

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Шевченка Ігоря Васильовича «Методи, моделі та інформаційні технології моніторингу і оптимізації процесу вирощування монокристалів напівпровідників», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

Актуальність теми дослідження.

Ефективність реалізації бізнес-процесів виробництва безпосередньо пов'язана з поняттям оптимізації якості технічних, технологічних і організаційно-управляючих процесів, що забезпечує умови отримання якісної продукції. Фактично це означає, що цілям забезпечення якості підпорядковується весь комплекс науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок по модернізації технологічних процесів, оснащення технологічних установок, а також інформаційного та програмного забезпечення. Саме інформаційна підтримка, як процес, що орієнтований на супровід наукомістких виробничих процесів, дозволяє інтегрувати досвід управління рішень і знання про фізичні явища для проведення заходів, спрямованих на підвищення якості продукції, що забезпечує її конкурентоспроможність.

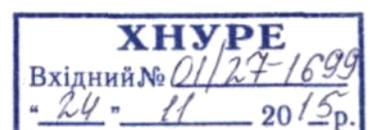
З цієї точки зору, дисертаційна робота Шевченка І.В. є актуальною і в теоретичному, і в практичному аспектах, оскільки вона присвячена вирішенню важливої науково-прикладної проблеми створення наукових основ інформаційної підтримки процесу вирощування монокристалів напівпровідників і процесів оптимізації параметрів технологічної оснастки для забезпечення підвищення якості продукції.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення.

Дисертаційна робота Шевченка І.В. складається з шести основних розділів і додатків. **В першому розділі** роботи автором проведено аналіз сучасного стану проблеми дослідження, а саме – аналіз існуючих систем моніторингу і оптимізації складних технологічних процесів, аналіз проблем управління складними технічними системами і процесами, аналіз існуючих моделей та інформаційних технологій контролю процесу вирощування монокристалів, аналіз інформаційних технологій моніторингу та розпізнавання ситуацій в інформаційно-аналітичних системах, аналіз інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в складних технологічних комплексах.

На підставі результатів проведеного аналізу автором були визначені головні задачі дослідження, спрямовані на досягнення мети дисертаційної роботи для створення теоретичних та прикладних основ підвищення ефективності виробництва і якості продукції шляхом розробки та реалізації методів, моделей та інформаційних технологій моніторингу та оптимізації процесу вирощування монокристалів.

В другому розділі автором виконана розробка концептуальних основ побудови інформаційно-аналітичної системи для забезпечення якості процесу вирощування. Для критерію оцінки управління обрана ймовірність пропуску



критичних ситуацій в ході реалізації процесу, що визначило спрямованість подальших досліджень.

Автором розроблено модель інформаційно-аналітичної системи управління якістю процесу вирощування, яка містить у своєму складі оцінку якості продукту та технологічного процесу, забезпечення набором функціональних підсистем моніторингу та оптимізації процесу виготовлення монокристалів, зокрема задачі оптимізації параметрів технологічного оснащення на стадії технологічної підготовки виробництва.

Сформульовано концепцію моніторингу температурних полів у процесі вирощування монокристалів, яка передбачає непряме вимірювання температури фонових нагрівачів, урахування поточного рівня розплаву в тиглі, відтворення температурного поля в розплаві та в зливку і виведення результатів вимірювань і обчислень на монітор оператора, що дозволяє підняти на новий рівень задачу контролю режиму процесу вирощування для забезпечення якості продукції.

До складу підсистеми підтримки прийняття оперативних рішень для корекції процесу вирощування монокристалів уведено моделі для вирішення функціональних завдань моніторингу та аналізу температурних полів розплаву і злитка, передбачено інтеграцію з АСУ ТП установки для вирощування монокристалів і з підсистемою техніко-економічного планування АСУ підприємства, що дозволяє приймати оперативні рішення в ході процесу вирощування з урахуванням як фізичних, так і економічних показників.

Отримано науковий результат: удосконалено метод побудови прикладної інформаційної технології підтримки прийняття рішень з діагностики та корекції складного технологічного процесу, шляхом додавання етапу формування комплексу моделей фізичних явищ технологічного процесу, що дозволяє здійснити моніторинг важливих параметрів процесу, які недоступні для прямих вимірювань і, тим самим, забезпечити якість кінцевого продукту.

Основну увагу у розділі приділено формалізованому опису структур і властивостей підсистем, які входять до інформаційно-аналітичної системи управління процесу вирощування монокристалів.

