

На правах рукопису

УДК 621.771.08:531.787.2:389.14

БЕЛЯЄВ Юрій Борисович

**МЕТОДИ І ПРИСТРОЇ СИЛОВОГО НАСТРОЮВАННЯ
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРОКАТНИХ СТАНІВ:
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА**

05.13.08 - Обчислювальні машини, системи та мережі,
елементи і пристрої обчислювальної
техніки та систем керування

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному науково-виробничому підприємстві "Автоматизовані інформаційні системи та технології" (ДНВП "АІСТ") Науково-виробничої корпорації "Київський інститут автоматики" Міністерства машинобудування, військово-промислового комплексу і конверсії України.

Науковий консультант: доктор фізико-математичних наук
Клищенко Віталій Петрович

Офіційні опоненти: академік НАН України доктор технічних наук професор Тимофєєв Борис Борисович
доктор технічних наук професор Васильєв Володимир Іванович
доктор технічних наук Стрельников Валерій Павлович

Провідна організація: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Захист відбудеться: "10 07" 1997 р. о "14⁰⁰" год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.01.54.02 при Інституті проблем математичних машин і систем НАН України
за адресою: 252187, м.Київ, проспект Академіка Глушкова, 42.

Відгуки на автореферат дисертації у двох примірниках, завірені печаткою установи, надсилати за адресою: 252187, м.Київ, проспект Академіка Глушкова, 42, ученому секретарю.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічному архіві Інституту проблем математичних машин і систем НАН України.

Автореферат розісланий "5" 06 1997 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради  ХОДАК В. І.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00751156 (P)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Дисертацію присвячено створенню та дослідженню прямих методів і розробці гідравлічних пристроїв систем метрологічного забезпечення вимірювання силових та деформаційних параметрів в АСУТП прокатки листового металу.

Актуальність проблеми. Сучасне високотехнологічне машинобудування, особливо штампувальне виробництво, ставить жорсткі вимоги до геометричних параметрів листового металопрокату: товщини, профілю, форми. Характерне прагнення до виробництва листа в мінусовому полі допуску на товщину на всіх стадіях переділу металу від заготівельних і товстолистових до станів гарячої і холодної прокатки тонкого листа.

Одержання кондиційного листового металу з номінальними геометричними параметрами при раціональній експлуатації обладнання, оптимальному технологічному процесі прокатки вирішується за допомогою систем автоматичного регулювання (САР), що є складовими автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП). Ефективність функціонування цих систем в значній мірі залежить від ретельності попереднього настроювання клітей як об'єктів керування, що визначається ступінню вивченості пружних властивостей обладнання в напружено-деформованому стані під дією сил, достовірністю інформації про основні параметри технологічного процесу.

Домінуючими є механічні параметри: сили прокатки і жорсткість кліті, які взаємно впливають і на пружно-пластичне формування прокату, і на пружну конфігурацію міжвалкового зазора, що підлягає регулюванню, керуванню і позиціонуванню виконавчими механізмами. Ці метрологічно достовірні параметри необхідні для діагностики стану обладнання з метою запобігання аварійних ситуацій.

Вивчення і аналіз праць вітчизняних і зарубіжних вчених і спеціалістів вказує на те, що в 60-80-х роках в результаті розвитку теорії і практики автоматизації прокатного виробництва широкого розповсюдження набули методи математичної статистики для визначення і прогнозування механічних властивостей обладнання, які базуються на теоретичних розрахунках і непрямих

способах контролю сил прокатки і жорсткості клітей з наступним коректуванням математичних моделей настроювання САР і поетапного налагодження технологічного процесу прокатки листового металу за результатами освоєння і експлуатації об'єкта.

Практична реалізація проблеми ускладнюється значними витратами праці і часу внаслідок відсутності прямих методів і засобів метрологічного забезпечення вимірювання сил прокатки і жорсткості клітей, а також недостатнім вивченням реальних механічних властивостей клітей в напружено-деформованому стані, адекватному тиску металу на валки:

- застосування методів математичної статистики супроводжується затримками виводу стана на оптимальні режими експлуатації і є причиною виробництва некондиційного прокату;

- використання паспортних номінальних статичних характеристик каналів вимірювання сил прокатки не враховує втрати при передачі сил в кліті від осередка прокатки до датчиків;

- теоретичний розрахунок жорсткості кліті в вигляді константи не відображує реальної картини пружної деформації і знижує ефективність роботи САР, вимагаючи додаткових коректувань при освоєнні прокатного стана;

- існуючі системи діагностики працездатного стану обладнання використовують недостовірну інформацію про силу прокатки, жорсткість клітей і не дають швидкого очікуваного результату;

- відсутність достовірної кількісної оцінки впливу ширини листа (смуги) на пружну конфігурацію міжвалкового зазора не дає можливості виконавчим механізмам вчасно відреагувати на цей фактор і оперативно компенсувати його.

Постановка задачі. Викладене вище підтверджує актуальну необхідність вирішення проблеми дослідження, розробки і впровадження у виробництво нових науково обґрунтованих і практично реалізуємих прямих методів, технічних засобів (пристроїв), спрямованих на підвищення якості геометричних параметрів листового металопрокату, удосконалення процесу настроювання систем на основі достовірної інформації про домінуючі технологічні параметри, скорочення трудомісткості і часу освоєння стана шляхом вивчення пружних властивостей конкретних клітей. Визначення точних критеріїв кількісної оцінки силових і деформаційних параметрів, які використовуються в САР і АСУП для керування механізмами, впливає на збіжність математичної моделі

настроювання стана з оптимальним веденням технологічного процесу прокатки і видачу в системі достовірної інформації.

Мета роботи - здійснити вирішення поставленої задачі, що полягає в викладеному нижче:

- на основі теоретичного аналізу і експериментальних досліджень факторів, що впливають на утворення профілю листового металу в пружно-деформованому осередку прокатки - міжвалкового зазорі кліті, кількісно виявити втрати сил і приросту міжвалкового зазора вздовж пружної лінії валків, оперативно відкоректувати сигнали вимірювальних каналів і сформувати достовірні вихідні дані про силу і деформацію;

- розробити, науково обґрунтувати і впровадити в виробництво принципи, методи і технічні засоби, які підвищують метрологічну достовірність вимірювання жорсткості кліті і сил прокатки, що адекватні тиску металу на валки, дослідити їх методами математичного і фізичного моделювання напружено-деформованого стану кліті в осередку прокатки;

- розробити зразкові самовідтворюючі калібратори, що поєднують можливість їх установки в обмежений міжвалковий зазор кліті з розпором валків великими силами, компенсують максимальну стрілу прогину валків і були б малочутливими до перекосів, зміщення і інших конструктивних недосконалостей обладнання.

Методи дослідження. Для досягнення мети роботи використані наукові основи теорії і результати прокатки металу, методи дослідження об'єкта настроювання і керування процесом прокатки, основи математичного і фізичного моделювання процесів, способи регулювання виконавчими механізмами, методи і засоби вимірювання сил прокатки металу, контролю пружної зміни конфігурації міжвалкового зазора - осередку прокатки металу, практичні заходи формування вихідних даних для САР, теоретичні передумови створення і реалізації в умовах виробництва способів і засобів метрологічного забезпечення силового і деформаційного калібрування клітей прокатних станів прямими методами.

Наукова новизна виконаної роботи полягає в тому, що на основі вивчення і аналізу силового впливу в осередку (центрі) прокатки металу, зміни геометричних параметрів листа, залежних від пружних деформаційних властивостей обладнання, методів і засобів керування:

- доведено необхідність застосування прямих методів дослі-

дження пружно-деформованого стану індивідуально кожної конкретної кліті прокатного стану з урахуванням сил розподілу і конфігурації міжвалкового зазора, що спрощує, прискорює, підвищує ступінь готовності стану до оптимальної і ефективної роботи вже на етапі початку його освоєння при попередньому настроюванні;

- запропоновано дійові механічні критерії уточнення і налагодження математичних моделей настроювання обладнання і систем за достовірними силовими і деформаційними параметрами, на основі яких САР функціонує точніше, формуючи керуючі команди (уставки) на позиціонування виконавчих механізмів для виробництва кондиційного прокату із заданими геометричними параметрами (товщина, профіль, форма);

- доведено необхідність і можливість відтворення прямим методом напружено-деформованого стану кліті, адекватного тиску металу, навантаженням валків рівномірно розподіленою зразковою силою (тиском) в повному діапазоні сил прокатки з одночасним вимірюванням пружного приросту міжвалкового зазора в декількох характерних точках вздовж бочки валків, що дозволяє також установлювати паралельність валків і розраховувати стрілу їх пружного прогину з урахуванням максимальної і мінімальної ширини листа (смуги);

- розроблено математичну модель деформаційного калібрування кліті при силовій дії, що описує конфігурацію міжвалкового зазора, загальну (інтегровану) жорсткість кліті і жорсткість валкової системи;

- розроблено теорію, методи розрахунку і принципи побудови конструкцій зразкових калібраторів сили і деформації на основі гідравліки, мембранної техніки і нових технологій з урахуванням специфіки їх спряження із кліттю, що зумовлена поєднанням дії великих сил із обмеженими розмірами розхилу валків;

- розроблено методи розрахунку компактних гідродомкратів типу мембранної коробки, які засновані на результатах експериментальних досліджень міцнісних і метрологічних властивостей, що не змінюються в умовах експлуатації при дії механічних впливаючих факторів, властивих клітям прокатних станів.

