

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Бешти Дмитра Олександровича

на тему: «АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ ПЕРЕХІДНИМИ
РЕЖИМАМИ ЗМОТУВАННЯ СОРТОВОГО ПРОКАТУ
НА ОСНОВІ ЇХ ІДЕНТИФІКАЦІЇ»,

представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Актуальність теми дисертаційної роботи. Металургійна промисловість в Україні є провідної галуззю економіки, яка здійснює найбільший внесок до щорічного внутрішнього валового продукту (ВВП) держави на рівні 15%, а також понад 30% від загальних валютних надходжень (дані Укрдержстату щодо соціально економічного розвитку за 2018 р.). Разом з тим для сталого розвитку цієї важливої галузі необхідно постійно поліпшувати її конкурентоспроможність за рахунок інвестицій, впровадження новітніх технологій, інтенсифікації виробництва (оптимізації собівартості та втрат), збільшення продуктивності праці та її ефективності за рахунок комплексної автоматизації, зокрема, на основі вимог стандартів Industry 4.0.

Одним з найбільш перспективних напрямів скорочення втрат металу в промисловості є використання металопрокату, який поставляється в мотках. Зокрема, це дозволяє мінімізувати втрати прокату при його калібруванні для наступної металообробки. Остання пов'язана з таким параметром прокату як точність і стабільність його поперечних геометричних розмірів. Задля стимулювання виробництва круглого прокату для подальшого калібрування стандартами України встановлені класи точності для розмірів його перетину. При цьому межі допусків для круглого прокату високої точності більш ніж у три рази вужче, ніж у прокату звичайної точності, що дає змогу виробнику диференціювати ціни на прокат за класом точності. Так для звичайних класів вимоги на допуски на відхилення розмірів перетину круглого сортового прокату від номінальної величини згідно з ДСТУ 4738:2007 складають для звичайного класу точності В1: $\varnothing 14 - (+0,3; -0,5)$, $\varnothing 20 - (+0,4; -0,5)$, $\varnothing 28 - (+0,3; -0,7)$; для високого класу точності А1: $\varnothing 14 - (+0,1; -0,3)$, $\varnothing 20 - (+0,1; -0,4)$, $\varnothing 28 - (+0,1; -0,4)$, а для особливо високого класу точності АО1: $\varnothing 14 - (\pm 0,12)$, $\varnothing 20 - (\pm 0,15)$, $\varnothing 28 - (\pm 0,15)$. Також достатньо важливими є і характеристики самого мотка, такі як-то: відстань між витками у шарах мотка, щільність змотування, відсутність ушкоджень при транспортуванні і

прокату, що поставляється в мотках, в умовах світового скорочення споживання прокату є актуальним науково-технічним завданням, яке зараз фактично неможливо вирішити без автоматизації відповідних процесів керування.

Мотки сортового прокату діаметром 14 мм і вище отримують на моталках типу Гаррета змотуванням з натягом прокату для забезпечення його вигину в точці його зіткнення з мотком. Особливості змотування сортового прокату на моталках типу Гаррета, а саме стрибкоподібна зміна швидкості прокату в точці його контакту з мотком при переході до змотування нового шару, призводить до неконтрольованого росту натягу прокату між моталкою і випускною кліткою. Це негативно позначається на процесі змотування прокату і призводить до локального утягнення його профілю, що не дозволяє гарантувати отримання прокату високої точності при змотуванні його моталками даного типу. Попередній аналіз засвідчив низький рівень автоматизації, що реалізований на застарілих технічних засобах.

У процесі змотування сортового прокату, через останній взаємодіють як системи безпосередньо моталки Гаррета – системи стола моталки й укладальника, так і системи трайбапарата та випускної кліти. Прийнятий локально-функціональний підхід до керування даними механізмами обмежує можливості з компенсації негативного впливу технологічних збурювань на якість прокату і мотка в цілому. В даний час фактично відсутні дослідження з керування системами моталки при захопленні нею прокату, не розкриті причини окремих зривів крайніх витків прокату в процесі його змотування, що багато в чому визначає товарний вигляд мотка. Тим більше, відсутні обґрунтовані дослідження закономірностей керування системами, що забезпечують товарний вигляд мотка.

Отже, дослідження і розробка закономірностей, методів, моделей та інших сучасних науково-технічних рішень з автоматизації процесу керування технологічними системами, що взаємодіють при змотуванні сортового прокату на моталках типу Гаррета, для запобігання локального утягування профілю прокату на різних стадіях процесу змотування, і забезпечення високих якісних показників цього процесу на основі ідентифікації перехідних режимів є актуальним науковим завданням.

