	18.5	87.8	30.0	117.78
33	0.25825	19.0	102.8	15.3	118.15

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
34	0.2585	18.7	94.7	23.1	117.79
35	0.25875	18.0	99.8	18.2	117.98
36	0.259	18.1	89.0	28.6	117.63
37	0.25925	18.1	99.6	18.2	117.87
38	0.2595	19.0	93.5	24.0	117.50
39	0.25975	18.7	87.8	29.5	117.34
40	0.26	18.9	83.1	34.1	117.15
41	0.26025	18.8	94.2	23.2	117.39
42	0.2605	18.6	105.3	12.7	117.97
43	0.26075	18.1	106.4	11.7	118.05
44	0.261	18.5	108.6	9.8	118.32
45	0.26125	18.8	84.5	32.4	116.89
46	0.2615	18.5	94.8	22.4	117.18
47	0.26175	18.5	86.1	30.8	116.87
48	0.262	18.2	106.7	11.2	117.91
49	0.26225	18.3	98.7	18.5	117.24
50	0.2625	18.2	96.7	20.4	117.11
51	0.26275	18.8	99.2	17.9	117.11
52	0.263	18.2	100.2	17.0	117.21
53	0.26325	18.5	91.7	25.0	116.71
54	0.2635	18.1	87.0	29.6	116.60
55	0.26375	18.4	84.4	32.0	116.40
56	0.264	18.2	85.7	30.7	116.45
57	0.26425	18.9	101.1	15.9	116.97
58	0.2645	18.9	90.0	26.3	116.29
59	0.26475	18.5	90.6	25.7	116.34
60	0.265	18.7	86.8	29.3	116.10
61	0.26525	18.9	105.7	11.6	117.33
62	0.2655	18.1	86.7	29.5	116.17
63	0.26575	19.0	97.0	19.4	116.37
64	0.266	18.1	97.6	18.9	116.51
65	0.26625	18.1	105.6	11.6	117.18
66	0.2665	18.3	89.4	26.6	115.98
67	0.26675	18.4	94.1	22.0	116.12
68	0.267	18.6	104.4	12.5	116.89
69	0.26725	18.1	101.1	15.5	116.55
70	0.2675	18.4	104.5	12.4	116.84
71	0.26775	18.6	106.8	10.4	117.18
72	0.268	18.5	96.5	19.5	115.99
73	0.26825	18.0	100.4	15.9	116.35

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
74	0.2685	18.8	85.8	29.5	115.26
75	0.26875	18.2	89.4	26.1	115.56
76	0.269	18.8	98.6	17.3	115.91
77	0.26925	18.4	92.8	22.7	115.54
78	0.2695	19.0	98.0	17.8	115.73
79	0.26975	18.1	103.4	13.0	116.40
80	0.27	18.9	83.8	31.1	114.82
81	0.27025	18.3	90.5	24.8	115.26
82	0.2705	18.3	88.2	26.9	115.12
83	0.27075	18.6	107.9	9.2	117.11
84	0.271	18.2	84.3	30.6	114.92
85	0.27125	18.1	99.1	16.6	115.71
86	0.2715	18.0	83.3	31.6	114.84
87	0.27175	18.2	86.2	28.6	114.83
88	0.272	18.3	101.0	14.7	115.74
89	0.27225	18.5	93.9	21.1	115.02
90	0.2725	18.7	107.9	9.1	116.96
91	0.27275	18.5	100.1	15.3	115.49
92	0.273	18.4	100.9	14.6	115.55
93	0.27325	18.9	94.4	20.4	114.75
94	0.2735	18.9	94.2	20.4	114.68
95	0.27375	18.1	108.6	8.3	116.95
96	0.274	18.6	95.3	19.5	114.77
97	0.27425	18.5	103.5	12.2	115.72
98	0.2745	18.7	92.8	21.6	114.43
99	0.27475	18.9	106.0	10.1	116.18
100	0.275	18.3	92.3	22.1	114.47
101	0.27525	18.4	108.4	8.4	116.80
102	0.2755	18.9	92.7	21.5	114.17
103	0.27575	18.8	105.2	10.6	115.85
104	0.276	18.0	100.0	15.0	115.05
105	0.27625	18.9	89.9	23.9	113.83
106	0.2765	18.0	99.4	15.5	114.89
107	0.27675	18.8	102.8	12.4	115.21
108	0.277	19.0	102.5	12.6	115.10
109	0.27725	18.9	108.0	8.6	116.62
110	0.2775	18.1	90.0	24.0	113.91
111	0.27775	18.9	99.4	15.1	114.48
112	0.278	18.2	107.4	8.7	116.17
113	0.27825	18.1	99.3	15.3	114.59

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
114	0.2785	18.1	104.0	11.3	115.26
115	0.27875	18.6	103.5	11.6	115.08
116	0.279	18.8	84.5	28.5	112.99
117	0.27925	18.0	102.5	12.4	114.91
118	0.2795	18.4	89.8	23.6	113.41
119	0.27975	18.8	88.3	24.7	113.05
120	0.28	18.6	99.6	14.7	114.22
121	0.28025	18.7	107.0	8.9	115.84
122	0.2805	18.3	103.2	11.7	114.82
123	0.28075	18.9	89.5	23.3	112.89
124	0.281	18.5	101.9	12.6	114.49
125	0.28125	18.5	83.7	28.9	112.63
126	0.2815	18.6	86.6	26.1	112.71
127	0.28175	18.8	101.4	12.9	114.21
128	0.282	18.6	83.1	29.3	112.40
129	0.28225	18.6	95.9	17.5	113.36
130	0.2825	18.4	87.5	25.1	112.66
131	0.28275	18.2	89.8	23.1	112.89
132	0.283	18.2	92.8	20.3	113.08
133	0.28325	18.2	86.5	26.1	112.60
134	0.2835	18.9	92.1	20.5	112.62
135	0.28375	18.8	91.6	21.0	112.58
136	0.284	18.5	101.2	12.7	113.94
137	0.28425	18.1	98.7	14.9	113.61
138	0.2845	18.4	96.5	16.7	113.18
139	0.28475	18.9	93.7	18.9	112.60
140	0.285	18.5	103.7	10.6	114.33
141	0.28525	18.3	109.0	7.3	116.24
142	0.2855	18.2	88.8	23.5	112.34
143	0.28575	18.4	104.4	10.1	114.43
144	0.286	18.9	92.8	19.5	112.28
145	0.28625	18.8	100.4	13.0	113.39
146	0.2865	18.7	94.7	17.8	112.49
147	0.28675	18.3	84.5	27.3	111.77
148	0.287	18.0	85.6	26.3	111.93
149	0.28725	18.3	101.1	12.4	113.50
150	0.2875	18.5	89.2	22.6	111.86
151	0.28775	19.0	97.8	14.9	112.64
152	0.288	18.6	92.5	19.5	112.00
153	0.28825	18.2	87.3	24.4	111.71

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
154	0.2885	18.6	85.2	26.1	111.30
155	0.28875	18.1	89.2	22.7	111.84
156	0.289	18.9	83.0	27.9	110.87
157	0.28925	18.1	100.1	13.0	113.11
158	0.2895	18.7	95.1	17.0	112.07
159	0.28975	18.2	91.5	20.3	111.81
160	0.29	18.8	96.9	15.3	112.20
161	0.29025	18.3	85.9	25.3	111.23
162	0.2905	18.8	96.3	15.8	112.02
163	0.29075	18.5	88.2	23.0	111.17
164	0.291	18.6	87.9	23.1	111.06
165	0.29125	18.3	95.2	16.7	111.97
166	0.2915	18.4	85.7	25.2	110.89
167	0.29175	18.1	97.7	14.7	112.34
168	0.292	18.8	88.9	21.9	110.85
169	0.29225	18.3	88.7	22.4	111.07
170	0.2925	18.8	93.5	17.8	111.32
171	0.29275	18.6	97.7	14.3	111.99
172	0.293	19.0	105.6	8.5	114.10
173	0.29325	19.0	91.6	19.3	110.83
174	0.2935	18.9	87.4	23.0	110.39
175	0.29375	18.8	94.5	16.8	111.23
176	0.294	18.2	92.2	19.0	111.22
177	0.29425	18.5	99.1	13.0	112.12
178	0.2945	18.9	102.9	10.1	112.94
179	0.29475	18.2	85.9	24.6	110.48
180	0.295	18.2	93.2	17.9	111.16
181	0.29525	18.6	85.5	24.6	110.11
182	0.2955	18.9	90.7	19.7	110.41
183	0.29575	19.0	93.3	17.4	110.66
184	0.296	18.5	98.4	13.3	111.70
185	0.29625	18.9	89.9	20.2	110.20
186	0.2965	18.6	103.1	9.7	112.81
187	0.29675	18.3	87.9	22.3	110.26
188	0.297	18.7	84.0	25.6	109.55
189	0.29725	18.4	109.0	6.6	115.64
190	0.2975	18.9	100.0	11.7	111.76
191	0.29775	18.9	92.8	17.5	110.31
192	0.298	18.5	101.7	10.5	112.27
193	0.29825	18.0	107.1	7.1	114.21

