

ВІДЗИВ ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Гончаренка Бориса Миколайовича на дисертацію Савеленка Григорія Володимировича «Автоматизація процесу керування подачею електрода-інструмента при розмірній обробці дугою», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування

1. Актуальність теми дисертації

Електроерозійна обробка в машинобудуванні є одним з найбільш прогресивних і економічно вигідних процесів. За допомогою електроерозійної обробки можна обробляти будь-який за твердістю електропровідний матеріал та отримувати поверхні і отвори такої конфігурації, які складно виконати іншими технологічними методами.

Різновидом перспективних високопродуктивних електроерозійних методів є спосіб розмірної обробки металів електричною дугою, який забезпечує більшу продуктивність і менші витрати електроенергії на обробку ніж електроіскровий або електроімпульсний способи.

Проблемі максимізації продуктивності та енергоефективності операції розмірної обробки деталей дугою приділяється велика увага, що особливо актуально у зв'язку із ростом цін й зменшенням лімітів на енергоносії, а також при впровадженні бережливого та точного виробництва на машинобудівних підприємствах. Враховуючи, що існуючі верстати розмірної обробки дугою лише частково автоматизовані, вдосконалення автоматичних систем керування дозволить позиціонувати верстати з такими системами як напіваавтомати і, створивши їх багатOVERSTATNE обслуговування, підвищити економічну ефективність їхнього використання.

При цьому очевидно, що й обґрунтування алгоритмів керування і вибір керувальних впливів, розроблення автоматичного керування і його програмного забезпечення є нетривіальними задачами. Дисертацію присвячено розв'язанню саме цих проблем, що обумовлює її **актуальність**.

Тому вважаю, що дисертація Савеленка Г.В., спрямована фактично на автоматизацію керування процесом розмірної обробки дугою (РОД), хоча в назві дисертаційної роботи декларується керування тільки подачею електрода-інструмента при РОД, є **складною і актуальною науково-дослідною роботою**, успішне впровадження результатів досліджень якої може поліпшити якість технологічних електроерозійних процесів в машинобудівній галузі.

Дисертація Савеленка Г.В. виконувалась на кафедрі Автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного університету (ЦНТУ) та пов'язана з виконанням серед інших наукових проблем у відповідності до планів ЦНТУ і МОНУ в межах науково-дослідних робіт: № ДР 0111U007657 «Розробка інформаційно-вимірювального комплексу для реєстрації стохастичних параметрів роботи електроерозійного верстата для розмірної обробки дугою» і № ДР 0111U007658 «Використання інформаційних технологій на базі кореляційно-спектрального аналізу вибірок осцилограм технологічних параметрів функціональних вузлів електроерозійного верстата для розмірної обробки дугою», в яких автор брав участь в якості виконавця, які тут згадані, бо без першої виконання було б дуже проблематичним, а результати другої автор обов'язково повинен був згадати в роботі.

2. Оцінка обґрунтованості та вірогідності наукових положень, висновків і рекомендацій

Викладені в дисертаційній роботі положення, теоретичні та практичні результати та рекомендації належним чином обґрунтовані. Їх достовірність не викликає сумнівів та підтверджена доречним використанням теорії автоматичного керування, ймовірності, статистики та автоматизованого приводу, спектрального аналізу, та теорії розмірної обробки дугою, а також

результатами експериментальних досліджень, використаних для розв'язання наступних задач:

- аналізу та синтезу математичних моделей процесу;
- обґрунтування алгоритмів керування в залежності від виробничої ситуації (режимів роботи об'єкта керування);
- розроблення алгоритмів та програмного забезпечення автоматичного керування.

Наукові положення, висновки та рекомендації автора, які зроблені ним на основі теоретичних досліджень, підтверджені:

- результатами надзвичайно великої кількості експериментів та варіантами систем автоматичного керування;
- результатами впровадження дисертаційних досліджень на:
 - ПАТ «ЗАВОД СЕГМЕНТ», акт від 23 квітня 2015 р;
 - ТОВ АСТРА-С, акт впровадження від 19 лютого 2015 р;
 - ПП «ДЦ Арт-Салон», акт впровадження від 15 червня 2015 р.
- в навчальному процесі на факультеті автоматики та енергетики Центральноукраїнського національного технічного університету при підготовці студентів спеціальності 151 – Комп'ютеризовані системи управління та автоматика (освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр), акт використання результатів від 17 травня 2017 р.
- результатами апробації досліджень в ході науково-технічних конференцій, у тому числі – міжнародних.