Структура та стислий зміст роботи.

Представлену дисертацію викладено на 257 сторінках загального тексту зі вступом, чотирма розділами, висновками, списком використаних джерел, що містить 148 найменування, та з 5 додатками.

У **вступі** автором обґрунтовано актуальність теми дисертації; сформульовано мету та задачі дослідження, представлено зв'язок з науковими програмами, планами, темами; визначено об'єкт, предмет та методи дослідження; висвітлено

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми дисертації; сформульовано мету та задачі дослідження, представлено зв'язок з науковими програмами, планами, темами; визначено об'єкт, предмет та методи дослідження; висвітлено основні результати, що містять наукову новизну та практичну значимість; наведено відомості про публікації, дані щодо особистого внеску здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві.

Слід зазначити, що при формулюванні актуальності бажано було ще навести більше відповідних чисельних показників стосовно обраного об'єкта дослідження для наочності.

У першому розділі дано аналіз літературних джерел та розглянуто особливості й проблеми процесу керування змотуванням сортового прокату на моталках типу Гаррета. Формалізовані завдання автоматизації процесу керування перехідними режимами змотування для запобігання локальних утягнень профілю прокату. Показано, що при змотуванні сортового прокату критерій керування має вигляд двостороннього обмеження натягу змотування на ділянці випускна кліть – моталка.

Встановлено, що найбільш критичними щодо обмежень величин натягу прокату є перехідні режими процесу змотування, а саме: процес захоплення прокату моталкою та процес переходу до намотування нового шару мотка.

Отже, автором було доведено, що актуальним і поки невирішеним науково-технічним завданням є дослідження і розробка відповідних закономірностей, методів, моделей та інших сучасних науково-технічних рішень з автоматизації процесу керування технологічними системами, що взаємодіють при змотуванні сортового прокату на моталках типу Гаррета, для запобігання локального утягування профілю прокату на різних стадіях процесу змотування, і забезпечення високих якісних показників цього процесу на основі ідентифікації перехідних режимів.

Разом із цим слід зазначити, що в розділі дещо забагато опису технології та електромеханіки процесу намотування сортового прокату майже в усіх підрозділах. Також бажана наявність структурних схем об'єктів керування, альтернативних систем автоматизованого керування (САК) з аналізом, впливів керування, інформаційних сигналів, збурень тощо. Іноді зустрічається загальновідома та необов'язкова інформація стосовно головних понять з математичного моделювання, ідентифікації, автоматизації процесів керування тощо.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено розробленню математичної моделі та виконанні аналітичних досліджень процесу транспортування прокату

трайбапаратом, процесу захоплення моталкою прокату, механізму зриву витків при переході до змотування наступного шару. Автором встановлені закономірності для автоматизованого керування цими процесами на основі ідентифікації точок зміни режимів при контролі параметрів об'єкту керування.

Аналіз процесу захоплення прокату моталкою дозволив виділити такі основні стадії: захід прокату в моталку, захоплення прокату столом моталки, захоплення прокату барабаном моталки.

Встановлено, що перехід від стадії захоплення прокату столом моталки до стадії захоплення прокату барабаном моталки відбувається при певному куті охоплення прокатом столу моталки $\varphi_{п_ни}$. На момент завершення захоплення прокату столом моталки швидкість обертання моталки повинна бути такою, щоб лінійна швидкість поверхні барабана збігалася з лінійною швидкістю прокату, а швидкість обертання моталки повинна підтримуватися постійною до завершення стадії захоплення прокату барабаном.

Стадія захоплення барабаном моталки закінчується, коли прокат охопить барабан моталки на певний кут - кут, при якому в прокаті виникає натяг заданої величини $\varphi_{б_зхв}$.

У результаті дослідження процесу захоплення прокату моталкою встановлено, що керування швидкістю обертання столу моталки має здійснюватися не за функцією часу, а з урахуванням залежності довжини прокату, який зайшов в моталку. Завершення процесу захоплення ідентифікується появою статичного струму навантаження моталки, що дорівнює заданому значенню струму змотування.

Встановлено, що подія «зриву витка» є наслідком зсуву точки переходу поточного і попереднього шарів відносно один одного та носить імовірнісний характер. Можливість зриву витка обумовлена відсутністю опори поточного витка в точці його переходу на новий шар з прокату попереднього шару, а сам зрив може бути ідентифікований на підставі збільшення швидкості моталки при верхньому положенні укладальника.

Встановлено, що для запобігання зриву витків необхідно, щоб кут повороту стола моталки після проходження укладальником фіксованої висоти підйому до його верхнього положення був менше такого ж кута повороту при намотуванні попереднього шару $\Delta\varphi_{дон(n+2)}$.