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
194	0.2985	18.2	103.4	9.4	112.73
195	0.29875	18.0	102.4	10.0	112.47
196	0.299	18.7	106.2	7.6	113.83
197	0.29925	18.1	107.5	6.8	114.36
198	0.2995	18.7	83.0	26.0	109.06
199	0.29975	18.0	101.0	11.0	111.98
200	0.3	18.4	85.2	24.1	109.38

Додаток Г

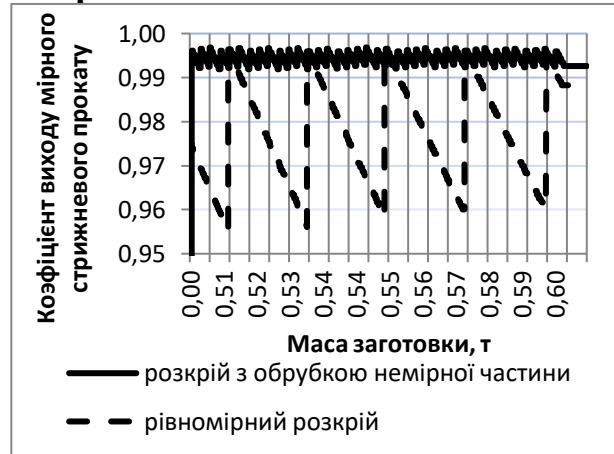
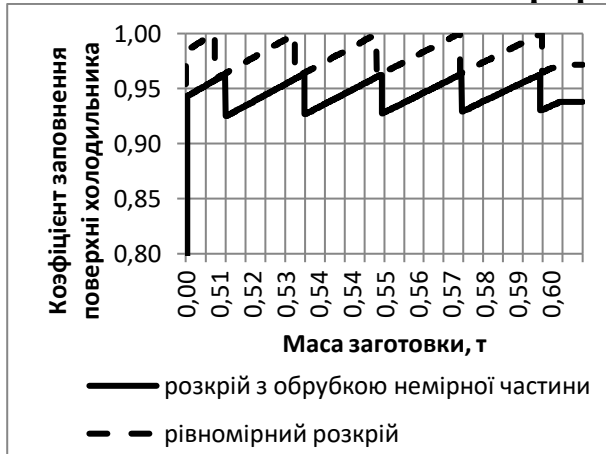
Таблиця Г.1 – Номер профілю, граничні відхилення по масі арматурної сталі гладкого і періодичного профілю в залежності від довжини прутка.

Номер профілю	Номинальна вага 1 м.п., кг	Мінімальна допустима вага 1 м.п., кг	Максимальна допустима вага 1 м.п., кг	Мінімальна допустима вага прутка при $l_{пр} = 65 м$, кг	Максимально-допустима вага прутка при $l_{пр} = 65 м$, кг	Варіація маси прутка $\Delta g_{пр,65}^B$ полі допуску, кг	Мінімальна допустима вага прутка при $l_{пр} = 110 м$, кг	Максимально-допустима вага прутка при $l_{пр} = 110 м$, кг	Варіація маси прутка $\Delta g_{пр,110}^B$ полі допуску, кг
№6	0,222	0,21	0,24	13,42	15,73	2,31	22,71	26,62	3,91
№8	0,395	0,37	0,43	23,88	27,99	4,11	40,41	47,36	6,95
№10	0,617	0,58	0,65	37,70	42,11	4,41	63,80	71,26	7,47
№12	0,888	0,83	0,93	54,26	60,61	6,35	91,82	102,56	10,74
№14	1,21	1,14	1,27	73,93	82,58	8,65	125,11	139,76	14,64
№16	1,58	1,50	1,63	97,57	105,78	8,22	165,11	179,01	13,90
№18	2	1,90	2,06	123,50	133,90	10,40	209,00	226,60	17,60
№20	2,47	2,35	2,54	152,52	165,37	12,84	258,12	279,85	21,74
№22	2,98	2,83	3,07	184,02	199,51	15,50	311,41	337,63	26,22
№25	3,85	3,66	3,97	237,74	257,76	20,02	402,33	436,21	33,88
№28	4,83	4,59	4,97	298,25	323,37	25,12	504,74	547,24	42,50
№32	6,31	6,06	6,50	393,74	422,45	28,71	666,34	714,92	48,59
№36	7,99	7,67	8,23	498,58	534,93	36,35	843,74	905,27	61,52
№40	9,87	9,48	10,17	615,89	660,80	44,91	1042,27	1118,27	76,00

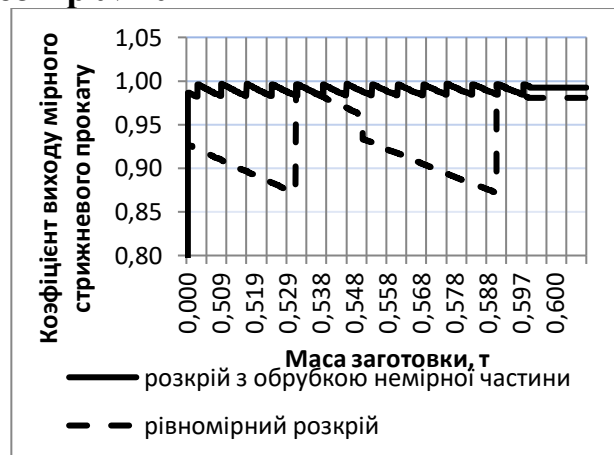
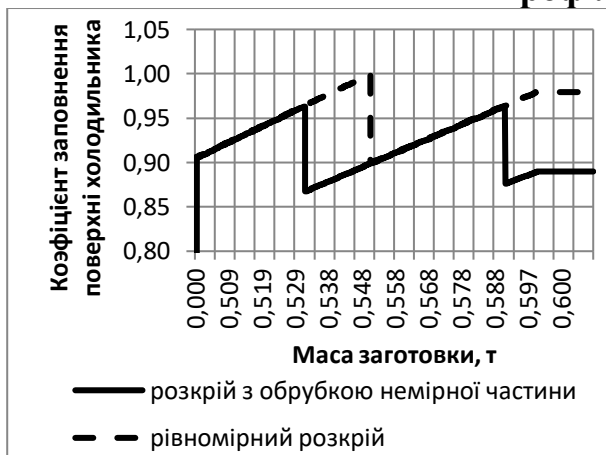
Додаток Д

Результати математичного моделювання розкрою прокату з заготовки на безперервному дрібносортовному стані

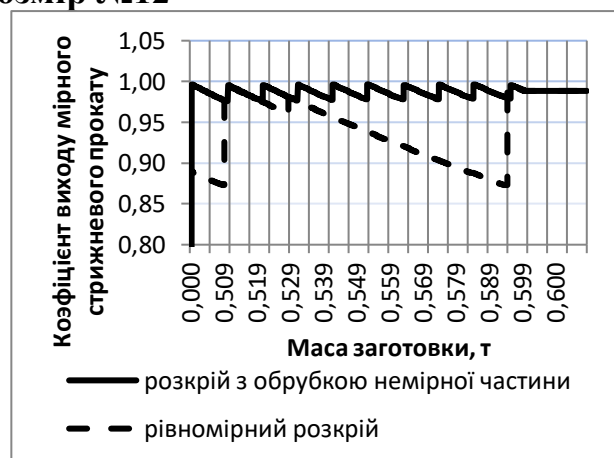
Профілерозмір №6



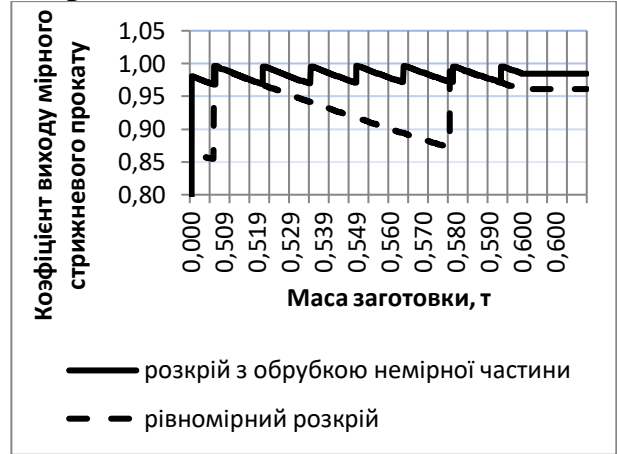
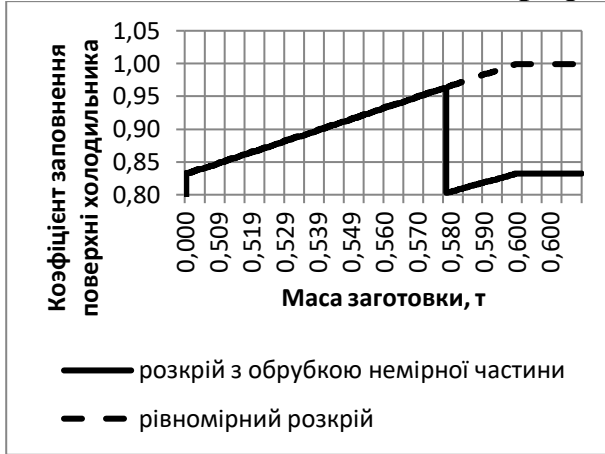
Профілерозмір №10



