

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему: **Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система
визначення натягу смуги прокату**

Виконав: студент 2 курсу, групи ІВТ-2м

Спеціальності: 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

Манжос А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент кафедри ІВТ

кандидат технічних наук, доцент

Чепюк Л.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Студент _____ Манжос А.О.

1. Тема роботи: Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система
визначення натягу смуги прокату

Керівник роботи: доцент кафедри ІВТ кандидат технічних наук, доцент Чепюк
Л.О.

затверджена наказом по університету від « 14 » листопада 2024 р. № 654/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 15 » грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи об'єкт вимірювань – зусилля натягу смуги прокату,
число каналів вимірювання – 2; діапазон
вимірювання вертикальної складової зусилля натягу,
– 0,4...20 кН; межі допустимих значень основної
похибки – $\pm 2\%$.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
огляд та аналіз існуючих методів вимірювання зусилля натягу смуги прокату,
розробка структурної схеми системи, вибір технічних засобів вимірювального
каналу, розробка алгоритму та програми обробки вимірювальної інформації,
розрахунок метрологічних характеристик системи.

5. Перелік графічного матеріалу
структурна схема системи, електрична принципова схема підключень датчиків,

блок-схема алгоритму роботи системи.

6. Консультанти кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз джерел інформації	01.10.24 – 05.10.24	Виконано
2	Формулювання завдань кваліф. роботи	06.10.24 – 10.10.24	Виконано
3	Розробка методу вимірювань зусилля смуги прокату	25.10.24 – 09.11.24	Виконано
4	Розробка структурної схеми системи	11.10.24 – 15.10.24	Виконано
5	Вибір технічних засобів системи	16.10.24 – 24.10.24	Виконано
6	Розробка алгоритму обробки системи	10.11.24 – 22.11.24	Виконано
7	Розрахунок метрологічних характеристик системи	23.11.24 – 03.12.24	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	11.12.24 – 17.12.24	Виконано

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Манжос А.О

(прізвище та ініціали)

Чепюк Л. О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему визначення натягу смуги прокату.

В процесі виконання кваліфікаційної роботи було розглянуто технологічний процес виробництва холоднокатаного листа, виконано аналіз методів регулювання натягу прокатаного листа. Проведено вибір контрольованих параметрів та розробка на їх основі структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату. Розроблено структурну схему та алгоритм роботи комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату. Вибрано вимірювальні засоби та елементну базу комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату та розроблено метрологічне забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату.

Ключові слова: комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система, визначення натягу, смуга прокату.

ABSTRACT

In this qualification work, a computerized information-measuring system for determining the tension of a rolled strip was developed.

In the course of the qualification work, the technological process of cold-rolled sheet production was considered, and the methods of regulating the tension of the rolled sheet were analysed. The selection of controlled parameters was made and the structure of the computerized information-measuring system for determining the tension of the rolled strip was developed based on them. The structural scheme and algorithm of the computerized information-measuring system for determining the tension of the rolled strip have been developed. The measuring tools and element base of the computerized information-measuring system for determining the tension of a rolled strip are selected, and the metrological support of the computerized information-measuring system for determining the tension of a rolled strip is developed.

Keywords: computerized information and measurement system, determination of tension, rolled strip.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1. МЕТОДИ ТА ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НАТЯГУ СМУГИ. 11	
1.1. Поняття прокатного виробництва.....	11
1.2. Технологічний процес виробництва холоднокатаного листа.....	14
1.3. Аналіз існуючої системи регулювання натягу	20
1.4. Методи регулювання натягу.....	22
1.5. Система автоматичного регулювання натягу в чорновій групі клітей	25
1.6. Системи автоматичного регулювання натягу в чистовій групі клітей	29
1.7. Система регулювання товщини, натягу і петлі смуги стану прокатки	35
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ СМУГИ ПРОКАТУ	46
2.1. Вимірювання натягу смуги.....	46
2.2. Структурна схема системи	55
2.3. Програмований логічний контролер	58
2.4. Датчик температури ESMC	61
3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ СМУГИ ПРОКАТУ	63

3.1. Налаштування та калібрування комп'ютеризованої інформаційно-виміральної системи визначення натягу смуги прокату	63
3.2. Розрахунок метрологічних характеристик.....	70
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МАД — магнітоанізотропний датчик

БЖ — блок живлення

БПП — блок перетворення і посилення

ГСН — генератор синусоїдальної напруги

ДТ — датчик температури

ПОІ — пристрій обробки інформації

РКІ — рідкокристалічний індикатор

ПЛК — програмований логічний контролер

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне металопрокатне виробництво характеризується інтенсифікацією навантажень на технологічне обладнання, збільшуються швидкості прокатки, обтиснення тощо. У цих умовах зростає роль різних систем автоматичного регулювання, що забезпечують підвищення продуктивності та якості продукції, що випускається.

Оптимізація натягу смуги прокату в між клітьових проміжках, а також між останньою кліттю і моталкою є обов'язковою умовою нормального перебігу технологічного процесу на безперервних станах холодної прокатки. У разі ослаблення натягу нижче певної межі порушується рівномірність витяжки смуги і з'являються дефекти у вигляді «коробоватості» профілю або «хвилі».

Істотне ослаблення натягу, близьке до повного його зникнення, призводить до нестійкості смуги у валках, що, як правило, супроводжується обривом смуги прокату. До такого ж результату призводить і надмірне збільшення натягу.

Таким чином, однією з головних технологічних вимог під час безперервного плющення металевої смуги є забезпечення заданих значень між клітьового натягу як у перехідних, так і в усталених режимах прокатки.

Між клітьовий натяг, крім запобігання зсуву смуги у валках, чинить стабілізуючу дію на сам процес безперервного плющення, роблячи припустимими деякі відхилення у встановлених співвідношеннях швидкостей робочих валків.

У той же час не відрегульований міжклітинний натяг призводить до отримання різної товщини по поздовжній осі на кінцях прокатуваної смуги, що усувається зменшенням величини натягу під час входу і виходу металу з кліті.

Високі вимоги до контролю і регулювання натягу висуваються при дресируванні холоднокатаного відпаленого металу (прокатка з обтисненням від 0,5 до 5%).

В даній роботі розроблено та досліджено нову комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему визначення натягу смуги прокату, що дозволяє замінити застарілі плати надійним обладнанням, що відповідає сучасним вимогам до вимірювальної і іспитової техніки, але в той же час цілком зберігає колишню функціональність і особливості роботи з механізмами прокатного стану. Функції формування аварійних повідомлень, сигналів захисту, що виконувалися раніше на апаратному рівні реалізовано програмно.

Метою даної роботи є розробка нової комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення зусилля натягу смуги прокату, що має підвищити точність вимірювання натягу.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналітичний огляд методів вимірювання натягу як об'єкта контролю;
- провести вибір контрольованих параметрів і розробити на їх основі структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення зусилля натягу смуги прокату;
- розробити програмно - алгоритмічне забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення зусилля натягу смуги прокату;
- розробити метрологічне забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення зусилля натягу смуги прокату.

Об'єкт дослідження – процеси вимірювання зусилля натягу смуги прокату.

Предмет дослідження – комп’ютеризована інформаційно-вимірювальна система визначення натягу смуги прокату.

Методи дослідження базуються на аналітичному виведенні рівнянь математичної моделі вимірювального каналу, використанні обчислювальних блоків у вимірювальному каналі, застосуванні методів комп’ютерного моделювання з наступною статистичною обробкою отриманих результатів.

Наукова новизна даної роботи полягає в:

- вибрано нові датчики для вимірювання зусилля натягу;
- удосконалено структурну схему комп’ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення зусилля натягу смуги прокату;
- розроблено блок-схема алгоритму роботи комп’ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату.

Практична цінність даної роботи полягає в:

- вибрано вимірювальні засоби та елементну базу комп’ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення зусилля натягу смуги прокату;
- розраховано метрологічні характеристики комп’ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення зусилля натягу смуги прокату;
- пропонується впровадити нову комп’ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення зусилля натягу смуги прокату.

Структура та обсяг роботи. Дана робота складається з анотації, вступу, 3 основних розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатку. Робота викладена на 74 сторінках основного тексту і містить 21 рисунок та 5 таблиць.

1. МЕТОДИ ТА ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НАТЯГУ СМУГИ

1.1. Поняття прокатного виробництва

Прокатне виробництво - одержання шляхом прокатки зі сталі та інших металів різних виробів та напівфабрикатів, а також додаткова обробка їх з метою підвищення якості (термічна обробка, травлення, нанесення покриттів). У промислових країнах прокатці піддається більше 4/5 сталі, що виплавляється.

Прокатка металів – спосіб обробки металів і металевих сплавів тиском, що полягає в обтисненні їх між валками, що обертаються, прокатних станів.

Прокатний стан - машина для обробки тиском металу та ін. матеріалів між валками, що обертаються, оскільки для здійснення процесу прокатки; у ширшому значенні прокатний стан - автоматична система або лінія машин (агрегат), що виконує не тільки прокатку, але і допоміжні операції: транспортування вихідної заготовки зі складу до нагрівальних печей і до валків стану, передачу матеріалу, що прокочується від одного калібру до іншого, кантівку, транспортування металу після прокатки, різання на частини, маркування або таврування, правку, упаковку, передачу складу готової продукції та інших.

Прокатка – це найпоширеніший спосіб обробки металу пластичним деформуванням. Прокатці піддають до 90% всієї сталі, що виплавляється, і більшу частину кольорових металів. Спосіб зародився у XVIII столітті і, зазнавши значного розвитку, досяг високої досконалості.

Сутність процесу: заготовля обтискається (стискається), проходячи в зазор між валками, що обертаються, при цьому вона зменшується у своєму поперечному перерізі і збільшується в довжину, незначно в ширину. Форма поперечного перерізу смуги металу називається профілем.

Процес прокатки забезпечується силами тертя між інструментом, що обертається, і заготовкою, завдяки яким заготовка переміщається в зазорі між

валками, одночасно деформуючись. У момент захоплення металу з боку кожного валка діють на метал дві сили: нормальна сила N та дотична сила тертя T (рис. 1.1).

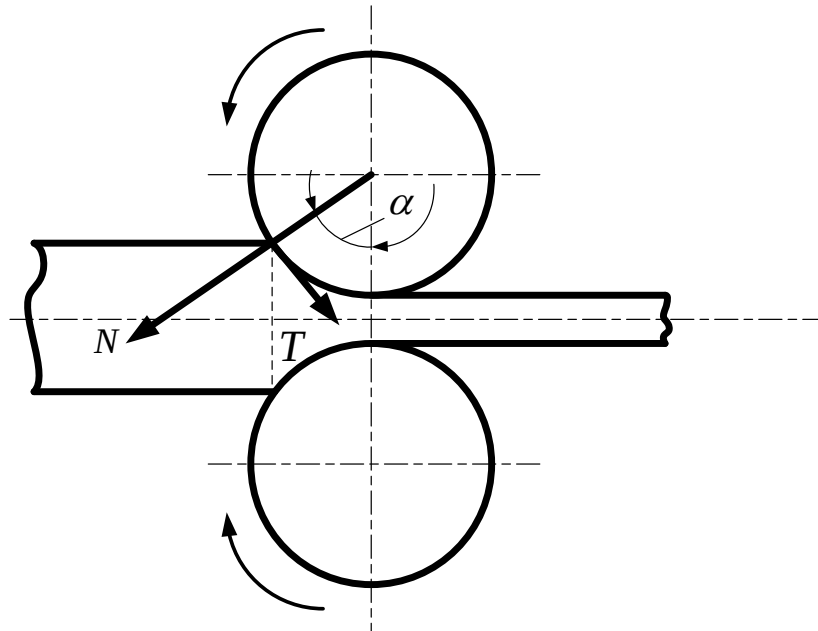


Рисунок 1.1 Розташування сил, що діють під час прокатування

За призначенням продукції стани можна розділити на групи: обтискні, заготівельні, трубозаготівельні, рельсо балкові, сортові, дротяні, товстолистові, тонколистові, холодної, періодичної прокатки та ін. Серед станів холодної прокатки виділяють листові, стрічко прокатні, плющильні, фольгопрокатні. Робочі кліти станів залежно від конструкції та способу приведення валків у обертання ділять на шість груп: дуо, тріо, кварто, багато валкові, універсальні, спеціальної конструкції.

Залежно від напрямку прокатки розрізняють реверсивні та нереверсивні стани. Перші допускають прокатку металу у двох напрямках, другі мають постійний напрямок обертання валків.

За взаємним розташуванням клітей поділяє стани на одно клітьові, лінійні, послідовні, безперервні та напів безперервні.

Для холодної прокатки листової сталі широкого асортименту найбільше застосування отримали безперервні чотири -, п'яти - та шести клітьові стани. При прокатуванні на безперервних станах метал знаходиться одночасно у всіх або кількох клітках. Порівняно зі станами інших типів безперервні стани характеризуються вищими швидкостями прокатки, і навіть великою продуктивністю.

Для забезпечення нескінченності процесу прокатки в головній частині стану встановлені машина для стикового електрозварювання кінців смуг попереднього рулону з наступним і петльовий накопичувач (акумулятор) смуги, за рахунок якого процес прокатки не припиняється під час зварювання кінців смуг. Рулони гарячекатаної смуги протруєної ланцюговим транспортером подаються до стану і встановлюються на барабани двох розмотувачів, по черзі подають передні кінці смуг в роликотправильну машину. У стикозварювальній машині кінці смуг обрізуються, зварюються в стик і зварений шов (грат) зачищається. Далі смуга надходить у підземний петльовий накопичувач і за допомогою натяжних роликів пристроїв прямує у валки першої клітки стану. По виході з останньої клітки стану безперервно рухома смуга розрізається летючими ножицями і двома моталками (по черзі) змотується в рулони необхідної ваги. Рулони знімаються з барабанів моталок знімачами, обв'язуються смужкою по колу, зважуються на терезах і подаються на два ланцюгові транспортери.

При порулонній прокатці кінці смуг не зварюються між собою в стикозварювальній машині; петльовий накопичувач смуг та легкі ножиці перед моталками не використовуються. Рулони гарячекатаної смуги встановлюються у разі на розмотувач перед першою кліткою стану. Для обрізання передніх кінців смуги при порулонній та нескінченній прокатці перед першою кліткою стану встановлені ножиці гільйотину.

Спосіб нескінченної холодної прокатки застосовується на стані 1700.

Технологічний процес виробництва холоднокатаного листа

Необхідність холодної прокатки металу обумовлена в першу чергу тим, що при гарячій прокатці неможливо отримати лист хорошої якості завтовшки менше одного міліметра. Цьому перешкоджає утворюється при гарячій прокатці окалина, товщина якої можна порівняти з товщиною металу, що прокочується. Лише при холодній прокатці вдається отримати тонкий лист блискучої поверхні, рівномірний по товщині, з механічними властивостями, необхідними при подальшій обробці.

Технічний процес виробництва холоднокатаного листа зазвичай включає наступні операції:

- очищення поверхні смуги, що надходить на стан холодної прокатки від окалини та іржі;
- холодну прокатку металу;
- термічну обробку холоднокатаного металу для надання йому заданих властивостей;
- додаткову холодну прокатку після відпалу з невеликим обтисканням (дресирування);
- остаточне оздоблення.

Очищення смуги від окалини та іржі проводиться травленням у кислотних ваннах. Таке очищення потрібне для того, щоб окалина не вдавлювалася в смугу і не псувала валки станів холодної прокатки. Основним способом очищення поверхні металу від окалини є травлення у різних кислотах та лугах. У цеху травлення металу видалення окалини проводиться за допомогою сірчаної кислоти. Цей цех складається з трьох безперервних травильних агрегатів. Механічне видалення окалини виробляють в окалино руйнівних і спеціальних установках, званих верстатами абразивної зачистки. Зачищення проводять вибірково, видаляючи місцеві дефекти. При підготовці металу до холодної прокатки механічні способи видалення окалини зазвичай

застосовують як попередні для поліпшення травлення.

Після очищення смуги від окалини та її промаслювання в цеху травлення, метал надходить на склад травлених рулонів у цеху прокатки та відпалу (ЦПіО). Тут проводиться холодна прокатка смуги металу, очищення смуги від олії та її термічна та механічна обробка.

