

БЕЗКОНТАКТНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ШТАБИ ПРОКАТУ

Вступ. Найважливішими завданнями листопрокатного виробництва є забезпечення високої якості продукції в умовах зростаючих вимог зі сторони її основних споживачів. Найбільш актуальною проблемою в цій галузі є отримання високих геометричних показників штаби за критеріями форми (планшетності) та профілю. Форма штаби визначається відхиленням її поверхні від ідеальної площини. Основними дефектами форми є неплоскостність, жолоблення та хвилястість. У стандартах більшої країни форма штаби, що вільно лежить на контрольному столі після порізу на листи, оцінюється за максимальною висотою хвилі A на заданому відрізку довжини або відстані між сусідніми гребнями хвиль X_0 (рис. 1). Застосовується також відносне відхилення від площини

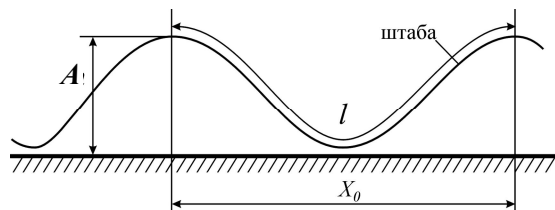


Рис. 1. Відхилення форми штаби від площинності

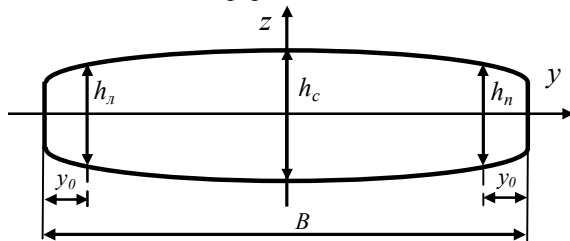


Рис. 2. Визначення профілю штаби

люсь, але не напруглося, то штаба матиме ідеальну площинність. При цьому по ширині штаби утвориться різниця механічних напружень $\Delta\sigma = \epsilon \cdot E = f(y)$, де E – модуль пружності металу штаби. Аналіз показує, що для високоякісного листа сталі ця різниця не перевершує $\Delta\sigma = 8 \text{ Н/мм}^2$. Різниця відносних витяжок по ширині штаби всього в $\Delta\epsilon = 0,01\%$ призводить до появи дефектів форми, а різниця в $\Delta\epsilon = 0,2..0,5\%$ не тільки неприпустимо погіршує форму, а й починає суттєво впливати на профіль і еквівалентна зміні напружень по ширині більш, ніж на $\Delta\sigma > 20 \text{ Н/мм}^2$. Типові епюри витяжок та напружень по ширині штаби мають параболічний вигляд. Однією з умов забезпечення високої форми та профілю штаби є керування положенням штаби відносно осі прокатки під дією різноманітних збурень.

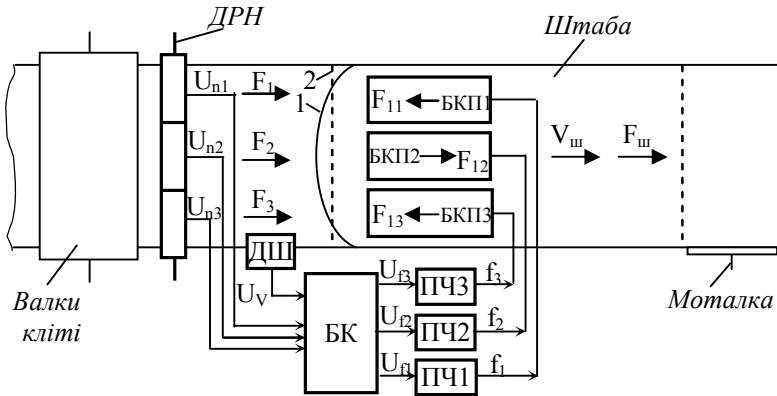
Найпоширенішими способами керування формою та профілем штаби є вплив на осередок деформації металу у кліті за рахунок вигину, осьового зміщення й перехрещення валків за допомогою гідросистем. Застосовуються також системи гнучкого регулювання профілю валків за рахунок нагнітання рідини в зазор між віссю валка і зовнішнього бандажу. Тобто, в існуючих системах вплив на осередок деформації металу здійснюється за рахунок механічної дії на валки кліті. Це вимагає створення нових конструкцій прокатних клітей, зменшує термін роботи валків, суттєво збільшує капітальні та експлуатаційні витрати. Крім того, забезпечення зростаючих вимог до високої точності керування параметрами штаби тільки механічними засобами стає проблематичним.