В третьому розділі автором розроблені методи, моделі та інформаційна технологія, призначені для одержання максимального обсягу даних про температурні поля в розплаві і зливку в процесі моніторингу, а саме нейромережева модель для непрямого моніторингу температурного поля, яка враховує конвективні теплові потоки, швидкість витягування, стадію процесу витягування, що дозволяє отримати ключові дані про якість процесу вирощування монокристала.

Розроблено метод моделювання явища кристалізації в процесі моніторингу, в якому застосований нечіткий клітинний автомат. Застосування нечіткого автомата дозволяє спростити процес моделювання і уточнювати значення теплових параметрів в зоні фронту кристалізації. Це необхідно для підвищення точності розрахунків теплового поля в процесі вирощування

монокристалів .

Запропоновано метод налаштування параметрів нечіткого клітинного автомата, заснований на пошуку оптимальних значень коефіцієнтів у зваженій t-конорме Лукасевича. Пошук здійснюється за допомогою адаптивного пошукового алгоритму. Таке налаштування дозволяє досягти прийнятної точності у відображенні динаміки модельованих процесів у різних за властивостями зонах фізичного середовища.

Розроблено інформаційну технологію моніторингу температурного поля в процесі вирощування монокристалів арсеніду галію, яка включає комплекс вказаних вище моделей і методів, а також набір взаємозв'язаних інформаційних процесів.

У четвертому розділі розроблено моделі, метод та інформаційна технологія підтримки задачі оптимізації теплових умов охолодження злитка в ростової установці. Це здійснюється за рахунок вибору конструктивних параметрів теплових екранів, які прямо впливають на режим охолодження вирощеної частині злитка, а, отже, і на його якість.

Запропоновано математичну модель задачі оптимізації геометричних параметрів теплового екрану та метод розв'язання задачі оптимізації геометричних параметрів теплового екрана, який, на відміну від відомих, містить математичну модель оптимізації з складовим критерієм і використовує еволюційну процедуру оптимізаційних розрахунків, що дозволяє прискорити і здешевити процес технологічної підготовки виробництва під заданий діаметр злитка.

Розроблено інформаційну технологію підтримки автоматизованого розв'язання задачі оптимізації теплових умов охолодження злитка на стадії технологічної підготовки виробництва шляхом вибору конфігурації теплового екрана ростової установи для вирощування монокристалів методом Чохральського.

П'ятий розділ присвячено питанням розробки моделей, алгоритмів та інформаційної технології підтримки прийняття оперативних рішень і управління для забезпечення якості процесу вирощування.

Вилучено знання з отриманої від експертів інформації про причинно-наслідкові зв'язки явищ і ситуацій у процесі вирощування монокристалів. Структурована оперативна інформація по процесу вирощування та сформовано переліки ситуацій і параметрів, що забезпечують якість процесу. Розроблено моделі та процедури перетворення значень параметрів процесу вирощування в значення ознак ситуацій.

Запропоновано нечітку модель розпізнавання ситуацій у процесі вирощування монокристалів, в якій оцінюється ступінь критичності ситуації, за допомогою коефіцієнтів значущості елементарних посилок кожного правила для прийняття рішень.

Розроблено ієрархічну базу знань для діагностики несприятливих ситуацій і видачі рекомендацій щодо корекції режиму процесу вирощування монокристалів, розроблено алгоритми розв'язання задачі корекції бази знань для вирішення задачі розпізнавання ситуацій і видачі рекомендацій.

Розроблено інформаційну технологію підтримки прийняття оперативних рішень у ході процесу вирощування монокристалів та інтегровану інформаційну технологію яка забезпечують якість процесу вирощування монокристалів.

В шостому розділі наведені функціональні та алгоритмічні структури підсистем «Моніторинг», «Порадник», «Екран», які в сукупності реалізують отримані автором в попередніх розділах результати. Детально розглянуті інформаційні бази, наведено алгоритми функціонування та інтерфейси користувачів.

Для доведення ефективності запропонованих методів и моделей проведено дослідження залишкових напруг і рівня дислокацій в злитках GaAs при використанні ІАС УЯПВ. Показано, що з впровадженням підсистем ІАС УЯПВ підвищилася якість продукції, що випускається за рахунок зниження середнього рівня щільності дислокацій в злитках арсеніду галію. Оцінено економічну ефективність впровадження ІАС УЯПВ на підприємстві "Галар". Річний економічний ефект від впровадження перевищує 85 тис. грн.