Запропоновані способи, технічні засоби, конструктивні і технологічні рішення являються новими, що підтверджено авторськими свідоцтвами на винаходи.

Практична цінність проведених досліджень, розробок і

впроваджені полягає в усуненні характерних недоліків попередньої практики настроювання АСУТП прокатки непрямыми методами.

Отримані такі нові практичні результати:

- доведено можливість суттєво підвищити точність вимірювання сил прокатки за рахунок компенсації факторів, що впливають на розподіл і передачу сил в обладнанні від осередку прокатки до місць установки перетворювачів по осях натискних механізмів клітей або датчиків розтягу стійок станини кліті;

- підвищено точність і розширено можливості визначення реальної жорсткості не тільки всієї кліті, але і групи валків в залежності від приросту розхилу валків в декількох точках пружної лінії під дією рівномірно розподіленої сили у всьому діапазоні;

- виявлено кількісні критерії гістерезису кліті в напружено-деформованому стані, а також вплив різної ширини прокату на стрілу прогину валків;

- підвищено швидкість і зменшено трудомісткість процесу настроювання клітей, що позитивно позначилось на якості роботи систем діагностики обладнання і запобігання аварійних ситуацій, сприяло підвищенню працездатності обладнання, скороченню витрат на обслуговування і позапланові ремонти;

- розроблено зразкові компактні мембранні гідродомкрати нової конструкції, нечутливі до недосконалостей спряжуваних агрегатів, що дозволяє рекомендувати їх для використання в ролі виконавчих механізмів великих сил і точного позиціонування.

Автор вносить на захист:

- прямий метод силового і деформаційного калібрування клітей прокатних станів, а також метод визначення поправочних (передаточних) коефіцієнтів для коректування показників засобів вимірювання з урахуванням явища гістерезису, що зумовлений силовим навантаженням в обладнанні;

- математичну і фізичну моделі напружено-деформованого стану клітей при калібруванні з виділенням жорсткості всієї кліті, окремо - валкової системи і з урахуванням приросту розхилу валків вздовж пружної лінії;

- результати аналізу експериментальних досліджень напружено-деформованого стану клітей різних типів прокатних станів;

- принципи побудови калібраторів сили і деформації клітей як зразкових засобів метрологічного забезпечення вимірювання

сил прокатки і контролю міжвалкового зазора;

- результати розробки гама компактних гідродомкратів типу коробки з багатошаровими мембранами для оснащення калібраторів, а також результати досліджень їх метрологічних властивостей.

Впровадження результатів роботи здійснювалось шляхом:

- розробки і передачі у виробництво документації на модифікацію калібраторів для прокатних станів різних типів;

- створення і освоєння на 12-ти прокатних одно- і багатоклітьових станах більше 20-ти калібраторів, за допомогою яких одержано результати досліджень напружено-деформованого стану більше 30-ти клітей;

- оснащення калібраторами товстостілових станів:

3600 Вхілайського металургійного заводу (Індія) і Маріупольського МК "Азовсталь" (Україна), стана 900 "Sundwig" холодної прокатки лезової стрічки МЗ "Електросталь" (Росія), станів 560 і 1500 тонколистової гарячої прокатки Московського МЗ "Серп і Молот" (Росія), стана 1700 тонколистової гарячої прокатки Карагандинського МК (Казахстан), широкополосного стана 2000 гарячої прокатки Волгоградського МЗ "Красний Октябрь" (Росія), стана 2000 прокатки алюмінієвих сплавів Красноярського МЗ, блюмінгу 1500, універсально-балочного стана Нижньо-Тагільського МК.

Апробація роботи. Основні результати дисертації доповідались і обговорювались на конференціях і семінарах:

- науково - технічній конференції "Основні проблеми підвищення ефективності і якості АСУ" (Свердловськ, 1980);

- IX конференції молодих учених "Одержання, дослідження властивостей і застосування надтвердих матеріалів" (Київ, 1984);

- науково-технічній конференції "Прогресивні методи проектування сучасних машин, їх елементів і систем" (Горький, 1986);

- конференціях "Методи і засоби побудови інформаційно-вимірвальних структур в АСУ" (Київ, 1989, 1991);

- семінарі "Досвід розробки і впровадження АСУ прокаткою на товстостілових і напівнеперервних станах" (Київ, 1992);

- Європейській науково-метрологічній конференції (Санкт-Петербург, 1992);

- міжнародній науково-практичній конференції "Аерокосмічний комплекс: конверсія і технології" (Житомир, 1995);

- науково-технічній конференції "Проблеми автоматизації в металургії України" (Київ, 1995);

- науково-технічній конференції "Гідромеханіка в інженерній практиці (Київ, 1996).

Публікації. Основні результати дисертації викладено в 36 друкованих роботах (19 - без співавторів), в тому числі: в розділах 8 монографій, 14 статтях. Новизну технічних рішень захищено 4-ма авторськими свідоцтвами СРСР, 1 патентом України, 3-ма патентами Болгарії.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків, бібліографічного списку із 121 найменування, 6 додатків. Об'єм дисертації: 269 сторінок, з них 177 сторінок основного тексту з рисунками, 92 сторінки додатків.

З М І С Т Р О Б О Т И

У вступі обгрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету роботи і основні етапи автоматизації прокатного виробництва, викладені методи досліджень, наукова новизна і практична цінність, реалізація результатів роботи, апробація, публікації і структура дисертації.

В першому розділі розглянуто і проаналізовано стан розвитку систем автоматичного регулювання (САР) геометричних параметрів листового металопрокату (товщини, профілю, форми) з урахуванням факторів впливу обладнання і технологічного процесу. Обгрунтовано домінуюче значення вимірювання сил прокатки, урахування жорсткості клітей, контролю і керування конфігурацією осередку прокатки - міжвалкового зазора при тиску металу на валки.

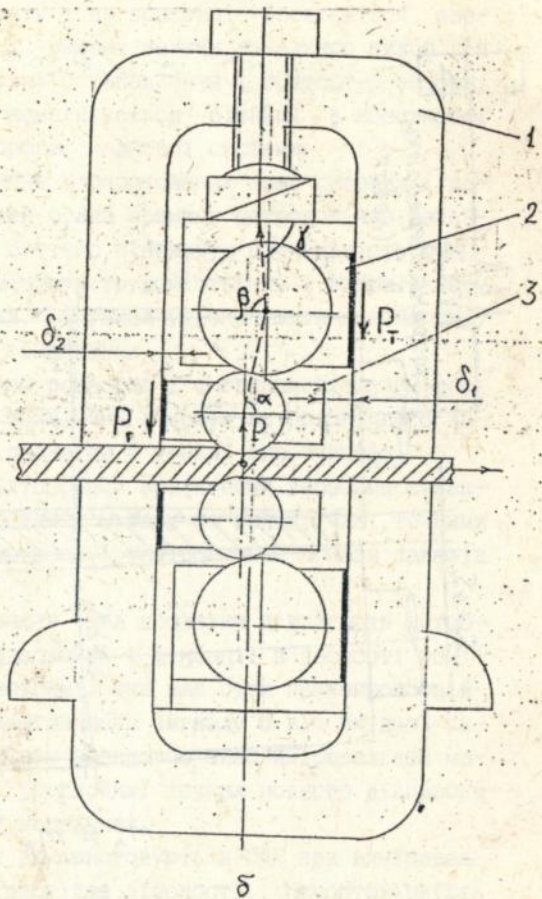
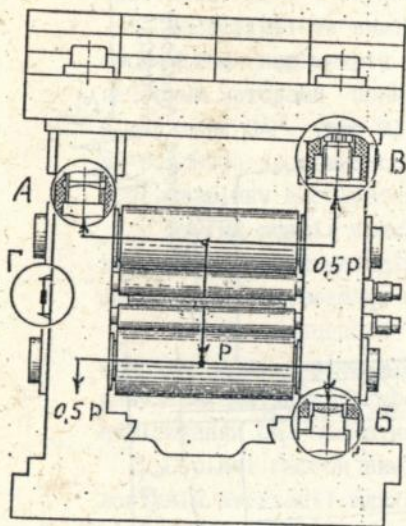
Ефективність роботи САР, що керує виконавчими механізмами клітей шляхом формування команд (установок) на основі інформації від засобів вимірювання параметрів прокатки, залежить як від достовірності вимірювання і контролю цих параметрів, так і від ступеня вивченості механічних властивостей кліті.

Кліть є складним за конструкцією, громіздким і металоємним об'єктом керування, в якому при прокатці виникають великі сили від тиску металу на валки. Ці сили спричиняють пружно-пластичну деформацію металу і пружну деформацію обладнання, що вимагає компенсації для утримання номінальних геометричних розмірів конфігурації міжвалкового зазора, в якому формується профіль прокату. Тому від ретельності настроювання прокатного стану залежить ефективність його роботи.

Домінуючими технологічними параметрами є сила прокатки і як наслідок - характеристики загальної жорсткості кліті і системи валків, паралельність валків і вплив на ці параметри ширини прокату (сляба, листа, та інш. профілю). Ці найважливіші параметри фігурують в формулах попереднього розрахунку процесу прокатки, і на їх реалізацію спрямовані дії оператора САР стана.