Технологічне обладнання цеху прокатки та відпалу складається з: двох станів холодної прокатки – безперервного чотири клітьового стану 1700 та безперервного п'яти клітьового стану нескінченної прокатки 1700; дресирувальних станів 1 і 2; чотирьох блоків ковпакових печей, два з яких працюють під водневою захисною атмосферою та два блоки під азотною захисною атмосферою.

Чотири клітьовий стан, що допускає за один прохід сумарне обтиснення смуги 70-80%, призначений для прокатки вуглецевої, головним чином авто листової сталі до кінцевої товщини 0,5-0,3 мм.

П'яти клітьовий стан дозволяє отримати за один прохід сумарне обтиснення 90%, його застосовують для листової сталі товщиною до 0,18 мм.

Для сучасних станів холодної прокатки характерний рулонний спосіб виробництва, що забезпечує високі продуктивність і якість готового листа.

Холодна прокатка дозволяє забезпечувати хороші технологічні якості листів за штампуванням та іншими пластичними та міцнісними характеристиками та отримувати задані електротехнічні властивості, що дозволило забезпечити вихід холоднокатаного прокату на світовий ринок.

Завершальна термічна обробка є обов'язковою для всіх видів холодного прокату. Печі у цехи прокатки і відпалу розроблені фірмою «LOI Essen». Ці печі використовуються для високоякісного відпалу спеціальних марок сталей, а також продукції, що йде на експорт. Вони призначені для відпалу сталі. звичайної якості.

Велике значення для якості холоднокатаного металу має склад захисного газу.

Після термічної обробки металу роблять його дресирування на двох дресирувальних станах 1 і 2.

Дресирувальні стани 1700 призначені для дресирування холоднокатаних відпалених смуг з низьковуглецевої якісної, вуглецевої низьколегованої та електротехнічної ізотропної сталі з вмістом кремнію до 1,8% і межею міцності до 65 кгс/мм², згорнутих в рулони, на сухих.

Дресируванням називають прокатку з малими обтисканнями до 8% легованого і гарячекатаного металу. У цьому випадку дресирування проводять для отримання смуг з необхідною планшетністю та необхідною якістю поверхні. штампування, механічні властивості, планшетність та якість поверхні. вимоги обумовлені відповідними ДОСТАми та технічними умовами.

Після обробки в ковпакових печах і на дресирувальних станах метал в рулонах обв'язують папером і м'яким сталевим листом і відвантажують споживачеві.

Для підтримки основного технологічного процесу виробництва холоднокатаного листа до складу ЦПіВ входять:

- масло-емульсійне відділення (МЕО), де готується емульсія для прокатних станів, що охолоджує,
- ремонтно-механічний цех для виготовлення необхідних вузлів та деталей;
- Ділянка підготовки виробництва (ДПП), де готуються в роботу опорні та робочі валки з необхідною робочою поверхнею бочки.

Переважає частина холоднокатаного листа виходить при рулонному способі виробництва, основною перевагою якого є можливість безперервності здійснення потоку металу в цеху.

У таблиці 1.1 представлені технічні характеристики стану-1700.

Таблиця 1.1 Технічні характеристики стану-1700

Розміри підкату, мм:	
товщина	1,8-5,5
ширина	890-1520
Розміри готових смуг, мм:	
товщина	0,4-3,2
ширина	900-1500
Маса рулону, т	до 30
Швидкість прокатки, м/с:	
заправочна	0,75
максимальна	25
Діаметри бочки валків, мм;	
робочих	500
опорних	1300
Довжина бочки валків, мм	1700
Максимальна сила прокатки, МН	15
Річне виробництво, тис. т	1200
Діаметр рулону, мм	
внутрішній	600
зовнішній	до 2200
Відстань по осях станин, мм	2660
Тиск металу на валки при прокатці, транспортний засіб	до 1800

Для забезпечення безперервної обробки металу на стані безперервної прокатки використовуються петлеві накопичувачі, в яких створюється запас довжини смуги, що витрачається під час зварювання кінців рулонів. На рис. 1.3 зображено конструкцію головної частини стану на ділянці від НУ1 (поз.

3) до центруючого ролика (поз. 4), що включає в себе і петльовий пристрій горизонтального типу (поз. 2).

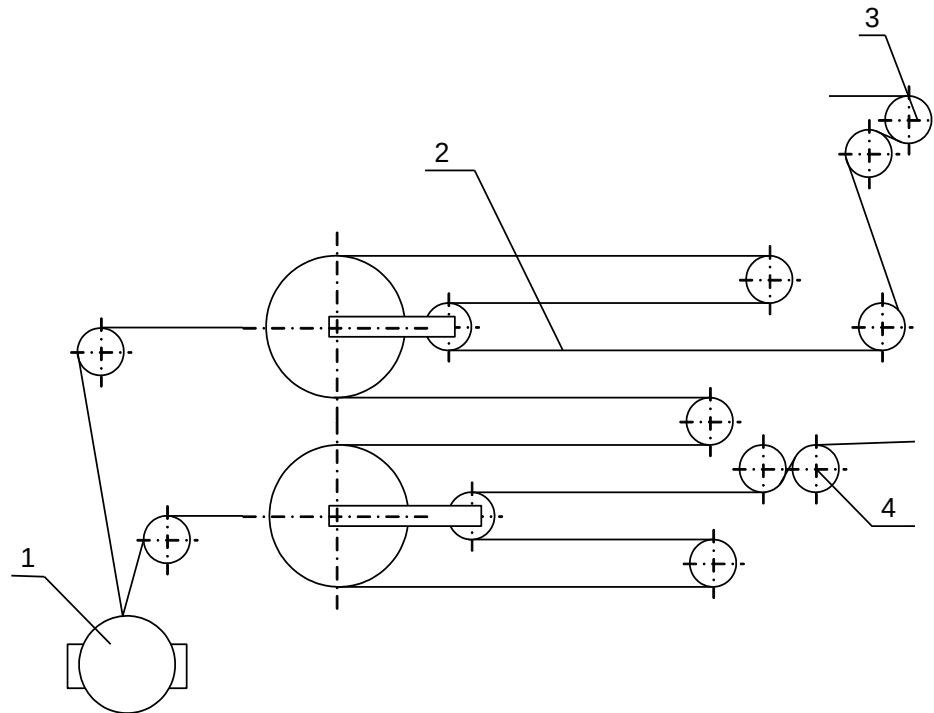


Рисунок 1.2 Конструкція петльового пристрою

Де: 1 - привід петльового пристрою;

2 – петльовий пристрій;

3 – НУ1;

4 – центруючий ролик.

Накопичувач смуги з організованою натягнутою петлею з восьми гілок має запас смуги до 800 м-коду. Накопичувач заповнюється смугою, що надходить по черзі з ролонів на розмотувачах №1 та №2. При зупинці смуги на час зварювання прокатка здійснюється при витрачанні смуги із накопичувача. Після завершення зварювання швидкість смуги на вході накопичувача встановлюється вище швидкості на вході в стан і здійснюється заповнення накопичувача. Прокатана смуга змотується в ролон по черзі на

моталку №1 або №2.

На вході смуги у петлевий пристрій встановлена вхідна приводна станція, що забезпечує розрахунковий натяг смуги в петльовому пристрої. Від вхідної приводної станції смуга надходить вниз до петлеутворювальних візків, розташованих одна під одною. По черзі огинаючи барабани візків і барабани центруючих пристроїв, смуга утворює чотири горизонтальні петлі, довжина яких змінюється при переміщенні візків рейками, закріпленими на металоконструкціях. На виході петлевого пристрою встановлено вихідну приводну станцію. Переміщення візків в одну сторону здійснюється канатним приводом, що включає електропривод, канатні барабани, і блоки, в іншу сторону - за рахунок різниці лінійних швидкостей вихідний і вхідний приводних станцій. При заповненні петльового пристрою візки входять до зони синхронізації швидкостей вхідної та головної частини стану. За відсутності запасу смуги в петльовому пристрої середня частина стану буде вимушено простоювати. У зв'язку з цим інформація про довжину смуги металу в петльовому пристрої є необхідним параметром для ефективної роботи технологів та системи стеження стану безперервної прокатки.

Таблиця 1.2 Характеристики петльового пристрою

Характеристика пристрою	Діапазон зміни технологічного параметра	Одиниці виміру
Швидкість руху смуги в головній частині стану	не більше 15	м/с
Швидкість руху смуги перед першою клітиною	0,5-8,0	м/с
Довжина смуги у ПУ	208-800	м

Натяжні станції №1 і №2, призначені для підтримки та управління

натягу в головній частині стану, однакові за конструкцією та принципом дії.

Необхідне натяг перед першою кліттю створюється натяжною станцією НУ-2.

Натяжна станція №2 складається з 2 натяжних роликів, розташованих за петленакопичувачем на вході і навпроти ролика-компенсатора натягу.

Під час заправлення смуги натяжна станція №2 працює в режимі автоматичного контролю натягу для балансування натягу смуги до першої кліті.

Кожен ролик обладнаний електродвигуном, який встановлюється через електромагнітну муфту. Крім того, кожен ролик оснащений пневматичними керованими дисковими гальмами, керованими через електромагнітний клапан.

1.3 Аналіз існуючої системи регулювання натягу

Прокатка на стані 1700 здійснюється з натягом смуги на вході в стан (між натяжним пристроєм і першою кліттю), між клітями, на виході з стану з контролем міжклітинних натягів та товщини датчиками натягу та товщиномірами, встановленими на вході, виході та між клітками.

Налаштування міжклітинних натягів здійснюється положенням гідронатискних пристроїв. У процесі прокатки співвідношення швидкостей та положення ДНУ автоматично коригуються від системи управління натягом з метою підтримки товщини після клітей та міжклітинних натягів у заданих межах.

Для налаштування натягу смуги перед першою клітиною використовується ролик-компенсатор, також званий ролик, що танцює (рисунок 1.3).

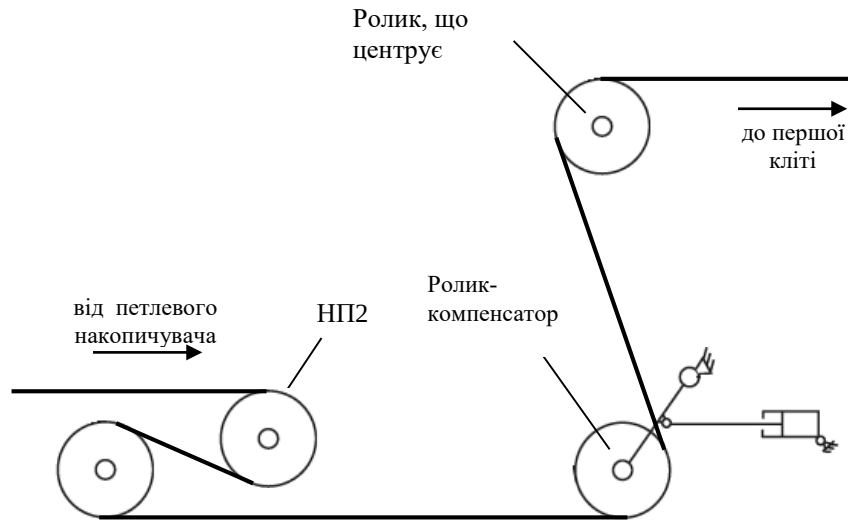


Рисунок 1.3 Форма заправки смуги на ділянці між натяжним пристроєм 2 та centruючим роликом

Ролик-компенсатор згладжує ривки, що виникають на ділянці між натяжним пристроєм НП2 і першою кліттю за рахунок включених в його конструкцію 2 демпферних пристроїв і 8 пружин, встановлених паралельно. Пружини призначені для пом'якшення вібрацій і поштовхів, а демпфери – для погашення коливань, що виникли в системі. Принцип його роботи полягає у наступному.

При зміні натягу смуги валик відхиляється від нульової позиції, компенсуючи відхилення натягу. Вимірювання відхилення (позиції) валика дозволяє, скоригувавши параметри приводу валків, нормалізувати величину натягу. Діапазон зміни кута при радіальному переміщенні ролика становить від 0 до $19,5^\circ$, змінюючи при цьому натяг смуги від 0 до 200 кН. Статична характеристика ролика відображає залежність кута повороту важеля з роликом від натягу смуги (рис. 1.4).

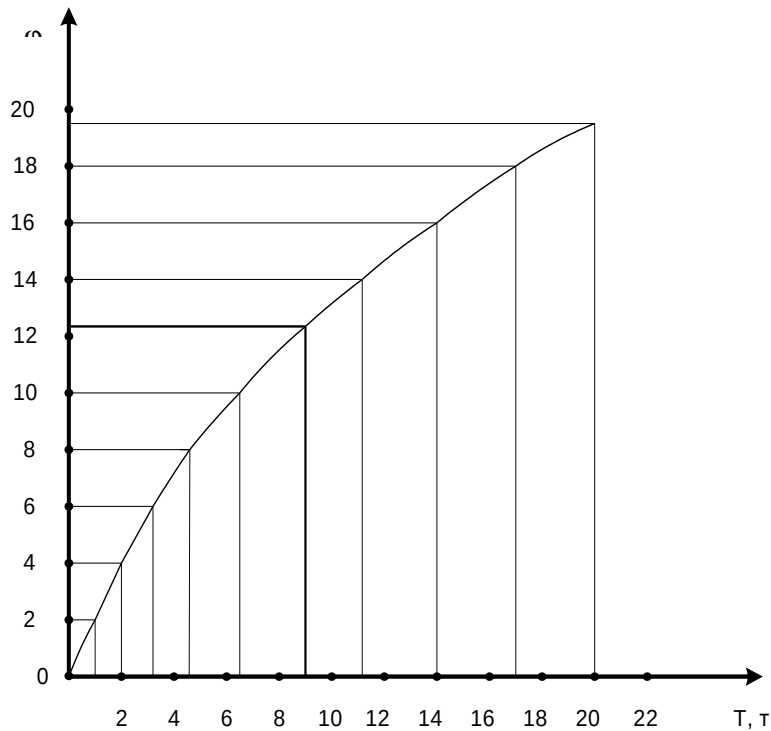


Рисунок 1.4 Графік залежності кута повороту важеля із роликом від натягу смуги

Де φ° - кут повороту важеля з роликом,

T - натяг смуги на гілки, що збігає.

1.4. Методи регулювання натягу

Розрізняють два способи вимірювання натягу:

1) прямий (за регульованим параметром), коли натяг вимірюється за допомогою вимірювача натягу, вихідна напруга якого, що надходить на вхід замкнутої системи управління, порівнюється із заданим значенням;

2) по опосередковано визначеному значенню натягу, тобто. е. по одній з величин або їх комбінації, що змінюється у функції T , найчастіше по вертикальній складовій зусилля натягу P , яка діє на вимірювальний ролик, відхиляючи смугу від лінії прокатки (рис. 1.5).

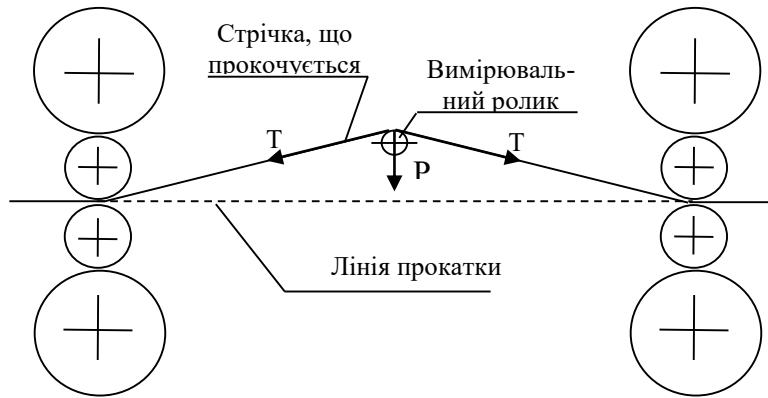


Рисунок 1.5 Визначення натягу смуги за допомогою вимірювального ролика

Датчик натягу стрічки НАЕННЕ BZV-K

Датчики натягу стрічки серії BZV-K (рис. 1.6) відрізняються компактною конструкцією, а також різноманітними можливостями застосування [14]. Вони встановлюються між опорним підшипником або вимірювальним валком і поверхнею привалки машини.



Рисунок 1.6 Датчик натягу стрічки НАЕННЕ BZV-K

Прилади BZV реєструють вертикальну компоненту сили натягу стрічки. Живлення датчиків та обробка сигналів вимірювань проводяться за

допомогою вимірювального підсилювача з HAEHNE програми, підключеного після них.

