

## 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

### 1. Актуальність теми дослідження

Створення методів та інформаційних технологій моніторингу і підтримки складних виробничих процесів є актуальною науковою проблемою. Для багатьох із таких процесів характерно, що інформація про поточний стан недоступна у вигляді значень параметрів, що безпосередньо характеризують технологічний режим. Кількість таких параметрів велика, а характер їх змін стохастичний. Крім того, часто відсутня можливість прямих вимірювань значень параметрів. Все це суттєво ускладнює моніторинг станів процесу і призводить до появи критичних ситуацій.

При управлінні якістю на підставі моніторингу таких процесів, у тому числі вирощування монокристалів, виникає проблема, пов'язана із протиріччям між складністю процесів і потребою у моделях, методах і інформаційних технологіях, що забезпечують необхідну якість продукції. Створення систем інформаційної підтримки для цих процесів вимагає вирішення ряду задач, а саме: структуризації і формалізації неповних, нечітких, різновидних і навіть суперечливих даних і знань про об'єкт; підвищення достовірності та інформативності даних на етапі отримання і обробки; забезпечення функціонування системи моніторингу в режимі реального часу.

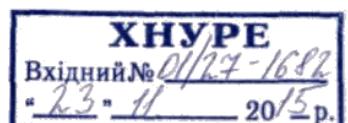
Дисертаційна робота Шевченка І.В. присвячена вирішенню проблеми створення теоретичних та прикладних основ інформаційної підтримки процесу вирощування монокристалів напівпровідників для забезпечення якості продукції є актуальною.

### 2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності

Дисертаційна робота є завершеною працею і складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 325 сторінок, з них: 44 таблиці, 65 рисунків, 236 найменувань списку використаних джерел і додатки.

В першому розділі роботи проведено аналіз сучасного стану проблеми дослідження – аналіз концепцій і проблем моніторингу складних виробничих процесів, аналіз існуючих моделей та інструментальних засобів моніторингу та управління якістю процесу вирощування монокристалів, аналіз інформаційних технологій моніторингу та розпізнавання ситуацій, аналіз технологій підтримки прийняття рішень на основі ситуаційного підходу, а також аналіз можливих підходів до реалізації функцій моніторингу та оптимізації процесу вирощування монокристалів.

На підставі результатів проведеного аналізу автором визначено мету



дисертаційної роботи, яка полягає в розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми створення теоретичних та прикладних основ інформаційної підтримки процесу вирошування монокристалів напівпровідників.

Сформульовано також задачі дослідження.

В другому розділі розроблено концептуальні основи побудови інформаційно-аналітичної системи управління якістю процесу вирошування. Запропоновано концепцію управління якістю виробничого процесу, яка полягає в інформаційній підтримці процесів технологічної підготовки виробництва та моніторингу процесу вирошування. Формалізовано постановку задачі управління якістю. Критерієм якості управління обрано ймовірність пропуску критичних ситуацій з метою мінімізації браку продукту.

Розроблено модель інформаційно-аналітичної системи управління якістю процесу вирошування на підставі моніторингу температурних полів у процесі вирошування монокристалів. Модель передбачає непряме вимірювання температури фонових нагрівачів, відтворення температурного поля в розплаві та зливку і виведення результатів вимірювань і обчислень на монітор оператора. Це дозволяє оператору контролювати процес вирошування на принципово новому якісному рівні.

Наведено удосконалений метод побудови інформаційної технології підтримки прийняття рішень, у якому поєднані модель діагностики та корекції складного виробничого процесу комплексом моделей фізичних явищ технологічного процесу, що дозволяє здійснити моніторинг важливих параметрів, які недоступні для прямих вимірювань і, тим самим, забезпечити якість кінцевого продукту.

За рахунок введення моделей для вирішення функціональних завдань моніторингу та аналізу температурних полів розплаву і злитка удосконалено підсистему підтримки прийняття оперативних рішень для корекції процесу вирошування монокристалів. Розроблено також модель підсистеми оптимізації умов охолодження злитка, яка використовується на етапі технологічної підготовки виробництва, що дозволяє забезпечити мінімальну щільність структурних дефектів в монокристалах.

В третьому розділі розроблені методи, моделі та інформаційна технологія, які призначені для одержання даних що до температурних полів у розплаві і злитку в процесі моніторингу. Запропоновані нейромережева модель непрямого моніторингу температурного поля; чисельно-аналітична модель розрахунку температурного поля; регресійна модель для непрямих вимірювань температури фонового нагрівача; модель нечіткого клітинного автомата, що моделює явища кристалізації.

Розроблено інформаційну технологію моніторингу температурного поля в процесі вирошування монокристалів арсеніду галію, яка заснована на вказаних вище моделях та методах.