Методи, моделі та алгоритми моніторингу процесу нормалізації залізного лиття впроваджені в ПАТ «КСЗ». Програмний модуль, вбудований в SCADA-систему контролю режиму печі нормалізації забезпечує: контроль температурного режиму печі, контроль температури навколишнього середовища; контроль атмосферного тиску та вологості; контроль стану устаткування; корекцію уставок співвідношення «газ-повітря» в контурі управління пальниками печі з урахуванням значень вищенаведених параметрів. Застосування програмного модуля, що реалізує моніторинг і корекцію процесу нормалізації дозволило підвищити якість виливків.

У додатках наводяться статистичні дані експериментальних досліджень за допомогою математичної моделі непрямого виміру температури фонових нагрівача, методика використання моделі, та документи про практичне впровадження результатів дисертаційної роботи.

Зазначене дозволяє зробити висновок, що зміст дисертаційної роботи відповідає її назві. Рецензована дисертаційна робота є завершеним і цілісним дослідженням, матеріал її добре структуровано і характеризується логічним викладом, що узагальнює дослідження здобувача. Оформлення дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника». Спільне викладу матеріалів досліджень, наукових положень і рекомендацій забезпечує їх адекватне і належне сприйняття.

Автореферат в стислій формі повністю відбиває зміст дисертації і містить опис основних отриманих наукових результатів.

Основні результати дослідження. В дисертаційній роботі Шевченком І.В. особисто були отримані такі основні **наукові результати.**

Уперше запропоновано теоретико-множинну модель інформаційно-аналітичної системи керування процесом вирощування монокристалів, яка, на відміну від відомих, містить у своєму складі модель якості продукту, модель якості технологічного процесу, функціональну підсистему оптимізації

параметрів оснастки на стадії технологічної підготовки виробництва, функціональну підсистему моніторингу процесу вирощування, функціональну підсистему підтримки прийняття оперативних рішень щодо корекції режиму вирощування, відображення множини параметрів якості процесу на множини параметрів якості продукту і відображення впливу множини рішень функціональних задач на якість технологічного процесу, що дозволяє реалізувати комплексний підхід для забезпечення якості технологічного процесу та кінцевого продукту.

Уперше запропоновано метод настроювання параметрів нечіткого клітинного автомата, що моделює процес вирощування монокристалу, який засновано на пошуку оптимальних значень вагових коефіцієнтів у зваженій t-конормі Лукасевича, що дозволяє адекватно відобразити динаміку складного процесу вирощування монокристалів і реалізувати необхідну обробку даних для моніторингу цього процесу.

Удосконалено метод побудови прикладної інформаційної технології підтримки прийняття рішень з діагностики та корекції складного технологічного процесу, шляхом формування комплексу моделей моніторингу технологічного процесу, заснованого на розкритті фізичного уявлення процесу, що дозволяє здійснити контроль важливих параметрів процесу, які недоступні для прямих вимірювань і тим самим забезпечити якість процесу вирощування монокристалів.

Удосконалено метод розв'язання задачі оптимізації геометричних параметрів теплового екрана на етапі технологічної підготовки виробництва, шляхом створення моделі оптимізації зі складним критерієм і використання еволюційної процедури оптимізаційних розрахунків, що дозволяє здійснити інформаційну підтримку процесу технологічної підготовки виробництва і забезпечити якість кінцевого продукту.

Удосконалено нейромережеву модель для непрямого моніторингу температурного поля, яка, на відміну від відомих, ураховує конвективні теплові потоки, швидкість витягування, стадію процесу витягування, що дозволяє підвищити точність результатів непрямих вимірювань параметрів температурного поля для отримання важливих даних для оцінки якості процесу вирощування монокристалів напівпровідників.

Удосконалено метод моделювання процесу кристалізації для цілей моніторингу, шляхом застосування нечіткого клітинного автомата, що дозволяє спростити обчислювальний процес моделювання порівняно з відомими методами, та уточнювати значення коефіцієнта теплопровідності в розмитій зоні фронту кристалізації для актуалізації даних, необхідних для моніторингу процесу вирощування монокристалів.

Набула подальшого розвитку модель підсистеми підтримки прийняття оперативних рішень для корекції процесу вирощування монокристалів шляхом уведення бази математичних моделей для непрямого моніторингу та аналізу температурних полів розплаву та злитка, а також інтерфейсів для зв'язку із АСУТП вирощування монокристалів і з підсистемою техніко-економічного планування АСУ підприємства, що дозволяє приймати

оперативні рішення в ході процесу вирощування з урахуванням як фізичних, так і економічних показників.

Набула подальшого розвитку нечітка модель розпізнавання ситуацій у процесі вирощування монокристалів, шляхом оцінки ступеню критичності ситуації, і в якій для настроювання використовуються індивідуальні коефіцієнти значущості елементарних посилок кожного правила, що дозволяє спростити процес навчання та донавчання моделі при появі нових проблемних ситуацій.