Вихідний сигнал вимірювального підсилювача пропорційний силі натягу і служить для індикації та використання як дійсного значення в підключеному контурі регулювання.

Особливі ознаки:

- Номінальне зусилля від 5 до 100 кН
- Компактна блокова конструкція
- Легко налаштовується під різні типи підшипників
- Високий захист від перевантажень внаслідок механічних ударів
- Крутильно-жорсткий вимірювальний елемент із нержавіючої сталі

Технічні характеристики датчика натягу стрічки HAEHNE BZV-K представлені у таблиці 1.3 [14]

Таблиця 1.3 Технічні характеристики датчика натягу стрічки HAEHNE BZV-K

Технічна характеристика	Величина віднес. до номінальної сили, %
Діапазони виміру (кН)	5; 10; 20; 50; 100
Макс. робоче зусилля	160%
Макс граничне зусилля	1000%
Номінальне значення [м В/В]	1,0 mV / V
Клас точності	0,5%
Відтворюваність	max. $\pm 0,1\%$
Нелінійність	max. $\pm 0,3\%$
Гістерезис	max. $\pm 0,3\%$
Дрейф нуля	max. 50 ppm / °C
Номінальний діапазон температур	+10...+60°C
Робочий температурний діапазон	-10...+75°C

Номинальний опір мосту	700 Ω
Макс. напруга живлення [В DC]	10 VD
Стандартний тип захисту	IP 67
Вага типорозміру 01, 02 в кг	25; 33

1.5. Система автоматичного регулювання натягу в чорновій групі клітей

Характерною рисою сучасних конструкцій безперервних широкосмугових станів є об'єднання в безперервні групи як чистових, а й чорнових клітей. Так на станах "2286" (Франція), "2250" (Японія), "2300" (ФРН) дві останні чорнові кліті об'єднані в безперервну чорнову підгрупу. Існують стани, на яких у безперервну підгрупу об'єднані три останні чорнові кліті.

Створення безперервних чорнових підгруп дозволило підвищити температуру металу на вході в чистову групу клітей за рахунок скорочення теплового випромінювання прокатки в міжклітинних проміжках. Що ж до систем управління головними приводами горизонтальних валків клітей цих підгруп, всі вони відповідним чином ускладнилися, оскільки знадобилося здійснити регулювання між клітьового натягу. Принцип регулювання натягу ґрунтується на залежності:

$$\frac{M_i}{PR} = \varphi \pm \delta = \beta \quad (1.1)$$

де M_i — повний момент на робочому валку з урахуванням натягу смуги;

P — вертикальна складова рівнодіючої контактних сил в осередку деформації N (сила прокатки));

R — радіус робочого валка;

φ – центральний кут, що відповідає положенню точки прикладання
рівнодіючої контактних сил;

δ – кут між рівнодіючою контактних сил N та її вертикальною
складовою P .

Знак «плюс» у формулі (1.1) відповідає випадку $T_0 > T_1$, де T_0 і T_1 –
відповідно сили заднього та переднього натягу смуги. Таким чином, при
прокатці з переважним заднім натягом повний момент на валці $M_i > M_P =$
 $PR\varphi$, де M_P – момент, створюваний силою P . Випадку $T_0 < T_1$ відповідає
«мінус» в (1.1), при цьому $M_i < M_P$.

У безперервній підгрупі з двох клітей заданий закон регулювання
реалізується системою керування двигуном приводу горизонтальних
валків першої (по ходу прокатки) кліті. При цьому друга кліть може мати
нерегульований привід, наприклад, від синхронного двигуна змінного
струму. У трьох клітьовій безперервній підгрупі всі кліті мають
регульований привід горизонтальних валків.

Для двигуна постійного струму

$$M_i = C_M \Phi I, \quad (1.2)$$

де C_M – конструктивна
постійна;

Φ – потік збудження;

I – сила струму в ланцюгу якоря двигуна.

При роботі двигуна з незмінним потоком збудження закон
регулювання між клітьового натягу описується залежністю

$$I/P = \text{const} . \quad (1.3)$$

Розглянемо процес регулювання натягу в трьох клітьовій

безперервній підгрупі. Середня (друга) кліть не регулюється, вона є базовою. Регулювання натягу здійснюється приводами першої та третьої клітей.

На рис. 1.7 наведено блок-схему системи регулювання натягу стосовно регулюючої кліті. Величини I та P вимірюються відповідно датчиками струму двигуна головного приводу ДГП та вимірювачами сили прокатки ВСП.

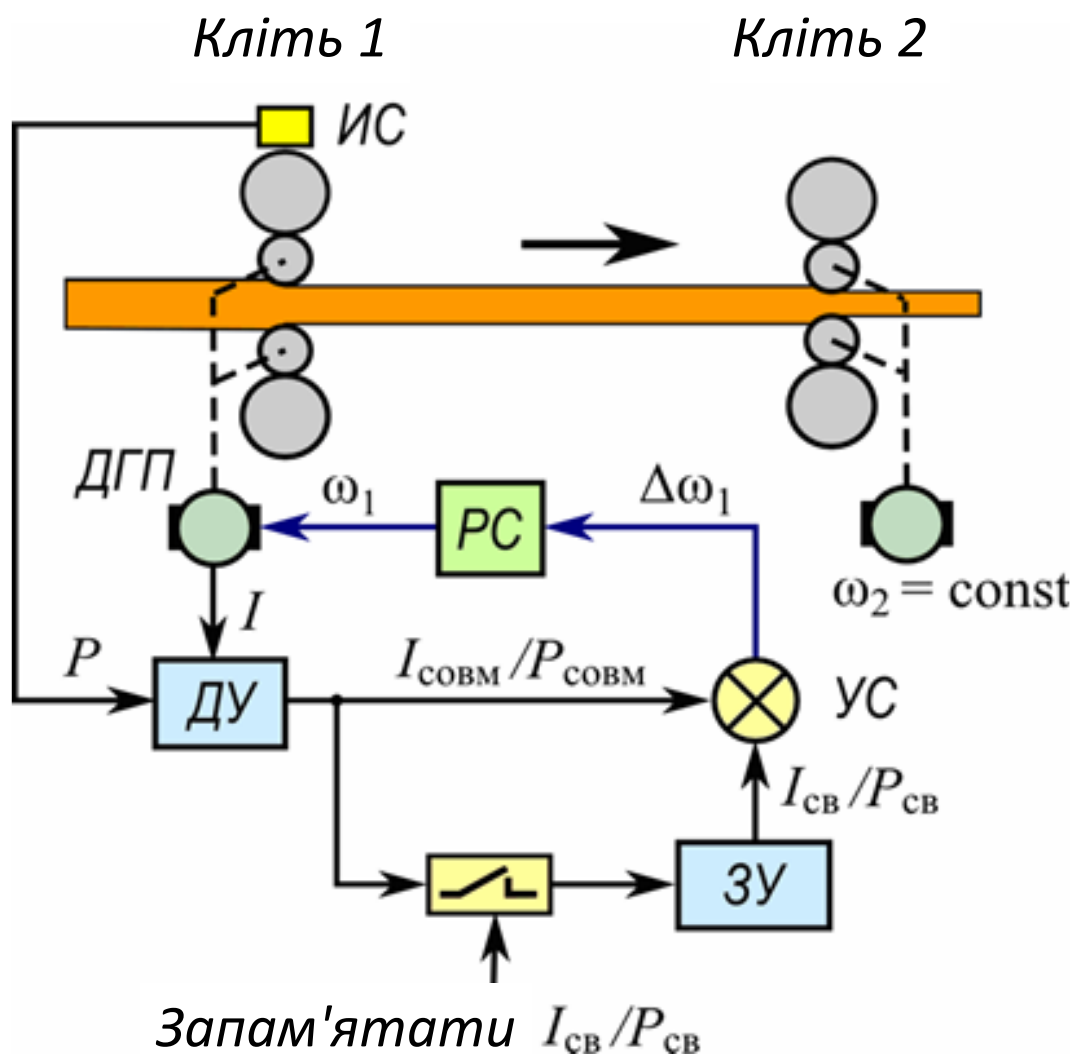


Рис. 1.7. Блок-схема системи регулювання натягу у безперервній чорновій групі клітей

Після входу металу в першу кліть і до входу в другу кліть здійснюється вільна (без натягу) прокатка. За цей проміжок часу вимірюється величина струму якоря двигуна головного приводу $I_{св}$ та сила прокатки $P_{св}$. Значення цих величин поступають в пристрій ділення ПД, де обчислюється відношення $I_{св}/P_{св}$. Обчислена величина $I_{св}/P_{св}$ запам'ятовується в пристрої пам'яті ППам, після чого вхід пристрою пам'яті відключається від виходу пристрою ділення ПД. Після входу металу в другу кліть ця кліть стає пов'язаною з першою кліттю через метал, що проходить прокатку, а це може призвести до виникнення натягу між цими клітьми.

Метою регулювання є мінімізація міжклітинного натягу, для чого вимірюють значення сили струму $I_{совм}$ та сили $P_{совм}$ в першій кліті при спільній прокатці металу. На пристрої ділення обчислюється відношення $I_{совм}/P_{совм}$, після чого воно порівнюється з раніше запам'ятованим відношенням $I_{св}/P_{св}$ в пристрої порівняння ППор. В результаті операції порівняння на регулятор швидкості першої кліті РС подається команда на зміну частоти обертання приводу. Завдання регулювання швидкості полягає у виконанні умови порівняння на регулятор швидкості першої кліті РС подається команда на зміну швидкості приводу. Задача регулювання швидкості – виконання умови

$$\left| \frac{I_{св}}{P_{св}} - \frac{I_{совм}}{P_{совм}} \right| \approx 0 \quad (1.4)$$

Таким чином підтримується мінімальний натяг між першою та другою клітьми, близький до вільної прокатки.

Натяг між другою та третьою клітьми регулюється аналогічно. До входу металу в третю кліть запам'ятовується відношення $I_{св}/P_{св}$ для другої кліті. Після початку прокатки в третій кліті вимірюється $I_{совм}/P_{совм}$ для

другої кліті, і у випадку виникнення натягу система регулювання впливає на швидкість третьої кліті доти, доки натяг не зникне.

1.6. Системи автоматичного регулювання натягу в чистовій групі клітей

Ширина смуги формується переважно у чорнової групі клітей і потім стабілізується в чистовій групі з допомогою функціонування системи автоматичного регулювання натягу (САРН). Зміна міжклітинного натягу при прокатці найбільшою мірою впливає на ширину смуги, що проходить прокатку. Встановлено, що для безперервних широкосмугових станів гарячої прокатки максимальна величина питомого натягу, за якої забезпечується стабілізація ширини смуги, не повинна перевищувати $10...15 \text{ Н/мм}^2$. Зміна міжклітинного натягу в процесі прокатки в безперервній чистовій групі впливає також і на поздовжню різну товщину смуги, що проходить прокатку.

В даний час САРН широкосмугових станів гарячої прокатки виконуються на базі:

- гідравлічних або пневматичних петлетримачів, у конструкції яких закладено принцип незалежності зусиль у певному інтервалі кута повороту важеля - петлетримача при незмінному тиску робочого тіла в циліндрах;
- статичних петлетримачів, у яких натяг вимірюється спеціальними датчиками, вмонтованими в опору ролика петлетримача;
- електромеханічні петлетримачі з безредукторним приводом від спеціальних безколекторних двигунів або двигунів постійного струму з незалежним збудженням [3].

Останній із перерахованих видів САРН (рис. 1.8) знайшов

найбільше поширення на прокатних станах. В основу подібних систем покладено принцип непрямого виміру натягу в міжклітинних проміжках.

Момент електродвигуна електромеханічного петлетримача з безредукторним приводом врівноважує суму моментів зовнішніх сил, що становлять статичний момент навантаження механізму:

$$M_{\text{д}} = M_{\text{нат}} + M_{\text{виг}} + M_{\text{неур}} + M_{\text{п}} \pm M_{\text{тр}} \quad (1.5)$$

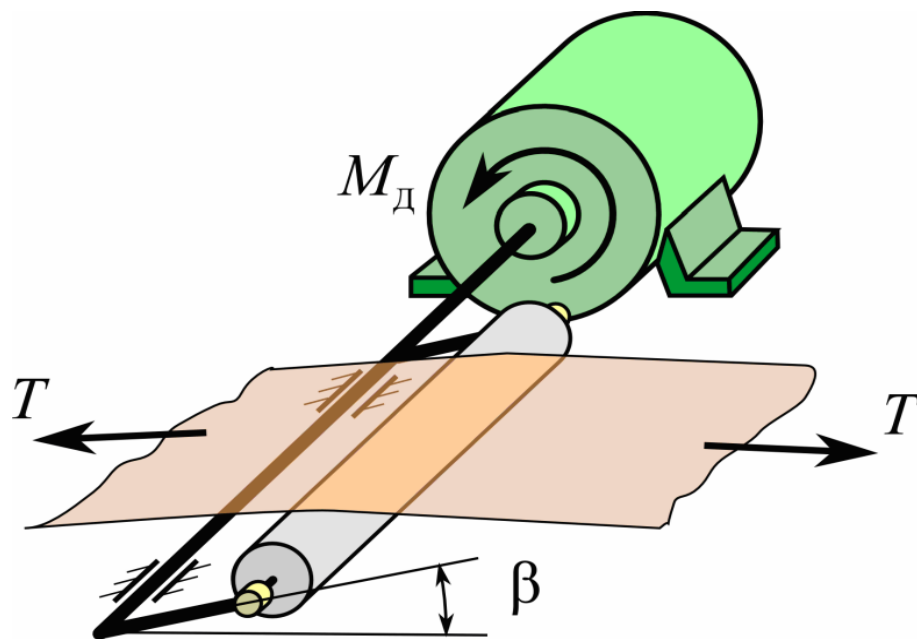


Рис. 1.8. Електромеханічний петлетримач із безредукторним приводом від спеціального двигуна постійного струм

де

$$M_{\text{нат}} = \frac{2\sigma B h R^2}{L} \sin 2\beta \text{ — момент від натягу;}$$

$$M_{\text{виг}} = \frac{2\sigma_s B h R^2}{L} \cos \beta \text{ — момент від вигину;}$$

$M_{HEYP} = M'_{HEYP} \cos \beta$ – момент від неврівноважених частин петлетримача;

$M_{II} = 0,5\gamma BhLRg \cos \beta$ – момент від маси смуги в міжклітинному проміжку;

$M_{тр}$ – момент сил тертя в механізмі петлетримача;

σ – питомий натяг у міжклітинному проміжку;

B, h – ширина і товщина смуги;

R – радіус важеля петлетримача;

L – відстань між осями суміжних чистових клітей;

β – кут повороту важеля петлетримача щодо горизонталі;

σ_s – межа плинності металу в міжклітинному проміжку;

γ – питома вага смуги;

M'_{Heyp} – момент від неврівноважених частин при горизонтальному положенні петлетримача ($\beta = 0$).

Аналіз конструктивних та експлуатаційних параметрів регуляторів натягу чистових груп ширококутових станів показує, що основною складовою статичного моменту механізму петлетримача є момент від натягу. Відповідно, при визначенні закону регулювання натягу моментом неврівноважених частин механізму, моментом сил тертя та моментом від вигину смуги можна знехтувати. У цьому випадку (3.5) можна подати у вигляді

$$M_{д} = \frac{4\sigma BhR^2}{L} \sin \beta \cos \beta \quad (1.6)$$

З формули (1.6) випливає, що

$$dM_{\mathcal{D}} = \frac{4BhR^2}{L} [\sin \beta \cos \beta d\sigma + \sigma(\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) d\beta]. \quad (1.7)$$

Отже, для стабілізації натягу (забезпечення $d\sigma = 0$) система регулювання має забезпечити виконання умови:

$$dM_{\mathcal{D}} = \frac{4BhR^2}{L} (\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) d\beta = \frac{4TR^2}{L} (\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) d\beta, \quad (1.8)$$

де $T = \sigma Bh$ – сила натягу смуги.

Рівняння (1.8) визначає структуру САРН: вона повинна мати у своєму складі пристрої введення вихідних параметрів (σ , B , h , β), обчислювальні арифметичні пристрої, канал регулювання петлі та канал регулювання моменту двигуна. Структурна схема подібної САРН наведена на рис. 1.9.