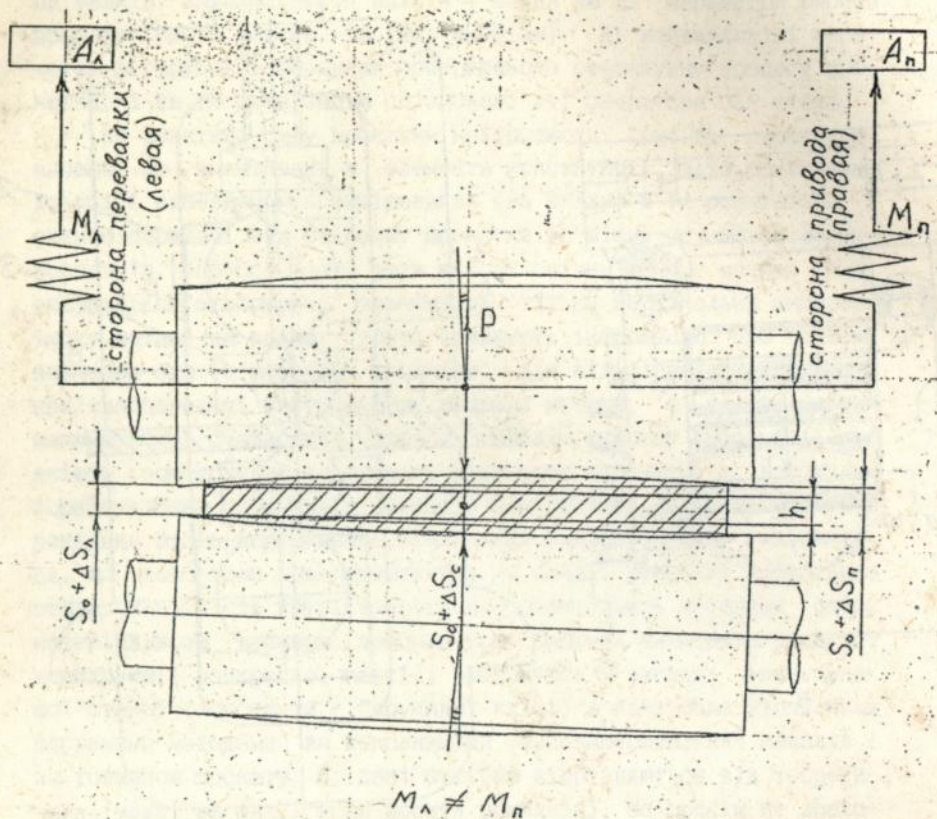
На практиці силу прокатки контролюють (рис.1) перетворювачами, що вмонтовані в елементи конструкції кліті симетрично до осі і забезпечують вимірювання сил згідно з їх розподілом і схемою передачі від осередку прокатки до місць установки перетворювачів. Априорі можна дати якісну оцінку такому методу вимірювання: перетворювачі сприймають тільки вертикальну складову тиску металу на валки, тобто занижують інформацію про дійсні значення сил в осередку прокатки. Для кількісної оцінки втрат при силопередачі застосовують непрямі методи, а також методи математичної статистики шляхом тривалого збору інформації про якість геометричних параметрів кінцевого продукту з наступним коректуванням показників каналів вимірювання сил. Ці втрати в декілька разів перевищують номінально задану похибку вимірювання, що необхідно враховувати вже на стадії освоєння прокатного стана. Жорсткість кліті теоретично розраховують методами опору матеріалів за пружною деформацією окремих елементів реальної конструкції конкретної кліті і зображують у вигляді інтегрованої сталості (константи - "пружини" кліті) з наступним уточненням непрямыми методами за показниками силосиміювальних каналів і за товщиною прокату. Ці дані суттєво відрізняються від теоретичних (менші за них), вони досить приблизні, бо зовсім не враховують пружний прогин валків (рис.2), який становить близько половини жорсткості всієї кліті. Отже, і цей важливий параметр необхідно кількісно оцінити перед початком експлуатації прокатного стана шляхом виявлення реальних поправочних коефіцієнтів для коректування показників засобів вимірювань позиції (положення) виконавчих механізмів, які використовуються для контролю міжвалкового зазора і є в кожній кліті.

Вплив ширини на стрілу пружного прогину валків враховують, використовуючи формулу Ларке, але в ній коефіцієнт ширини має досить приблизне значення, що призводить до помилок при прокатці і з урахуванням різної жорсткості напівстанин кліті вимагає уточнення за допомогою прямих вимірювань на об'єкті.



- 1 - станина кліті "кварто";
- 2 - подушка верхнього опорного валка;
- 3 - подушка верхнього робочого валка;
- δ - зазори між станиною і подушками;
- P - сила прокатки металу;
- P_T - сила тертя.

Рисунок 1 - Фронтальний (а) і боковий (б) види кліті з варіантами розміщення перетворювачів сил прокатки металу - месдоз (А, В, В), датчиків деформації - стоек станини (Г)



S_0 - початковий (без навантаження) розхил валків;
 ΔS_0 - приріст розхилу валків при прокатці металу;
 $A_{л}, A_{п}$ - месдозы (ліва і права відповідно);
 h - номінальна товщина листа;
 $M_{л}, M_{п}$ - жорсткість лівої і правої напівстанин.

Рисунок 2 - Конфігурація міжвалкового зазору і профіль поперечного перерізу листа в напружено-деформованому стані

Паралельність валків також позначається на якості геометричних параметрів листопрокату і на практиці досягається зведенням валків "в забій" і навантаженням невеликою силою для визначення початку відрахунку установлення і приросту зазора, але і в цьому випадку не компенсується різниця в жорсткості півстанин кліті і пружний прогин валкової системи.

Достовірність вимірювання перерахованих вище силових і деформаційних параметрів клітей стана прямими метрологічно забезпеченими методами повинна суттєво підвищити ефективність функціонування САР (рис.3), зменшити трудомісткість і витрати часу на освоєння прокатного стана, а також удосконалити діагностику і безаварійну експлуатацію обладнання.

Другий розділ присвячено розробці і експериментальним дослідженням прямих методів і технічних засобів метрологічного забезпечення вимірювання сил прокатки в умовах виробництва.

Основна концепція - відтворення зразковими засобами навантаження кліті, адекватного тиску металу на валки, за точними результатами якого коректуються і настроюються покази каналів вимірювання сил прокатки.

Серійні засоби вимірювання сил прокатки підлягають метрологічній атестації шляхом одержання і фіксації в паспорті номінальної статичної характеристики, яка має бути прямопропорційною залежністю вихідного електричного сигналу U від вхідної сили Q , що задається стаціонарною зразковою силівимірювальною машиною (пресом) в визначених (реперних) точках повного діапазону сил в прямому і зворотньому напрямках.

Саме цю характеристику використовують в САР при вимірюванні сил прокатки, а це не відповідає дійсності. Недостовірність вимірювань обумовлена втратами при розподілі і передачі сил від осередку прокатки до місць установки перетворювачів. Для кількісної оцінки і компенсації похибок необхідна метрологічна атестація всього силового контуру кліті.

Особливо актуальна атестація разом з кліттю каналів вимірювання сил прокатки перетворювачами пружної деформації (розтягу) стоек станини кліті, зважаючи на відсутність технічної можливості відтворення на об'єкті умов, адекватних випробувальному обладнанню.

Таким чином доведено, що достовірності точного вимірювання сил прокатки металу можна досягти тільки прямим наванта-

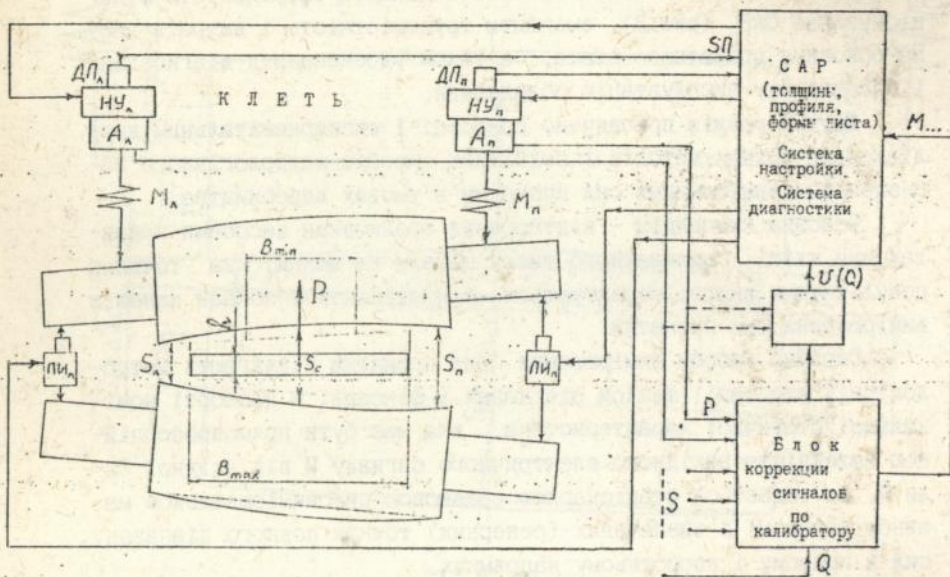


Рисунок 3 - Функціональна схема силового і деформаційного калібрування кліті листопрокатного стану з САР каналів вимірювання сил прокатки

женням кліті зразковою силою в осередку прокатки і переналагодженням силовимірвальних каналів індивідуально кожної конкретної кліті: $U_i = f(Q_i) - K_i P_i$, де P_i - сила прокатки, K_i - поправочний (передаточний) коефіцієнт, який враховує втрати сил передачі в кліті в реперних точках діапазону навантаження.