Запропоновано і обґрунтовано спосіб керування укладальником при досягненні ним крайнього положення, що забезпечує запобігання зриву витків, заснований на керуванні за кутом повороту барабана моталки, затримкою реверсу укладальника.

У роботі також були досліджені вплив трайбапарата на точність поперечних геометричних розмірів прокату в мотках і транспортуюча сила трайбапарата, яка виникає за рахунок малих обтиснень прокату.

Запропонована методика розрахунку транспортуючих зусиль трайбапарата при різній формі роликів при транспортуванні прокату до моталки.

Наведені результати розрахунків показують, що доцільно підтримувати коефіцієнт випередження трайбапарата до захоплення прокату моталкою на рівні 5 %, а не 10–15 %, як вважалося раніше.

Показано, що контроль якірного струму і швидкості обертання трайбапарата забезпечує повну параметричну ідентифікацію режиму транспортування прокату і забезпечує можливість автоматичного керування цим процесом.

Підсумовуючи все вищезазначене слід звернути увагу на те, що у тексті розділу дещо забагато опису електромеханіки взаємодіючих систем. Також тут отримано достатньо багато різних математичних моделей, але при цьому не акцентована увага на перевірці їх адекватності. Окремі висновки до розділу сформульовано у вигляді простих анотацій.

У **третьому розділі** виконано експериментальні дослідження процесу змотування сортового прокату, як об'єкту керування; розроблена комплексна модель ділянки змотування сортового прокату, що включає математичну модель натягу прокату на ділянці «випускна кліть – моталка» і модель систем, що беруть участь у змотуванні сортового прокату; досліджено процес змотування прокату на моделі за різними способами керування.

У результаті досліджень на моделі встановлено, що при відсутності контурів керування зі стабілізації натягу прокату на ділянці моталка-випускна кліть перехідний процес, викликаний реверсом укладальника і початком змотування наступного шару носить коливальний характер.

Для підвищення динамічної точності стабілізації натягу прокату на ділянці моталка-кліть було запропоновано використовувати зворотній зв'язок за натягом прокату на цій ділянці з оцінкою натягу за прогином прокату за кліттю.

Дослідження на моделі показали: при наявності контуру керування зі стабілізації натягу прокату на ділянці моталка-випускна кліть шляхом корекції струму змотування перехідний процес, викликаний реверсом укладальника і початком змотування наступного шару, також носить коливальний характер; при наявності контуру керування зі стабілізації натягу прокату на ділянці моталка-випускна кліть шляхом корекції швидкості обертання випускної кліті перехідний

процес, викликаний реверсом укладальника і початком змотування наступного шару, перестає носити коливальний характер.

Загалом зроблені автором висновки до розділу достатньо повно відбивають отримані результати, хоча залишається відкритим питання з приводу адекватності окремих розроблених моделей.

У **четвертому розділі** виконана розробка структури системи керування взаємозалежними системами ділянки змотування сортового прокату, розробка системи керування укладальника моталки, розробка системи керування взаємозалежними системами ділянки моталок.

Результати досліджень знайшли гідне відображення в проектних рішеннях з розробки САК моталок і термотрас дрібносортно-дротового стану типу «250/150-6» для ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Як показали промислові випробування, до впровадження системи керування в момент захоплення рист струму складав від 5 до 20 % від номінального режиму, після – момент захоплення прокату моталкою не ідентифікувався. До впровадження системи керування ефект зриву витків спостерігався на кожному 3–5 мотку, після впровадження системи на 10–20 мотку.

Зроблені автором висновки до розділу в цілому адекватно відбивають отримані результати, проте, на думку опонента, тут не вистачає результатів досліджень якісних характеристик САК та критеріїв керування у формалізованому вигляді.

У загальних **висновках** наведено наукові та практичні результати, отримані дисертантом. Додатки містять матеріали, що розкривають та доповнюють основний зміст розділів, а також копії актів впровадження основних наукових та практичних результатів дисертаційної роботи, які підтверджують та доповнюють отримані автором результати.

При цьому деякі узагальнення мають вигляд анотації. Також бажано було б додати додаткові аналітичні показники в окремі висновки.

Загалом дисертацію можна вважати закінченою науковою працею, яка повністю розкриває основні наукові положення та практичні результати, що отримані автором.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій.

Дослідження, які проведено в межах рецензованої дисертаційної роботи, мають належний ступінь обґрунтованості. Підстави і положення, на яких

ґрунтується побудова запропонованих методів, є достатньо зваженими та коректними.