Середня кліть безперервної групи приймається як опорна (наприклад, для групи з семи клітей опорною є четверта). На ділянці до опорної кліті (кліть i на рис. 1.9) сигнали корекції натягу подаються на попередні кліті, на ділянці за опорною кліттю – на наступні кліті.

Розглянемо роботу САРН на ділянці між клітьми i і $i+1$ (рис. 1.9). Важіль петлетримача, розташованого в міжклітинному проміжку, встановлюється в необхідне положення приводом петлетримача $\mathcal{D}$. Кут підйому важеля β_i і момент на валу привода $M_{\mathcal{D}}$ і вимірюються вимірювачами $I\mathcal{V}$ і $I\mathcal{M}$.

Середня кліть безперервної групи приймається як опорна (наприклад, для групи з семи клітей опорною є четверта). На ділянці до опорної кліті (кліть i на рис. 3.6) сигнали корекції натягу подаються на попередні кліті, на ділянці за опорною кліттю – на наступні кліті.

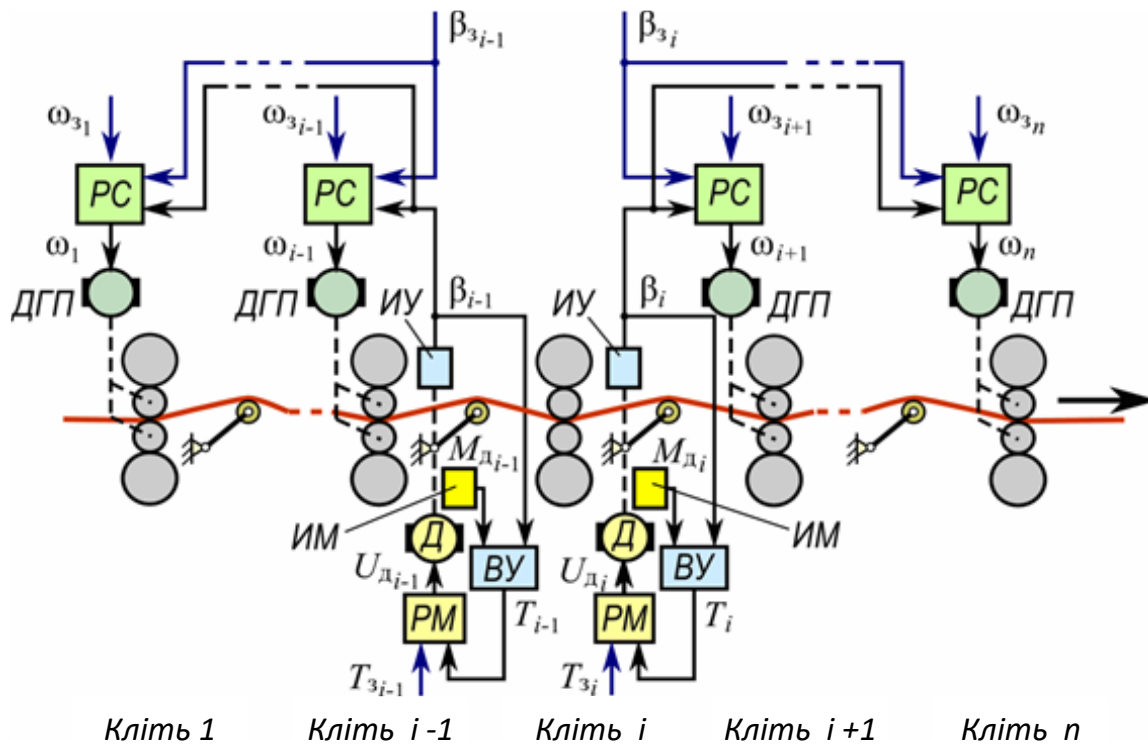


Рис. 1.9. Система регулювання натягу в чистовій групі безперервного широкосмугового стану з електромеханічними петлетримачами

Розглянемо роботу САРН на ділянці між клітьями i і $i+1$ (рис. 1.9). Важіль петлетримача, розташованого в міжклітинному проміжку, встановлюється в необхідне положення приводом петлетримача $\mathcal{D}$. Кут підйому важеля β_i і момент на валу привода $M_{\mathcal{D}i}$ вимірюються вимірювачами ИУ і ИМ.

Обчислювальний пристрій ОП за значеннями β_i і $M_{\mathcal{D}i}$ визначає розрахункове значення натягу T_i , діючого у смузі між клітьями i і $i+1$. Розрахунок виконується з урахуванням моментів $M_{\text{п}}$, $M_{\text{изг}}$ і $M_{\text{неур}}$. Регулятор моменту РМ аналізує відхилення розрахункового натягу T_i від заданого значення T_{3i} і у функції цього відхилення виробляє керуючий вплив $U_{\mathcal{D}i}$ на двигун привода петлетримача $\mathcal{D}$, виконуючи регулювання величини T_i .

Задане (робоче) положення важеля петлетримача β_{3i} під час прокатки забезпечується коригуванням частоти обертання валків кліті $i+1$ відносно

початкової уставки $\omega_{z\ i+1}$. Регулятор швидкості *РШ* двигуна головного привода *ДГП* керує частотою обертання валків ω_{i+1} у функції відхилення кута підйому важеля β_i від заданого значення $\beta_{z\ i}$. Аналогічно будуються САРН для інших міжклітинних проміжків (див. рис. 1.9).

На рис. 1.10 наведено структурну схему системи стабілізації натягу (ССН), що базується на статичному петлетримачі [3].

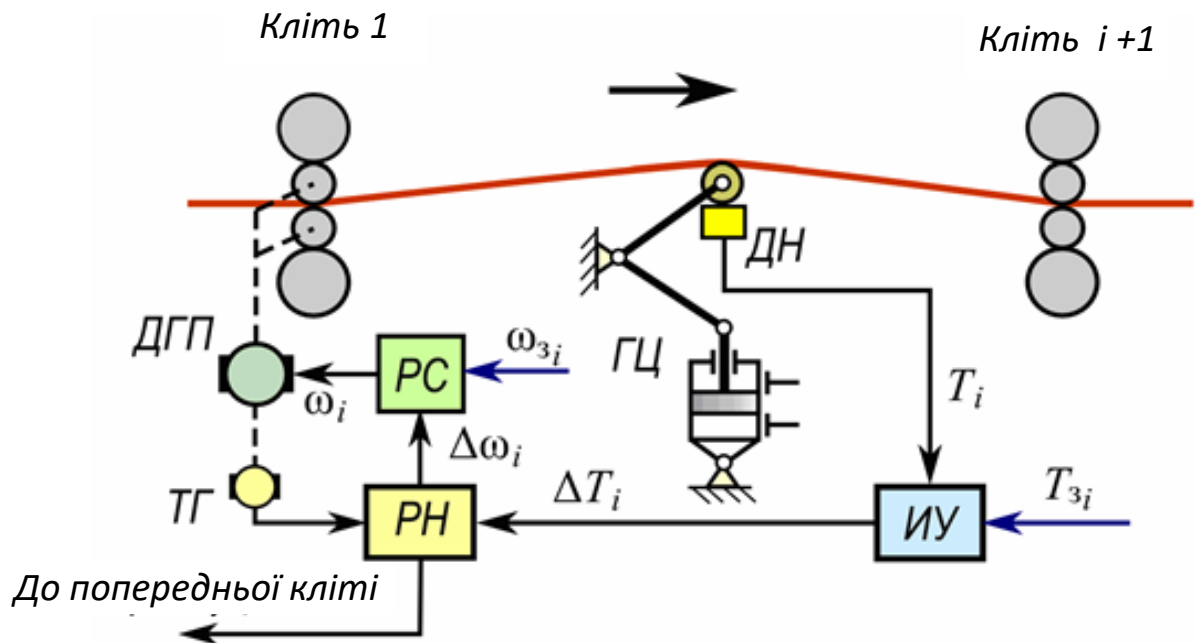


Рис. 1.10. Структурна схема системи стабілізації натягу зі статичним петлетримачем та датчиком натягу

Після входу металу в кліть $i+1$ ролик петлетримача встановлюється гідроциліндром *ГЦ* в робоче положення, що характеризується невеликим перевищенням над рівнем прокатки (50 мм). У цьому положенні ролик утримується гідроциліндром протягом циклу прокатки.

Вимірювання вертикальної складової сили, що діє на ролик петлетримача, від натягу смуги, її маси і моменту вигину здійснюється датчиками натягу *ДН*, встановленими в опорах ролика. Різниця ΔT_i між

заданим зусиллям $T_{z i}$ та виміряним T_i обчислюється вимірювальним пристроєм $ВП$ та є регулюючим впливом.

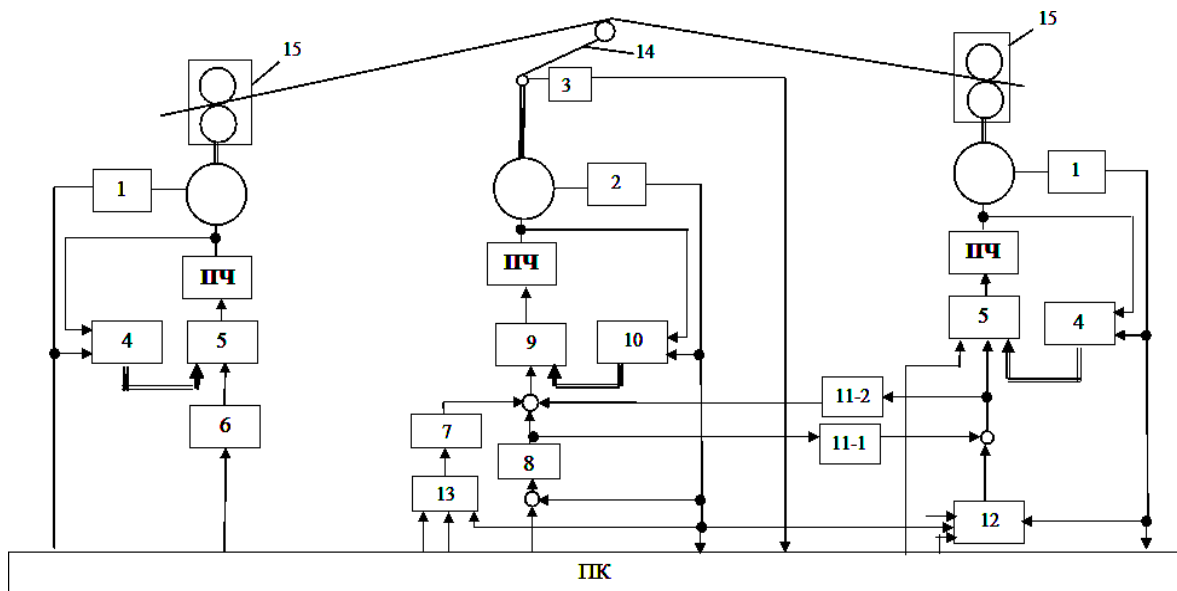
1.7. Система регулювання товщини, натягу і петлі смуги стану прокатки

Автоматизовані системи управління широкосмуговими станами виконують різноманітні функції зі стеження за металом, що прокочується, управління швидкістю прокатки, розрахунку програм обтискань, адаптації математичних моделей і процесів управління стану, регулювання поздовжньої різної товщини, форми і профілю смуги, міжклітинних натягів, діагностиці. основна частка економічного ефекту від запровадження всього комплексу Підсистеми автоматизації визначаються точністю роботи локальних підсистем регулювання геометричних параметрів прокату. Тому питання розробки систем, що забезпечують високоточне регулювання товщини, профілю та форми смуги, займають одне з центральних місць у всьому комплексі створення ефективних систем керування технологічними процесами прокатного виробництва.

У практиці проектування систем автоматичного управління геометричними параметрами прокату широко використовуються математичні методи та моделі прокатних станів для підвищення якості проекту та прискорення випуску проектної документації підсистем регулювання геометричних параметрів прокату займають центральне місце, оскільки від точності роботи цих підсистем значною мірою залежить ефективність роботи усієї АСУ ТП прокатного стану, тому проблеми синтезу систем, що дозволяють підвищити точність регулювання геометричних параметрів прокату, є актуальними.

Процес прокатки супроводжується коливаннями технологічних параметрів - товщини, тиск прокатки, натягу смуги і т.д. Причому, якщо

коливання товщини смуги обумовлені як нерівномірністю товщини і механічних властивостей прокатки від трансмісії передачі моменту прокатки. Як приклад на рис. 1.11 показана схема системи автоматичного регулювання міжклітинного натягу та петлі смуги [1].



1 – датчик частоти двигуна прокатної кліті; 2 – датчик кута петлетримача; 3 – датчик натягу смуги; 4 – спостерігач стану приводу кліті; 5 – регулятор швидкості двигуна кліті; 6 – ПІ регулятор швидкості; 7 – контролер компенсації статичного моменту; 8 – регулятор положення петлетримача; 9 – регулятор швидкості петлетримача; 10 – спостерігач стану петлетримача; 11 - контролер перехресних зв'язків; 12 – регулятор натягу; 13 – блок розрахунку статичного моменту петлетримача; 14 - петлетримач; 15 – прокатна кліть; ПЧ – перетворювач частоти

Рис. 1.11 Схема системи регулювання натягу в міжклітинному проміжку широкосмугового стану

Особливістю роботи контуру регулювання петлі є те, що істотна зміна кута петлі прокату може проводитися при спільній дії петлетримача та

швидкості приводного двигуна наступної (попередньої) кліті прокатної. Так, наприклад, при зменшенні кута петлі, подальше його збільшення забезпечується за рахунок збільшення кута петлетримача та зменшення швидкості наступної кліті. А при збільшенні кута петлі в результаті спрацювання регулятора товщини (провисання петлі) зменшення зазначеної петлі може бути виконане тільки шляхом впливу на швидкість валків прокатної кліті.

Таким чином, вимоги до системи керування петлетримачем реалізуються за допомогою керування петлею за допомогою схеми регулювання положення кута петлетримача зі зворотним зв'язком по куту та відповідною зміною швидкості прокатної кліті за допомогою перехресного регулятора. Для компенсації збурень, що діють на петлетримач із боку смуги, у схемі регулювання положення використовують блок компенсації статичного моменту, створюваного смугою. Згасання коливань у системі петлетримач – смуга, обумовлених пружними властивості смуги, що прокочується, і коливальними властивостями петлетримача, а також підвищення якості управління системою досягається за допомогою управління системою по змінним станам.

Система регулювання питомого натягу складається із зовнішнього контуру регулювання питомого натягу та підлеглого контуру регулювання швидкості прокатної кліті з регулятором стану. Система регулювання петлі складається з регулятора положення петлетримача та підлеглого контуру регулювання швидкості петлетримача з регулятором змінних стану. Між системами існує взаємний вплив, який виражається у зміні статичного моменту на валу двигуна петлетримача при зміні питомого натягу та зміні швидкості руху петлетримача, яке, у свою чергу, впливає на питоме натяг залежно від положення петлетримача. Для компенсації зазначеного взаємного впливу систем та узгодження дій систем регулювання питомого натягу та петлі використовують перехресні регулятори.

При вході смуги, що прокочується, в наступну кліть міжклітинного проміжку по сигналу з індикатора наявності металу з'являються сигнали заданих величин кута підйому петлетримача α_i і питомого натягу σ_i для даного міжклітинного проміжку. Величина заданого кута підйому петлетримача β_i і порівнюється зі значенням фактичного кута β , отриманого з цифрового датчика кута 2, і ця різниця подається на вхід регулятор положення 8. В результаті на виході регулятора положення формується сигнал, що подається на вхід регулятора 9 швидкості двигуна петлетримача у змінних станах. На регулятор 9 також подаються змінні стани петлетримача, що визначаються за допомогою спостерігача стану 10. Керуючий сигнал з виходу регулятора швидкості подається на вхід перетворювача частоти ПЧ двигуна змінного струму петлетримача. Збурення, що діють на ролик петлетримача з боку смуги, компенсуються за допомогою блоку компенсації статичного моменту 13. Це дозволяє забезпечити статичну точність регулювання положення петлетримача.