Постановка задач дослідження. Метою роботи є створення систем автоматичного керування формою та профілем штаби, а також положенням штаби відносно осі прокатки на основі оригінальної технології безконтактної електромагнітної (немеханічної) дії на штабу. Це відкриває перспективи подальшого підвищення якості листового прокату та впровадження систем на діючих прокатних станах без зміни конструкції клітей.

Матеріали дослідження. Основні недоліки існуючих систем керування можуть бути усунуті при використанні безконтактного способу керування [1], який ґрунтується на електромагнітному впливі на штабу з метою перерозподілу натягу по її ширині. Для реалізації способу керування використовуються спеціальні безконтактні керуючі пристрої (БКП), дія яких ґрунтується на принципі роботи лінійних асинхронних двигунів, вторинним елементом яких слугує безпосередньо штаба прокату [2]. БКП встановлюються по ширині штаби вздовж її продовжної осі. Величина та напрямок зусиль у штабі визначається частотою струмів в обмотках індукторів, тому кожен БКП живиться від індивідуального перетворювача частоти (ПЧ) з функцією двосторонньої провідності.

На основі вказаного способу розроблено безконтактні системи автоматичного керування формою (БСАКФ), профілем (БСАКП) та положенням штаби (БСАКПл). На рис. 3 представлена функціональна схема БСАКФ [3-

5], що реалізує критерій форми у вигляді рівності напружень по ширині штаби прокату. Для ліквідації типових порушень форми штаби (центральне жолоблення, хвилястість на кромках) достатньо мати три БКП, встановлених на виході з кліти (при необхідності глибокого керування планшетністю при складних видах порушення форми кількість БКП збільшується). До блоку керування (БК) надходять від датчика розподілу натягу (ДРН) сигнали натягу в середній частині і на кромках штаби, а також сигнал швидкості штаби від датчика швидкості (ДШ).



правій кромці F_1, F_2, F_3 . У БК розраховується

Рис. 3. Функціональна схема БСАКФ, яка реалізує критерій рівності напружень по ширині штаби.

цього середнього натягу (пунктирна лінія 2, рис. 3). Цим забезпечується незмінність загального натягу штаби $F_{ш}$, створюваного моталкою, та відсутність впливу на роботу інших систем регулювання параметрів штаби, наприклад, товщини, ширини, натягу, а також висока економічність цього способу керування. У БК формуються також сигнали, пропорційні відхиленням питомих натягів від середнього значення $\Delta U_1 = U_{\text{ср}} - U_{n1}$; $\Delta U_2 = U_{\text{ср}} - U_{n2}$; $\Delta U_3 = U_{\text{ср}} - U_{n3}$. У залежності від характеру розподілу питомих натягів штаби сигнали $\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3$ можуть відрізнятися за величиною, знаком та інтенсивністю зміни. Нехай для розглянутого випадку $\Delta U_1 < 0, \Delta U_2 > 0, \Delta U_3 < 0$. Отримані сигнали та сигнал швидкості штаби U_v формують завдання для перетворювачів частоти ПЧ1-ПЧ3 $U_{f1} = U_v + g_1 \Delta U_1$; $U_{f2} = U_v + g_2 \Delta U_2$; $U_{f3} = U_v + g_3 \Delta U_3$, де g_1, g_2, g_3 – функції керування. Завдяки цьому до відповідного БКП підводяться напруги живлення із частотами $f_1 = K_{11} U_{f1}$; $f_2 = K_{12} U_{f2}$; $f_3 = K_{13} U_{f3}$, де K_{11}, K_{12}, K_{13} – коефіцієнти передачі ПЧ1-ПЧ3 за каналом частоти. При цьому швидкості магнітних полів БКП1-БКП3 відповідно дорівнюють $V_{01} = 2\tau_1 f_1$; $V_{02} = 2\tau_2 f_2$; $V_{03} = 2\tau_3 f_3$, де τ_1, τ_2, τ_3 – полюсні розподіли БКП1-БКП3. Для розглянутого випадку $V_{01} < V_{ш}, V_{02} > V_{ш}, V_{03} < V_{ш}$, тому БКП2 створює спрямоване за рухом штаби рушійне зусилля F_{12} , збільшуючи натяг у середній частині штаби, а БКП1 і БКП3 – продовжні гальмівні зусилля (працюючи в генераторному режимі) F_{11}, F_{13} , що зменшують натяги на кромках штаби до розрахованого середньоарифметичного значення. При відсутності нерівномірності натягу магнітні поля всіх БКП рухаються зі швидкістю штаби $V_{01} = V_{02} = V_{03} = V_{ш}$, забезпечуючи режим ідеального холостого ходу пристроїв. У запропонованому методі керування формою здійснюється на рівні середньоарифметичного значення, тому механічні потужності, що витрачаються на збільшення питомих натягів дорівнюють механічним потужностям, що надходять при зменшенні питомих натягів тобто $P_{11} + P_{12} + P_{13} = 0$. Таким чином, БСАКФ споживає з мережі активну електричну потужність, яка дорівнює тільки втратам перетворення $P_{\Sigma} = P_{12} / \eta_{12} - P_{11} \cdot \eta_{11} - P_{13} \cdot \eta_{13}$, де $\eta_{11}, \eta_{12}, \eta_{13}$ – сумарні ККД систем БКП-ПЧ. Цим обумовлюється суттєвий енергозберігаючий ефект запропонованої системи.