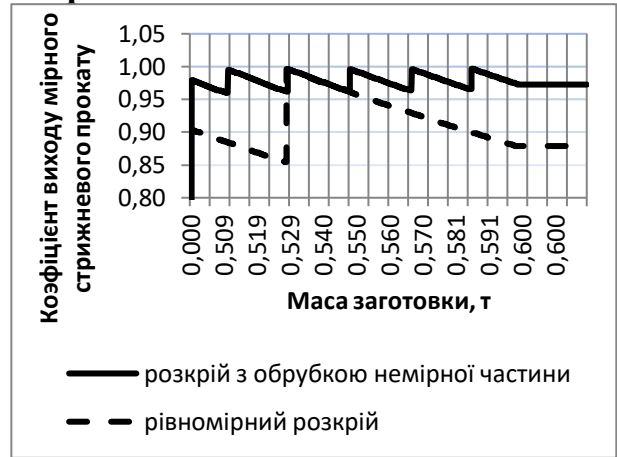
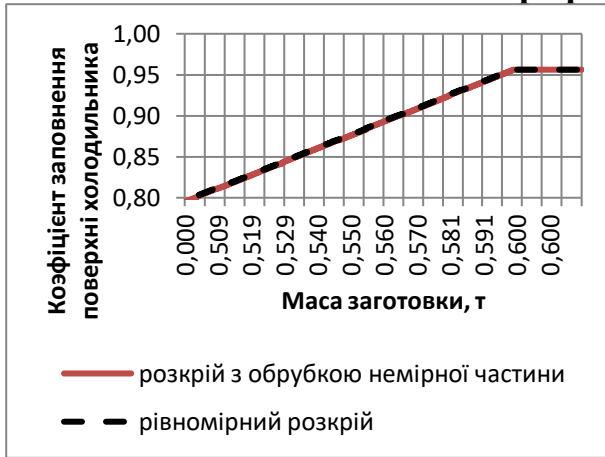
Профілерозмір №12



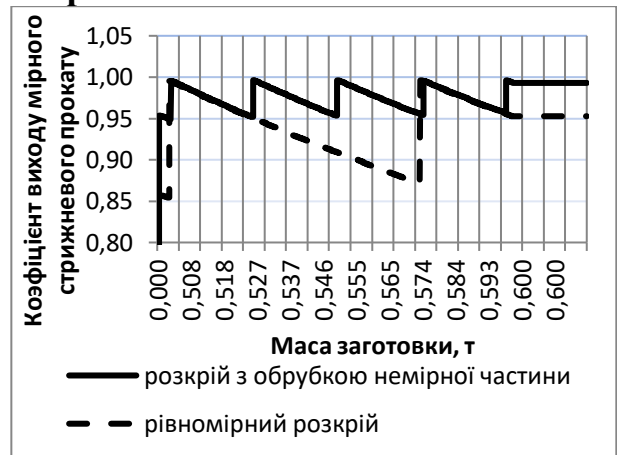
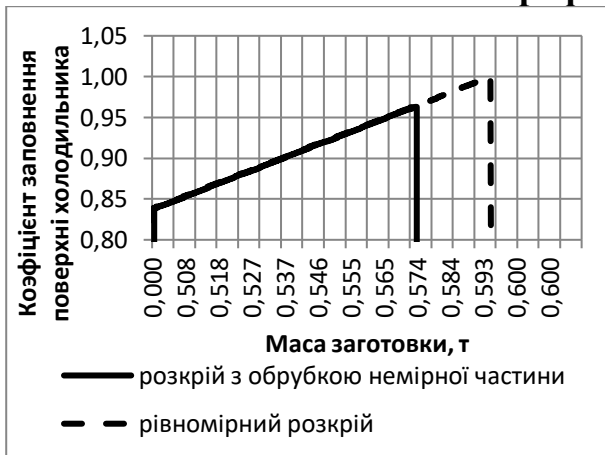
Профілерозмір №14



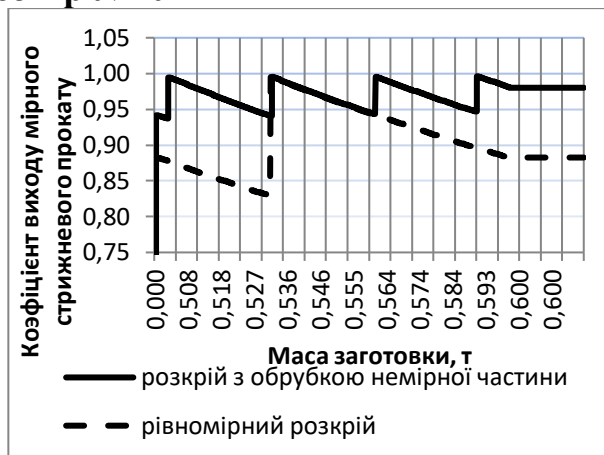
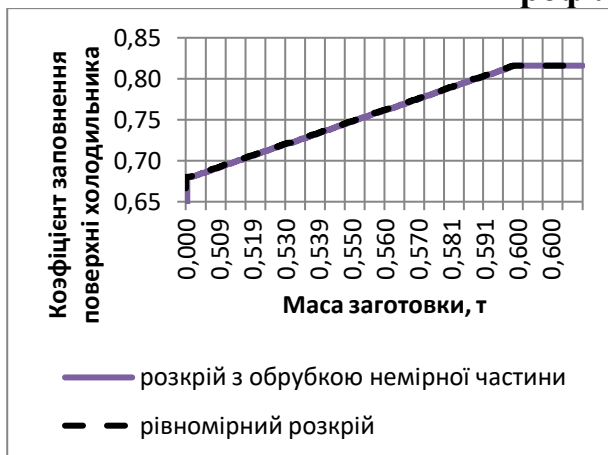
Профілерозмір №16



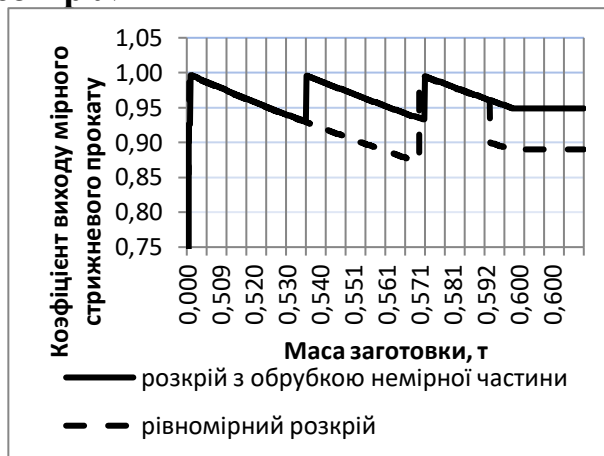
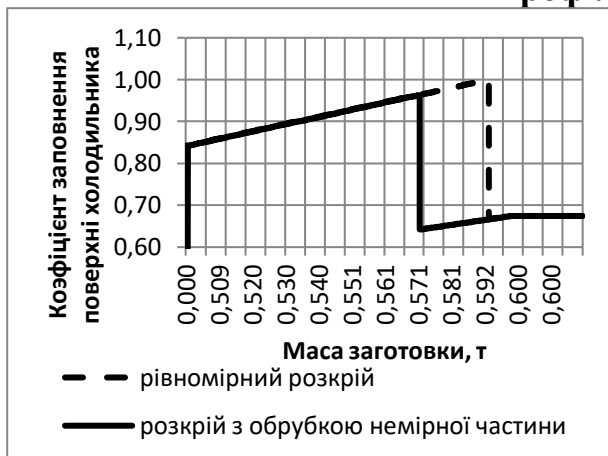
Профілерозмір №18



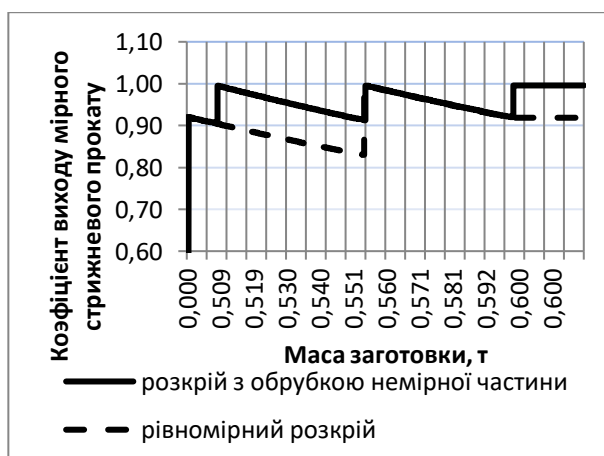
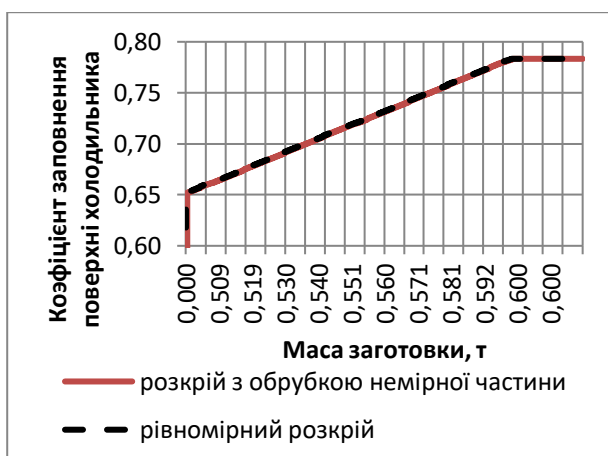
Профілерозмір №20



Профілерозмір №22



Профілерозмір №25



Додаток Е

Таблиця Е.1 – Геометричні розміри заготовок та готової труби на редуційному стані.