Набула подальшого розвитку модель пошуку рішень для оператора у вигляді рекомендацій, шляхом уведення нечіткого представлення ситуації, яке враховує тренди параметрів процесу вирощування, що дозволяє гнучко реагувати на виникнення проблемних ситуацій та приймати адекватні рішення щодо корекції процесу вирощування монокристалів.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Викладені в дисертаційній роботі положення, а також отримані автором теоретичні і практичні результати роботи мають належний ступінь обґрунтованості. Достовірність викладених в дисертації основних наукових положень, висновків і результатів, отриманих здобувачем, забезпечується коректними постановками розв'язуваних у роботі задач та подальшим їх теоретичним аналізом, висновки якого узгоджуються з одержаними практичними результатами.

Достовірність одержаних наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується:

- коректним використанням апробованих математичних апаратів загальної теорії систем, теорії системного аналізу, теорії оптимізації, теорії множин, теорії моделювання, теорії ухвалення рішень, теорії нейронних мереж, теорії нечітких множин;

- експериментальною перевіркою, що підтверджується актами про проведення отриманих результатів;

- узгодженістю теоретичних положень з даними, отриманими при впровадженні результатів дисертаційної роботи, належною апробацією на міжнародних конференціях.

Важливість результатів дисертаційної роботи для науки. Отримані Шевченком І.В. в дисертаційній роботі результати є теоретичною базою для вдосконалення та подальшого розвитку науково-методичних основ управління та забезпечення якості складних технологічних процесів у багатьох галузях народного господарства. Розроблені науково-методичні підходи можна використовувати для побудови систем забезпечення якості продукції в складних технологічних комплексах, в яких здійснюється інформаційна підтримка і супровід як на підготовчих етапах виробничого процесу, так і на етапі виготовлення продукту за рахунок створення і застосування спеціалізованих інформаційно-аналітичних систем.

Практичне значення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Основні наукові положення забезпечення якості процесу виробництва монокристалів напівпровідників, розроблені моделі, методи, алгоритми та інформаційна технологія покладені в основу розробленої інформаційно-аналітичної системи забезпечення якості процесу вирощування (ІАС УЯПВ), до складу якої у вигляді функціональних підсистем увійшли: підсистема «Моніторинг», яка забезпечує надання необхідної оператору візуальної інформації щодо зміни температурних полів розплаву і злитка, підсистема «Порадник» яка забезпечує обробку даних для підтримки процесу розпізнавання ситуацій і видачу рекомендацій щодо корекції режиму процесу вирощування, підсистема «Екран», яка реалізує інформаційну технологію оптимізації умов охолодження злитка у процесі вирощування шляхом вибору оптимальній конфігурації теплового екрана на етапі технологічної підготовки виробництва, що забезпечує зниження ймовірності виникнення підвищеної щільності дислокацій в монокристалі.

Упровадження інформаційно-аналітичної системи на ПП «Галар» (м. Світловодськ) дозволило отримати суттєвий економічний ефект за рахунок зменшення витрат електроенергії, матеріальних ресурсів, трудовитрат і втрат прибутку на одиницю готової продукції при зниженні кількості нештатних ситуацій і відповідного зниження частки бракованої продукції у виробництві злитків арсеніду галію, завдяки використанню підсистем «Моніторинг», «Порадник» і «Екран», а також зменшення витрат на технічну підготовку виробництва злитків арсеніду галію за рахунок виключення експериментальних робіт на ростових установках при підборі розмірів і положення теплового екрана, завдяки використанню підсистеми «Екран». Це підтверджується відповідними актами про впровадження.

Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації. Розроблені автором методи, моделі та інформаційна технологія можуть бути використані при проектуванні систем управління виробництвом напівпровідникових матеріалів для забезпечення якості продукції. Розроблені підсистеми можуть бути впроваджені на ряді споріднених підприємств, що займаються виробництвом монокристалічних злитків. Окрім того вказані методи, моделі та інформаційна технологія можуть бути реалізовані на підприємствах хімічного та металургійного профілю.

Повнота викладу основних результатів у наукових виданнях та апробація. Основні результати, наведені в дисертаційній роботі, були опубліковані у 49 друкованих працях, у тому числі одна монографія, 25 статей у спеціальних наукових виданнях, які входять до переліку МОН України (12 статей опубліковані у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз) і 23 публікації – у працях наукових конференцій і форумів.