Важливою перевагою кінематичного критерію форми штаби, що базується на епюрі швидкості металу, є врахування форми підкату. Необхідною та достатньою умовою отримання штаби без дефектів форми є однакова швидкість металу по ширині штаби на виході з валків кліти. Із створенням відповідних датчиків, які дозволяють вимірювати розподіл швидкості по ширині штаби з достатньою точністю, з'явилася можливість реалізації цього критерію. Функціональна схема відповідної БСАКФ показана на рис. 4 [6]. На відміну від попередньої системи до блоку керування БК надходять від датчика розподілу швидкостей (ДРШ) сигнали U_{v1}, U_{v2}, U_{v3} , які пропорційні відповідним швидкостям на лівій кромці, у середній частині штаби і на правій кромці V_1, V_2, V_3 . У БК розраховується середньоарифметичне зна-

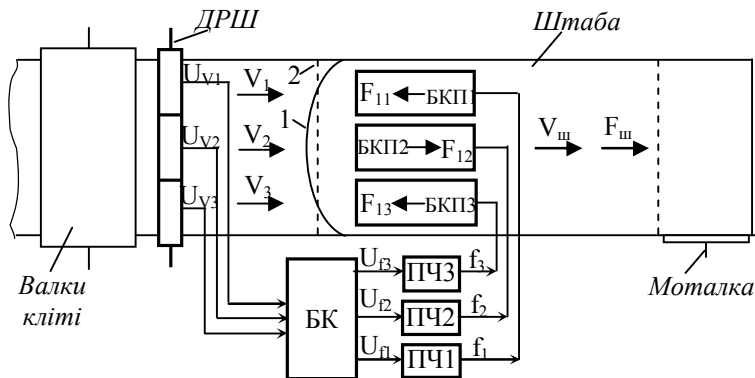


Рис. 4. Функціональна схема БСАКФ, яка реалізує критерій рівності швидкостей металу по ширині штаби.

них на виході з кліти (при необхідності глибокого керування планшетністю при складних видах порушення форми кількість БКП збільшується). До блоку керування (БК) надходять від датчика розподілу натягу (ДРН) сигнали натягу в середній частині і на кромках штаби, а також сигнал швидкості штаби від датчика швидкості (ДШ). При порушенні форми епюра питомих натягів штаби має параболічну форму (крива 1 на рис. 3). З виходів ДРН знімаються сигнали U_{n1}, U_{n2}, U_{n3} , які пропорційні відповідним величинам натягів на лівій кромці, у середній частині штаби і на середньоарифметичне значення натягу $U_{\text{ср}} = (U_{n1} + U_{n2} + U_{n3}) / 3$. Регулювання натягу по ширині штаби для підтримки її високої форми здійснюється саме на рівні високої форми здійснюється саме на рівні

чення швидкості $U_{\text{н\delta V}} = (U_{V1} + U_{V2} + U_{V3})/3$, на рівні якої здійснюється її регулювання для керування формою штаби. У БК формуються сигнали керування, що пропорційні відхиленням швидкостей металу від розрахованого середнього значення $\Delta U_1 = U_{\text{н\delta V}} - U_{V1}$; $\Delta U_2 = U_{\text{н\delta V}} - U_{V2}$; $\Delta U_3 = U_{\text{н\delta V}} - U_{V3}$, які формують завдання для перетворювачів частоти ПЧ1-ПЧ3. Перевагою розглянутої БСАКФ є можливість застосування не тільки на безперервних прокатних станах, а й станах, де прокатка штаби здійснюється без натягу.

