

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Мороза Дмитра Максимовича «Розвиток сучасних модульних багатопроцесорних обчислювальних систем для автоматизованого управління складними технологіями», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки, галузь знань 12 – Інформаційні технології

1. Актуальність обраної теми дослідження.

Подана до захисту дисертаційна робота належить до однієї з найперспективніших тем у сфері комп'ютерних систем – модульних багатопроцесорних обчислювальних систем. При цьому робота охоплює весь спектр застосування таких систем, зокрема, розкриваються питання їх конструювання, дослідження ефективності, а також застосування до розв'язування прикладних задач. Водночас необхідно відзначити, що в останні роки у всьому світі відбувається бурхливе впровадження багатопроцесорних обчислювальних кластерів. Це викликано тим, що такі системи стали загальнодоступними і дешевими апаратними платформами для високопродуктивних обчислень. При цьому різко зріс інтерес до проблематики обчислювальних мереж (GRID) і широко поширюється розуміння того, що впровадження таких мереж матиме величезний вплив на розвиток людського суспільства, порівняний із впливом на нього появи на початку століття єдиних електричних мереж. У зв'язку з цим, розглядаючи проблеми освоєння багатопроцесорних систем, слід брати до уваги і те, що вони є першою сходинкою у створенні таких обчислювальних мереж. Отже, існує важлива науково-технічна проблема, яка полягає в розвитку теоретичних і практичних основ створення високопродуктивних багатопроцесорних обчислювальних систем, побудованих на базі сучасних комп'ютерних функціональних модулів масового промислового випуску, що мали б забезпечити розв'язування багатовимірних задач та задач, які

вимагають великої кількості процесорного часу. *Актуальність роботи* обумовлюється, передусім, необхідністю дати теоретичне обґрунтування і комплексне практичне урахування особливостей конструювання модульних багатопроцесорних систем для вирішення заявлених прикладних задач. *Актуальність теми дослідження* полягає також у формуванні методики досліджування ефективності розробленої системи, а також у вивченні перспектив застосування сучасних мережевих інтерфейсів для конструювання модульних багатопроцесорних систем. Відзначене зумовлює важливість проблеми конструювання та застосування багатопроцесорних обчислювальних систем і актуальність теми дисертаційної роботи “Розвиток сучасних модульних багатопроцесорних обчислювальних систем для автоматизованого управління складними технологіями”.

Дисертаційна робота є *актуальною* як відносно поставленої мети (стор. 28), так і стосовно поставлених задач (стор. 28 – 29).

Наукові ідеї, на які спирається в своєму дослідженні здобувач, дозволяють на єдиних принципах і з сучасних позицій систематизувати матеріал дослідження, внаслідок чого в роботі представлено його нетривіальний комплексний опис. Автор цілком обґрунтовано підходить до виділення об'єкту і предмету дослідження (стор. 29). В цілому специфіка об'єкту досліджень знаходить відбиття і в їх предметі, який зводиться до аналізу концепції побудови нових модульних багатопроцесорних обчислювальних систем, орієнтованих на розв'язування певного класу задач; оцінювання ефективності багатопроцесорних обчислювальних систем у різних режимах функціонування; встановлення основних режимів роботи мережевого устаткування багатопроцесорних систем та їх вплив на показники ефективності; визначення оптимального числа вузлів багатопроцесорної системи залежно від режимів її роботи. На користь актуальності обраної теми дослідження свідчать також майже обмеженість наукового опрацювання для використання багатопроцесорних обчислювальних систем в області гірничо-металургійного комплексу.

Відзначене дає підстави стверджувати, що обраний дисертантом напрям дослідження, який присвячено особливостям конструювання модульних багатопроцесорних систем, дослідженню їх ефективності, застосуванню до розв'язування прикладних задач металургії, є *актуальним* в умовах розвитку багатопроцесорних обчислювальних систем та їх застосування.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт:

– «Високопродуктивні багатопроцесорні системи: особливості конструювання, дослідження оцінок ефективності, застосування до розв'язування прикладних задач» (державний реєстраційний номер 0122U201569);

– «Методологія соціально-економічного, інформаційного та науково-технічного розвитку регіонів, галузей виробництва, підприємств та їх об'єднань» (розділ «Implementation of system software of multiprocessor computing systems for solving applied tasks») (державний реєстраційний номер 0116U006782);

– «Розробка інноваційної «зеленої» технології глибинної переробки вугілля з метою отримання термоантрациту та штучного графіту високої якості» (державний реєстраційний номер 0121U109528);

– «Підвищення ефективності організації управління перевезеннями у міжнародному сполученні» (державний реєстраційний номер 0120U105547).

3. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків, сформульованих у дисертації.