Готова труба		Сумарна витяжка	Діаметр заготовки, мм	Прошивний стан			Неперервний стан			Довжина, м							
Розміри готової труби, мм				Розміри гильзи, мм		Витяжка	Розміри чорнової труби, мм		Витяжка	Заготовки		Гільзи		Чорнова труба		Готова труба	
Dг	Sг	μΣ	Dз	Dг	Sг	μп	Dн	Sн	μн	L min	L max	L min	L max	L min	L max	L min	L max
42	3	46,88	150	162	21	1,83	120	3,8	6,8	2,03	2,42	3,7	4,41	25,15	29,99	95,17	113,45
	3,2	44,17	150	162	22	1,81	120	4	6,54	2,04	2,53	3,7	4,59	24,19	30,02	90,11	111,75
	3,5	40,7	150	162	22	1,79	120	4,3	6,17	2,07	2,72	3,7	4,87	22,81	30,05	84,25	110,70
	4	36,08	150	162	22	1,76	120	4,8	5,69	2,1	2,99	3,7	5,27	21,05	29,99	75,77	107,88
	4,5	32,5	150	162	23	1,73	120	5,3	5,26	2,14	3,3	3,7	5,71	19,45	30,03	69,55	107,25
42,2	3	46,64	150	162	21	1,83	120	3,8	6,8	2,03	2,42	3,7	4,41	25,17	29,99	94,68	112,87
	3,2	43,95	150	162	22	1,81	120	4	6,54	2,04	2,53	3,7	4,58	24,21	29,95	89,66	111,19
	3,5	40,49	150	162	22	1,79	120	4,3	6,17	2,07	2,71	3,7	4,86	22,83	29,99	83,81	109,73
	4	35,89	150	162	22	1,76	120	4,8	5,69	2,1	2,99	3,7	5,27	21,07	29,99	75,37	107,31
	4,5	32,33	150	162	23	1,73	120	5,3	5,26	2,14	3,3	3,7	5,7	19,46	29,98	69,19	106,69
42,4	3	46,4	150	162	21	1,83	120	3,8	6,81	2,03	2,41	3,7	4,41	25,19	30,03	94,19	111,82
	3,2	43,72	150	162	22	1,81	120	4	6,55	2,04	2,53	3,7	4,58	24,23	30,00	89,19	110,61
	3,5	40,28	150	162	22	1,79	120	4,3	6,17	2,06	2,71	3,7	4,86	22,85	29,99	82,98	109,16
	4	35,71	150	162	22	1,76	120	4,8	5,7	2,1	2,99	3,7	5,27	21,08	30,04	74,99	106,77
	4,5	32,16	150	162	23	1,73	120	5,3	5,26	2,14	3,3	3,7	5,7	19,47	29,98	68,82	106,13
45	3	43,53	150	162	21	1,83	120	3,8	6,88	2,02	2,38	3,7	4,36	25,47	30,00	87,93	103,60
	3,2	41	150	162	22	1,81	120	4	6,53	2,04	2,54	3,7	4,59	24,16	29,97	83,64	104,14
	3,5	37,76	150	162	22	1,8	120	4,3	6,23	2,06	2,68	3,7	4,81	23,06	29,97	77,79	101,20
	4	33,44	150	162	22	1,76	120	4,8	5,67	2,1	3,01	3,7	5,29	20,99	29,99	70,22	100,65
	4,5	30,09	150	162	23	1,73	120	5,2	5,3	2,14	3,27	3,7	5,66	19,6	30,00	64,39	98,39

Продовження таблиці Е.1

48.3	3	40,63	150	162	21	1,84	120	3,7	7,05	2,01	2,32	3,7	4,26	26,08	30,03	81,67	94,26
	3,2	38,26	150	162	22	1,82	120	4	6,61	2,04	2,5	3,7	4,54	24,45	30,01	78,05	95,65
	3,5	35,21	150	162	22	1,8	120	4,2	6,29	2,06	2,65	3,7	4,77	23,28	30,00	72,53	93,31
	4	30,95	150	162	22	1,77	120	4,7	5,79	2,09	2,93	3,7	5,18	21,43	29,99	64,69	90,68
	4,5	27,83	150	162	23	1,73	120	5,2	5,34	2,13	3,24	3,7	5,62	19,76	30,01	59,28	90,17
50	3	38,9	150	162	21	1,83	120	3,8	6,85	2,02	2,4	3,7	4,38	25,34	30,00	78,58	93,36
	3,2	36,62	150	162	22	1,82	120	3,9	6,66	2,03	2,48	3,7	4,51	24,63	30,04	74,34	90,82
	4	29,81	150	162	22	1,77	120	4,7	5,76	2,1	2,95	3,7	5,21	21,3	30,01	62,60	87,94
	4,5	26,79	150	162	23	1,73	120	5,2	5,31	2,14	3,26	3,7	5,65	19,64	30,00	57,33	87,34
	5	24,38	150	162	23	1,7	120	5,7	5	2,17	3,46	3,7	5,9	18,49	29,50	52,90	84,35
	5,5	22,41	150	162	24	1,68	120	6,2	4,7	2,21	3,43	3,7	5,75	17,38	27,03	49,53	76,87
51	2,5	45,23	150	162	21	1,87	120	3,2	7,9	1,98	2,03	3,7	3,8	29,24	30,02	89,56	91,82
	2,8	40,64	150	162	21	1,86	120	3,4	7,46	1,99	2,17	3,7	4,02	27,59	29,99	80,87	88,19
	3	38,09	150	162	21	1,84	120	3,7	7,04	2,01	2,32	3,7	4,26	26,06	29,99	76,56	88,37
	3,2	35,85	150	162	21	1,83	120	3,8	6,83	2,02	2,4	3,7	4,39	25,27	29,98	72,42	86,04
	3,5	32,99	150	162	22	1,8	120	4,2	6,35	2,05	2,62	3,7	4,72	23,5	29,97	67,63	86,43
57	3,5	29,29	150	162	22	1,8	120	4,1	6,4	2,05	2,6	3,7	4,69	23,68	30,02	60,04	76,15
	4	25,87	150	162	22	1,77	120	4,6	5,86	2,09	2,89	3,7	5,12	21,69	30,00	54,07	74,76
	4,5	23,21	150	162	23	1,74	120	5,1	5,39	2,13	3,2	3,7	5,56	19,96	29,97	49,44	74,27
	5	21,09	150	162	23	1,7	120	5,7	4,98	2,17	3,48	3,7	5,92	18,43	29,48	45,77	73,39
	5,5	19,36	150	162	24	1,67	120	6,2	4,68	2,21	3,45	3,7	5,77	17,31	27,00	42,79	66,79
	6	17,92	150	162	24	1,64	120	6,7	4,39	2,25	3,47	3,7	5,69	16,26	24,98	40,32	62,18
60	3,5	27,73	150	162	22	1,81	120	4	6,57	2,04	2,52	3,7	4,57	24,3	30,02	56,57	69,88
	4	24,48	150	162	22	1,78	120	4,5	6	2,08	2,81	3,7	5	22,2	30,00	50,92	68,79
	4,5	21,96	150	162	23	1,74	120	5	5,47	2,12	3,14	3,7	5,48	20,24	29,98	46,56	68,95
	5	19,94	150	162	23	1,71	120	5,6	5,05	2,16	3,48	3,7	5,94	18,68	30,00	43,07	69,39
	5,5	18,3	150	162	24	1,68	120	6,1	4,7	2,21	3,42	3,7	5,74	17,41	26,98	40,44	62,59
	6	16,93	150	162	24	1,65	120	6,6	4,45	2,25	3,41	3,7	5,62	16,46	25,01	38,09	57,73