Переваги двох розглянутих БСАКФ, що реалізують критерії рівності напружень та швидкостей металу по ширині штаби, використовуються у системі з гібридним критерієм форми, функціональна схема якої показана на рис. 5 [7]. Відмінністю даної системи є наявність двох датчиків – розподілу натягу ДРН та розподілу швидкостей ДРШ металу по ширині штаби. При порушенні форми з виходів датчика ДРН знімаються сигнали

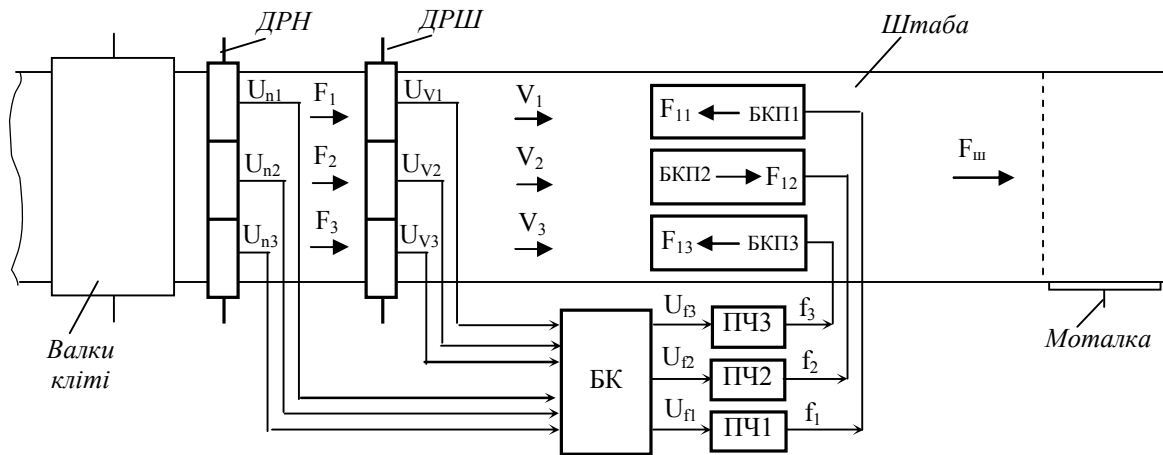


Рис. 5. Функціональна схема БСАКФ, яка реалізує гібридний критерій планшетності штаби.

U_{n1}, U_{n2}, U_{n3} , які пропорційні відповідним величинам натягів на лівій кромці, у середній частині штаби і на правій кромці F_1, F_2, F_3 . У БК розраховується середньоарифметичне значення натягу $U_{\text{н\delta F}} = (U_{n1} + U_{n2} + U_{n3})/3$ та формуються сигнали відхилення питомих натягів від середнього значення $\Delta U_{1F} = U_{\text{н\delta F}} - U_{n1}$; $\Delta U_{2F} = U_{\text{н\delta F}} - U_{n2}$; $\Delta U_{3F} = U_{\text{н\delta F}} - U_{n3}$. Отримані сигнали формують сигнали заданих швидкостей металу на лівій кромці, у середній частині штаби і на правій кромці $U_{V1*} = g_{11}\Delta U_{1F}$; $U_{V2*} = g_{21}\Delta U_{2F}$; $U_{V3} = g_{31}\Delta U_{3F}$, де g_{11}, g_{21}, g_{31} – функції керування. Одночасно з виходів датчика розподілу швидкостей ДРШ у БК надходять сигнали U_{V1}, U_{V2}, U_{V3} , які пропорційні відповідним швидкостям на лівій кромці, у середній частині штаби і на правій кромці V_1, V_2, V_3 , та розраховуються відхилення швидкостей металу від заданих значень $\Delta U_{1V} = U_{V1*} - U_{V1}$; $\Delta U_{2V} = U_{V2*} - U_{V2}$; $\Delta U_{3V} = U_{V3*} - U_{V3}$. Отримані сигнали формують завдання для перетворювачів частоти ПЧ1-ПЧ3. Таким чином, при виникненні порушень форми штаби система вирівнює розподіл натягу по ширині штаби до середньоарифметичного значення шляхом перерозподілу швидкостей металу по ширині штаби.