Статичний момент, створюваний смугою, розраховується за допомогою блоку 13 і через контролер 7 керуючий сигнал компенсації моменту надходить на вхід регулятора швидкості 9 петлетримача в змінних станах. Переміщення петлетримача відповідно до керуючих впливів системи регулювання положення є впливами, що обурюють, для системи регулювання питомого натягу [1]. Тому в системі регулювання питомого натягу існує компенсація впливу системи автоматичного регулювання положення петлетримача, реалізована за рахунок додаткового зв'язку [2]. Для цього на вхід системи регулювання швидкості кліті через перехресний контролер 11-1 надходить додатковий сигнал з виходу регулятора положення петлетримача 8. Тим самим, з'являється динамічна складова швидкості кліті, що сприяє стабілізації петлі металу і компенсує лінійну швидкість петлетримача в динамічних режимах.

Динамічна зміна натягу смуги, що реалізується зміною швидкості

прокатної кліті, є обуренням для контуру регулювання петлі. Дана обставина вимагає введення в схему відповідної компенсації за допомогою перехресного контролера 11-2, що передає керуючий сигнал з виходу регулятора натягу 12 на вхід регулятора швидкості петлетримача 9. Контури регулювання швидкості валків і струму двигуна прокатної кліті побудовані за відомими принципами побудови систем підлеглого регулювання[1].

Регулювання швидкості кліті до номінальної відбувається шляхом зміни моментоутворюючої складової струму статора при постійному значенні потокоутворюючої складової струму статора (магнітного потоку), а регулювання швидкості вище номінальної - за рахунок ослаблення магнітного потоку i , відповідно, при зміні компонентів струму.

Основне завдання системи спільного управління головними електроприводами і петлетримачами широкосмугового стану гарячої прокатки полягає в підтримці заданого співвідношення між частотами обертання робочих валків клітей, що забезпечує сталість натягу смуги між клітями і сприяє зменшенню відхилення товщини смуги, що прокатується, від заданої. Причому, при синтезі такої системи автоматичного управління швидкістю прокатних двигунів і петлетримачів чистових клітей безперервного тонколистового стану гарячої прокатки потрібен розгляд багато рухової електромеханічної системи клітей, пов'язаних смугою, що прокочується, як єдиної електромеханічної системи.

Математична модель багатоклітинного безперервного широкосмугового стану

Для проектування локальних підсистем автоматичного регулювання товщини, натягу та петлі смуги необхідна математична модель широкосмугового стану як об'єкта управління. Розглянемо спочатку основні рівняння, що зв'язують енергосилові параметри однієї прокатної кліті.

Кількісне збільшення кінцевої товщини Δh , повного зусилля ΔP і моменту ΔM прокатки, а також збільшення величини випередження ΔS , визначаються такими співвідношеннями [6]:

$$\begin{aligned}\Delta h_1 &= \frac{\partial h_1}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial h_1}{\partial T_0} \Delta T_0 + \frac{\partial h_1}{\partial T_1} \Delta T_1 + \frac{\partial h_1}{\partial z_0} \Delta z_0 + \frac{\partial h_1}{\partial \sigma_T} \Delta \sigma_T + \frac{\partial h_1}{\partial f} \Delta f, \\ \Delta P &= \frac{\partial P}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial P}{\partial h_1} \Delta h_1 + \frac{\partial P}{\partial T_0} \Delta T_0 + \frac{\partial P}{\partial T_1} \Delta T_1 + \frac{\partial P}{\partial \sigma_T} \Delta \sigma_T + \frac{\partial P}{\partial f} \Delta f, \\ \Delta M &= \frac{\partial M}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial M}{\partial h_1} \Delta h_1 + \frac{\partial M}{\partial T_0} \Delta T_0 + \frac{\partial M}{\partial T_1} \Delta T_1 + \frac{\partial M}{\partial \sigma_T} \Delta \sigma_T + \frac{\partial M}{\partial f} \Delta f, \\ \Delta S &= \frac{\partial S}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial S}{\partial h_1} \Delta h_1 + \frac{\partial S}{\partial T_0} \Delta T_0 + \frac{\partial S}{\partial T_1} \Delta T_1 + \frac{\partial S}{\partial \sigma_T} \Delta \sigma_T + \frac{\partial S}{\partial f} \Delta f,\end{aligned}$$

де Δh_0 , ΔT_0 , ΔT_1 , Δz_0 , $\Delta \sigma_T$, Δf – абсолютні збільшення відповідно, вихідної товщини, заднього і переднього натягу смуги, величини між валкового зазору, механічних властивостей металу, що прокочується, і величини коефіцієнта зовнішнього тертя в осередку деформації.

На підставі цих рівнянь розглянемо математичну модель багатоклітинного широкосмугового стану гарячої прокатки, що складається з k -клітин, розташованих на відстані L_i один щодо одного та взаємодіючих через пружно-напружену смугу [6].

Введемо вектори вхідний $\vec{H}_i^*$ та вихідний $\vec{H}_i$ товщини, вхідного $\vec{T}_i^*$ та вихідного $\vec{T}_i$ натягу та положення натискних пристроїв $\vec{B}$, компонентами яких є відповідні величини для кожної клітини $J = \overline{1, n}$ для лінеаризованої моделі та малих відхилень величин від їх номінальних значень, отримаємо наступне співвідношення

$$\vec{H} = \overline{H} \vec{H} \otimes \vec{H}^* + \overline{H} \vec{T}^* \otimes \vec{T} + \overline{H} \vec{T} \otimes \vec{T} + \overline{H} \vec{B} \otimes (\vec{B} + \vec{\eta} \sin \omega t)$$

де $\overrightarrow{HH}$, $\overrightarrow{HT}^*$, $\overrightarrow{HT}$, $\overrightarrow{HB}$ – вектори відповідних коефіцієнтів передачі; $\vec{\mu}$ – вектор ексцентриситетів валків; $\otimes$ – кронекерівське; (по елементне) перемноження векторів. Індекс часу i тут і надалі, де це не потрібно, опущений.

Аналогічні співвідношення можуть бути отримані для векторів моментів головних приводів та випередження швидкості руху смуги:

$$\vec{M} = \overrightarrow{MH}^* \otimes \vec{H}^* + \overrightarrow{MH} \otimes \vec{H} + \overrightarrow{MT}^* \otimes \vec{T}^* + \overrightarrow{MT} \otimes \vec{T}$$

$$\vec{S} = \overrightarrow{SH}^* \otimes \vec{H}^* + \overrightarrow{SH} \otimes \vec{H} + \overrightarrow{ST}^* \otimes \vec{T}^* + \overrightarrow{ST} \otimes \vec{T}$$

Тут вектори коефіцієнтів передачі за моментом $\overrightarrow{MH}^*$, $\overrightarrow{MH}$, $\overrightarrow{MT}^*$, $\overrightarrow{MT}$ та випередженням $\overrightarrow{SH}^*$, $\overrightarrow{SH}$, $\overrightarrow{ST}^*$, $\overrightarrow{ST}$ за відповідними змінними визначаються за методикою, наведеною у роботі [6].

Вектор вихідної швидкості смуги визначається співвідношенням

$$\vec{v} = \vec{v}\omega \otimes \vec{\omega} + \vec{vS} \otimes \vec{S},$$

де $\vec{\omega}$, $\vec{v}\omega$ – вектори швидкості обертання приводних валків та кола бочки; $\vec{vS}$ – вектор коефіцієнтів передачі зміни вихідної швидкості смуги за зміни випередження $\vec{S}$.

З рівняння сталості секундного об'єму при холодній прокатці

$$\vec{v}^* \otimes \vec{H}^* = \vec{v} \otimes \vec{H}$$

може бути визначений вектор вхідної швидкості $\vec{V}^*$. Нехтуючи масою смуги і припускаючи миттєве поширення напруги по довжині смуги, отримаємо

$$\vec{T}(j) = \vec{T}^*(j+1) \text{ при } j = \overline{1, (n-1)}$$

де $\vec{T}(j)$ – натяг на розмотувачі смуги.

Натяг намотки смуги

$$\vec{T}(j) = \overrightarrow{TL}(j)[\vec{v}^*(j+1) - \vec{v}(j)]\Delta t \text{ при } j = \overline{1, (n-1)}$$

де $\overrightarrow{TL}$ – вектор питомих жорсткостей смуги на розтяг у між клітьовому проміжку між j -й - та $(j+1)$ -й клітями, має розмірність $(n-1)$.

Товщина $H^*(j+1)$ смуги на вході $(j+1)$ кліті дорівнює товщині $H(j)$ смуги на виході j -й кліті з урахуванням часу транспортного запізнення

$$H_i^*(j+1) = H_{i-k}(j) \text{ при } j = \overline{1, (n-1)},$$

де $k = \text{int}(L_{j,(j+1)} / L_{\sigma j})$ – ціла частина числа, що дорівнює відхиленню довжини міжклітинного проміжку $L_{j,(j+1)}$ між j -й та $(j+1)$ -й клітями від базової довжини $L_{\sigma j}$ смуги в цьому проміжку. Математичні моделі головних електроприводів, приводів моталок, приводів петлетримачів, електро - та гідроприводів натискних пристроїв описуються у формі простору станів у вигляді відповідних рівнянь станів або у вигляді відповідних передавальних функцій. Математичні моделі типових П, ПД, ПІ та ПІД регуляторів або інших регуляторів, відмінних від типових, також задаються у вигляді відповідних рівнянь станів, або у вигляді відповідних передавальних функцій. Кількість регуляторів не обмежена і задається проектувальником. Таким чином, можна моделювати наявність будь-яких регуляторів, що описуються у просторі стану, рівняннями

$$\vec{x}_p(t) = A_p \vec{x}_p(t) + B_p \vec{U}_p(t)$$

в якому керуючим впливом $\vec{U}_p$ є будь-яка змінна системи $\vec{y}(t)$ яка вимірювана з випадковою перешкодою $f(t)$ заданої інтенсивності $\vec{U}_p(t) = \vec{y}(t) + \vec{f}(t)$, а виходом регулятора $y_p(t) = C_p \vec{x}_p(t)$ може бути керуюча напруга $U_n(t)$ головного приводу, петлетримача або натискного пристрою $U_n(t)$ будь-якої кліті.

Для формування управління можуть використовуватися значення товщини смуг у будь-якій точці стану, а також значення натягу смуги у всіх міжклітинних проміжках, що фактично відповідає управлінню по повному вектору стану, тим більше, що в АСУ ТП прокатного стану фактично здійснюється супровід смуги по лінії стану. вирішити таке завдання практично неможливо у зв'язку з високою розмірністю.

З інженерної точки зору істотний практичний зміст має завдання параметричної оптимізації регуляторів, коли основна структура системи управління залишається постійною, а частина параметрів, а можливо і структури, змінюється і тим самим змінює параметри зовнішніх впливів і об'єкта управління. Однак при цьому їхню технічну реалізацію можна спростити. Такі регулятори мають інші корисні властивості, наприклад, менш чутливі (робастні) при зміні параметрів і структури об'єкта управління і вхідних сигналів.

Сформуємо структуру багато зв'язаної системи автоматичного регулювання товщини, натягу та петлі смуги на підставі типових схем для широкосмугового стану. Введемо вектор шуканих параметрів

$\vec{x}$, компонентами якого є коефіцієнти посилення регуляторів (П, ПІ, ПІД тощо.) відповідних каналів регулювання.

Зміни товщини та натягу смуги є випадковими процесами. Основне призначення системи регулювання товщини, натягу та петлі широкосмугового стану полягає у підтримці заданих значень товщини смуги за прокатними клітями, міжклітинних натягів а також кутів повороту

петлетримачів на заданих рівнях. Тоді критерієм якості J може бути прийнята сума дисперсій відхилень товщини смуги на виході i -их клітей $\Delta \vec{H}_i^2$ та дисперсій відхилень міжклітинних натягів $\Delta \vec{T}_i^2$ у проміжках між i -ю та $(i+1)$ -ю кліткою, взятих з відповідними ваговими коефіцієнтами

$$J = \sum_{i=1}^n \lambda_i \Delta \vec{H}_i^2 + \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta \vec{T}_i^2$$

Тут λ_i, γ_i – вагові коефіцієнти, що враховують різну "вагу" складових дисперсій різних товщин і дисперсій коливань міжклітинних натягів щодо їх заданих значень, а самі відхилення ΔH_i товщини смуги на виході i -ї кліти H_i від заданого значення H_i^3 і відхилення натягу ΔT_i в проміжках між i -ю та $(i+1)$ -ю кліткою $T_{i,i+1}$ від заданих значень $T_{i,i+1}^3$ є випадковими процесами та визначаються виразами:

$$\Delta H_i = H_i - H_i^3, \Delta T_i = T_i - T_i^3.$$

Тоді завдання синтезу системи може бути сформульовано у вигляді наступного завдання нелінійного програмування.

$$\vec{X}^* = \arg \min J(\vec{X})$$

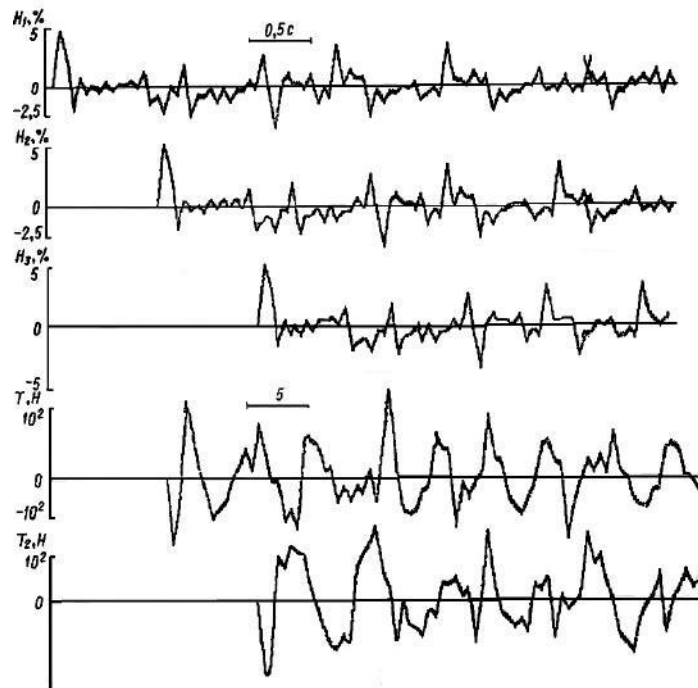
Природно, при цьому необхідно враховувати обмеження на змінні стани та управління окремих каналів регулювання.

Як приклад на рис. 1.12 показані реалізації випадкових змін поздовжньої різної товщини та міжклітинних натягів у синтезованій системі для трьох клітей широкосмугового стану гарячої прокатки.

Як видно з цих графіків, випадкові процеси регульованих координат у

синтезованій системі задовольняють технічним вимогам до системи. Зауважимо, що критерій якості явно не входять кутові положення петлетримачів, однак мінімізація дисперсій міжклітинних натягів фактично призводить і до мінімізації дисперсій відхилень кутів положення петлетримачів від їх заданих значень.

t,c



t,c

Рис. 1.12. Реалізації випадкових змін поздовжньої різної товщини та міжклітинних натягів у синтезованій системі для трьох клітей широкосмугового стану прокатки

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ СМУГИ ПРОКАТУ

2.1. Вимірювання натягу смуги

Натяг смуг і стрічок на станах холодної прокатки та інших агрегатах з їх холодної обробки створюється двигунами. Частка потужності, що витрачається на пружне розтягнення смуги, різна.

Проте в низці випадків саме за потужністю двигуна судять про натяг смуги. Похибка в цих випадках відносно невелика, якщо, крім створення натягу, струм двигуна витрачається на компенсацію аеродинамічних втрат, втрат на тертя тощо, і можна застосовувати електричні вимірники натягу, які працюють, як правило, по струму двигуна.

Якщо потужність двигуна витрачається на пластичну деформацію, зміну швидкості металу або на прискорення махових мас вузлів прокатного обладнання, то виділити частку струму, що створює натяг, важко, і похибка вимірювання стає значною.

У таких випадках застосовують електромеханічні вимірювачі натягу, в яких вимір здійснюється за допомогою спеціального сило вимірювального датчика, що виробляє вихідний сигнал, пропорційний величині натягу. Існує умовний поділ електромеханічних вимірювачів натягу смуги на прямі та непрямі.

Станина 1 двовалкової кліті встановлена на гнучких опорах 2, що мають піддатливість у напрямку прокатки. Сило вимірювальний датчик 3, жорстко закріплений на фундаменті, сприймає рівно дію сил, що діють по осі прокатки. У першому наближенні зусилля F , що сприймається датчиком:

$$F = T_1 - T_2 + \gamma S v \varepsilon$$

де T_1 і T_2 - натягнення смуги; γ - питома вага металу, що прокатується; S - площа поперечного перерізу смуги, що прокатується; v - швидкість прокатки; ε - відносне обтиснення смуги.