Продовження таблиці Е.1

60,3	3,5	27,59	150	162	22	1,81	120	4	6,57	2,04	2,52	3,7	4,56	24,32	29,96	56,28	69,53
	4	24,35	150	162	22	1,78	120	4,5	6	2,08	2,81	3,7	5	22,21	30,00	50,65	68,42
	4,5	21,84	150	162	23	1,74	120	5	5,47	2,12	3,14	3,7	5,48	20,25	29,98	46,30	68,58
	5	19,83	150	162	23	1,71	120	5,6	5,05	2,16	3,47	3,7	5,94	18,69	30,00	42,83	68,81
	5,5	18,2	150	162	24	1,68	120	6,1	4,71	2,21	3,49	3,7	5,84	17,41	27,51	40,22	63,52
	6	16,83	150	162	24	1,65	120	6,6	4,45	2,24	3,41	3,7	5,62	16,47	25,01	37,70	57,39
63,5	3,5	26,12	150	162	22	1,82	120	3,9	6,72	2,03	2,45	3,7	4,46	24,87	29,97	53,02	63,99
	4	23,04	150	162	22	1,79	120	4,4	6,08	2,07	2,76	3,7	4,93	22,5	29,97	47,69	63,59
	4,5	20,66	150	162	23	1,75	120	4,9	5,54	2,11	3,09	3,7	5,41	20,51	29,97	43,59	63,84
	5	18,75	150	162	23	1,72	120	5,5	5,12	2,16	3,42	3,7	5,87	18,93	30,05	40,50	64,13
	5,5	17,19	150	162	24	1,68	120	6	4,76	2,2	3,49	3,7	5,88	17,63	27,99	37,82	59,99
	6	15,9	150	162	24	1,65	120	6,5	4,5	2,24	3,49	3,7	5,78	16,65	26,01	35,62	55,49
73,0	3,5	22,55	150	162	21	1,83	120	3,7	6,95	2,02	2,35	3,7	4,32	25,72	30,02	45,55	52,99
	4	19,87	150	162	22	1,8	120	4,2	6,27	2,06	2,66	3,7	4,78	23,2	29,97	40,93	52,85
	4,5	17,79	150	162	22	1,76	120	4,7	5,74	2,1	2,96	3,7	5,23	21,24	30,02	37,36	52,66
	5	16,13	150	162	23	1,73	120	5,3	5,24	2,14	3,32	3,7	5,73	19,39	30,03	34,52	53,55
	5,5	14,77	150	162	24	1,69	120	5,8	4,88	2,18	3,45	3,7	5,84	18,05	28,50	32,20	50,96
	6	13,64	150	162	24	1,66	120	6,3	4,6	2,22	3,46	3,7	5,76	17,01	26,50	30,28	47,19
	6,5	12,69	150	162	24	1,64	120	6,8	4,38	2,26	3,48	3,7	5,71	16,2	25,01	28,68	44,16
	7	11,87	150	162	25	1,61	120	7,4	4,12	2,49	3,47	4	5,58	16,48	22,99	29,56	41,19
76	3,5	21,61	150	162	21	1,84	120	3,7	7,01	2,02	2,33	3,7	4,28	25,93	30,00	43,65	50,35
	4	19,04	150	162	22	1,8	120	4,2	6,29	2,06	2,65	3,7	4,77	23,27	30,00	39,22	50,46
	4,5	17,05	150	162	22	1,76	120	4,7	5,73	2,1	2,97	3,7	5,24	21,19	30,03	35,81	50,64
	5	15,45	150	162	23	1,73	120	5,3	5,28	2,14	3,29	3,7	5,68	19,54	29,99	33,06	50,83
	5,5	14,14	150	162	23	1,7	120	5,8	4,91	2,18	3,36	3,7	5,7	18,18	27,99	30,83	47,51
	6	13,06	150	162	24	1,67	120	6,3	4,61	2,22	3,45	3,7	5,75	17,05	26,51	28,99	45,06

Таблиця Е.2 – Геометричні розміри заготовок та готової труби на калібровочному стані.

Готова труба		Сумарна витяжка	Діаметр заготовки, мм	Прошивний стан			Неперервний стан			Довжина, м							
Розміри готової труби, мм				Розміри гільзи, мм		Витяжка	Р-ри чорнової труби, мм		Витяжка	Заготовки		Гільзи		Чорнова труба		Готова труба	
Дг	Ст	μΣ	Дз	Дг	Сг	μп	Дн	Сн	μн	L min	L max	L min	L max	L min	L max	L min	L max
73	4	19,87	150	162	21	1,83	120	3,8	6,85	2,02	2,4	3,7	4,38	25,33	30,00	40,14	47,69
	4,5	17,79	150	162	22	1,79	120	4,3	6,22	2,06	2,69	3,7	4,82	23,03	29,98	36,65	47,86
	5	16,13	150	162	22	1,76	120	4,8	5,71	2,1	2,99	3,7	5,26	21,11	30,03	33,87	48,23
	5,5	14,77	150	162	23	1,73	120	5,3	5,28	2,14	3,28	3,7	5,68	19,54	29,99	31,61	48,45
	6	13,64	150	162	23	1,7	120	5,8	4,93	2,18	3,47	3,7	5,89	18,23	29,04	29,74	47,33
	6,5	12,69	150	162	24	1,67	120	6,3	4,63	2,22	3,47	3,7	5,79	17,13	26,81	28,17	44,03
	7	11,87	150	162	24	1,65	120	6,7	4,43	2,25	3,48	3,7	5,73	16,4	25,38	26,71	41,31
	7,5	11,16	150	162	25	1,62	120	7,2	4,21	2,38	3,48	3,85	5,63	16,2	23,70	26,56	38,84
	8	10,55	150	162	25	1,59	120	7,7	4	2,52	3,46	4	5,5	15,99	22,00	26,59	36,50
	8,5	10	150	162	26	1,56	120	8,2	3,82	2,69	3,43	4,2	5,36	16,06	20,48	26,90	34,30
9	9,52	150	162	26	1,54	120	8,6	3,71	2,78	3,49	4,3	5,4	15,93	20,03	26,47	33,22	
76.0	3,5	21,61	150	162	21	1,86	120	3,3	7,61	1,99	2,12	3,7	3,94	28,17	29,98	43,00	45,81
	4	19,04	150	162	21	1,83	120	3,8	6,82	2,03	2,41	3,7	4,4	25,22	30,01	38,65	45,89
	4,5	17,05	150	162	22	1,79	120	4,3	6,15	2,07	2,72	3,7	4,87	22,77	29,95	35,29	46,38
	5	15,45	150	162	23	1,76	120	4,8	5,62	2,11	3,04	3,7	5,33	20,81	29,95	32,60	46,97
	5,5	14,14	150	162	23	1,73	120	5,3	5,26	2,14	3,3	3,7	5,7	19,47	29,98	30,26	46,66
	6	13,06	150	162	24	1,69	120	5,8	4,88	2,18	3,45	3,7	5,84	18,05	28,50	28,47	45,06
	6,5	12,14	150	162	24	1,67	120	6,3	4,6	2,22	3,46	3,7	5,76	17,02	26,50	26,95	42,00
	7	11,35	150	162	24	1,64	120	6,7	4,4	2,25	3,46	3,7	5,68	16,29	24,99	25,54	39,27
	7,5	10,68	150	162	25	1,62	120	7,1	4,22	2,41	3,47	3,9	5,62	16,46	23,72	25,74	37,06
	8	10,08	150	162	25	1,6	120	7,6	4,06	2,5	3,47	4	5,54	16,23	22,49	25,20	34,98