Для рішення поставленого завдання використовувалися аналітичні методи механіки й опору матеріалів для досліджень закономірності захоплення прокату моталкою і зриву крайніх витків, методи обробки металу тиском для встановлення закономірностей, що описують транспортування прокату трайбапаратом, теорії автоматичного керування, математичне моделювання для дослідження процесу змотування прокату з натягом і керування даним процесом, механіки і гідравліки при розробці системи укладальника.

Водночас якість отриманих результатів підтверджується коректністю допущень, відповідності розроблених математичних моделей фізичним процесам в системах, відповідності результатів моделювання параметрам, які спостерігаються у реальному технологічному процесі, результатами впровадження АСК моталок і термотрас моталок ДСДС 250/150-6 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг. Наукові положення дисертації мають належне відповідне теоретичне обґрунтування. Матеріали дисертаційної роботи апробовані на наукових конференціях, зокрема міжнародних.

Наукові результати та їх наукова новизна.

Основними значущими і новими результатами в дисертаційній роботі є такі досягнення:

- удосконалено метод керованої зміни швидкості обертання столу моталки при захопленні прокату через створення моделі взаємодії прокату зі столом і барабаном моталки під час захоплення прокату моталкою, які забезпечують надійне захоплення прокату моталкою та своєчасний перехід до режиму змотування прокату з натягом із запобіганням ривків натягу і локального утягування профілю прокату;
- вперше обґрунтовано метод керування укладальником шляхом застосування розрахунку за встановленою залежністю, який полягає у зміщенні точки (висоти) реверсу укладальника поточного шару відносно точки реверса укладальника попереднього шару на відповідну величину, що на відміну від відомих методів, дозволяє запобігти зриву крайніх витків при відсутності реборд та пов'язане з цим явище ривків натягу і локального утягування профілю прокату;
- на основі аналітичних методів вдосконалено математичну модель взаємодії трайбапарата і прокату яка, на відміну від відомих та існуючих транспортних систем, дозволяє врахувати необхідне зусилля для транспортування прокату з використанням як гладких, так і профільованих роликів, що дозволяє

зменшити деформацію поверхні сортового прокату при його транспортуванні трайбапаратом;

– набув подальшого розвитку підхід до налаштування режиму транспортування прокату, що базується на теоретичних розрахунках швидкісних параметрів транспортування, який, на відміну від відомих підходів, дозволяє зменшити коефіцієнт випередження до 5% на основі параметричної ідентифікації режиму транспортування і обтиску прокату через контроль якісного струму і швидкості обертання трайбапарата, що у результаті підвищує транспортуючі властивості.

Основні наукові результати і положення проведених досліджень є достовірні й обґрунтовані аналітично з використанням теорії інформації, теорії ймовірності, математичної статистики та теорії цифрового опрацювання даних.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблено алгоритми програмно-технічної реалізації керування змотуванням прокату моталками дрібносортно-дротового стану ДСДС 250/150-6 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», які забезпечили мінімізацію ривків натягу прокату при його змотуванні. Це дозволило стабілізувати геометричні розміри перетину прокату у мотках на рівні вимог стандартів України до прокату високого класу точності. Обґрунтовано науково-технічні рішення і розроблено методичні підходи під систему керування укладальника, що забезпечує плавне регулювання швидкості його переміщення в широкому діапазоні швидкостей.

Результати роботи впроваджені в проектних рішеннях АСУ моталок і термотрас моталок ДСДС 250/150-6 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Отримані в дисертації теоретичні й практичні результати використовуються у навчальному процесі при підготовці фахівців зі спеціальностей: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «Комп'ютерна інженерія» у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях та їх апробація.

Ознайомлення з дисертацією та авторефератом дає змогу зробити висновок про необхідну повноту опублікування наукових результатів досліджень. Основні результати дисертації викладені в 10 працях, а саме: 6 – статей у наукових фахових виданнях України, з яких 2 – у виданнях, включених до міжнародної наукометричної бази Scopus, 4 – у збірниках наукових праць і матеріалах конференцій. Публікації дають повне уявлення про зміст та суть досліджень, їхню

новизну та практичну цінність. У них висвітлено всі розділи дисертації, що вказує на достатньо повну апробацію дисертаційної роботи.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та оформлення.

У вступі до дисертації зазначено особистий внесок автора в наукові праці, написані у співавторстві. Матеріали дисертації викладені логічно та послідовно на високому професійному рівні. Основні результати і положення є змістовними і вносять певний вклад у галузь автоматизації процесів керування.

Рукопис дисертації та автореферат оформлені згідно з вимогами.