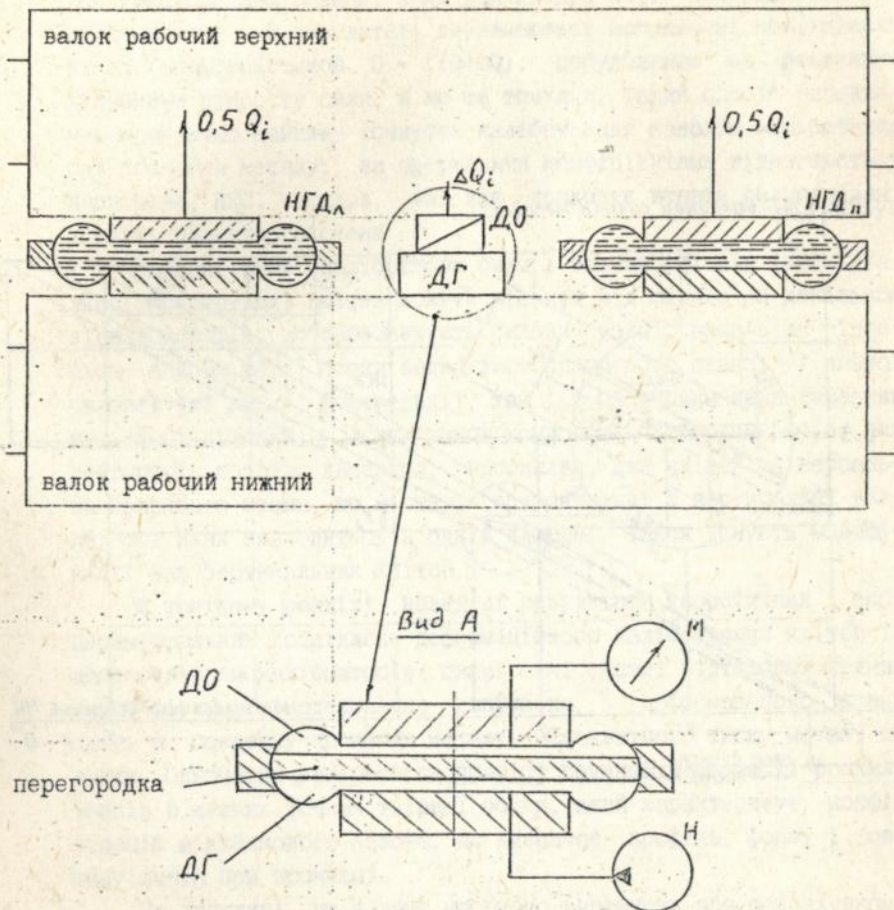
Згідно із винаходами автора [21, 22, 24] цей спосіб реалізується за допомогою гідравлічного пристрою, що задає силу - калібратора сили (рис. 4), домкрати якого спряжені з валками кліті і здатні відтворити їх розпір адекватно тиску металу.

Зарубіжні аналоги пристрою вирішують цю задачу не в повному обсязі і обмежені у застосуванні. Так, наприклад, калібратор сили конструкції німецької фірми **KLOCNER-WERKE** має великі габарити по висоті, які перевищують існуючі в клітях листопркатних станів максимальні міжвалкові зазори (розхили валків), що не дозволяє досягти високої точності вимірювання сили через тертя в ущільненнях. Крім того, використання таких пристроїв передбачає роботу на стиснення, що здійснюється потужними натискними механізмами кліті. Однак не всі кліті, а лише кліті тонколистових станів холодної прокатки здатні розвивати сили в повному діапазоні. В інших станах натискні механізми використовуються лише для установки початкового розхилу валків перед прокаткою металу, тому і необхідний пристрій для відтворення великих сил, адекватних тиску металу.

Такий же недолік мають і калібратори сили конструкції канадської фірми **KELK**, хоч вони і не потребують вилучення валка.

Результати експериментальних досліджень клітей прокатних станів різного типу (від обтискних до тонколистових холодної прокатки), що одержані при використанні нових калібраторів сили, показують ступінь реального заниження сигналів мессдоз від номінальної статичної характеристики (НСХ), що зумовлено втратами сил передачі. Заниження НСХ становить від 12 до 32 %, що значно більше нормованої похибки (1-2,5 %) власне каналів вимірювання сил прокатки [1-3, 5, 7, 11, 12, 15, 17-21, 27, 31, 33, 35, 36].

Точність силового калібрування підвищується при застосуванні винаходу [29], суть якого полягає в такому (рис. 5, 6): калібратор містить крайні гідродомкрати, здатні в повному діапазоні сил Q навантажувати валки "грубо", підводячи силове навантаження до реперних точок НСХ мессдоз. Точне вимірювання здійснюється приростом малої сили ΔQ , що реалізується за допомогою



НГД - навантажуючі гідродомкрати;

ДГ - довантажуючий домкрат;

Дэ - динамометр зразковий;

Н - насос;

М - манометр зразковий;

Qi - сила розпору валків;

ΔQi - приріст сили розпору валків.

Рисунок 5 - Принципова схема калібратора сили з центральним зразковим динамометром

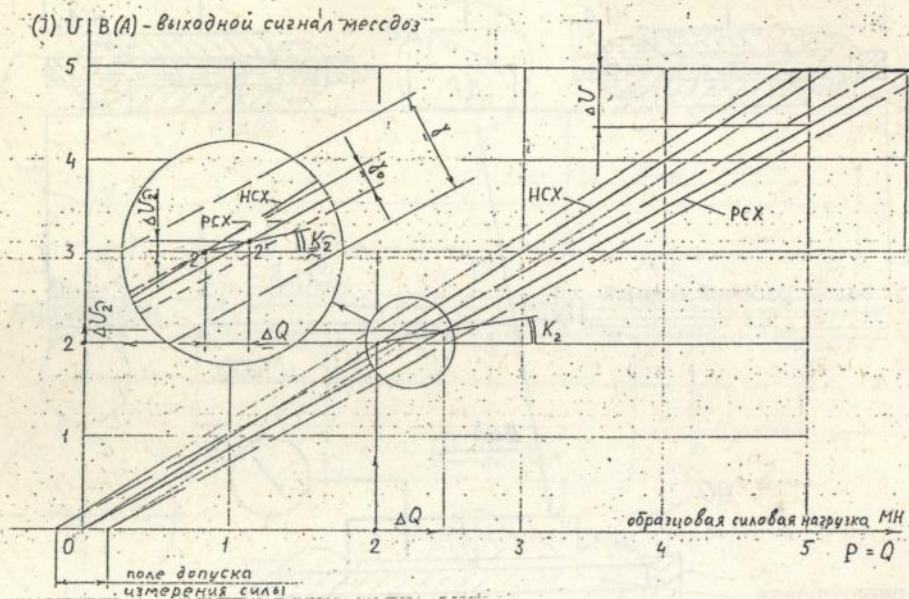


Рисунок 6 - Графік коректування (відновлення) паспортної НСХ каналів вимірювання сил прокатки за поправочними коефіцієнтами на реперних ділянках діапазону вимірювання, що реалізуються калібратором з центральним динамометром

високоточного зразкового динамометра [26] стиснення з невеликою границею вимірювань, який довантажує кліть центральним гідродомкратом. В результаті визначаються поправочні коефіцієнти K : за характеристикою $U = f(Q+\Delta Q)$, побудованою за реперними ділянками приросту сили, а не за точками. Такий спосіб забезпечує практично найвищу точність калібрування каналів вимірювання сил прокатки металу: за одержаними коефіцієнтами відновлюється паспортна НХС мессдоз, яка вже враховує втрати силопередачі в кліті прокатного стана.

Згадані вище калібратори сили в залежності від індивідуальної конструкції клітей можуть містити від одного до декількох гідродомкратів, що забезпечують силовий розпір валків як рівномірно вздовж всієї бочки валка листопркатного стана, її певної частини (по краях; посередині), так і з частковим навантаженням будь-якої ділянки. Існує також компоновка гідродомкратів, які повторюють профіль двотавра, наприклад, для клітей універсально-балочного стана, що містять горизонтальні і вертикальні валки, осі яких знаходяться в одній площині. Також існують модифікації для вертикальних клітей.

В третьому розділі наведені результати теоретичних і експериментальних досліджень деформаційного калібрування клітей із застосуванням калібраторів сили, які здатні відтворити прямий метод фізичного моделювання напружено - деформованого стану кліті в осередку прокатки металу, адекватного тиску металу на валки. Одночасно вимірюється приріст пружної деформації розхилу валків в деяких точках твірної бочки, який характеризує конфігурацію міжвалкового зазора, що визначає профіль, форму і товщину листа при прокатці.

На практиці цю задачу частково вирішують або розрахунком, або непрямими способами із застосуванням методів математичної статистики. В розрахункових формулах фігурує інтегрована жорсткість кліті в вигляді сталої (константи), що називають "пружиною" або "модулем жорсткості" кліті $M = \Delta P / \Delta S$, де ΔP - сили прокатки, ΔS - приріст розхилу валків під дією аргументу P .

Силу прокатки вимірюють мессдозами, а приріст розхилу валків - датчиками положення натискних пристроїв або, так званими "продуктиметрами". Аналіз такого заходу показує, що некалібровані разом із кліттю мессدوزи дають занижені показники, а показники датчиків положення не враховують прогину валкової системи,

отож результат одержують приблизний, що недостатньо для ефективного налагоджування і роботи САР.