Продовження таблиці Е.2

83.0	3,5	19,71	150	162	21	1,86	120	3,3	7,64	1,99	2,11	3,7	3,92	28,28	29,95	39,22	41,59
	4	17,36	150	162	21	1,83	120	3,8	6,84	2,02	2,4	3,7	4,38	25,32	29,96	35,07	41,66
	4,5	15,53	150	162	22	1,79	120	4,3	6,22	2,06	2,69	3,7	4,82	23,02	29,98	31,99	41,78
	5	14,06	150	162	22	1,76	120	4,8	5,71	2,1	2,98	3,7	5,25	21,13	29,98	29,53	41,90
	5,5	12,87	150	162	23	1,73	120	5,3	5,28	2,14	3,29	3,7	5,68	19,53	29,99	27,54	42,34
	6	11,87	150	162	23	1,7	120	5,8	4,92	2,18	3,36	3,7	5,69	18,19	27,99	25,88	39,88
	6,5	11,03	150	162	24	1,67	120	6,3	4,64	2,22	3,49	3,7	5,82	17,15	27,00	24,49	38,49
	7	10,31	150	162	24	1,64	120	6,7	4,39	2,25	3,47	3,7	5,69	16,26	24,98	23,20	35,78
	7,5	9,69	150	162	25	1,62	120	7,1	4,23	2,34	3,49	3,8	5,67	16,09	23,98	22,67	33,82
89	8	9,14	150	162	25	1,6	120	7,6	4,05	2,47	3,48	3,95	5,56	15,99	22,52	22,58	31,81
	3,5	18,33	150	162	21	1,86	120	3,3	7,63	1,99	2,11	3,7	3,93	28,23	29,99	36,48	38,68
	4	16,13	150	162	22	1,82	120	3,8	6,77	2,03	2,43	3,7	4,43	25,06	29,99	32,74	39,20
	4,5	14,42	150	162	22	1,79	120	4,3	6,16	2,07	2,72	3,7	4,87	22,79	30,00	29,85	39,22
	5	13,06	150	162	22	1,76	120	4,8	5,67	2,1	3,01	3,7	5,29	20,97	29,99	27,43	39,31
	5,5	11,94	150	162	23	1,73	120	5,3	5,27	2,14	3,3	3,7	5,7	19,49	30,04	25,55	39,40
	6	11,01	150	162	23	1,7	120	5,8	4,93	2,18	3,46	3,7	5,88	18,25	28,99	24,00	38,09
	6,5	10,23	150	162	24	1,67	120	6,2	4,65	2,22	3,48	3,7	5,81	17,2	27,02	22,71	35,60
	7	9,55	150	162	24	1,64	120	6,7	4,41	2,25	3,45	3,7	5,67	16,31	25,00	21,49	32,95
102	7,5	8,97	150	162	25	1,62	120	7,1	4,23	2,34	3,47	3,8	5,63	16,06	23,81	20,99	31,13
	8	8,46	150	162	25	1,6	120	7,6	4,04	2,51	3,48	4	5,55	16,14	22,42	21,23	29,44
	3,5	15,91	150	162	21	1,86	120	3,4	7,49	1,99	2,16	3,7	4	27,72	29,96	31,66	34,37
	4	13,99	150	162	22	1,82	120	3,9	6,71	2,03	2,45	3,7	4,47	24,83	29,99	28,40	34,28
	4,5	12,5	150	162	22	1,79	120	4,4	6,1	2,07	2,75	3,7	4,91	22,58	29,95	25,88	34,38
	5	11,31	150	162	23	1,76	120	4,9	5,62	2,11	3,04	3,7	5,34	20,79	30,01	23,86	34,38
	5,5	10,33	150	162	23	1,73	120	5,3	5,23	2,14	3,32	3,7	5,73	19,36	29,97	22,11	34,30
	6	9,52	150	162	23	1,69	120	5,8	4,89	2,18	3,47	3,7	5,89	18,1	28,80	20,75	33,03
	6,5	8,84	150	162	24	1,67	120	6,3	4,61	2,22	3,48	3,7	5,79	17,06	26,69	19,62	30,76
7	8,25	150	162	24	1,64	120	6,8	4,37	2,26	3,49	3,7	5,72	16,17	25,00	18,65	28,79	
7,5	7,74	150	162	25	1,61	120	7,3	4,16	2,39	3,47	3,85	5,6	16,03	23,30	18,50	26,86	

Продовження таблиці Е.2

108	4	13,18	150	162	22	1,82	120	3,9	6,63	2,04	2,49	3,7	4,53	24,52	30,03	26,89	32,82
	4,5	11,78	150	162	22	1,78	120	4,4	6,03	2,08	2,79	3,7	4,97	22,31	29,97	24,50	32,87
	5	10,65	150	162	23	1,75	120	4,9	5,55	2,11	3,09	3,7	5,41	20,52	30,03	22,47	32,91
	5,5	9,73	150	162	23	1,72	120	5,4	5,15	2,15	3,39	3,7	5,82	19,06	29,97	20,92	32,98
	6	8,96	150	162	24	1,69	120	5,9	4,82	2,19	3,47	3,7	5,87	17,85	28,29	19,62	31,09
	6,5	8,31	150	162	24	1,66	120	6,4	4,55	2,23	3,49	3,7	5,78	16,82	26,30	18,53	29,00
	7	7,76	150	162	25	1,63	120	6,9	4,31	2,27	3,48	3,7	5,69	15,95	24,52	17,62	27,00
	7,5	7,28	150	162	25	1,6	120	7,4	4,1	2,43	3,49	3,9	5,6	16,01	22,96	17,69	25,41
114	8	6,86	150	162	26	1,58	120	7,9	3,93	2,6	3,47	4,1	5,48	16,1	21,54	17,84	23,80
	4,5	11,1	150	162	22	1,78	120	4,5	5,95	2,08	2,84	3,7	5,04	22,01	29,99	23,09	31,52
	5	10,04	150	162	23	1,74	120	5	5,48	2,12	3,14	3,7	5,48	20,27	30,03	21,28	31,53
	5,5	9,17	150	162	23	1,71	120	5,5	5,09	2,16	3,44	3,7	5,89	18,85	29,98	19,81	31,54
	6	8,44	150	162	24	1,68	120	6	4,77	2,2	3,48	3,7	5,87	17,66	28,00	18,57	29,37
	6,5	7,83	150	162	24	1,66	120	6,5	4,52	2,23	3,47	3,7	5,75	16,73	25,99	17,46	27,17
	6,9	7,4	150	162	25	1,63	120	6,9	4,32	2,39	3,48	3,9	5,68	16,83	24,54	17,69	25,75
	7	7,3	150	162	25	1,63	120	7	4,27	2,46	3,46	4	5,62	17,08	24,00	17,96	25,26
	7,5	6,85	150	162	25	1,6	120	7,5	4,07	2,5	3,48	4	5,58	16,28	22,71	17,13	23,84
	8	6,45	150	162	26	1,57	120	8	3,9	2,67	3,47	4,2	5,47	16,36	21,33	17,22	22,38
	8,5	6,1	150	162	26	1,55	120	8,5	3,74	2,9	3,48	4,5	5,4	16,83	20,20	17,69	21,23
9	5,79	150	162	27	1,53	120	9	3,6	3,01	3,49	4,6	5,33	16,57	19,19	17,43	20,21	

Математична модель розрахунку втрат придатного металу при виробництві заготовок на МБЛЗ та готової трубопрокатної продукції

Существующий раскрой на МНЛЗ

Вес металла в стальковше, т	$R_{стк} := 160$		
Вес металла в проковше, т	$R_{прк} := 4,41 \cdot 160$		
Длина мерного пореза заготовки, м	$L_{мр} := 11$		
Диаметр заготовки, м	$D_з := 0.15$		
Сечение заготовки, м ²	$S_з := \frac{\pi \cdot D_з^2}{4}$	$S_з = 0.018$	
Вес погонного метра заготовки, т/мп	$R_{пм} := S_з \cdot 7.85$	$R_{пм} = 0.139$	$R_{шл} := R_{пм} \cdot 28$ $R_{шл} = 3.884$
Вес заготовки с МНЛЗ, т	$R_{L_{мр}} := L_{мр} \cdot R_{пм}$		$R_{L_{мр}} = 1.526$
Общая длина НЛЗ с учетом остатка в проковше шлака, м	$L_{прк}(R_{прк}) := \left(\frac{R_{прк}}{R_{пм}} \right) \cdot R_{шл}$		$L_{прк}(R_{прк}) =$
			24.951
			25.672
			...
Длина заготовки на ручье (из пяти), м	$L_i(R_{прк}) := \frac{L_{прк}(R_{прк})}{5}$		
Кол. заготовок с ручья, шт	$N_{зр}(R_{прк}) := \frac{L_i(R_{прк})}{L_{мр}}$		$N_{зр}(R_{прк}) =$
			0.454
			0.467
			...
Длина остатка с ручья, м	$O_{L_i}(R_{прк}) := (N_{зр}(R_{прк}) - \text{floor}(N_{зр}(R_{прк}))) \cdot L_{мр}$		
Вес остатка с ручья, т	$R_{ост}(R_{прк}) := O_{L_i}(R_{прк}) \cdot R_{пм}$		$R_{ост}(R_{прк}) =$
			0.692
			0.712
			...
Вес остатка на МНЛЗ с пяти ручьев, т	$R_{ост5}(R_{прк}) := R_{ост}(R_{прк}) \cdot 5$		
			0.692
			0.712
			...
Общее количество заготовок, шт	$\Sigma N(R_{прк}) := \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{(R_{прк} - R_{шл})}{5} \right\rfloor}{R_{пм} \cdot L_{мр}} \right\rfloor \cdot 5$		

Раскрой на НТЗ

Диаметр готовой трубы, м	$d_{\Gamma} := 0.042$			
Толщина стенки, м	$S_{\Gamma} := 0.003$			
Длина заготовки посада при безостаточном раскрое	$L_{зп} := 2.2$			
$L_{\text{мр}} = 11$ м Длина мерной трубы, м	$L_{\text{мтр}} := 12$			
Суммарная вытяжка на стане	$\Sigma\lambda := 46.88$			
Общая длина трубы с заготовки, м	$L_{\text{тр}} := \Sigma\lambda \cdot L_{зп}$	$L_{\text{тр}} = 103.136$		
Количество мерных труб, шт	$N_{\text{мтр}} := \frac{L_{\text{тр}}}{L_{\text{мтр}}}$			
Длина остатка при раскрое, м	$o_{\text{л}} := (N_{\text{мтр}} - \text{floor}(N_{\text{мтр}})) \cdot L_{\text{мтр}}$	$o_{\text{л}} = 7.136$		
Вес остатка с заготовки посада, т	$P_{\text{отр}} := \pi \cdot o_{\text{л}} \cdot 7.85 \cdot S_{\Gamma} \cdot (d_{\Gamma} - S_{\Gamma})$	$P_{\text{отр}} = 0.021$		
Вес остатка с одной заготовки МНЛЗ длиной $L_{\text{мр}} 11$ м, т	$P_{\text{оз}} := P_{\text{отр}} \cdot \text{floor}(N_{зп})$	$P_{\text{оз}} = 0.103$		
Вес остатка с ΣN заготовок, т	$P_{\Sigma N}(P_{\text{прк}}) := P_{\text{оз}} \cdot \Sigma N(P_{\text{прк}})$	$P_{\Sigma N}(P_{\text{прк}}) =$		
Суммарные потери на МНЛЗ и НТЗ, т	$\Sigma P(P_{\text{прк}}) := P_{\text{ост5}}(P_{\text{прк}}) + P_{\Sigma N}(P_{\text{прк}})$	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 50px; height: 30px;"> <tr><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">...</td></tr> </table>	0	...
0				
...				