Викладене підтверджує висновок про обґрунтованість та вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації.

3. Оцінка новизни наукових положень

Савеленко Г.В. в своїй дисертаційній роботі поставив та розв'язав задачу підвищення продуктивності та енергоефективності процесу розмірної обробки дугою за рахунок впровадження системи автоматичного керування

процесом РОД, або, як він пише, «впровадження автоматичної електромеханічної системи подачі електрода-інструмента та розробки алгоритмів керування з врахуванням особливостей процесу». В ході розв'язання цієї задачі автор отримав ряд нових наукових результатів.

Вперше:

- запропоновано і реалізовано метод автоматичного керування швидкістю подачі з максимального значення до робочого при підведенні електрода-інструмента в зону обробки деталі;

- в якості керувального параметра використовується значення статичного тиску робочої рідини в електроерозійній камері, що дозволило скоротити машинно-допоміжний час обробки деталі за умов реалізації конкретних технологій;

- запропоновано і обґрунтовано застосування нового методу визначення рівня стабільності горіння дуги;

- запропоновано використання поділу миттєвого значення напруги електричної дуги на три інтервали: холостого ходу, стабільного горіння і короткого замикання з подальшим визначенням частоти попадання вимірюваної випадкової величини в заданий інтервал, що дозволяє стабілізувати параметри дуги.

Удосконалено:

- застосування методу моментів на випадок екстремального керування продуктивністю обробки деталі, яка розраховується за тиском робочої рідини, напругою і силою електричного струму, що дозволило розв'язати задачу підвищення продуктивності процесу розмірної обробки дугою;

- методику формування сигналу завдання для забезпечення максимальної продуктивності процесу обробки деталі;

- систему автоматичної подачі електрода-інструмента на задану глибину обробки.

Всі перераховані наукові результати є новими.

4. Важливість результатів дисертаційної роботи для науки і практики

Обґрунтовані методи, алгоритми та системи процесів керування РОД забезпечують можливість отримання якісно нових наукових підходів та проектних рішень з автоматизації процесу керування (за термінологією автора) подачею електрода-інструмента при розмірній обробці дугою, а фактично керуванням процесом РОД, які забезпечують можливість підвищення продуктивності і енергоефективності такого процесу. Результати дослідження знайшли застосування у практиці створення нових САК і впровадженні у проектних установах, на виробництві та в навчальний процес, що підтверджено відповідними актами.

Практична цінність роботи має декілька аспектів. По-перше, цінність результатів полягає в тому, що застосування розроблених Савеленко Г.В. методів, алгоритмів та підсистем керування подачею електрода-інструмента при розмірній обробці дугою значно скорочує час на створення такого роду систем та дозволяє впроваджувати сучасні інформаційні технології. З іншого боку, підсистеми стабілізації параметрів дуги та пошуку екстремума по продуктивності обробки дозволяють на основі розроблених алгоритмів в подальшому реалізувати автоматичне керування на основі теорії нечіткої логіки.

5. Повнота представлених основних наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 15 наукових праць, серед них 9 – у фахових виданнях України, з яких 4 у виданнях, занесених до міжнародних наукометричних баз даних («Google Scholar», РІНЦ), 5 тез доповідей і 1 патент на винахід, в яких з достатньою повнотою, що проаналізовано в дисертації, викладено зміст та наукові результати роботи. Таким чином вимога МОН України щодо кількості публікацій у переліку спеціальних видань виконана.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації відображено в опублікованих статтях досить повно. Вони, а також опубліковані матеріали за доповідями на конференціях, повною мірою відображають основний зміст дисертації.

Анотує дисертацію містить всю необхідну для оцінки роботи інформацію, зокрема основні положення, висновки та рекомендації, які наведено в дисертації. Зміст анотує дисертації та основних положень дисертації ідентичні.

Формування анотує дисертації відповідає вимогам МОН України формування таких робіт.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеності і формування

Формування дисертації відповідає прийнятим для наукової роботи нормам. Дисертація складається із вступу, 5-ти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Текст основної частини роботи викладений на 148 сторінках. Формує робота охайно і наочно, вона достатньо ілюстрована.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, подано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію щодо апробації роботи, її структури та обсягу, розкрито особистий внесок здобувача.

У **першому** розділі розглядаються особливості технологічного процесу РОД та визначені режими роботи об'єкта керування: режим підведення електрода-інструмента до заготовки; режим стабілізації параметрів процесу РОД; екстремальний режим по продуктивності обробки; режим подання ЕІ на задану глибину обробки та автоматичного вимикання приводу.