У четвертому розділі розроблено моделі, метод та інформаційну технологію підтримки оптимізації теплових умов охолодження злитка в ростової установці. Це здійснюється шляхом вибору конструктивних

параметрів теплових екранів, які прямо впливають на режим охолодження злитка. Розв'язано задачу оптимізації геометричних параметрів теплового екрану шляхом застосування еволюційної процедури. Розроблено інформаційну технологію автоматизованого розв'язання цієї задачі оптимізації, що дозволяє прискорити і здешевити процес технологічної підготовки виробництва під заданий діаметр злитка.

*У п'ятому розділі* розглянуто питання розробки теоретичних основ розпізнавання проблемних ситуацій та уникнення їх перетворення на нештатні ситуації.

Вилучено знання експертів про причинно-наслідкові зв'язки явищ і ситуацій у процесі вирошування монокристалів та розроблено ієрархічну базу знань для діагностики проблемних ситуацій і видачі рекомендацій щодо корекції теплового режиму процесу вирошування монокристалів. Розроблено моделі та процедури перетворення значень параметрів процесу вирошування в значення ознак ситуацій. Запропоновано нечітку модель представлення та розпізнавання ситуацій у процесі вирошування монокристалів, в якій оцінюється ступінь критичності ситуації. Для налаштування індивідуальних коефіцієнтів значущості елементарних посилок кожного правила розроблено алгоритми.

Створено інформаційну технологію підтримки прийняття оперативних рішень у ході процесу вирошування монокристалів та інтегровану інформаційну технологію управління якістю процесу вирошування монокристалів.

*В шостому розділі* розглянуто практичну реалізацію результатів, отриманих автором в попередніх розділах дисертації.

Наведено функціональні та алгоритмічні структури підсистем «Моніторинг», «Екран», «Порадник», які реалізують інформаційні технології моніторингу температурних полів, оптимізації умов охолодження злитка та підтримку прийняття рішень щодо корекції ходу процесу вирошування. Наведено логічні структури баз даних, алгоритми функціонування та інтерфейси користувачів.

Ефективність запропонованих методів і моделей доведено на результатах дослідження залишкових напружень і рівня дислокаций в злитках арсеніду галію при використанні інформаційно-аналітичної системи управління якістю процесу вирошування, в яку увійшли підсистеми «Моніторинг», «Порадник», «Екран». Показано, що з впровадженням вказаних підсистем підвищилася якість продукції, що випускається за рахунок зниження середнього рівня щільності дислокаций в злитках арсеніду галію. Оцінено економічну ефективність впровадження ІАС УЯПВ на підприємстві "Галар".

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

### **3. Основні результати дослідження**

В дисертаційній роботі Шевченком І.В. особисто були отримані такі основні результати:

*Уперше запропоновано:*

- концептуальну модель інформаційно-аналітичної системи для процесу вирощування монокристалів, у якій інтегровані моделі якості продукту, ефективності процесу, технологічної підготовки виробництва, моніторингу процесу вирощування. Це дозволяє реалізувати комплексний підхід до підвищення якості технологічного процесу та кінцевого продукту.

- метод налаштування нечіткого клітинного автомата, що до моделювання процесу вирощування монокристалу, завдяки пошуку оптимальних значень вагових коефіцієнтів у зваженій  $t$ -конормі Лукасевича, що дозволяє адекватно відобразити динаміку складного процесу вирощування монокристалів.

*Удосконалено:*

- метод побудови інформаційної технології підтримки прийняття рішень, у якому на підставі діагностики здійснюється корекція складного процесу завдяки комплексу моделей моніторингу технологічного процесу, що дозволяє здійснити контроль важливих параметрів процесу, які недоступні для прямих вимірювань і тим самим підвищити ефективність керування якістю.

- метод розв'язання задачі оптимізації геометричних параметрів теплового екрана на етапі технологічної підготовки виробництва, шляхом створення моделі оптимізації зі ймовірнісним критерієм і використовування еволюційної процедури розрахунків.

- нейромережеву модель для моніторингу температурного поля, яка враховує впливові параметри процесу: конвективні теплові потоки, швидкість витягування, стадію процесу витягування, що дозволяє підвищити точність результатів непрямих вимірювань параметрів температурного поля для оцінки якості процесу вирощування монокристалів напівпровідників.

- метод моделювання процесу кристалізації шляхом застосування нечіткого клітинного автомата, що дозволяє спростити обчислювальний процес моделювання порівняно з відомими методами.

*Набула подальшого розвитку:*

- модель підсистеми підтримки прийняття рішень для оперативних корекцій процесу вирощування монокристалів шляхом уведення бази математичних моделей для непрямого моніторингу та аналізу температурних полів, що дозволяє приймати оперативні рішення в ході процесу вирощування з урахуванням як фізичних, так і економічних показників.