Сквозной раскрой на МНЛЗ

Длина заготовки - 11 м	$L_{мп}$						
Длина заготовки посада при безостаточном раскросе	$L_{зп} := 2.2$						
$L_{мп} = 11$ м							
Кол. заготовок посада с заготовки НЛЗ, шт	$N_{зп} := \frac{L_{мп}}{L_{зп}}$	$N_{зп} = 5$	$ceil(N_{зп}) = 5$ $floor(N_{зп}) = 5$				
Вес заготовки посада, т	$P_з := L_{зп} \cdot P_{пм}$	$P_з = 0.305$					
Длина остатка с заготовки, м	$OL_з := (N_{зп} - floor(N_{зп})) \cdot L_{мп}$						
Диаметр готовой трубы, м	$dт := 0.042$						
Толщина стенки, м	$S_{ст} := 0.003$						
Длина мерной трубы, м	$L_{мтр} := 12$						
Вес мерной трубы, т	$P_{м} := \pi \cdot L_{мтр} \cdot 7.85 \cdot S_{ст} \cdot (dт - S_{ст})$	$P_{м} = 0.0346$					
Суммарная вытяжка на стане для $dт$ и $S_{ст}$	$\Sigma\lambda := 46.88$						
Общая длина трубы с заготовки посада, м	$L_{тр} := \Sigma\lambda \cdot L_{зп}$	$L_{тр} = 103.136$					
Количество мерных труб, шт	$N_{мтр} := \frac{L_{тр}}{L_{мтр}}$	$N_{мтр} = 8.595$					
Длина остатка при раскросе, м	$oli := (N_{мтр} - floor(N_{мтр})) \cdot L_{мтр}$	$oli = 7.136$					
Вес остатка с заготовки посада, т	$P_{озп} := \pi \cdot oli \cdot 7.85 \cdot S_{ст} \cdot (dт - S_{ст})$	$P_{озп} = 0.0206$					
Остаток на заготовках НЛЗ, т	$Opз(P_{прк}) := \Sigma N(P_{прк}) \cdot (P_{озп} \cdot floor(N_{зп}))$	$Opз(P_{прк}) =$	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>...</td></tr> </table>	0	0	0	...
0							
0							
0							
...							
Требуемый вес заготовки посада, т	$P_{зтп} := P_з - P_{озп}$	$P_{зтп} = 0.2846$					
Скорректированная длина заготовки посада, м	$L_{зс} := \left\lceil \frac{(P_{зтп} \cdot L_{зп})}{P_з} \right\rceil$	$L_{зс} = 2.052$					
Требуемый вес заготовки НЛЗ, т	$P_{знлз} := P_{зтп} \cdot floor(N_{зп})$	$P_{знлз} = 1.423$					
Скорректированная длина заготовки НЛЗ, м	$L_{знлз} := \left\lceil \frac{(P_{знлз} \cdot L_{мп})}{P_{лмп}} \right\rceil$	$L_{знлз} = 10.258$					
Количество заготовок с ручья скорректир длиной с $P_{стк}$	$\Sigma N_{знлз}(P_{прк}) := \left\lceil \frac{\left\lceil \frac{(P_{прк} - P_{шл})}{5} \right\rceil}{P_{знлз}} \right\rceil$						
Вес остатка, т	$P_o(P_{прк}) := (\Sigma N_{знлз}(P_{прк}) - floor(\Sigma N_{знлз}(P_{прк}))) \cdot L_{знлз} \cdot P_{пм}$						
Вес остатка с пяти ручьев, т	$P_{o5}(P_{прк}) := 5 \cdot P_o(P_{прк})$						
	$N5(P_{прк}) := \Sigma N_{знлз}(P_{прк}) \cdot 5$						

Величина приращения длины заготовки на МНЛЗ, м	$\Delta L_3 := \frac{P_M}{P_{PM}}$	$\Delta L_3 = 0.25$					
Длина заготовки с учетом приращения, м	$L\Delta := L_{3НЛЗ} + \Delta L_3$	$L\Delta = 10.507$					
Кол. раскраиваемых заготовок НЛЗ с одного ручья, длина которых увеличивается на ΔL_3	$N_{зб}(P_{прк}) := \frac{P_o(P_{прк})}{P_{згп}}$		$N_{зб}(P_{прк}) =$				
	$O_{зб}(P_{прк}) := N_{зб}(P_{прк}) - \text{floor}(N_{зб}(P_{прк}))$		<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td style="text-align: center;">0.081</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0.152</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0.222</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0.292</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">...</td></tr> </table>	0.081	0.152	0.222	0.292
0.081							
0.152							
0.222							
0.292							
...							
Длина остатка с ручья, м	$L_{ср}(P_{прк}) := [(O_{зб}(P_{прк}) - \text{floor}(O_{зб}(P_{прк})))L_{3НЛЗ}]$						
Остаток на МНЛЗ с ручья	$O_{мнлз}(P_{прк}) := (O_{зб}(P_{прк}) \cdot L\Delta \cdot P_{PM})$						

Ж.1 Структурна схема системи керування натягу чорнової групи клітей і першої кліті чистої групи

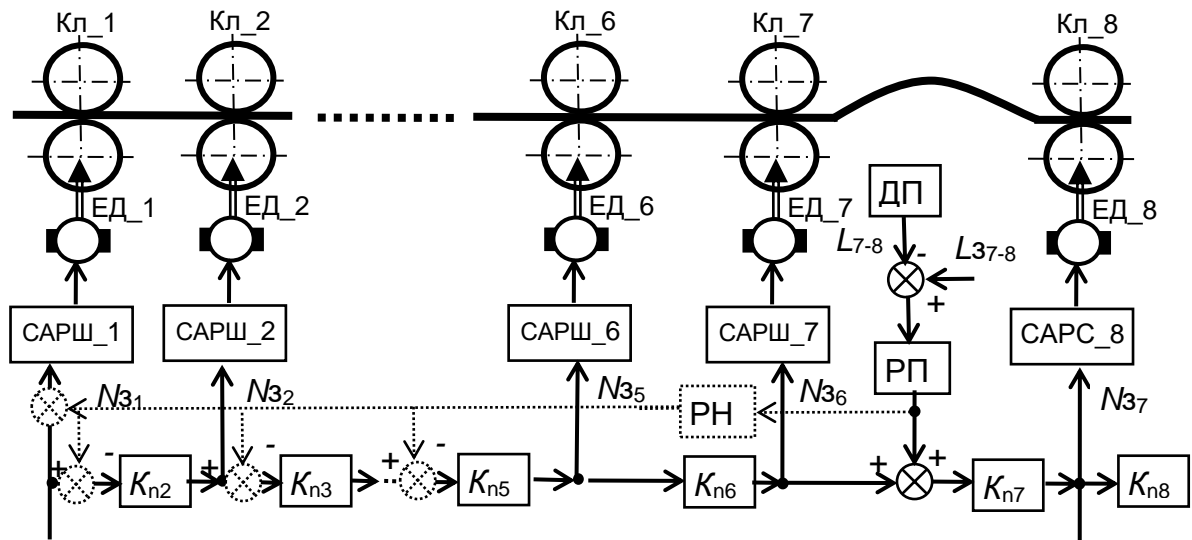


Рисунок Ж1 – Структурна схема системи керування натягу чорнової групи клітей і першої кліті чистої групи:

Кл_# – прокатна кліть номер #; ЕД_# – електродвигун прокатної кліті номер #; САРШ_# – система автоматичного управління швидкістю прокатної кліті номер #; ДП – датчик петлі проката; РП – регулятор петлі проката; РН – регулятор натягу проката; $N_{z\#}$ – завдання швидкості обертання кліті номер#; L_{7-8} – фактична довжина прокату між чорною і чистою групами (клітьями сім і вісім); L_{37-8} – задана довжина прокату між чорною і чистою групами; $K_{n\#}$ – коефіцієнт узгодження швидкості обертання кліті номер#.