Застосовуються і інші заходи, наприклад, прокатка так званих "карток" з контролем сил месдозами і вимірюванням товщини прокатаних "карток" шляхом вирізування темплетів.

Калібровочні пристрої конструкції німецької фірми **FROHLING**, канадської **KELK** і деяких інших (американських, японських) обмежені використанням лише на тонколистових станах холодної прокати, які містять потужні натискні механізми, що здатні розвивати повну силу прокати і стискувати калібратор, завдяки чому компенсується деформація (розтяг) станини кліті.

Автором, згідно з винаходом [25], запропонована математична модель пружно-деформованого стану кліті (формули 1- 5), критерієм якого є ряд числових значень приросту валків під силовим навантаженням їх розпору, що здійснюється із застосуванням гідравлічного калібратора сили, спорядженого точними датчиками лінійного переміщення, рівномірно розташованими вздовж пружної лінії бочки валків по її краях і в центрі. Ці числові значення є достовірними вихідними даними для САР.

3Q

$$\text{Жорсткість кліті} \quad M = \frac{3Q}{S_L + S_C + S_N}; \quad (1)$$

$$\text{Податливість} \quad \Pi = \frac{\Delta S}{\Delta P}; \quad (1a)$$

$$\text{Жорсткість валків} \quad M_B = \frac{2Q}{\Delta S_L + \Delta S_N} = \frac{P}{\Delta S - 0,5(\Delta S_N - \Delta S_L)}; \quad (2)$$

$$\text{Гістерезис кліті по силі} \quad v^P = \frac{|P_N - P_P|}{P_N}; \quad (3)$$

$$\text{Гістерезис кліті по переміщенню} \quad v^S = \frac{|S_N - S_P|}{S_N}; \quad (4)$$

$$\text{Жорсткість кліті при непаралельності валків} \quad M_N = \frac{S_N \Delta P}{\Delta S_N - \Delta S_L}; \quad (5)$$

де Q - сила розпору валків калібратором;

S_L, S_C, S_N - прирости розхилу валків під дією калібратора;

$\Delta S_L, \Delta S_P$ - зміна міжвалкового зазора по краях бочки валків відносно середини;

P_N, P_P - сили, що сприймаються месдозами, при навантажуванні-розвантажуванні кліті калібратором;

P_N, S_N - номінальні значення сил і розхилів валків;

S_N, S_P - середні значення розхилів валків при навантажуванні-розвантажуванні кліті калібратором;

ΔP - приріст сили.

Масив вихідних даних, обчислених за формулами 1 - 5, а також відкоректована НСХ месдоз вводяться в САР для формування керуючих команд на позиціонування виконавчих механізмів, які компенсують пружну деформацію кліті і забезпечують прокатку листа номінального профілю.

При використанні для розрахунку стріли прогину валків формули Ларке коефіцієнт, який враховує різну ширину прокату, обчислюється із співвідношення V_{min}/V_{max} , (див. рис. 3), що забезпечується двома або чотирма гідродомкратами калібратора сили і деформації [9, 13, 27-29, 31, 33, 35, 36] .

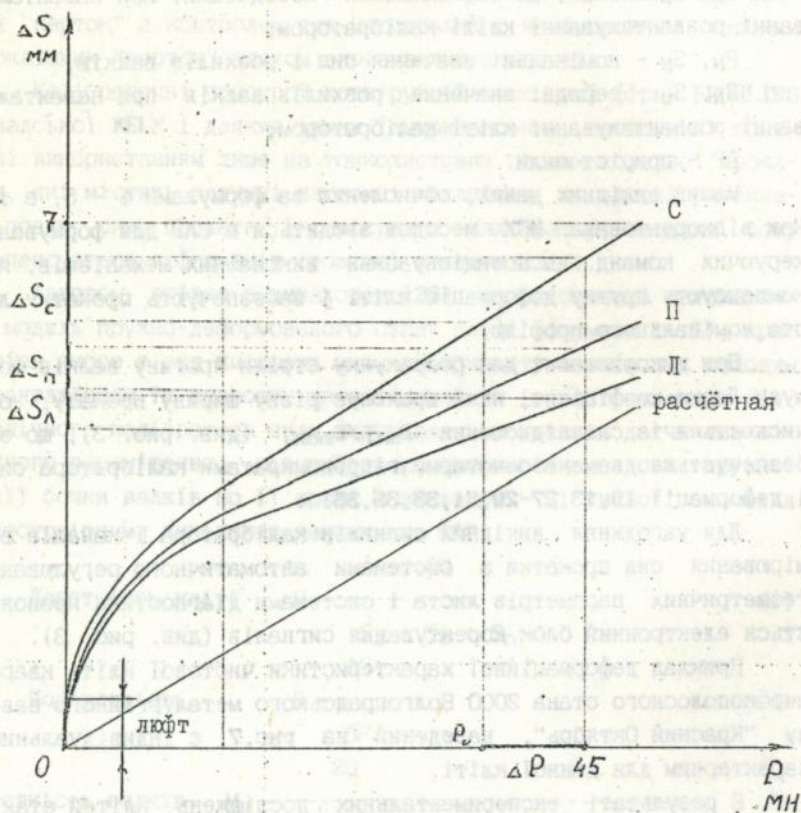
Для узгодження вихідних сигналів калібратора і каналів вимірювання сил прокатки з системами автоматичного регулювання геометричних параметрів листа і системами діагностики пропонується електронний блок коректування сигналів (див. рис. 3).

Приклад деформаційної характеристики чистової кліті кварто широкополосного стану 2000 Волгоградського металургійного заводу "Красний Октябрь", наведений на **рис.7**, є індивідуальним, характерним для данної кліті.

В результаті експериментальних досліджень клітей станів різних типів (одно- і багатоклітьових) виявлено заниження реальної характеристики порівнянно з розрахунковою на 18...32 %.

Четвертий розділ присвячено проблемам конструкції, технології і метрологічних властивостей компактних гідродомкратів (**рис.8**) - основних виконавчих органів калібраторів сили і деформації. В даному випадку розв'язано проблему створення зразкових засобів навантажування і виміру великих сил (до 30 МН), що використовують високі тиски рідини (до 100 МПа) і мають малі габарити, обумовлені максимальним розхилом валків (до 200 мм).

Враховуючи умови експлуатації - невеликий міжвалковий зазор, пружну деформації кліті (до 12 мм), пов'язані з ними перекося, зміщення, люфти в рухомих спряженнях елементів кліті -



С - в середині бочки валка;

П - з боку привода;

Л - з боку перевалки.

Рисунок 7 - Жорсткість кліті, що виявлена калібратором сили і деформації УСГ-45/3

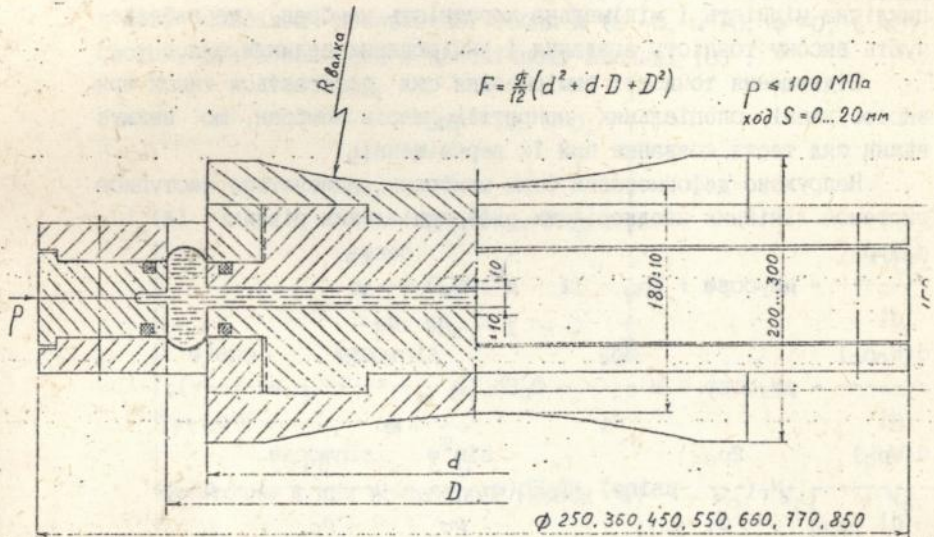


Рисунок 8 - Силонавантажувачий і вимірювальний гідродомкрат типу "мембранна коробка"

сформульовано і вирішено завдання створення точного силовідтворюючого і вимірювального приладу, малочутливого до неінформаційних параметрів [10, 16].

Гідродомкрат виконано у вигляді коробки з одногофровими багат шаровими металічними мембранами, що забезпечують перетворення тиску рідини в силу при відповідному ході [23, 24].

Основні вимоги, які пред'являються до зразкового приладу - циклічна міцність і мінімальна жорсткість мембран, що забезпечують високу точність завдання і вимірювання великих сил.

Підвищення точності вимірювання сил досягається також при застосуванні спеціальних покриттів шарів мембран, що знижує вплив сил тертя ковзання при їх переміщенні.