Автореферат дисертації достатньо повно розкриває суть дисертації, її наукові положення, результати та висновки. Висновки підтверджують, що робота має важливе значення для науки і практики.

Зміст дисертації відповідає її назві, а зміст автореферату – основним положенням дисертації.

Зауваження по суті дисертаційної роботи.

Аналіз змісту та наповнення роботи показав наявність певних недоліків та зауважень, а саме:

До автореферату

1. Не розшифровані деякі скорочення, наприклад, «АСК», «СУРП» тощо.
2. Іноді зустрічаються «русизми» типу «таким чином», небажане застосування прийменник «по» тощо (с.1, 2, 5 тощо, а також у відповідних розділах дисертації).
3. На рис. 1 не вистачає легенди умовних позначень.

До дисертації

1. У першому розділі при ретроспективному огляді існуючих математичних моделей, методів ідентифікації та керування автор зосередився виключно на класичних детермінованих підходах. При цьому достатньо цікаво було б мати певні аналітичні порівняння з сучасними альтернативними підходами, наприклад, на основі синергетики, «м'яких обчислень» тощо.

2. У розділах 2-3 наведено близько 200 різноманітних математичних моделей стосовно об'єкту дослідження (механіка, статика, динаміка ТП тощо). Але при цьому достатньо важко встановити особистий внесок автора при отриманні більшості зазначених залежностей.

3. З рис 2.9 незрозуміло, якому саме профілерозміру прокату відповідає яка швидкість. Тим більш, що на практиці кожен профіль може прокатуватися на різних швидкостях. Доцільно було б побудувати такі залежності для найбільш типових профілерозмірів – мінімального, максимального, двох-трьох проміжних.

4. Перехід від формули (2.108) до (2.109) здійснюється за виконання умови, що радіус врізання в ролики трайбапарата більший діаметра прокату. Хоча з формули (2.108) слідує, що такою умовою є значне перевищення радіус врізання діаметру прокату поділеного навпіл, тобто – радіусу прокату.

5. В п.3.1 і в додатках відсутні методика експерименту. Також там незрозуміло, як була отримана формула (3.1).

6. Дослідження методів керування процесу змотування прокату на моделі здійснювалося лише для профіля круг діаметром 16мм. Доцільно було б перевірити отримані результати через моделювання інших профілерозмірів прокату.

7. Висновки окремих розділів мають вигляд простих анотацій. Наприклад, розділ 2 (1-й, 3-й, 8-й висновки), розділ 3 (1-й та 2-й висновки), розділ 4 (4-й, 5-й висновки) тощо. Також у більшості таких висновків відсутні аналітичні показники, які наведено у тексті відповідних розділів.

8. Список джерел містить замалу кількість іноземних (зокрема, англомовних) видань. При цьому тут не рекомендується зазначати підручники та/або навчально-методичні посібники.

Загалом наведені недоліки та зауваження не впливають на загальну позитивну характеристику дисертаційної роботи і не зменшують актуальність, наукову новизну та практичну значущість дисертаційних досліджень.

Висновок. Дисертаційна робота Бешті Д. О. є завершеною науково-дослідницькою працею, у якій узагальнено виконані дослідження, отримані нові, науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальне науково-технічне завдання дослідження і розробки закономірностей, методів, моделей та інших сучасних науково-технічних рішень з автоматизації процесу керування технологічними системами, що взаємодіють при змотуванні сортового прокату на моталках типу Гаррета, для запобігання локального утягування профілю прокату на різних стадіях процесу змотування, і забезпечення високих якісних показників цього процесу на основі ідентифікації перехідних режимів. Вказані зауваження не зменшують високого наукового рівня проведених досліджень. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації. Всі теоретичні результати, висунуті на захист, отримані автором самостійно та повністю відповідають паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування, зокрема, за такими напрямками досліджень:

- методи створення АСК процесами та комплексами різного призначення (пункт 1);

- моделювання об'єктів та систем керування (статичні та динамічні, стохастичні та імітаційні, логіко-динамічні тощо моделі) (пункт 3);
- ідентифікація та контроль параметрів об'єктів керування в різних галузях народного господарства (пункт 5).

Вважаю, що дисертаційна робота Бешти Дмитра Олександровича згідно з отриманими важливими теоретичними і практичними результатами, в цілому відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, які встановлює «Порядок присудження наукових ступенів», затверджений Постановою Кабінету Міністрів України № 576 від 24.07.2013 р., а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю – 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж

Криворізького національного університету

доктор технічних наук, професор

А. І. Купін



Відгук

Учений секретар



18.10.2019р

М.І. Тихоненко