Опубліковані в авторефераті положення співпадають з основними положеннями дисертаційної роботи.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами. Робота виконувалася автором на кафедрі інформаційних управляючих систем

Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках держбюджетної НДР № 265 «Методи та моделі самоорганізації інфраструктури інтелектуального інформаційного середовища, що базується на використанні принципів хмарних обчислень» (№ ДР 0112U000207), а також спільно з Кременчуцьким національним університетом імені Михайла Остроградського (КрНУ), відповідно до цільової науково-практичної теми Міністерства промислової політики – «Дослідження впливу процесів тепломасопереносу на електрофізичні та структурні властивості монокристалічного кремнію і арсеніду галію в процесі їх вирощування» (№ ДР 0106U000056).

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності. Зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційної технології, напрямом досліджень за пунктами:

– розроблення наукових і методологічних основ створення та застосування інформаційних технологій та інформаційних систем для автоматизованої переробки інформації та управління;

– розроблення моделей і методів автоматизації виконання функцій і завдань виробничого й організаційного управління у звичайних і багаторівневих структурах на основі створення та використання нових інформаційних технологій;

– моделювання предметних галузей інформаційних систем (аналітичне, імітаційне, інфологічне, об'єктно-орієнтоване тощо) на підґрунті створення та застосування відповідних інформаційних технологій.

Зауваження до роботи. На жаль, дисертаційна робота Шевченка І.В. не вільна від недоліків, серед яких слід відзначити такі:

1. Назва дисертація не зовсім вдала, тому що у ній не відображено у явному вигляді проблема, яку вирішує автор дослідження. У такому вигляді назва відповідає, з урахуванням змісту, набору добре пов'язаних кандидатських дисертацій.

2. На думку рецензента, автор займається актуальною і дуже важливою проблемою забезпечення якості «продукту» (монокристалів напівпровідників), шляхом поліпшення та оптимізації «процесу» (підготовка виробництва, організація та управління технологічним процесом вирощування монокристалів). Затвердження про те, що при цьому вирішується проблема управління якістю є не зовсім коректним.

3. Нажаль відсутнє формальне уявлення моделей управління якістю. Є теоретико-множинне уявлення у вигляді кортежів, що є начальним системним уявленням для подальшої детальної формалізації, яка у явному вигляді не представлена.

4. У явному вигляді відсутнє формальне уявлення векторів (множин) показників якості «процесу» та «продукту» і зв'язок їх між собою.

5. Нажаль автор не використовує у роботі базу знань прецедентів, яка успішно, у теперішній час, використовується для розпізнавання проблемних (позаштатних і критичних) ситуацій в складних процесах и системах.

6. У третьому розділі розроблена лінійна регресійна модель. Немає

доказу, що її можна використовувати. Для такого складного процесу, як нагрів розплаву, найскоріше, уявлення буде нелінійним, що можливо отримати і перевірити за допомогою багатофакторного планування експерименту (наприклад, план повнофакторного експерименту).

7. На рис. 2.3 (стор. 77) у комплексі задач підсистеми підтримки прийняття оперативних рішень, слід було б останній блок об означити як «Задача вироблення рекомендацій оператору».

8. На стор. 153 після формулі (4.5) повинна бути крапка.

9. На рисунках 6.27 і 6.28 (стор. 258) по осі абсцис дана шкала в см, а на рис. 6.29 – шкала в мм. Чим викликана зміна одиниці виміру – незрозуміло.

10. На стор. 259 у рис. 6.29 втрачено цифрове позначення однієї з кривих.

11. У підписі до рис. 6.31 (стор. 259) не дотримано стандарт оформлення.

Вказані недоліки не оказують суттєвий вплив на актуальність, наукову цінність отриманих результатів і на їх практичну значимість.

Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.

Дисертаційну роботу Шевченка І.В. слід вважати закінченою науковою роботою, в якій розв'язується актуальна науково-прикладна проблема – створення теоретичних та прикладних основ інформаційної підтримки процесу вирощування монокристалів напівпровідників і процесів оптимізації параметрів технологічної оснастки для забезпечення якості продукції.

За своїм змістом, обсягом виконаних досліджень, рівнем викладення матеріалу та оприлюдненням основних результатів дисертація Шевченко І.В. відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань», п. 10, 12 - 14 щодо до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а за змістом відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології.

Актуальність розглянутих задач, а також науковий рівень, новизна та практична цінність проведених досліджень дають право вважати, що Шевченко Ігор Васильович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент
завідувач кафедри інформаційних управляючих систем
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
доктор технічних наук, професор

О. Є. Федорович

Підпис професора О.Є. Федоровича засвідчує

Вчений секретар
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

Т. П. Цепляєва