Напружено-деформований стан мембрани описується наступною системою лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь [4]:

$$\begin{aligned}
 \frac{d(M_r \rho_c)}{dl} &= \mu M_r \cos \varphi + W \rho_c - (1 - \mu^2) v \Phi_H D \cos \varphi; \\
 \frac{d(N_r \rho_c)}{dl} &= \mu N_r \cos \varphi + W \frac{2 \rho_c}{d_1} - \Phi_p E h \left(\omega \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{\rho_c} - u \frac{\cos^2 \varphi}{\rho_c} \right); \\
 \frac{d(W \rho_c)}{dl} &= -N_r \left(\frac{2 \rho_c}{d_1} - \mu \sin \varphi \right) + \Phi_p E h \left(\omega \frac{\sin^2 \varphi}{\rho_c} - u \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{\rho_c} \right) - q \rho_c; \\
 \frac{d\omega}{dl} &= v - u; \\
 \frac{du}{dl} &= N_r \frac{1 - \mu^2}{E \Phi_p h} + \omega \left(\frac{2}{d_1} + \mu \frac{\sin \varphi}{\rho_c} - \frac{\cos \varphi}{\rho_c} \right) - \frac{\mu \cos \varphi}{\rho_c}; \\
 \frac{dv}{dl} &= M_r \frac{E \Phi_p h}{E \Phi_H h^3} - v \mu \frac{2}{\rho_c (1 - \mu^2)},
 \end{aligned} \tag{6}$$

де M_r і N_r - момент і зусилля відповідно, що діють в радіальному напрямі;

W - зусилля, що діє в напрямі нормалі;

L - крок інтегрування вздовж твірної гофра;

φ - пів центрального кута гофра;

v - зміна цього кута від деформації мембрани;

u і ω - осьове і радіальне переміщення серединної

поверхні гофра;

D - циліндрична жорсткість мембрани;

Φ_n і Φ_p - інтегральні функції пластичності матеріалу;

E і μ - модуль пружності і коефіцієнт Пуасона відповідно;

ρ_c - радіус кривини серединної поверхні гофра;

q - питомий тиск рідини.

Розв'язок системи (6) не можна одержати у вигляді елементарних функцій. Для нашого випадку, прийнявши граничні умови в зоні найбільш небезпечної точки A ($u=0, \omega=0, \varphi=0, v=0$), систему можна записати в канонічному вигляді [8] :

$$\begin{array}{l|l} dM_r & | \\ \hline --- - \theta M_r - W = 0; & | \\ dl & | \\ dN_r & | \\ \hline --- - \theta N_r - vW = 0; & | \\ dl & | \\ dW & | \\ \hline --- + vN_r - q = 0. & | \\ dl & / \end{array} \quad (7)$$

Тут $\theta = \frac{\mu}{\rho_c}$, $v = \frac{2}{d_1}$.

Для точки A при початкових умовах $W|_{l=0} = W_0$, $N_r|_{l=0} = N_0$,

$M_r|_{l=0} = M_0$ у припущенні $N_0=0$ розв'язок системи приймає вигляд:

$$\begin{array}{l|l} M_r = M_0 e^{q l} + \frac{C_2 (W_0 + v) (e^{q l} - 1)}{\theta} + \frac{v C_2 (e^{q l} - e^{k_2 l})}{k_2 (k_2 - \theta)}; & | \\ N_r = \frac{q}{v} + C_2 e^{k_2 l}; & | \\ W = W_0 + v \frac{C_2}{k_2} (1 - e^{k_2 l}). & | \end{array} \quad (8)$$

$$\theta \pm \sqrt{\theta^2 - 4q^2}$$

Тут $k_{1,2} = \frac{\theta \pm \sqrt{\theta^2 - 4q^2}}{2}$ - корені характеристичного рівняння,

$$C_1 - \frac{k_1(N_0 - q/v)}{k_1 - k_2}, C_2 - \frac{k_2(N_0 - q/v)}{k_1 - k_2} - \text{сталі інтегрування.}$$

Із аналізу цього розв'язку виходить, що із збільшенням L зусилля W зменшується незначно, Nr і момент Mr зростають, причому Nr збільшується незначно, що підтверджує правильність прийнятого нами припущення $N_0 = 0$.

Результат аналітичного дослідження напружено-деформованого стану мембрани навколо точки A добре погоджується із фізичною сутністю процесів, що відбуваються в матеріалі мембрани при роботі гідродомкрата.

Таким чином, розроблено методику розрахунку напружено-деформованого стану мембрани для нових гідродомкратів.

Рівноважний стан мембрани гідродомкрата при дії на її жорсткий центр зусилля P з одного боку і компенсуючого тиску p з іншого можна записати у вигляді:

$$P = p[F \pm \Delta F(s)] \pm Q(s, T_c) - G, \quad (9)$$

де F і ΔF - ефективна площа мембрани і її зміна при переміщенні жорсткого центра, що обчислюється за відомими формулами;

$Q = ks + k_1 ds/dt$ - сила пружності матеріалу мембрани;

T_c - сила тертя ковзання між шарами багат шарової мембрани;

$G = \text{const}$ - маса жорсткого центру мембрани;

k і k_1 - коефіцієнти пружності і внутрішнього тертя мембрани відповідно.

Кількість циклів переміщень мембрани до її руйнування передбачається визначити, використовуючи фізико-механічні характеристики матеріалу при його випробуваннях на циклічний розтяг-стиснення з урахуванням границі витривалості матеріалу.

Відмінність конструкції довантажуючого домкрата (див. рис. 5, вид а) полягає в наявності перегородки, що розділяє мембранну коробку на дві порожнини, одна з яких - навантажувальна - з'єднана із насосом і використовується для компенсації стріли прогину валків і стиснення динамометру, інша - вимірювальна - з'єднана із зразковим манометром або датчиком і відіграє роль динамометра [29].

Пакели мембран виконано із неметалічних матеріалів, наприклад, із капрону або з переміжними металічними і капроновими шарами, що суттєво знижує жорсткість мембран і при відносно малому тиску забезпечує високу точність вимірювання сил стиснення.

Аналіз метрологічних властивостей цих гідродомкратів дозволяє зробити висновок, що їх похибка при ході $s=±4$ мм становить 0,05%, при $s=±6$ мм - 0,2%, при робочому ході $s=±10$ мм - 2,0%.

Короткоходові ($s = ± 10$ мм) мембранні гідродомкрати, крім використання в ролі зразкових засобів завдання і вимірювання великих сил в калібраторах для прокатних станів, можуть бути рекомендовані, враховуючи їх нечутливість до перекосів, для використання в ролі виконавчих механізмів великовантажних натискних пристроїв в клітях прокатних станів, в пресах виробництва надтвердих матеріалів (штучних алмазів) і інших пресах, в різних зважувачих і дозуючих пристроях, а також в ролі опор (гідрошарнірів) в інженерних конструкціях, спорудах тощо [6, 14, 30, 32, 34].

Результати досліджень покладено в основу розробки конструкторської документації на гаму однотипних мембранних гідродомкратів, що дозволяють вимірювати силу в межах від 0,1 до 30 МН.

В п'ятому розділі наведено основи синтезу методу функціональної діагностики каналів вимірювання сил прокатки металу.

При прокатці на силовимірювальні канали крім інформативних збурень (тиску металу на валки) діють неінформативні фактори, які спричиняють неконтрольований дрейф параметрів номінальної статичної (градуювальної) характеристики, що приводить до накопичення помилки вимірювань. Крім того, має місце динамічна похибка, що являє собою адитивну суміш інтегральної похибки фазових зсувів спектральної характеристики силовимірювального каналу відносно спектральної характеристики САРТ, а також помилка від дії на канал широкополосної завади внаслідок биття валків і стохастичного фактору різновтовщинності листа.

Математичну модель силовимірювального каналу можна зобразити рівняннями. **Статична модель:** $U = a_0 + A(Q)Q$. (10)

При переході від сил прокатки до сигналу керування натискними пристроями це рівняння зводиться до виду:

$$U = a_0 + A(Q)MK_S U_y, \quad (11)$$

де U - сигнал на виході силовимірювального каналу;

a_0 - зміщення характеристики каналу відносно нульового значення (адитивна похибка);

$A(Q) = a_1 + a_2Q + a_3Q^2 + \dots + a_nQ^{n-1}$ - поліном, що визначає чутливість каналу в діапазоні вимірюваних сил;

M - жорсткість кліті;

K_S - коефіцієнт передачі натискного пристрою;

U_y - сигнал керування натискними пристроями.

Динамічна модель:

$$U - (a_0 + a_0 \sin \omega_0 t) + [(a_1 + a_1 \sin \omega_1 t)_0 + (a_2 + a_2 \sin \omega_2 t) Q + \dots + (a_N + a_N \sin \omega_N t) Q^{N-1}] MK_S U_y;$$

$$Q = Q + Q(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t + \dots + \cos \omega_N t), \quad (12)$$

де $a_0, \dots, a_N, \omega_1, \dots, \omega_N$ - амплітуди і частоти діючих завод. Здійснюючи взаємні рефлексивні перетворення каналу і моделі, одержуємо такі функціональні перетворення:

$$U(1-A)MK_S K_m \beta \beta_m = a_0 + A(Q)MK_S(1 + K_m \beta_m)U_3, \quad (13)$$

$$U_m(1-A)MK_S K_m \beta \beta_m = k_m[a_0 + (1+A)(Q)MK_S \beta]U_3, \quad (14)$$

де U_3 - сигнал завдання на переміщення натискного пристрою;

U_m - коефіцієнт передачі моделі;

β, β_m - коефіцієнти "зворотнього" перетворення каналу і моделі.