Звідси випливає, що за допомогою сило вимірювального датчика можна вимірювати різницю натягу, прикладеного до смуги, з похибкою на величину сили, що витрачається на прискорення смуги внаслідок її обтиснення у валках. Якщо наміряти таким чином натяг, створюваний тягнучими роликами, в яких обтиснення не проводиться, то точність вимірювання буде цілком задовільною. Якщо використовувати прямий метод для вимірювання натягу в чотирьохвалковій клітці зі зміщеними осями робочих валків, то додаткова складова горизонтальної сили, зумовлена відхиленням рівнодіючої зусилля прокатки від вертикального напрямку, також буде похибкою

$$F = T_1 - T_2 + \gamma S v \varepsilon - P \sin(\alpha + \gamma)$$

де P - зусилля прокатки.

Теоретично обидві розглянуті похибки можуть бути виключені, але для цього додатково необхідні вимірювачі швидкості, вимірювачі зусилля прокатки та відносного обтиску, а також датчики питомої ваги і площі поперечного перерізу смуги. Це, з одного боку, істотно ускладнює вимірювання. З іншого боку, дає несуттєве підвищення точності у виробничих умовах через похибку в установці завдань і в результаті підсумовування похибок кожного перетворення.

За непрямого методу вимірювання натягу смуги сило вимірювальним датчиком сприймається не сам натяг, а частка реакції механізму, що врівноважує натяг смуги.

Для вимірювання смуги за допомогою спеціального вимірювального ролика 1 відхиляють від напрямку прокатки. Вимірювальний ролик, що має

перевищення над рівнем прокатки, спирається на сило вимірювальний датчик, впливаючи на нього із зусиллям

$$F = 2T \sin \alpha + Q$$

де α - кут між рівнем прокатки і напрямком руху смуги;

T - натяг смуги; Q - маса ролика і смуги.

Співвідношення між зусиллям, що припадає на датчик, і натягом смуги становить зазвичай 1:10. У розглянутій схемі в міжклітинному проміжку встановлюється тільки один ролик вимірювача натягу смуги. Вимірювач, побудований за цією схемою, називається одно роликовим.

Основним його недоліком є зміна перевищення ролика над рівнем прокатки під час встановлення в стан робочих валків різного діаметру. Для усунення цієї похибки застосовуються вимірювачі з автоматичним налаштуванням перевищення ролика. При такому налаштуванні вимірювальний ролик опускають свідомо нижче рівня прокатки. Заправляють у стан смугу, натягують її обертанням валків кліті і піднімають ролик за допомогою спеціального механізму до зіткнення зі смугою. Потім знімають натяг, а ролик піднімають на задану величину перевищення над рівнем прокатки. Контролюється перевищення за допомогою спеціального відлікового пристрою.

Вплив зміни рівня прокатки усувають також за допомогою три роликових вимірювачів. У три роликовому вимірювачі смуга зафіксована відносно вимірювального ролика, і тому зміна положення або розмірів сусідніх роликів або валків стана (агрегату) не впливає на показання вимірювача. Основним недоліком три роликових вимірювачів є похибка, зумовлена жорсткістю смуги. Дослідження показують, що похибка зменшується в міру зменшення товщини смуги, що прокатується, і зі зростанням її питомого натягу. Питомі натяги під час прокатки

конструкційних сталей становлять не менше 70...80 МПа. У цьому разі похибка для смуг товщиною менше 3 мм практично не залежить від величини натягу. Систематична ж похибка може бути врахована під час складання програм прокатки смуг.

Сило вимірювальні датчики вимірювачів натягу

Крім вимог надійності та точності, до сило вимірювальних датчиків для вимірювачів натягу смуги ставиться вимога високої механічної жорсткості в напрямку дії вимірюваного зусилля, що є неодмінною умовою унеможливлення виникнення низькочастотних коливань прокочуваної смуги разом із вимірювальним роликком. Оскільки деформовані (пружні) елементи сило вимірювальних датчиків зазвичай виготовляють зі сталей, можна сформулювати дві умови високої жорсткості: використання тільки деформацій розтягування і стиснення, а також мінімізація механічних напружень. У вимірювачах натягу смуги застосовують тензорезисторні та магнітопружні сило вимірювальні датчики, власні частоти яких досить високі та однакові. У цехах холодної прокатки використовують здебільшого вимірювачі натягу типу ДСТ або ДМ. Сило вимірювальні датчики типу ДСТ працюють на стиснення.

Технічні характеристики датчиків типу ДСТ:

Номінальне навантаження, кН 0,05; 0,1; 0,2;

0,5; 1; 2; 5; 10;

20; 50; 100; 200;

Допустима похибка, % $\pm 0,5$

Робочий діапазон температур, °C..... - 30...+50;

Допустима температурна похибка, %/°C 0,1

Напруга живлення, В.....12;

Габаритні розміри, мм 110X130X42...145X115X105

У вимірювачах натягу типу ДМ застосовуються магнітоанізотропні силовимірювальні датчики спеціальної конструкції.

Магнітопружний анізотропний ефект проявляє себе у феромагнітних матеріалах. Якщо в матеріалі повністю відсутні пружні напруження і зовнішні магнітні поля, то вектори магнетонів орієнтуються по осях кристалічної ґратки (за кристалографічними напрямками). Стан рівноваги порушується, якщо з'являється зовнішнє магнітне поле або механічне напруження (σ). При цьому встановлюється новий стан рівноваги мимовільної намагніченості.

$$E_n + E_\sigma + E_k \rightarrow \min$$

де: E_n - об'ємна енергія зовнішнього магнітного поля (відповідає роботі, що витрачається зовнішнім магнітним полем, на поворот вектора намагніченості до збігу з вектором зовнішнього магнітного поля);

E_σ - об'ємна енергія магнітопружної анізотропії (відповідає роботі, яку потрібно затратити на поворот вектора намагніченості проти пружних напружень);

E_k - вільна енергія недеформованого кристала (відповідає роботі, яку потрібно зробити, щоб порушити порядок у кристалі).

За слабких зовнішніх полів магнітопружний ефект виражений сильніше для ізотропних матеріалів. За сильних струмів намагнічування магнітопружний анізотропний ефект проявляється слабше. Під час механічного впливу в магнітопружному елементі відбувається зміщення меж доменів, поворот їхніх векторів намагніченості. Незначні зміщення оборотні, при цьому встановлюється новий стан зі своїм мінімумом енергії.

Продиференціювавши повну енергію за кутом, отримаємо суму моментів сил за певними напрямками відносно кристалографічних осей. У стані рівноваги сума всіх моментів дорівнює нулю:

$$\frac{d\Sigma W_i}{d\alpha} = \Sigma M_i$$

$$\Sigma M_i = 0.$$

Показником нелінійності, здатності до посилення вимірюваного впливу є коефіцієнт магнітопружної тензочутливості матеріалу:

$$K = \frac{\Delta\mu/\mu}{\Delta l/l}$$

де - $\Delta l/l$ відносна деформація магнітопроводу.

Широко застосовується у вимірювальних пристроях магнітопружний анізотропний ефект, наприклад, для створення чутливих елементів конструктивно простих і надійних датчиків статичних зусиль.

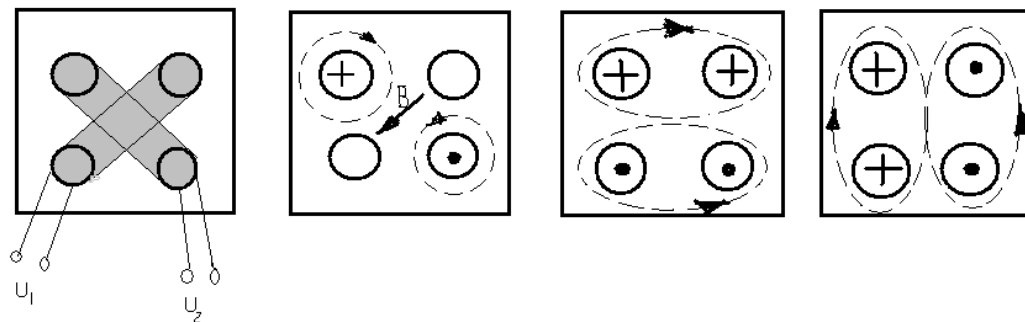


Рис. 2.1 Принцип роботи магнітопружного анізотропного перетворювача зусиль.

Принцип роботи таких пристроїв ґрунтується на тому, що під дією вимірюваного зусилля, прикладеного до чутливого елемента, виконаного у формі куба з двома взаємно перпендикулярно розташованими вхідною і вихідною обмотками, відбувається витіснення магнітного поля в напрямку

області з більшою магнітною проникністю. Це призводить до того, що у вихідній обмотці датчика з'являється напруга, пропорційна вимірюваному зусиллю. При зміні напрямку зусилля змінюється фаза вихідної напруги. Ефект деформації поля викликає незначні зміни індуктивності, але призводить до значної зміни потокозчеплення двох обмоток.

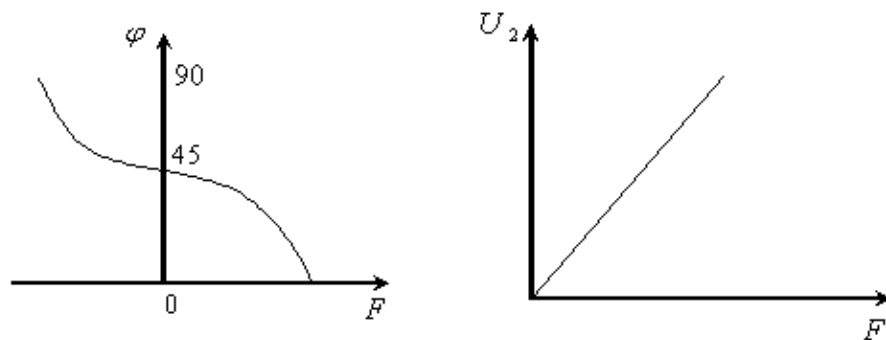


Рис. 2.2 Функціональні залежності магнітопружного анізотропного перетворювача зусиль.

Визначальну роль у механізмі тензочутливості таких датчиків відіграє управління у функції вимірюваного впливу взаємною орієнтацією напрямів магнітного поля і вектора механічних напружень у феромагнетиці.

Датчики типу ДМ є двох конструктивних модифікацій, що відрізняються захистом струмопідвідного кабелю.

Технічні характеристики датчиків ДМ-5806 і ДМ-7091

Діапазон вимірювання зусилля, кН..... 1,0...50,0

Допустима похибка, % $\pm 1,0$

Нелінійність вихідної характеристики, % $\pm 1,5$.

Перевантажувальна здатність, % 150

Постійна часу, с.....	0,02
Вихідна напруга змінного струму, В.....	>3,0
Вихідний опір, Ом	50
Споживана потужність, В А	20
Габаритні розміри, мм:	
ДМ-5806	60X90X110
ДМ-7091.....	60X90X130

На станах та інших агрегатах, що обробляють тонкі і вузькі смуги, натяги, а отже, і сили, що діють на вимірювальний ролик, можуть не перевищувати десятки і сотні ньютонів. У цьому випадку виникають труднощі у забезпеченні достатньої точності вимірювання за допомогою сило вимірювальних датчиків, що працюють на стиск. Тоді як сило вимірювальні датчики можуть бути використані сильфони, заповнені рідиною або газом. При навантаженні таких сильфонів вимірюваною силою, тиск усередині їхньої порожнини зростає. По тиску судять про величину сили, що вимірюється. Вимірювачем тиску може бути або манометр, або датчик, що перетворює тиск пропорційний сигнал електричного струму.

Вимірювач міжклітьових натягів смуги на основі сельсинних датчиків

На безперервних станах натяг смуги вимірюють переважно непрямым методом за вертикальною складовою зусилля натягу, яка діє на вимірювальний ролик, що відхиляє смугу від лінії прокатки (рис. 2.3)

$$P = 2T \sin \alpha \cong 2T \frac{\delta}{L/2},$$

де:

P — вертикальна складова зусилля натягу смуги;

T — зусилля натягу смуги;

L — відстань між клітьми;

α — кут відхилення смуги від лінії прокатки;

δ — висота відхилення смуги від лінії прокатки в місці встановлення вимірювального ролика.

З наведеної формули видно, що найважливішою умовою визначення величини натягу з заданою точністю є сталість параметра δ .

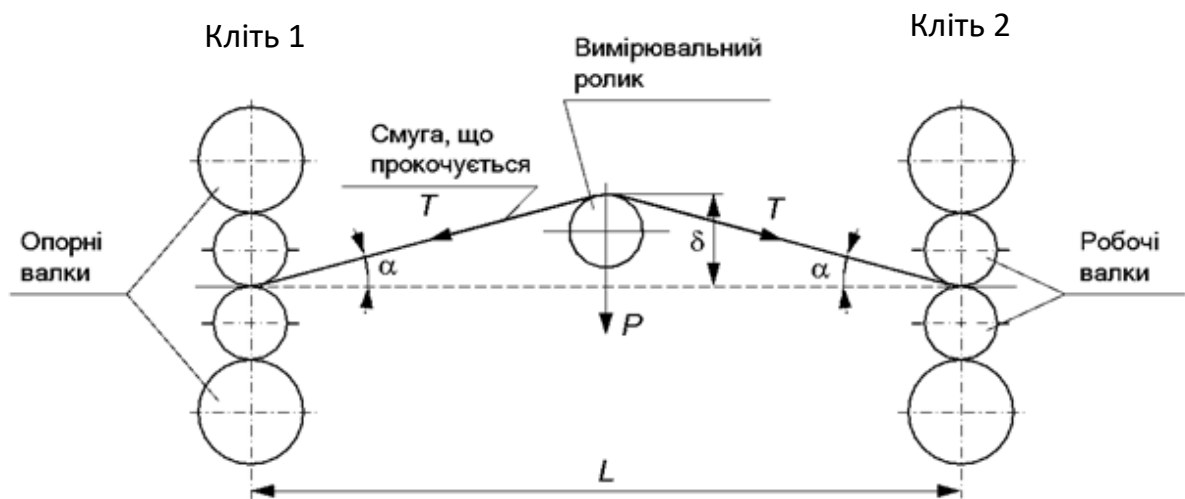


Рис. 2.3. Визначення зусилля натягу смуги за допомогою вимірювального ролика

Для забезпечення цієї умови необхідно після кожної «перевалки» (зміни опорних або робочих валків) перевіряти величину δ . Крім того, деформація вимірювального ролика і датчиків під час докладання зусилля має бути мінімальною.

2.2. Структурна схема системи

Для вирішення завдання вимірювання зусиль натягу смуги в умовах металопрокатного виробництва було розроблено комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему визначення натягу смуги прокату. Система використовує інформацію, отриману від магнітоанізотропних датчиків МАД-7681.

Структурну схему комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату наведено на рис. 2.4. Кожен із двох каналів дає змогу визначити і суму сигналів від двох датчиків, установлених під обома підшипниками вимірювального ролика, і величину сигналу від кожного датчика окремо. Така можливість інколи використовується вальцювальниками для виявлення відхилень у розподілі натягу по ширині смуги.

Розглянемо роботу комплексу на прикладі першого каналу.

Сигнали з магнітоанізотропних датчиків МАД-1, МАД-2 і датчика температури ДТ (вимірює температуру корпусів датчиків МАД-1 і МАД-2) надходять до блоку перетворення й посилення (БППУ). Цей блок має два канали перетворення сигналів із відповідних магнітоанізотропних датчиків, у яких здійснюють фільтрацію, випрямлення та посилення сигналів, і один канал перетворення сигналу з датчика температури в напругу.

На обмотки збудження магнітоанізотропних датчиків подають стабілізовану синусоїдальну напругу 5 В із частотою 400 Гц від генератора синусоїдальних напруг (ГСН).

На електронні схеми подається стабілізована напруга зі стабілізованою напругою з номіналами +5 В, +15 В, –15 В від блоку живлення (БЖ).