- нечітка модель представлення та розпізнавання ситуацій у процесі вирощування монокристалів за рахунок оцінки ступеню критичності ситуації, введення індивідуальних коефіцієнтів значущості елементарних посилань правил, що дозволяє спростити процес навчання та донавчання моделі при появлі нових проблемних ситуацій.

#### **4. Ступінь обґрутованості нових положень, висновків і рекомендацій, що сформульовані в роботі**

Викладені в дисертаційній роботі положення, а також отримані автором теоретичні і практичні результати роботи мають належний ступінь обґрунтованості, який було досягнуто за рахунок використання апробованих математичних апаратів теорії системного аналізу, теорії моделювання, теорії оптимізації, теорії множин, теорії ухвалення рішень, теорії нейронних мереж, теорії нечітких множин. Моделі, алгоритми і програмні засоби, запропоновані автором, базуються на відомих теоретичних положеннях і перевірені експериментально, що підтверджено актами про впровадження отриманих результатів.

### **5. Важливість результатів дисертаційної роботи для науки**

В дисертаційній роботі отримані результати, які є теоретичною базою для подальшого розвитку наукових і методологічних основ створення та застосування інформаційних технологій та інформаційних систем для автоматизованої переробки інформації з метою моніторингу та оптимізації складних виробничих процесів. Створено теоретичні та прикладні основи інформаційної підтримки процесу вирощування монокристалів напівпровідників і процесів оптимізації параметрів технологічної оснастки для забезпечення підвищення якості продукції.

### **6. Важливість результатів дисертації для народного господарства**

Упровадження інформаційно-аналітичної системи управління якістю 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». Річний економічний ефект від впровадження перевищує 85 тис. грн.

Моделі та алгоритми моніторингу процесу нормалізації залізничного ліття впроваджені в ПАТ «КСЗ» (м. Кременчук). Програмний модуль, вбудований в SCADA-систему контролю режиму печі нормалізації забезпечує: контроль температурного режиму печі, контроль температури навколошнього середовища; контроль атмосферного тиску та вологості; контроль стану устаткування; корекцію уставок співвідношення «газ-повітря» в контурі управління пальниками печі з урахуванням значень вищеперелічених параметрів. Застосування програмного модуля, що реалізує моніторинг і корекцію процесу нормалізації дозволило підвищити якість виливків.

Це підтверджено відповідними актами про впровадження.

### **7. Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації**

Розроблені автором методи, моделі та інформаційні технології можуть

бути використані при розробці інформаційного та програмного забезпечення систем автоматизованого моніторингу і корекції якості складних виробничих процесів в напівпровідникової, хімічної, металургійної галузях народного господарства.

### **8. Апробація і повнота викладу нових наукових результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях**

Полнота викладення підтверджена науковими публікаціями у фахових виданнях та матеріалах міжнародних та вітчизняних науково-практических конференцій. Основні результати, що отримані в дисертаційній роботі, опубліковано у 49 друкованих працях, у тому числі 1 монографія, 25 статей у спеціальних наукових виданнях, які входять до переліку МОН України (12 статей опубліковані у виданнях, що входять до міжнародних наукометрических баз) і 23 публікації – у працях наукових конференцій і форумів.

Автореферат достатньо повно відображає основний зміст дисертаційної роботи.

Результати та висновки кандидатської дисертації не включені до результатів докторської дисертаційної роботи.

### **9. Зв'язок роботи з науковими програмами**

Робота виконувалася автором на кафедрі інформаційних управлюючих 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).

### **10. Зауваження до роботи**

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

1. У третьому розділі в п. 3.1 розглянуто нейромережеву модель моніторингу температурного поля. Модель наведена тільки у вигляді структурної схеми (рис.3.1) та загального опису самої мережі. В роботі немає ніяких кількісних показників мережі. Що до навчання мережі, то також не приводиться ніяких даних. Слід зауважити, що задача, яка розв'язується за допомогою штучної нейронної мережі, пов'язана із формуванням навчального приклада із даних температурного поля. Як відомо, цей додаток (вхідні дані беруться із різної природи полів) є найбільш важким для нейромережевих технологій. Тому, для підтвердження достовірності результатів потрібно було б з'ясувати адекватність моделі, провести дослідження результатів для широкого

кола, як по складу, так і по кількісним значенням вхідних параметрів і таке інше. Так як цього не наведено, то є недостатньо обґрунтованим висновок о можливості застосування моделі в інформаційній технології для інших ситуацій.