Переходячи до інваріантного перетворення цих рівнянь відносно сигналу завдання, маємо:

$$U - a_0 \frac{A(Q)MK_S(1 + K_m \beta)}{K_m(1 + A(Q)MK_S \beta)} \quad (15)$$

$$U_m - K_m a_0 \beta \frac{K_m(1 + A(Q)MK_S \beta)}{K_m(1 + A(Q)MK_S \beta)}$$

При виборі параметрів K_m і β_m в області малих значень можна (15) спростити:

$$U - a_0 \frac{A(Q)MK_S}{K_m(1 + A(Q)MK_S)} \quad (16)$$

$$U_m - K_m a_0 \frac{K_m(1 + A(Q)MK_S)}{K_m(1 + A(Q)MK_S)}$$

Звідки одержуємо значення поліному чутливості, що відповідає діючій силі:

$$A(Q) = \frac{(U - a_0)K_m}{MK_S(U_m - K_m \beta U)} \quad (17)$$

Порівнюючи (10) і (17), рівняння для визначення сили прокатки в кліті відносно сигналів на виході каналу і моделі має вигляд:

$$Q = K_1 U_m - K_2 U, \quad (18)$$

$$\text{де } K_1 = \frac{MK_S}{K_m}, \quad K_2 = MK_S \beta.$$

Рівняння (18) реалізується на комплексі СМ 1810, що входить до системи функціональної діагностики.

Таким чином, вимірюючи сигнали на виході силовимірювально-

го каналу і моделі, масштабуючи їх відповідно до коефіцієнтів K_1 і K_2 , за результатом їх суми одержують значення сили.

Аналіз рівняння (18) з урахуванням статичної моделі (10) дозволяє зробити висновок: рівняння, яке визначає значення сили в кліті за результатом вимірювання сигналів на виході каналу і моделі, інваріантне відносно нелінійного поліному чутливості Q градуювальної характеристики, а це означає, що чисельне значення вимірюваної сили не залежить ні від статичних параметрів, ні від діючих шумів каналу і зовнішніх завад, що дозволяє здійснювати високоточні вимірювання, похибка яких визначається похибкою перетворення (18).

Моделювання рівняння (12) на комплексі ЕС-1045 при різних значеннях стохастичних складових a_i і ω_i в діапазоні характерних шумів показало незалежність результату вимірювання сил в кліті прокатного стану як від параметрів градуювальної характеристики силовимірювального каналу, так і від діючих параметричних збурюючих факторів і координатних завад.

У додатках наведені документи, які підтверджують результати проведених експериментів, розробок і досліджень гідравлічних пристроїв та способів, їх властивості; наведені технологія застосування калібраторів, розрахунки науково-технічного рівня та економічного ефекту від їх впровадження.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

В роботі на основі теоретичних і експериментальних досліджень вирішено актуальну проблему виробництва кондиційного за геометричними параметрами листового металопрокату при оптимальній експлуатації обладнання, ефективній роботі систем автоматичного регулювання геометричних параметрів (товщини, профілю, форми), систем настроювання клітей, систем діагностики.

При цьому автором **особисто одержані такі результати:**

1. Розроблені математична і фізична моделі визначення реальної конфігурації осередку прокатки під дією прямої розподіленої сили на валки, яка формує профіль, форму і товщину прокату, що дозволяє оптимізувати технологічний процес, скоротити витрати часу і праці на настроювання і освоєння стану, запобігати аварійних ситуацій за рахунок підвищення достовірності

вимірювання основних силових параметрів прокатки.

2. Вперше досліджені, розроблені, метрологічно атестовані і впроваджені в АСУТП прокатних станів нові прямі методи силового і деформаційного калібрування клітей як об'єктів керування, що дозволило підвищити якість інформації для формування команд дії на позиції силових виконавчих механізмів клітей прокатного стану, які регулюють міжвалкові зазори.

3. Вперше створено ряд модифікацій зразкових засобів нового покоління для вимірювання великих сил і малих переміщень, що дозволило успішно вирішити проблеми перевірки безпосередньо в клітях перетворювачів сили і переміщення, попереднього настроювання клітей, діагностики працездатності обладнання.

4. Для калібраторів вперше розроблено і досліджено гаму нових зразкових силовідтворюючих і вимірювальних гідродомкратів (динамометрів) типу компактної короткоходової коробки з одногофровими багат шаровими мембранами, що мають високі метрологічні властивості.

5. Розроблено інженерну методику розрахунку багат шарових пакетів одногофрових мембран, умови роботи яких вимагають поєднання високого тиску рідини з міцністю конструкції, достатньою податливістю при переміщеннях і високими метрологічними властивостями. Результати експериментальних досліджень мембран співпадають з розрахунковими.

6. Коефіцієнт науково-технічного рівня виконаних розробок 1,5 підтверджує їх високу конкурентноспроможність.

Створені нові методи та унікальні пристрої, які дозволяють одержувати високоякісний, кондиційний за геометричними параметрами листовий металопрокат, впроваджені на 12 прокатних станах України, Росії, Казахстану, Індії.

Економічний ефект від впровадження становив більш ніж 5000000 грн. на рік.

Концепція виконаної роботи рекомендується до використання, крім металургії, в машинобудуванні, гірничодобувній, мостобудівній і інших галузях промисловості, де існує необхідність точного відтворення і вимірювання великих сил і деформацій.

Основные положения дисертации викладені в друкowanych працях

1. Беляев Ю.В. Гартаковский П.П., Шевченко Н.Д. Тарировочно и нагружающее силоизмерительное устройство повышенной точности/ Автоматизация прокатных станов.-М.:Металлургия,1976.- С.258-262
(Автором розроблено, досліджено і впроваджено пристрій силового калібрування мессдоз у кліті блюмінга 1500 НТМК).

2. Беляев Ю.В. Гидравлическая установка для градуировки средств измерения усилий прокатки металла // АСУ ТП в прокатном производстве:Сб.науч.тр./Киевск.ин-т автоматики.-1978.-С.137-141

3. Беляев Ю.В., Лихницкий Ю.С., Гартаковский П.П. Гидравлическая установка для градуировки средств измерения усилий прокатки металла //Автоматизированные системы управления технологическим процессами в прокатном производстве:Сб.науч.тр./КИА.-1978.- С. 137-145. (Автором розроблено, досліджено і впроваджено пристрій силового калібрування мессдоз у клітках стану 2500 ММК).

4. Беляев Ю.В. Исследование одногофровой металлической многослойной мембраны для гидравлических измерителей больших усилий //Разработка и внедрение средств автоматизации и автоматизированные системы управления: Сб.науч.тр./КИА. - 1979.- С.68-72.

5. Беляев Ю.В. Возможности исследования клетей прокатных станов с помощью гидравлических силоизмерительных градуировочных устройств // Разработка и внедрение АСУ ТП прокатных станов.-М.: ЦНИИТЭИПриборостроения, 1979. - С.81-82.

6. Беляев Ю.В., Медведев Н.Ф., Рябец М.А. Двухполостной плунжерный гидроцилиндр имитатора гидравлических нажимных устройств прокатных станов //Информационно-измерительные устройства и системы прокатных станов:Сб.науч.тр./КИА - 1980. - С. 146-152.

(Автором досліджено метрологічні властивості імітатора).

7. Беляев Ю.В. Градуировочные устройства для клетей автоматизированных прокатных станов // Сталь. - 1981. - №7. - С.55.

8. Беляев Ю.В., Медведев Н.Ф. Расчёт мембраны измерительного гидродомкрата//Известия ВУЗов.Машиностроение.-1982. - №5. - С.127-131. (Автором розроблено математичну модель розрахунку).

9. Беляев Ю.В. Предпосылки экспериментального исследования на стане упругой деформации клетей и градуировка преобразователей усилий прокатки с помощью гидравлических силовоспроизводящих устройств//Информационно-измерительные устройства и системы

прокатных станов: Сб. науч. тр. / КИА. - 1983. - С. 64-70.

10. Беляев Ю.В. Гидродомкраты повышенной точности для измерения больших усилий // Современные средства измерения усилий на прокатных станах. - М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1983. - Вып.5. - С.19-21.

11. Беляев Ю.В. Опыт внедрения силовоспроизводящих градуировочных устройств на прокатных станах // Там же. - С.16-19.

12. Беляев Ю.В. Устройства для градуировки системы клеть - преобразователи усилий прокатки // Там же. - С. 12-16.

13. Беляев Ю.В., Чуфряков Л.Ф., Лисовицкий А.С. Эффективность внедрения силовоспроизводящих гидравлических устройств на прокатных станах // Там же. - С.9-12.

(Автором розроблено вихідні дані для розрахунку економоефекту).

14. Беляев Ю.В., Виноградов С.А. Оценка влияния трения в паре цилиндр-поршень на точность измерения усилий на прессе ДО-043 // Получение, исследование свойств и применение сверхтвёрдых материалов: Сб. науч. тр. / ИСМ АН УССР. - Киев, 1984. - С.10-12.

(Автором розроблено і впроваджено гідравлічний прилад та методику дослідження тертя у циліндрі пресу).

15. Беляев Ю.В. Устройства метрологического обеспечения в условиях эксплуатации средств измерения силовых параметров прокатки металла // Информационно-измерительные устройства и системы прокатных станов: Сб. науч. тр. / КИА. - 1986. - С.74-78.

16. Беляев Ю.В. Принципы расчёта и опыт создания гидравлических мембранных измерителей больших сил // Прогрессивные методы проектирования современных машин, их элементов и систем: Науч.-тех. сб. / НТО МАШПРОМ. - Горький, 1986. - С.150-151.