3.1 Розрахунок економічної ефективності впровадження автоматизованої системи керування розкромом на безперервному дрібносортовому стані

3.1.1 Характеристика об'єкта проектування

Метою створення і впровадження на виробництві даної системи є підвищення виходу міри та зниження витрати металу шляхом зменшення браку і простоїв стану. Система призначена для керування розкромом прокату на безперервному дрібносортовому стані 250 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Керування здійснюється шляхом вибору ефективного алгоритму керування розкромом.

Економічний ефект від впровадження на виробництві даної системи очікується за рахунок зменшення маси металу, що потрапляє в обрізь і підвищення виходу мірної продукції.

Критерієм економічної ефективності впровадження АСУ ТП прийнято вважати підвищення рівня продуктивності праці на підприємстві, що несе за собою зниження собівартості продукції, збільшення обсягу виробництва і зростання його рентабельності. Річна економія від впровадження АСУ ТП розраховується шляхом виявлення результатів виробництва, отриманих на основі автоматизації процесу керування.

Вимоги до структури та функціонування:

- Система повинна включати мінімальну кількість датчиків, найбільш повно і достовірно відображають процеси, що відбуваються в об'єкті.
- Порушення в роботі системи не повинні призводити до аварійних ситуацій на об'єкті.
- Система повинна інформувати персонал про всі порушення в технології і можливі відмови датчиків.

Режим функціонування системи - автоматичний.

В ієрархічній структурі система займає проміжне положення, нижче знаходиться система підпорядкованого регулювання приводом летучих ножиць

(нижній рівень), а вище може знаходитися АСУ всього цеху і підприємства в цілому.

Таким чином, система є локальною системою керування розкром прокату.

При впровадженні системи на виробництві очікується зниження собівартості прокату за рахунок економії металу. Крім того, буде знижена кількість немірної продукції.

Метою розрахунку економічної ефективності є доказ дійсної економічної ефективності цих змін у виробництві.

3.1.2 Проектні рішення і потреба в інвестиціях

Справжнім розрахунком передбачається аналіз і оцінка впливу функціонування системи керування розкром прокату на техніко-економічні показники АСУ ТП без такої системи, а також встановлення доцільності її розробки і впровадження у виробництво на безперервному стані 250 ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Таблиця 3.1 Вихідні дані для розрахунку

Найменування показників	Од. виміру	Показники
1	2	3
Річний обсяг виробництва	тис. т.	720,8
Відвантаження прокату	тис. т.	713,5
Брак	%	0,6
Виробництво в гарячий час	т	100,4
Номінальний час роботи стана за рік	годин	8220
Собівартість прокату	грн./т.	5200
Сума умовно-постоянних витрат по переділу	грн./т	215
Вартість втрат від браку	грн./т	1800
Питомі капітальні вкладення	грн./т	1130
Вартість основних фондів	тис. грн.	809910

Капітальні вкладення, необхідні для впровадження розробленої системи на виробництві наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Витрати на впровадження системи.

Найменування статей витрат	Величина витрат, тис. грн.
Обчислювальна техніка	250
Прилади й засоби автоматизації	210
Вартість НДР	600
Разом:	1060

3.1.3. Розрахунок експлуатаційних витрат

Річне споживання електроенергії засобами автоматизації

$$Z_{en} = t_{\phi} \cdot N_y \cdot C_{\varepsilon} \cdot K_n, \quad (3.1)$$

де t_{ϕ} – річний фонд часу роботи, година.;

N_y – встановлена потужність, кВт;

C_{ε} – ціна 1-го кВт/час електроенергії, грн;

K_n – інтегральний коефіцієнт використання потужності.

$$Z_{en} = 6455 \cdot 5 \cdot 1.8 \cdot 0.9 = 52285.5 \text{ кВт/год}$$

Річний фонд основної та додаткової зарплати персоналу, що обслуговує АСУ ТП (4 людини із середньорічною зарплатою 96 тис. грн.).

$$Z_{zn} = 96 \cdot 4 = 384 \text{ тис.грн.} \quad (3.2)$$

Нарахування на зарплату: податок на прибуток фізичних осіб 18%, військовий збір 1.5%

$$Z_{нач} = 384 \cdot 0.195 = 74,88 \text{ тис.грн.} \quad (3.3)$$

Річні амортизаційні відрахування розраховуються відповідно до закону України "Про оподаткування прибутку підприємства". Норми амортизації диференційовані тільки по групах. Обчислювальна техніка відноситься до другої групи, норма амортизації для якої становить 25%, прилади і технічні засоби автоматизації відносяться до третьої групи, норма амортизації для якої становить 15% [11].

- мікропроцесорна техніка:

$$A_{z1} = 250 \cdot 0.25 = 62,5 \text{ тис.грн.} \quad (3.4)$$

- прилади і засоби автоматизації

$$A_{z2} = 210 \cdot 0.15 = 31,5 \text{ тис.грн.} \quad (3.5)$$

Витрати на поточний ремонт та утримання технічних засобів (відрахування на поточний ремонт складають 6% від вартості основних фондів):

$$Z_{mp} = 460 \cdot 0,06 = 27,6 \text{ тис. грн.} \quad (3.6)$$

Основними фондами в даному випадку є обчислювальна техніка і засоби автоматизації. Отже, вартість основних фондів дорівнює $\Phi = 460$ тис. грн. Фондовіддача розраховується за формулою:

$$F = \frac{A_f}{\Phi} \quad (3.7)$$

де A_f – річний обсяг виробництва 720,8 тис. т.; Φ – середня вартість основних фондів.

Вартість основних фондів у базовому році нижче, ніж в проектному (за рахунок використання раніше застарілих засобів автоматизації) і становить 400 тис. грн. Таким чином, фондовіддача в базовому році становить:

$$F = \frac{720800}{400000} = 1,802 \text{ т/грн}$$

Фондовіддача в проектному році становить:

$$F = \frac{720800}{460000} = 1,57 \text{ т/грн.}$$

Структура експлуатаційних витрат наведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Кошторис витрат

Найменування статей витрат	Величина витрат	
	Доля витрат, %	тис. грн.
1. Виробниче споживання електроенергії	8,26	52,28
2. Фонд заробітної платні	60,69	384
3. Відрахування на зарплату	11,83	74,88
3. Річні амортизаційні відрахування:		
- обчислювальна техніка;	9,88	62,5
- засоби автоматизації	4,98	31,5
5. Поточний ремонт і утримання технічних засобів	4,36	27,6
РАЗОМ:	100	632,76

3.1.4 Розрахунок техніко - економічних показників

Економія від зниження браку

Зафіксований відсоток браку за річним звітом роботи стану склав 0,6%. Система керування розкром прокату за експертними оцінками впровадження аналогічних систем на інших станах дозволить зменшити цей показник на 0,1%. Таким чином після впровадження системи величина браку скоротиться на

$0,6-0,5=0,1\%$ до виходу придатного, що складе

$$\mathcal{E}_{\text{брак}} = \frac{720800 \cdot 0,1}{100} = 720,8 \text{ т} \quad (3.8)$$

При вартості втрат від браку 1800 грн на т. економія від ліквідації браку складе

$$\mathcal{E}_6 = 1800 \cdot 720,8 = 1297,44 \text{ тис.грн} \quad (3.9)$$

Економія від зменшення поточних простоїв стана

Система керування розкром прокату впливає на зменшення наступних простоїв: буріння на стані, ремонт електро та механо-обладнання, налаштування стана. Після впровадження системи поточні простоя стана по перерахованих видів зменшуватимуться на 63 годин, що дозволяє отримати

$$100,4 \cdot 63 = 6325,2 \text{ тис. т. прокату} \quad (3.10)$$

Економія на експлуатаційних витратах за рахунок суми умовно постійних становить

$$6325,2 \cdot 215 = 1360 \text{ тис.грн.} \quad (3.11)$$

Всього економія на експлуатаційних витратах складе

$$1360 + 1297,44 = 2657,44 \text{ тис.грн.} \quad (3.12)$$

Необхідно врахувати витрати на амортизаційні відрахування і ремонт системи. Разом економія експлуатаційних витрат

$$2657,44 - 632,76 = 2024,68 \text{ тис.грн.} \quad (3.13)$$

Економія на капітальні вкладення за рахунок впровадження системи складе

$$6,325 \cdot 1130 - 1060 = 6087,25 \text{ тис.грн.} \quad (3.14)$$

Річний економічний ефект

$$\mathcal{E}_2 = C + E_n \cdot K, \quad (3.15)$$

де C – зміна експлуатаційних витрат,

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності,

K -економія на капітальні вкладення

$$2657,44 + 0.15 \cdot 6087,25 = 3570,53 \text{ тис. грн.}$$

Термін окупності системи

$$T = \frac{1060}{3570,53} = 0.3 \text{ р.} \quad (3.16)$$

Впровадження системи є ефективним так як термін окупності менше як рік.

Розрахунок виконаний на підставі Інструкції по визначенню економічної ефективності використання на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій.