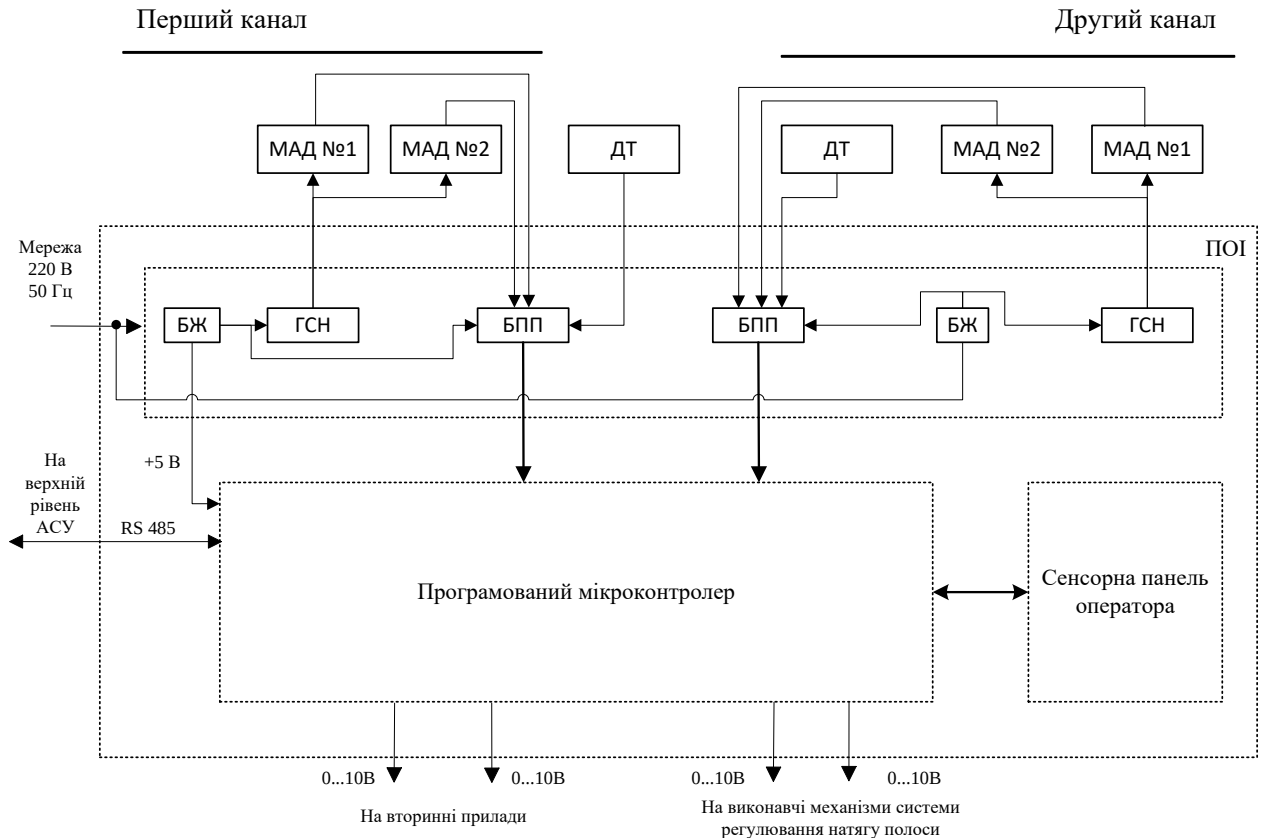


Рис. 2.4. Структурна схема комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату

Умовні позначення: МАД — магнітоанізотропний датчик; БЖ — блок живлення; БПП — блок перетворення і посилення; ГСН — генератор синусоїдальної напруги; ДТ — датчик температури; ПОІ — пристрій обробки інформації; РКІ — рідкокристалічний індикатор.

У пристрої оброблення інформації (ПОІ) здійснюють лінеаризацію характеристик магнітоанізотропних датчиків МАД-1 і МАД-2, обчислюють вертикальну складову зусилля натягу P і величину зусилля натягу смуги T . Інформацію про отримані значення зусилля натягу через аналогові виходи (по два виходи типу $0...10\text{ В}$ на кожний канал) передають на вторинні прилади, що показують, та в систему регулювання натягу смуги; зв'язок із верхнім рівнем АСУ реалізовано через інтерфейс RS-485..

До складу ПОІ входять мікроконтролер ПЛК 200V VIPA. Функціональні можливості ПЛК 200V VIPA повністю відповідають технічним вимогам, поставленим під час розроблення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату, і, що особливо важливо, цей модуль має досить високу швидкодію процесора та реалізує аналого-цифрове перетворення вхідних сигналів.

Застосування ПЛК 200V VIPA дало змогу:

- підключити всі датчики вимірювального комплексу до одного мікроконтролера;
- зробити комплекс двоканальним і контролювати натяг смуги в усьому діапазоні допустимих швидкостей прокату (до 30 м/с) з періодом опитування датчиків 10 мс;
- створити архів виміряних значень зусиль натягу;
- діагностувати поточний стан датчиків;
- здійснювати кусочно - лінійну апроксимацію номінальної статичної характеристики (НСХ) датчиків тощо.

Усе це в остаточному підсумку створило умови для підвищення точності та розширення діапазону вимірювань комплексу ІНД-7681

Основні технічні характеристики комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи (КІВС) визначення натягу смуги прокату наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Основні технічні характеристики КІВС

Число каналів вимірювання, шт.	2
Діапазон вимірювання вертикальної складової зусилля натягу, кН	0,4...20
Межі допустимих значень основної похибки, %	±2
Перевантажувальна здатність датчиків, %	не менше 100
Період опитування датчиків, мс	не більше 10

Напруга живлення від мережі змінного (50 ± 1 Гц) струму, В	220 $^{+22}_{-33}$
Виходи для кожного каналу: • аналоговий вихід, напруга постійного струму, В • цифровий вихід	0...10 RS-232 або RS-485

Електрична принципова схема підключення датчиків наведена у додатку А.

2.3. Програмований логічний контролер

В основі комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату будемо використовувати ПЛК 200V VIPA (рис. 2.5). Контролер має дискретні і аналогові модулі вводу/виводу, можливість нарощування, можливість заміни на гарячу. Зв'язок між локальним контролером і контролером верхнього рівня (комунікаційним) здійснюється на базі інтерфейсу Ethernet [15]. В якості комунікаційного процесора вибираємо модуль CP 240-1CA20.



Рис. 2.5. Програмований логічний контролер 200V VIPA

Особливостями контролерів даної серії є:

- система до 1024 каналів вводу-виводу (до 128 аналогових);
- модульна конструкція (до 32 модулів розширення в один ряд);
- вбудована оперативна пам'ять – можливість роботи без картки пам'яті;
- вбудована постійна пам'ять – для неперервного зберігання програми і даних;
- розширення пам'яті даних MMC до 64 Мбайт;
- сумісність за системою команд з ПЛК Simatic S7-300 фірми Siemens;
- програмування в WinPLC7 від VIPA і STEP7 від Siemens;
- час виконання операції: з бітом – 0.18 мкс, зі словом – 0.78 мкс;
- годинник реального часу;
- вбудований інтерфейс MP2I (MPI+PPI);
- підтримка мережі Profibus-DP master/slave, CANOpen master/slave, Ethernet;
- широкий вибір функціональних модулів.

Технічні характеристики модуля центрального процесора VIPA-214 DP з цієї серії наведені в табл.2.2 [16].

Таблиця 2.2 Технічні характеристики контролера VIPA-214 DP

Пам'ять робоча (оперативна)	48 кбайт
Пам'ять завантажувальна (постійна)	80 кбайт
розширення пам'яті	64 Мбайт за допомогою MMC-карти
Програмні блоки центрального процесора	
функціональні блоки FB	1024 (FB0...FB1023)
блоки функцій FC	1024 (FC0...FC1023)
блоки даних DB	2047 (DB1...DB2047)
Середовище програмування	WinPLC7 від VIPA або SIMATIC Manager (Step7) від Siemens
Швидкодія	

виконання операції з бітом	0,18 мкс
виконання операції зі словом	0,78 мкс
Кількість таймерів/лічильників	256 (T0...T255)/256 (C0...C255)
Об'єм пам'яті даних	
внутрішня пам'ять	8192 біт (M0,0...M1023,7)
кількість тактових маркерів	8
Адресний простір	
вводу/виводу	1024/1024 байт (вільна адреса)
відображення процесу (I/O)	1024біт(I0.0...I127.7)/1024біт(Q0.0...Q127.7)
Підключення модулів розширення:	
загальна кількість	32
дискретних модулів	32
аналогових модулів	16
діапазон адрес входів, виходів	1024 (дискретних), 128 (аналогових)
Інтерфейси	
-MP ² I (MPI+PPI)	+
-ProfibusDB master	-
-ProfibusDB slave	+
-PtP	-
-Ethernet	-
-CAN Open master	-
Напруга живлення	=24 В (20.4...28.8 В)
Споживаний струм, не більше	1,5 А
Споживана потужність	5 Вт
Вихідний струм	3 А (=5 В)
Габаритні розміри (Ш x В x Г)	50.8 x 76 x 80 мм
Вага	150 г

2.4. Датчик температури ESMC

Для вимірювання температури корпусу магнітоанізотропних датчиків МАД-7681 вибираємо датчик температури ESMC (рис. 2.6)



Рис. 2.6. Датчик температури поверхні ESMC з кабелем довжиною 2 м.

Кожен датчик температури ESMC містить платиновий чутливий елемент типу Pt1000, який має електричний опір 1000 Ом при температурі 0°C, з характеристикою відповідно до стандарту EN60751. Датчики температури ESM призначені для використання з електронними регуляторами серії ECL Comfort [17].

Технічні характеристики датчика температури ESMC:

- Діапазон вимірювання температури: 0 до 100 °C
- Корпус: IP 54
- Постійна часу: 10 с
- Матеріал оболонки: Верхня частина: нерол, нижня частина: нікельована мідь

- Матеріал кабелю: 2 м, ПВХ, $2 \times 0,2 \text{ мм}^2$
- Електричне підключення: 2-х дротовий кабель ($2 \times 0,2 \text{ мм}^2$).

3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ СМУГИ ПРОКАТУ

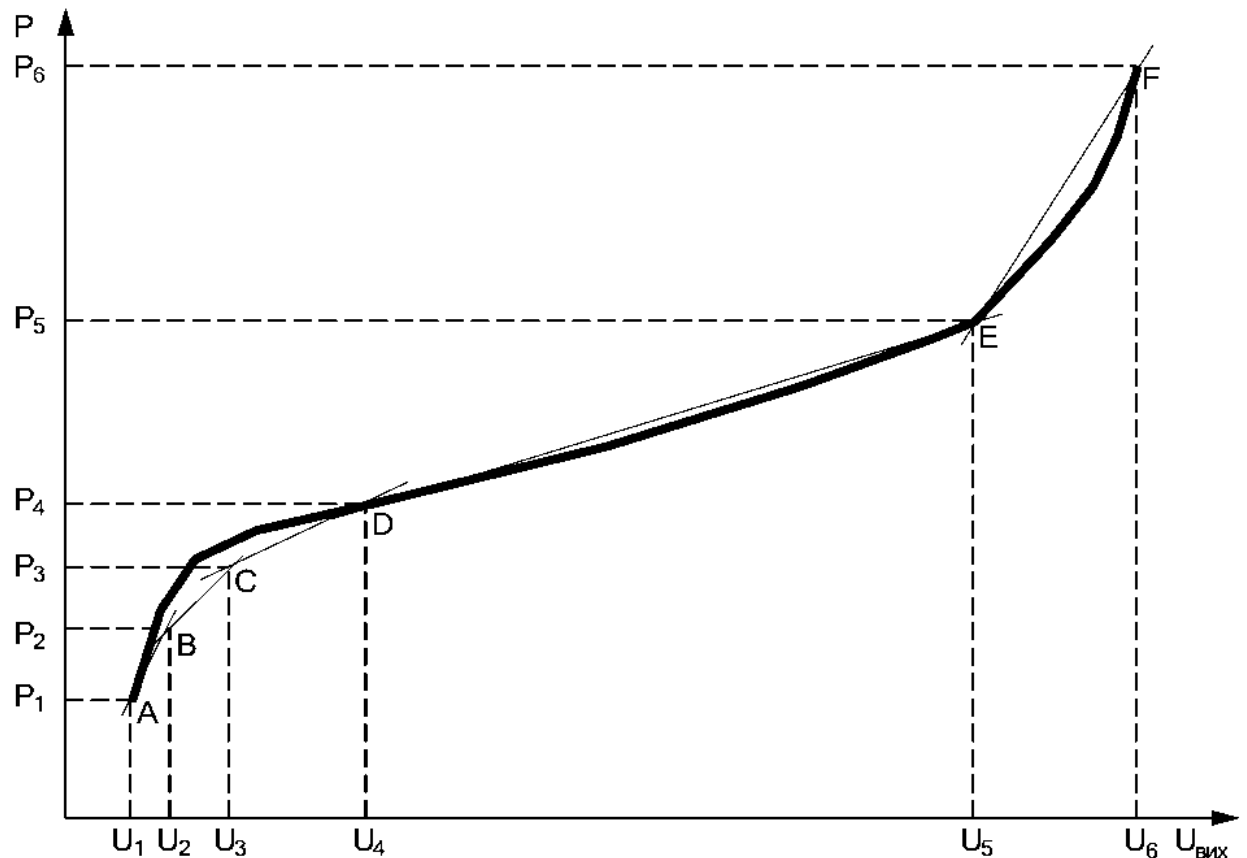
3.1. Налаштування та калібрування комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату

Налаштування комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату зводиться до зняття на тарувальній установці номінальних статичних характеристик (НСХ) датчиків зусиль $U_{\text{вих}} = f(P)$ і призначенням необхідних коефіцієнтів передачі підсилювачів.

Калібрування комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату проводять за отриманими на етапі налаштування номінальним статичним характеристикам датчиків з використанням методу кусочно - лінійної апроксимації. Для цього НСХ кожного датчика розбивають на п'ять лінійних ділянок, знаходять координати точок перелому НСХ. Приклад кусочно - лінійної апроксимації типової НСХ датчиків показано на рис. 3.1.

Знайдені градуювальні значення P і $U_{\text{вих}}$ (координати точок А, В, С, D, Е, F) заносяться за допомогою клавіатури до флеш-пам'яті мікроконтролера 200V VIPA і надалі використовуються під час виконання перевірок і обчислення градуювальних коефіцієнтів.

Перевірку працездатності вимірювальних каналів здійснюють подаванням на вхід комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату еталонних напруг, що відповідають градуювальним значенням $U_{\text{вих}}$ (координатами точок А, В, С, D, Е, F по осі напруги).



Умовні позначення: P — вертикальна складова зусилля натягу смуги; $U_{\text{вих}}$ — вихідна напруга; B, C, D, E — точки перелому НСХ;
A, F — точки початку і кінця діапазону вимірювань.

Рис. 3.1 Приклад кус очно - лінійної апроксимації номінальної статичної характеристики магнітоанізотропного датчика

Налаштування комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату після встановлення на місці експлуатації проводять за допомогою визначення початкових показань при значенні натягу $T = 0$. Ці свідчення заносять у мікроконтролер, де вони використовуються для корекції. В мікроконтролер також вводяться поточні

дата і час, коефіцієнт геометрії за кожним каналом, мінімальне і максимальне допустимі за технологією значення натягу, значення температурної поправки для кожного каналу.

Програмне забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату розроблено у програмному середовищі ПЛК 200V VIPA.

Блок-схему алгоритму роботи комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату наведено на рис. 3.2.

Головне меню програми містить такі пункти:

- «Розрахунок градуювальник коефіцієнтів»;
- «Розрахунок градуювальник коефіцієнтів»;
- «Вимірювання».

Пункт «Введення технологічних параметрів» передбачає виконання операції введення технологічних параметрів, необхідних для вибору режиму експлуатації. До числа цих параметрів належать:

- дата і час;
- номер каналу вимірювання;
- номер датчика;
- вид інформації, що індикується (P_i або T_i);
- під діапазон вимірювань;

корекції за температурою («так» або «ні»);

- діапазони вимірювань температури та сили натягу;
- значення нульового зміщення вертикальної складової за кожним датчиком.