В результаті аналізу умов перебігу технологічного процесу РОД визначено схеми впливу основних чинників на процес формування деталі, до яких входять контрольовані, неконтрольовані, експлуатаційні та конструкторські.

Проводиться огляд і аналіз існуючих вітчизняних САК процесом РОД (на жаль крім іноземних) та здійснена постановка задач дисертаційного дослідження.

Аналіз існуючих систем керування виходить, що одного контрольованого параметру: величини міжелектродного проміжку, за яким відбувається керування процесом обробки деталі, недостатньо для повної автоматизації процесу РОД. Для підвищення енергоефективності процесу РОД необхідно розв'язати ще й наступні проблеми: підведення робочого інструмента в зону обробки при відсутності горіння дуги та контроль за глибиною обробки деталі, а також удосконалити процеси стабілізації горіння дуги та обробки деталі на екстремальних режимах по продуктивності.

У **другому** розділі на основі обраного об'єкта дослідження обґрунтовується вибір деталі та тип отвору для дослідження, обладнання для приводу подачі електрода-інструмента. В роботі є структурна схема досліджень та описані методики їх виконання. Проводиться обґрунтування та розробка технічних засобів для збору, збереження та оброблення експериментальних даних дослідження. Аналізується вибір параметрів, що підлягають запису та вибір датчиків і блоків нормалізації сигналу для перетворення їх значень до уніфікованих сигналів. Розроблено методики експериментальних досліджень наступних задач:

- визначення граничного значення тиску, при якому здійснюється зміна швидкості з підвищеної на робочу при підведенні електрода-інструмента в зону оброблення;
- визначення рівня стабільності процесу розмірної обробки (горіння дуги);
- формування сигналу завдання для забезпечення максимальної продуктивності процесу обробки деталі.

В **третьому** розділі проведений синтез багатоконтурної системи позиційного електропривода подачі електрода-інструмента за допомогою модального керування при подачі електрода-інструмента в режимі малих

переміщень, що відповідає роботі САК при екстремальному режимі роботи об'єкта. Виконаний спектральний аналіз параметрів об'єкта керування з метою визначення частотного діапазону та амплітуд збурювальних впливів. Автором встановлено, що в стохастичних процесах горіння дуги і змінювання параметрів приводу спектри викидів потужності по частотам не співпадають, що свідчить про дуже слабку кореляцію цих процесів.

В **четвертому** розділі на основі отриманих даних розроблені функціональні схеми та запропоновані математичні закони керування регулятором для підсистем САК РОД:

- автоматичного керування швидкістю подачі при підведенні електрода-інструмента до ЕЗ при відсутності горіння дуги до моменту її запалювання. Обґрунтовано граничне значення завдання регулятора з використанням критерію χ^2 Пірсона;
- автоматичної стабілізації параметрів електричної дуги в умовах стохастичного її характеру у перехідному та усталеному режимах;
- автоматичного пошуку екстремуму по продуктивності процесу РОД;
- автоматичного відмикання процесу РОД при досягненні заданої глибини обробки.

Обґрунтована методика визначення рівня стабільності процесу горіння дуги, що дозволило кількісно оцінювати стабільність процесу в реальному часі.

В **п'ятому** розділі описані розроблене програмно-алгоритмічне забезпечення системи автоматичного керування процесом, його апаратна реалізація та наведені результати випробування в реальних умовах роботи запропонованої САК.

У **висновках** приведено формулювання розв'язаної задачі та визначено її значення для підвищення продуктивності та енергоефективності процесу РОД. Наведені основні наукові та практичні результати, а також викладені рекомендації для їх застосування.

Огляд отриманих результатів підтверджує їх наукову новизну та практичну цінність. Використання розроблених методів, моделей, інформаційного та програмного забезпечення підтверджено актами впровадження у виробництво та навчальний процес.

7. Зауваження по дисертації

По роботі є ряд зауважень.

Зауваження з термінології

1. Незважаючи на чітко сформульований у назві роботи термін «керування подачею електрода-інструмента при розмірній обробці дугою» автор у роботі повсякчас в тому ж розумінні застосовує ще й такий близький йому по значенню - «керування процесом РОД», яке здійснюється фактичним переміщенням електрода-інструмента, але робить розуміння відміни між ними дуже важким і заплутує суть питання про об'єкт і предмет досліджень. В той же час застосування терміну «САК процесом РОД з чотирма підсистемами: автоматичного керування швидкістю подачі при підведенні електрода-інструмента, автоматичної стабілізації параметрів електричної дуги, автоматичного пошуку екстремуму по продуктивності процесу РОД та автоматичного відмикання процесу РОД при досягненні заданої глибини обробки » вносить ясність і прозорість у суті розробленої САК.