Для керування профілем штаби розроблена БСАКП, функціональна схема якої представлена на рис. 6 [8]. Важливою особливістю роботи системи є збереження незмінною площі поперечного перерізу штаби в ході керування профілем. Це забезпечує відсутність впливу на роботу інших систем керування прокатного стану, високий енергозберігаючий ефект й високу економічність процесу керування, коли енергія витрачається практично тільки на компенсацію втрат в елементах системи. Для ліквідації типових порушень у вигляді випуклого, увігнутого чи клиновидного профілю штаби достатньо мати три БКП, які встановлені по центру та під кромками штаби на вході чи виході з кліти. До блоку керування БК надходять від датчика розподілу товщини ДРТ сигнали U_{h1}, U_{h2}, U_{h3} , які пропорційні відповідній товщині металу на лівій кромці, у середній частині штаби і на правій кромці h_1, h_2, h_3 , причому для розглянутого на рис. 6 прикладу, $h_2 > h_1, h_2 > h_3$. У БК розраховується середньоарифметичне значення товщини штаби у поперечному перерізі, на рівні якого здійснюється керування

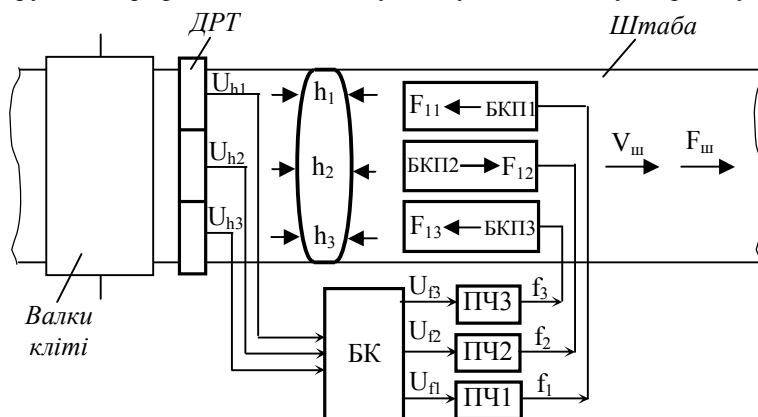


Рис. 6. Функціональна схема БСАКП штаби прокату.

середньоарифметичне значення товщини штаби у поперечному перерізі, на рівні якого здійснюється керування

профілем $U_{\text{н\ddot{o}h}} = (U_{h1} + U_{h2} + U_{h3})/3$ та формуються сигнали похибок, що пропорційні відхиленням товщини металу від середнього значення $\Delta U_1 = U_{\text{н\ddot{o}h}} - U_{h1}$; $\Delta U_2 = U_{\text{н\ddot{o}h}} - U_{h2}$; $\Delta U_3 = U_{\text{н\ddot{o}h}} - U_{h3}$. Отримані сигнали формують завдання для перетворювачів частоти ПЧ1-ПЧ3. Перевагою розглянутої БСАКП є можливість застосування не тільки на безперервних прокатних станах, а й станах, де прокатка штаби здійснюється без натягу.

Поперечне зміщення штаби відносно осі агрегатів прокатного стану, в тому числі відносно осі прокатки, під дією збурень призводить до погіршення профілю та форми штаби внаслідок зміни умов деформації у валках клітей, а також обумовлює порушення режимів роботи агрегатів прокатного стану.