2. У п. 3.3 «Розработка метода моделирования процесса кристаллизации на базе нечеткого клеточного автомата» при формализациі безпосередньо моделі клітинного автомата зустрічаються математичні помилки. Модель, що наведена у вигляді структурної схеми (рис.3.4), має на вході та виході обозначення, суть яких, з точки зору математичних структур, не зрозуміла. Так власний стан клітини спочатку розглядається як нечітка змінна із лінійною функцією приналежності. Потім введена інтегральна оцінка стану, яка розраховується просто як середнє значення власних станів сусідніх клітин. Тоді не зрозуміло, що ж це таке? Функція приналежності нечіткої змінної «Переохолодження» наведена із помилками (формула (3.18)). Зовсім не зрозуміло, по-перше, як задана функція переходів автомата із однієї клітини до іншої. Якщо це система нечітких правил, то де вони? Якщо це відображення, то його структура теж не описана. Тому формула (3.20) викликає багато запитань. В той же час якраз ця модель винесена до наукової новизни.

3. Нечітка модель розпізнавання ситуацій у вигляді (5.14) записана некоректно. Не дано, що собою уявляє  $d_j$ . Якщо це ім'я змінної, то така запис математично недопустима. Якщо це функція приналежності нечіткої змінної, тоді не видно, звідкіля вона береться.

4. На стор. 191 при обговоренні номерів параметрів табл.. 5.1 наведено посилення на стор.178-179, де цього роз'яснення немає, а є висновки до розділу 4.

5. Висновки по роботі, що наведені у авторефераті, не відповідають вимогам, які стосуються цього розділу. Так, п. п. 1-5 висновків є просто переформулювання інформації, яка міститься у розділі «Загальна характеристика роботи», а саме, «Наукова новизна отриманих результатів»; п.п. 6 і 7 висновків повторюють інформацію із розділу «Практична значимість отриманих результатів». Тобто, у висновках автор повторює що нового зроблено та де це застосовано замість того, щоб освітити що ж таки дали отримані результати.

У той же час, у висновках є два пункти, де підтверджується досягнення мети дисертаційного дослідження.

6. В авторефераті зустрічаються помилки, неточності, не коректне застосування українських термінів. Наприклад, помилкові індекси у формулі (25), посилання на стор. 24 на формули (32)-(33), яких не існує, не до всіх позначень у формулах (1) надані пояснення і таке інше. На стор. 15 застосовується одне і теж обозначення , наприклад,  $F_i$  для імені моделі, значення функції і для обозначення самої функції. Це створює додаткові труднощі і завадить розумінню суті.

## 11. Висновки

На підставі вивчення дисертації, автореферату та наукових праць

здобувача, опублікованих за темою дисертації, наукові результати, отримані при її виконанні, слід визнати позитивними.

Дисертаційна робота Шевченка І.В. є ґрунтовним науковим дослідженням, що свідчить про вирішення важливої науково-технічної проблеми в галузі створення інформаційних технологій, виконаним на актуальну тему, у якому отримані нові рішення зі створення інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень у галузі управління якістю та моніторингу процесу вирощування монокристалів напівпровідників.

Щодо мети роботи, постановки завдань і спрямованості дисертаційна робота цілком відповідає спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології.

Основні положення дисертаційної роботи ідентичні змісту автореферату.

Стиль викладання дисертації й автореферату відповідає поставленим вимогам.

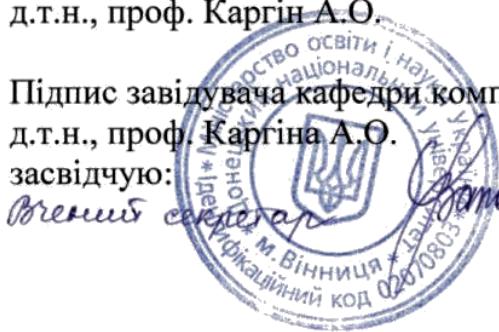
Таким чином, дисертація має наступні кваліфікаційні ознаки:

- Таким чином, дисертації мають наступні кваліфікаційні особливості:

  - 1) робота є закінченим комплексним науковим дослідженням, оформленім у відповідності з державними стандартами України.
  - 2) робота містить обґрунтовані теоретичні і практичні рішення, впровадження яких дає значний внесок у розвиток інформаційних технологій і засобів підтримки прийняття рішень;
  - 3) результати, отримані автором є новими, раніше не захищеними;
  - 4) тема дисертації входить у тематичні плани і програми міністерств України;
  - 5) використання результатів здійснено в ряді діючих виробництв, науковій та навчальній роботі.

Викладене вище дозволяє вважати, що дисертаційна робота Шевченка І.В., в цілому, відповідає пунктам 10 - 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо докторських дисертацій, а її автор - Шевченка І.В., заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології.

Офіційний опонент,  
завідувач кафедри комп'ютерних технологій  
Донецького національного університету (м. Вінниця)  
д.т.н., проф. Каргін А.О.



Підпис завідувача кафедри комп'ютерних технологій  
д.т.н., проф. Каргіна А.О.

засвідчую:

Bresius

Учебник

(O. T. Baranovna)