2. Не варто називати етап процесу РОД «екстремальним» тільки тому, що САК при роботі на цьому етапі здійснює пошук екстремуму продуктивності процесу РОД. Швидше саме САК при роботі на цьому етапі має ознаки екстремальної і здійснює екстремальне керування.

3. Терміни «функціональна, структурна, блок-схема, алгоритмічна чи логістична схеми» мають своє призначення, і їхнє довільне застосування однієї замість іншої є неприпустимим.

4. Лінійне переміщення – подача, процес переміщення – подання ЕІ, а є ще й швидкість подання, але автор не завжди вживає їх у правильному значенні.

Зауваження загального характеру

1. Запропонована в дисертації САК процесом РОД або «керування подачею ЕІ при РОД» є фактично системою зі змінною структурою, яку вона змінює в залежності від етапу роботи багаторежимного об'єкта керування, але автор ніде про це не згадує.

2. Розділ 3 роботи є занадто малим за обсягом (усього 10 стор.), не дуже виправдане його виокремлення. Доцільним було б його подроблення і приєднання до інших: підрозділ 3.1 – до визначення об'єкта керування у розділ 1, а 3.2 – до розділу 4, де йдеться про синтез алгоритмів керування і функціонування ПЛК.

3. З дисертації не зрозуміло, на який крок змінюється швидкість подачі (чи сама подача) на першому і другому діапазонах стабілізації при реалізації автоматичної підсистеми стабілізації.

4. Зміст і результати підрозділу 3.1 (кореляційно-спектральний аналіз параметрів об'єкта керування з метою визначення частотного діапазону та амплітуд збурювальних впливів) крім висновку про відсутність кореляції більше ніде в роботі не застосовано.

5. Предметом теорії модального керування є переміщення коренів характеристичного полінома замкненої системи керування у положення, при якому забезпечується бажана якість процесу керування. В роботі недостатньо висвітлено питання вибору коренів на основі вимог динаміки електромеханічної системи щодо часу перехідного процесу та величини перерегулювання.

6. Чому не використаний прямий метод вимірювання продуктивності при наявності датчика переміщення? Та чим пояснюється різне значення продуктивності процесу РОД при базовій і новій системах керування?

7. Чому при розрахунку економічної ефективності від впровадження нової САК керування подачею електрода-інструмента не

врахована додаткова економія від заміни гідравлічного приводу подачі на електромеханічний?

8. Деякі наукові результати дисертаційної роботи не ідентифіковані автором як нові і не внесені до відповідних розділів про новизну в дисертації та авторефераті:

- автором запропонована і реалізована для режиму максимальної продуктивності методика формування сигналу завдання для забезпечення максимальної продуктивності процесу обробки деталі;
- автором запропонований і обґрунтований спосіб визначення стабільності горіння дуги;
- розроблений метод дводіпазонної стабілізації, за допомогою якого запропоновано змінювати швидкість подачі електрода-інструмента для досягнення бажаного режиму по продуктивності;
- обґрунтований вибір граничного значення тиску, при досягненні якого регулятора запропоновано змінювати швидкість подачі електрода-інструмента з максимальної на робочу.

8. Оцінка дисертації в цілому

Дисертаційна робота Савеленка Григорія Володимировича «Автоматизація процесу керування подачею електрода-інструмента при розмірній обробці дугою» є завершеною, логічно обґрунтованою науково-технічною роботою, що містить новий розв'язок актуальної науково-прикладної задачі підвищення продуктивності та енергоефективності процесу розмірної обробки дугою. Вона відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування та задовольняє вимоги до кандидатських дисертацій, які встановлює «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника»,

затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 7 березня 2007 року, № 423.

Зауваження по роботі носять радше не імперативний, а лише рекомендаційний характер і не зачіпають зробленого раніше висновку про обґрунтованість, вірогідність та новизну її наукових положень, висновків та рекомендацій.

З огляду на викладене можна обґрунтовано стверджувати, що автор Савеленко Григорій Володимирович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент:

Професор кафедри
автоматизації та комп'ютерно-
інтегрованих технологій
Національного університету
харчових технологій,
доктор технічних наук, професор

Гончаренко Б.М. Гончаренко Б.М.

« _____ » _____ 2018 р.