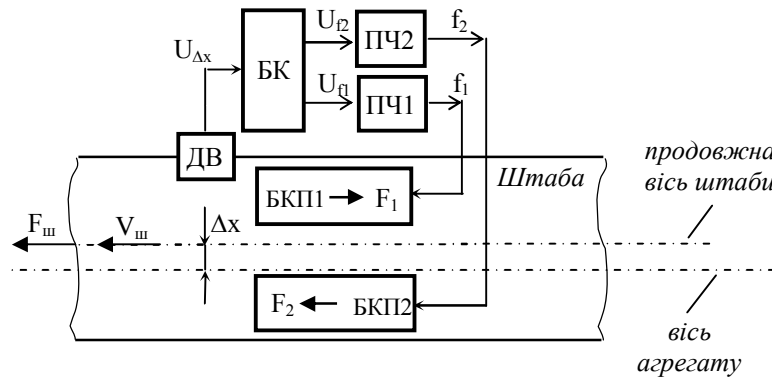


Рис. 7. Функціональна схема БСАКП штаби прокату

Функціональна схема БСАКП штаби по осі агрегатів представлена на рис. 7 [9]. Для центрування штаби використовуються два БКП, встановлені під її кромками. При відхиленні продовжної осі штаби від осі агрегату при її русі під дією натягу $F_{\text{ш}}$ із швидкістю $V_{\text{ш}}$ з виходу датчика відхилення (ДВ) до блоку керування БК надходить сигнал $U_{\Delta x}$ про величину поперечного зміщення штаби Δx та формуються завдання для перетворювачів частоти ПЧ1 та ПЧ2: $U_{f1} = -g_1 U_{\Delta x}$; $U_{f2} = +g_2 U_{\Delta x}$. Ці сигнали завдання однакові за величиною, проте різні за знаком, тому керуючі зусилля F_1 та F_2 також однакові за величиною, проте протилежно направлені.

Якщо сигнал відхилення штаби $U_{\Delta x}$ додатний, тобто штаба відхилилася праворуч відносно напрямку руху, то БКП1 створює гальмівне зусилля F_1 , збільшуючи натяг правої кромки штаби, а БКП2 – рушійне зусилля F_2 , зменшуючи натяг лівої кромки. Це призводить до повернення штаби на вісь агрегату. Завдяки тому, що зусилля F_1 та F_2 однакові, проте протилежно направлені, натяг штаби $F_{\text{ш}}$ залишається незмінним, а змінюється лише його перерозподіл по ширині штаби. Якщо ж сигнал відхилення $U_{\Delta x}$ є від'ємним, то напрямки зусиль F_1 та F_2 змінюються на протилежні. Завдяки застосуванню у методі керування безконтактних виконавчих органів центрування штаби здійснюється без механічного контакту з нею за допомогою протилежно-направлених продовжних зусиль, що діють у площині штаби. Це підвищує якість центрування та стійкість штаби.

Висновки. Основними перевагами запропонованих безконтактних системи керування є висока якість керування, яка забезпечується великою швидкістю безконтактного електромагнітного впливу на штабу; суттєве ресурсозбереження за рахунок збільшення виходу придатного металу та підвищення сортності прокату; висока надійність, що обумовлена простою конструкції виконавчих пристроїв та відсутністю механічного контакту між штабою та елементами систем керування; можливість впровадження на діючих прокатних станах завдяки компактності виконавчих елементів та незначним змінам діючого устаткування; незначне споживання електроенергії, обумовлене поверненням енергії гальмування до мережі; екологічна чистота системи, що пов'язана з відсутністю механічного шуму, пилу, випарів тощо.

Література.

1. Пат. 14504 Україна, МПК В21 В39/00. Спосіб керування натягом по ширині штаби / Попович М.Г., Островерхов М.Я. – Опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5.
2. Пат. 14506 Україна, МПК В21 В39/00. Пристрій для керування розподілом натягу по ширині штаби / Попович М.Г., Островерхов М.Я. – Опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5.
3. Пат. 14507 Україна, МПК В21 В37/00. Пристрій для автоматичного керування планшетністю штаби прокату / Попович М.Г., Островерхов М.Я. – Опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5.
4. Пат. 14508 Україна, МПК В21 В37/00. Пристрій для керування планшетністю штаби прокату / Попович М.Г., Островерхов М.Я. – Опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5.
5. А.с. 1585040 СССР, МКИ В21 В37/00. Устройство автоматического управления плоскостностью полосы / Н.Г.Попович, Н.Я.Островерхов, В.М.Пыжов и др. – Опубл. 15.08.90, Бюл. № 30.
6. Пат. 22411 Україна, МПК В21 В37/00. Пристрій для автоматичного керування планшетністю штаби прокату / Попович М.Г., Островерхов М.Я. – Опубл. 25.04.2007, Бюл. № 5.
7. Пат. 22004 Україна, МПК В21 В37/00. Пристрій для автоматичного керування планшетністю штаби прокату / Попович М.Г., Островерхов М.Я. – Опубл. 10.04.2007, Бюл. № 4.
8. Пат. 18745 Україна, МПК В21 В37/00. Пристрій для керування профілем штаби прокату / Попович М.Г., Островерхов М.Я. – Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
9. Пат. 18743 Україна, МПК В21 С47/00. Пристрій для центрування штаби прокату / Попович М.Г., Островерхов М.Я. – Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.