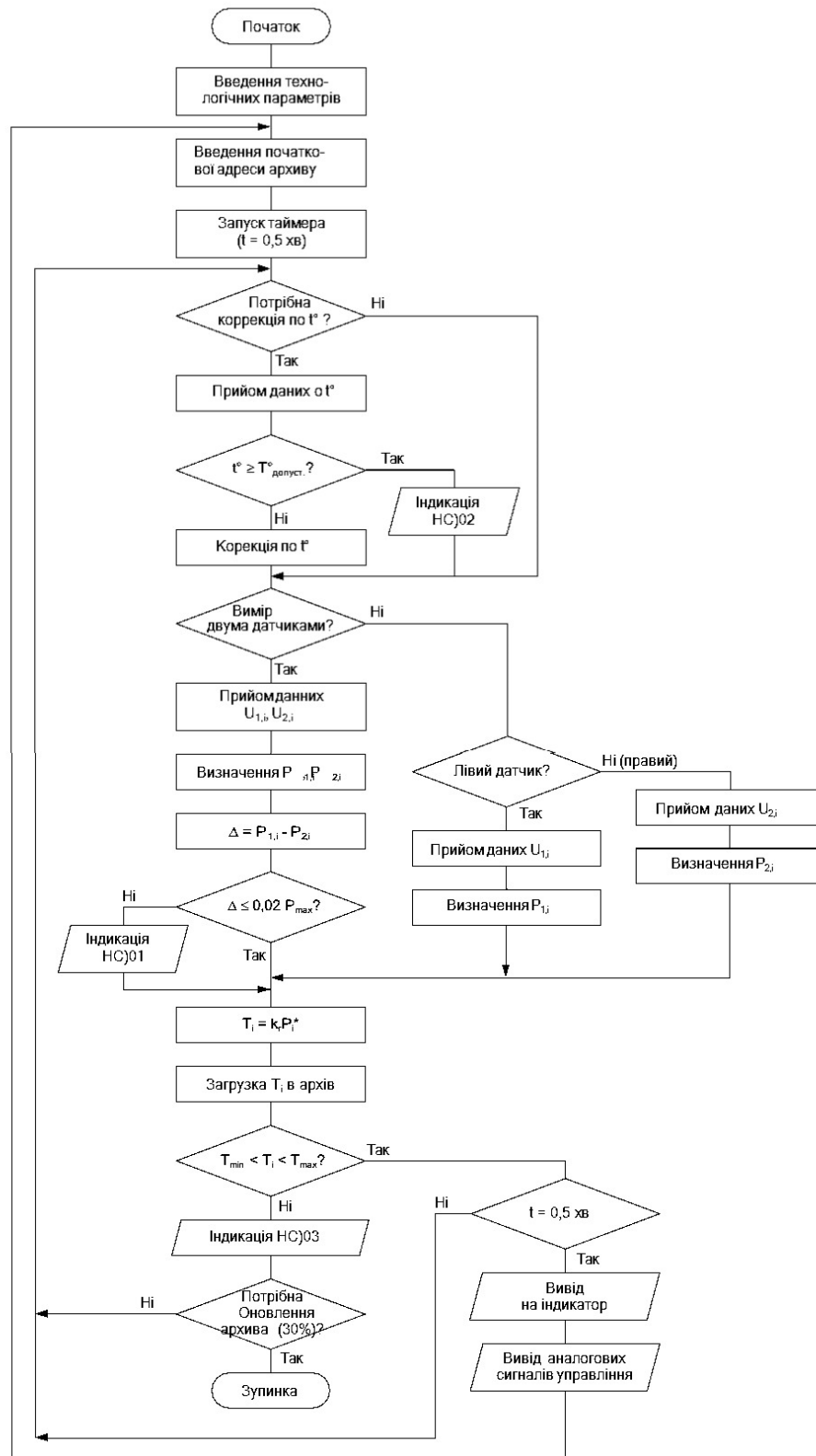


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритму роботи комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату в одно каналному режимі

Умовні позначення: t° — значення температури; $T^\circ_{\text{доп.}}$ — гранично допустиме значення температури в зоні вимірювання; U — вихідна напруга датчика зусилля; P — обчислене значення вертикальної складової зусилля; Δ — різниця результатів, отриманих за показаннями правого та лівого датчиків; P^* — значення P , обчислене за показаннями одного з датчиків або за середнім показаннями двох датчиків; K_r — коефіцієнт геометрії, рівний $2\sin\alpha$ (див. мал. 1); T — обчислене значення зусилля натягу; НС — код нештатної ситуації.

Пункт «Розрахунок градуювальних коефіцієнтів» передбачає введення даних, отриманих у процесі градуювання, і розрахунок градуювальних коефіцієнтів для кожного датчика.

Значення градуювальних коефіцієнтів a_i і b_i мікроконтролер визначає вирішуючи для кожної і-лінійної ділянки НСХ систему рівнянь:

$$\begin{cases} P_1 = a_1 + b_1 U_1 & \text{— ділянка АВ;} \\ P_2 = a_1 + b_1 U_2 \end{cases}$$

$$\int_P P_2 = a_2 + b_2 U_2 \text{ — ділянка ВС;}$$

$$\begin{cases} P_3 = a_3 + b_3 U_3 & \text{— ділянка CD;} \\ P_4 = a_3 + b_3 U_4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_4 = a_4 + b_4 U_4 & \text{— ділянка DE;} \\ P_5 = a_4 + b_4 U_5 \end{cases}$$

$$\int P_5 = a_5 + b_5 U_5 \text{ — ділянка EF.}$$

$$P_6 = a_5 + b_5 U_6$$

Пункт «Вимірювання» відповідає виконанню основної програми функціонування комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату.

Основна програма здійснює приймання та оброблення інформації від чотирьох датчиків зусилля і від двох датчиків температури за заданим алгоритмом. Обчислення значення вертикальної складової зусилля натягування (P_i) відбувається в програмі «Визначення P_i » за алгоритмом, блок-схему якого наведено на рис. 3.3. У процесі обробки інформації також здійснюються:

- діагностування датчиків (якщо абсолютна величина різниці значень вертикальної складової від двох датчиків одного каналу перевищує 2% максимального значення вертикальної складової в під діапазоні, що вимірюється, то формується сигнал «Нештатна ситуація», НС-01, загоряється світлодіод на панелі блоку управління і на індикаторі з'являється код «01»);
- аналіз поточного значення температури (у разі перевищення поточним значенням максимально допустимого значення температури формується сигнал «Нештатна ситуація», НС-02, загоряється світлодіод на панелі блока керування, на індикаторі з'являється код «02»);
- оцінка відповідності отриманого значення зусилля натягу граничним умовам (якщо поточне значення зусилля натягу виходить за межі допустимих значень, то формується сигнал «Позаштатна ситуація», НС-03, загоряється світлодіоди на панелі блоку управління і на індикаторі з'являється код «03»).
- Отримані значення зусилля натягу записуються в архів, глибина якого відповідає функціонуванню комплексу протягом 0,5 хвилини. Інформація в архіві має прив'язку до реального часу. У разі виявлення неприпустимого значення зусилля натягу з необхідною часовою затримкою в архіві фіксується інформація, 70 % якої відноситься до періоду до виникнення позаштатної ситуації, а 30% - до подальшого періоду.

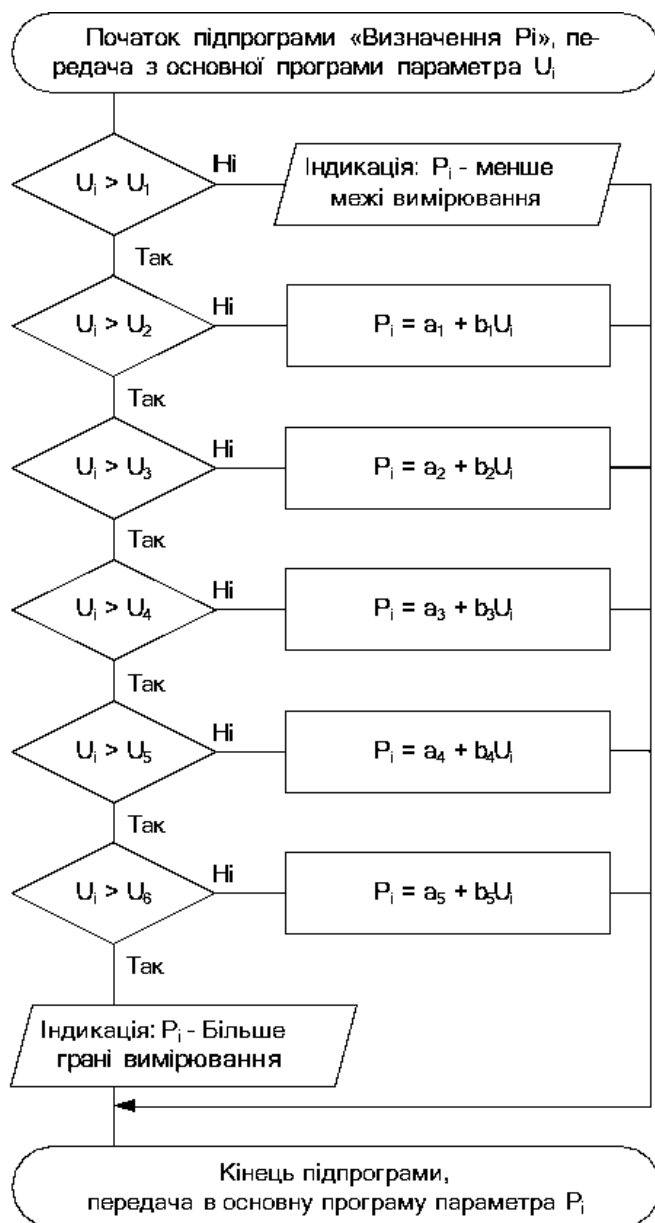


Рис. 3.3. Блок-схема алгоритму обчислення вертикальної складової зусилля натягу (P_i)

3.2. Розрахунок метрологічних характеристик

Нормування похибки каналу вимірювання виконується відповідно до ДСТУ-Н РМГ 62:2006 "Забезпечення ефективності вимірювань під час керування технологічними процесами. Оцінювання похибки вимірювань при обмеженій вихідній інформації" [15].

Розглянемо приклад розрахунку похибки каналу вимірювання. Як канал вимірювання виберемо канал вимірювання натягу. Вимога до похибки каналу вимірювання не більше 0,2%. Розрядність АЦП становить 16 розрядів.

Розрахунок допустимої похибки вимірювань датчика здійснюється за формулою (3.1):

$$\delta_1 \leq \sqrt{\delta^2 - (\delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2 + \delta_6^2 + \delta_7^2)}, \quad (3.1)$$

де $\delta = 0,2\%$ - необхідна сумарна похибка вимірювання каналу вимірювань при довірчій ймовірності 0,95;

δ_2 – похибка передачі по каналу вимірювань;

δ_3 – похибка, яку вносить АЦП;

$\delta_4, \delta_5, \delta_6, \delta_7$ – додаткові похибки, що вносяться температурою навколишнього повітря, перешкодами різного виду, тиском вимірюваного середовища та іншими факторами відповідно.

Похибка передачі по каналу вимірювань встановлюється рекомендаціями [15]:

$$\delta_2 = \frac{0,2 \cdot 4}{100} = 0,008 \text{ \%}.$$

Похибка, що вноситься 16-ти розрядним АЦП, розраховується наступним чином:

$$\delta_3 = \frac{0,2 \cdot 100}{2^{16}} = 0,0003 \text{ \%}.$$

При розрахунку також враховуються додаткові похибки, викликані впливом:

– температури навколишнього повітря;

- перешкод різного виду;
- тиску вимірюваного середовища;
- інших факторів.

Додаткова похибка, яку вносить вплив температури навколишнього повітря, встановлюється рекомендаціями [15]:

$$\delta_5 = \frac{0,2 \cdot 1}{100} = 0,002 \text{ \%}.$$

Додаткова похибка, яку вносить перешкоди різного виду, встановлюється рекомендаціями [15]:

$$\delta_5 = \frac{0,2 \cdot 1}{100} = 0,002 \text{ \%}.$$

Додаткова похибка, яку вносить тиск вимірюваного середовища, встановлюється рекомендаціями [15]:

$$\delta_6 = \frac{0,2 \cdot 1}{100} = 0,002 \text{ \%}.$$

Додаткова похибка, яку вносять інші фактори, встановлюється рекомендаціями [15]:

$$\delta_7 = \frac{0,2 \cdot 36}{100} = 0,072 \text{ \%}.$$

Таким чином, підставивши в формулу (6.1) отримані значення, розрахуємо допустиму основну похибку вимірювача щільності:

$$\delta_1 = \sqrt{0,2^2 - (0,008^2 + 0,0003^2 + 0,066^2 + 0,002^2 + 0,002^2 + 0,072^2)} = 0,17 \text{ \%}.$$

В результаті розрахунку видно, що основна похибка обраного вимірювача не перевищує допустимої розрахункової похибки. Отже, прилад придатний для використання.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему визначення натягу смуги прокату.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було:

- розглянуто технологічний процес виробництва холоднокатаного листа;
- виконано аналіз методів регулювання натягу прокату листу;
- проведено вибір контрольованих параметрів та розробка на їх основі структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату;
- розроблено структурну схему та алгоритм роботи комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату;
- вибрано вимірювальні засоби та елементну базу комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату;
- розроблено метрологічне забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату.

Впровадження комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення натягу смуги прокату на станах холодної прокатки дає змогу підвищити точність регулювання натягу смуги в 1,5-2 рази, що призводить до зменшення розмірів відхилень за шириною смуги та збільшення виходу придатного прокату на 0,25% за рахунок скорочення кількості метала, що потрапляє в обріз за шириною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. О.С.Бешта, О.В. Балахонцев, В.А. Бородай. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: НГУ, 2010 – 224 с.
2. Серeda Б.П., Прицип М.Г., Кругляк І.В., Васильченко Т.О. Прокатка листів та штаб: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 6.05040104, 7.05040104, 8.05040104 «Обробка металів тиском» / Б.П. Серeda, М.Г. Прицип, І.В. Кругляк, Т.О. Васильченко – Запоріжжя, ЗДІА, 2012. – 184 с.
3. Серeda, Б.П. Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів [Текст]: підручник / Б.П. Серeda. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 302 с.
4. Серeda, Б.П. Прокатне виробництво [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Серeda. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 312 с.
5. Обладнання прокатних цехів Навчальний посібник для студентів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форми навчання / Укл.М.Г. Прицип, - Запоріжжя: ЗДІА, 2016. – 116с.
6. Ніколаєв В. О. Технологія виробництва сортового та листового прокату: підручник. Частина II / В. О. Ніколаєв, В. Л. Мазур. – Запоріжжя: ЗДІА, 2000. – 220 с.
7. Серeda, Б.П. Обробка металів тиском. [Текст]: / Б.П. Серeda. Навчальний посібник. – Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2009. – 344 с.
8. Данченко В.М. Теорія обробки металів тиском [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В.М. Данченко, В.О. Гринкевич, С.М. Головка. - Дніпропетровськ: «Пороги», 2008. – 370 с.
9. Б.П. Серeda, В.М. Проценко Виготовлення спеціальних видів прокату: Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності

7.090404 "Обробка металів тиском" / Б.П. Серeda, В.М. Проценко. – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 88 с.

10. Конспект лекцій з дисципліни «Конструкції технологічних агрегатів в процесах ОМТ. Частина 4. Обладнання прокатних та волочильних цехів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 136 – Металургія за освітньо-професійною програмою «Металургія» / Укладач В. М. Самохвал – Кам'янське, ДДТУ, 2019. 91 с.

11. Прищип М.Г., Кругляк І.В., Кругляк Д.О. Технологія процесів обробки металів тиском: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 6.05040104 «Обробка металів тиском» / М.Г. Прищип, І.В. Кругляк, Д.О. Кругляк. – Запоріжжя, ЗДІА, 2012. – 160 с.

12. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів. Підручник - Львів: Афіша, 2002.- 304 с.

13. <https://ukrtradecompany.com/uk/novini-pro-rinok-metaloprokatu/listovoj-prokat-2/>

14. https://haehne.de/fileadmin/documentation_en/bzv-k01_02_pb_en.pdf

15. <https://vipa.com.ua/products/control-systems/200v.html>

16. https://vipa.com.ua/pdf/products/control-systems/200v/cpus/214-2BP03_en.pdf

17. <https://ianv.com.ua/uk/category/category-danfoss/teplosnabzhenie/jelektronnie-reguljatori-1/temperaturnie-datchiki-pt-1000/datchik-temperaturi-esmc>.