17. Беляев Ю.В., Холодов А.А., Шорохов Л.П. Устройство силозадающее гидравлическое УСП-50 для градуировки и поверки мессдоз прокатных станов // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжёлом, энергетическом и транспортном машиностроении. Металлургическое оборудование. - М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1989. - Сер.9. - Вып.11. - С.1-6. (Автором розроблено, досліджено і впроваджено пристрій калібрування мессдоз у клітях станів 3600).

18. Беляев Ю.В., Кащеева Л.И., Антюхов С.В. Контроль силовой нагрузки прокатного стана // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжёлом, энергетическом и транспортном машиностроении. Металлургическое оборудование. - М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1989. - Сер.9. - Вып.21. - С.1-6.

(Автором проаналізовано досвід силового калібрування клітей).

19. Метрологическое обеспечение измерения усилий прокатки металла/Ю. В. Беляев, Л. И. Кашеева, С. В. Антюхов, М. А. Виноградов //Современное направление совершенствования средств измерения сил и моментов сил: Сб. науч. тр. /ГПИ. -Горький, 1989. - С.7-8.

(Автором розроблено концепцію метрологічного забезпечення вимірювання сил прокатки металу).

20. Беляев Ю. В., Кашеева Л. И., Виноградов М. А. Силозадающие устройства для контроля клетей прокатных станов//Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжёлом машиностроении. Металлургическое оборудование. -М.: ЦНИИЭТяжмаш, 1990. - Сер. 9. - Вып. 11. - С. 1-3.

(Автором проаналізовано досвід роботи гідравлічних калібраторів сили та деформації на різноманітних прокатних станах).

21. Пат. 90435 НР Болгария, МКИ В21В 37/00. Устройство для градуировки силоизмерительных датчиков в клетях стана / Ю. В. Беляев, С. В. Антюхов, М. А. Виноградов (СССР), Е. Д. Дичев (НРВ), 1990.

(Автором розроблено термогідравлічне джерело тиску рідини).

22. Пат. 90436 НР Болгария, МКИ В21В 37/00. Магнитоупругий датчик давления/Ю. В. Беляев, Ю. И. Иванов, Н. С. Рубан (СССР), Е. Д. Дичев (НРВ), 1990. (Автором розроблено чутливий елемент датчика тиску).

23. Пат. 90437 НР Болгария, МКИ В21В 37/00. Гидравлическое исполнительное и силоизмерительное устройство для клетей прокатных станов / Ю. В. Беляев (СССР), Е. Д. Дичев (НРВ), 1990.

(Автором розроблено термогідравлічний пристрій тиску рідини).

24. А. с. 1659150 СССР, МКИ В21В 37/00. Устройство для градуировки средств измерения усилий прокатки металла в клетях листового стана/Ю. В. Беляев-Н4249497/02; Заяв. 27.05.87; Опубл. 30.06.91, Бюл. 24.

25. А. с. 1680398 СССР, МКИ В21В 37/00. Способ определения жёсткости прокатной клетки / Ю. В. Беляев, Н. С. Рубан, Э. В. Голован и др. - N 4468589/02; Заяв. 01.08.88; Опубл. 30.09.91, Бюл. 36.

(Автором розроблено принцип вимірювання жорсткості кліті).

26. А. с. 1696913 СССР, МКИ G01L 1/04. Динамометр /Ю. В. Беляев, Ю. Н. Вавилов, Т. А. Ворошуха и др. - N 4728281/10; Заяв. 08.08.89; Опубл. 07.12.91, Бюл. 45.

(Автором розроблено пристрій пружної деформації елемента).

27. Беляев Ю. В. Силозадающие гидравлические устройства УСР //Автоматизация управления листовыми прокатными станами. - Киев: Техніка, 1992. - С. 204-205.

28. Повышение точности контроля параметров напряженно-деформированного состояния клетей прокатного стана /Ю.В. Беляев, Л.И. Кашеева, С.В.Антохов, М.А.Виноградов//Информационно-измерительные устройства и системы прокатных станов: Сб. науч. тр./ КИА. - 1990. - С.41-43.

(Автором проанализовано стан кліті при навантаженні).

29. А.с.1731319 СССР, МКИ В21В 37/00. Способ градуировки датчика усилий прокатки металла в клетки стана и устройство для его осуществления / Ю.В.Беляев, Н.С.Чаленко, С.В.Антохов и др. - N 4856964/27; Заяв.07.08.90; Опубл.07.05.92, Бюл.17.

(Автором розроблено гідравлічний силовий пристрій).

30. Патент N320 Украины, МКП0 15-09. Пресс настольный гидравлический/Ю.В.Беляев, М.А.Виноградов, В.Ф.Гурин и др. (Украина). - N 330089; Заяв.23.02.93; Опубл.15.11.93, Бюл.4.

(Автором розроблено гідравлічну схему преса).

31. Беляев Ю.В. Новые технологии и средства метрологического обеспечения измерения сил и деформаций в оборудовании прокатки листового металла//Аэрокосмический комплекс: конверсия и технологии: Науч.-тех.сб. / ЖИТИ. - Житомир, 1996. - С.122-124.

32. Беляев Ю.В. Силовые исполнительные механизмы типа "мембранная коробка"/Гидромеханика в инженерной практике: Науч.тех. сб. / НТУУ"КПИ". - Киев, 1996. - С.25.

33. Беляев Ю.В. Силовая и деформационная калибровка клетей листопркатных станов // Автоматизация производственных процессов. - 1996. - N1. - С.87-91.

34. Беляев Ю.В. Мембранные исполнительные механизмы ГНУ клетей прокатных станов//Автоматизация производств. процессов. - 1996. - N1. - С.114-115.

35. Устройство для калибровки измерителей усилий прокатки и снятия характеристик прокатных клетей УСТ//Научно-производственная корпорация КИА"Киевский институт автоматики".История, достижения, перспективы.40 лет. - Киев:Техніка,1997. - С.31-32,101-103.

(Автором проанализовано результати розробки, досліджень і впровадженнь гідравлічних калібраторів сили клітей АСУТП станів).

36. Беляев Ю.В. Методы и устройства силовой настройки автоматизированных систем управления, регулирования и диагностики листопркатных станов //Управляющие системы и машины. - 1997. - N . - С.

А Н Н О Т А Ц И Я

Беляев Ю.Б. Методы и устройства силовой настройки автоматизированных систем управления прокатных станов: теория и практика. Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.08 - Вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, Киев, 1997.

Работа посвящена решению проблемы и созданию нового направления метрологического обеспечения, предварительной настройки и диагностики автоматизированного прокатного оборудования.

Исследованы, разработаны и внедрены в металлургической промышленности прямые методы, новые способы, математические и физические модели, гамма градуировочных средств (калибраторов) метрологического обеспечения измерения сил прокатки металла и деформации оборудования - клетей прокатных станов, что существенно упрощает и ускоряет настройку клетей, усовершенствует эксплуатацию систем автоматического регулирования геометрических параметров (толщины, профиля, формы) листового металлопроката, а также систем функциональной диагностики, позволяя эффективно, оптимально и безаварийно вести технологический процесс.

Разработаны новые конструкции и технологии изготовления, исследованы метрологические свойства короткоходовых компактных гидродомкратов типа "мембранная коробка", воспроизводящих и точно измеряющих большие силы (сжатия или распора), адекватные давлению металла на валки клетей стана при прокатке.

Исследована, разработана и опробована на практике методика расчёта однофазовых многослойных крупногабаритных мембран.

A B S T R A C T

Belyayev Y.B. Methods and devices for force calibration of automatic control systems for rolling mills: theory and practice.

Thesis for the Degree of Doctor of Technical Sciences, Speciality 05.13.08 - Computers, Systems and Nets, Elements and Constructions of Computers and Control Systems. Institute of Mathematical machine and system problems, NAS of Ukraine, Kiev, 1997.

The thesis is devoted to the problem solving and regulation of metrology creation for force calibration of automatic of automatized rolling mill equipment.

АВ 38.031

New direct methods, mathematical and physical models, family of calibrators for metrological provision of metal rolling forces measuring and rolling mill stand deformations evolution have been investigated, developed and applied in metallurgy. It gave the possibility to simplify and to speed up the roll stand calibration, to improve the quality of automatic control system operation for sheet rolling geometrical parameters (thickness, profile, configuration) regulation, as well as functional diagnostic systems. It permit to operate the rolling process more effectively, optimally and unaccidentally.

New design and manufacturing technology short travel portable hydrolic jacks by "diaphragm-box" type have been developed, the metrological propertes of them have been investigated. This jacks reproduce a big forces (clench or unclench), wich are the same as metal sheet pressing to rolls when rolling.

Multilayer large diaphragms, having low sensibility to real connections with equipment unperfections have been prualculated. New methods of precalculating for this diaphragms have been investigated, developed and tested.

АВ 38.031

К Л Ю Ч О В І С Л О В А

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ, ПРОКАТНИЙ СТАН, КЛІТЬ, СИЛА ПРОКАТКИ (ТИСК) МЕТАЛУ, ПРУЖНА ДЕФОРМАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ, КАНАЛИ ВИМІРЮВАННЯ СИЛОВИХ І ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ, НОМІНАЛЬНА СТАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ, ГРАДУЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ (КАЛІБРАТОР), НАСТРОЮВАННЯ СИСТЕМ ОБЛАДНАННЯ, ФУНКЦІОНАЛЬНА ДІАГНОСТИКА, КОРЕКТУВАННЯ СИГНАЛІВ, ГІДРОДОМКРАТ, МЕМБРАНА.