Всі результати дисертаційного дослідження відповідають специфіці розглянутих задач, одержані згідно з теорією обчислювальних систем, теорією паралельних обчислень, основними положеннями лінійної алгебри, теорії графів, теорії звичайних диференціальних рівнянь і диференціальних рівнянь у частинних похідних, теорії різницевих схем. Достовірність отриманих в дисертаційній роботі результатів обумовлена коректним

використанням сучасних експериментальних методів дослідження, їх несуперечністю сучасним теоретичним уявленням і результатам досліджень інших авторів, модельними розрахунками на модульній багатопроцесорній обчислювальній системі та використанням апробованих програмних засобів для обробки результатів експерименту, а також апробацією основних результатів на конференціях, симпозіумах, форумах і семінарах, в опублікованих монографіях і патентах на винаходи.

4. Новизна наукових положень і висновків.

В результаті проведених дисертантом досліджень сформульовано нові наукові положення і висновки, отримано ряд нових результатів, які мають суттєве значення. Серед основних, необхідно відзначити наступні:

1. Уперше розроблено багатопроцесорну обчислювальну систему, де передбачено багатовимірну агрегацію каналів мережевого інтерфейсу. У цій системі за рахунок нового багатоканального гібридного шлюзу *NVIDIA Skyway InfiniBand* в зв'язці з процесорним модулем нового покоління *TCA* обладнаного інтерфейсом *NVMe2.** і жорстким диском *SSD*, а також за допомогою віртуальних локальних мереж, проміжних буферів пам'яті керованих комутаторів, механізму резервування основних компонентів системи було створено принципово нові можливості її функціонування порівняно з іншими обчислювальними середовищами, що дозволяє істотно підвищити керованість системи, зокрема розвантажити центральний процесор (через обслуговування трафіку *InfiniBand*), скоротити час на перемикання режимів роботи віртуальних мереж, збір, передачу, опрацювання та зберігання результатів обчислень і, як наслідок, підвищити ефективність усієї багатопроцесорної системи в цілому.

2. Уперше в багатопроцесорних системах реалізовано багатовимірну агрегацію каналів мережевого інтерфейсу на основі шести віртуальних локальних мереж *VLAN*, що дає можливість у порівнянні з іншими багатопроцесорними системами, не тільки підвищити ефективність

розпаралелювання, але й істотно зменшити час обчислень за рахунок забезпечення високошвидкісного доступу до пам'яті *slave* -вузлів.

3. Уперше, порівняно з іншими багатопроцесорними системами, шляхом використання нового стандарту *NVMe2.** накопичувачів *SSD* створено нові можливості “конективності” *main*-вузла обчислювальної системи з різними обчислювальними середовищами, що зумовлює підвищення швидкості обміну даними між основними елементами обчислювальної системи та сприяє розвантаженню системної шини.

4. Уперше за допомогою застосування крос-панелі або *WEB*-інтерфейсу з'явилася можливість змінювати топологію локальних мереж системи, адаптувавши їхні структури до розв'язування задач заявленого типу.

5. Уперше було оцінено ефективність кластерної системи під час формування багатоканальних режимів її мережевого інтерфейсу. Результати такого оцінювання виражено через параметри обчислювальної системи, що дає можливість раціональним чином здійснювати компоновку її вузлів. Також було виконано розрахунки завантаженості каналів комутації обчислювальної системи з метою перевірки коректності налаштування мережевого устаткування.

6. Уперше на основі багатопроцесорного обчислювального комплексу створено систему автоматизованого контролю необхідних температурних режимів термічної обробки (ТО) металевого виробу в режимі реального часу, коли відбувались процеси рекристалізації та сфероїдизівного відпалювання каліброваної сталі. Запропонований підхід дозволяє виконувати автоматизований контроль технологічних параметрів ТО металу. При цьому відбувається автоматизований контроль температури зразка в центрі його перерізу, завдяки чому забезпечується надання металу необхідних властивостей, зокрема всій площині перерізу і по довжині зразка.

5. Практична значимість і шляхи використання результатів досліджень дисертаційної роботи полягають в розробленні багатопроцесорних обчислювальних технологій, які спрямовано на

дослідження прикладних задач широкого спектра і дозволяють суттєво підвищити продуктивність, ефективність і точність опрацювання експериментальних даних. Моделі, методи й апаратні засоби подані у вигляді програмного забезпечення та промислових зразків. Практичне значення проведених досліджень полягає в тому, що в прикладній сфері з'являються такі можливості:

- застосовувати розроблену модель багатопроцесорної системи з багатовимірною агрегацією каналів мережевого інтерфейсу як інтегроване середовище для забезпечення розподіленого проектування програмних та апаратних засобів, що здатні виконувати автоматизований контроль параметрів сучасних технологічних процесів;

- реалізувати процес модифікації розробленої обчислювальної системи для гарантування необхідних оцінок ефективності в результаті розв'язування певного класу прикладних задач за рахунок багатовимірної агрегації каналів мережевого інтерфейсу на базі необхідного набору стандартних компонентів системи;

- реалізувати процес конструювання багатопроцесорної системи, призначеної для автоматизованого контролю параметрів сучасних технологічних процесів з одночасним оцінюванням продуктивності та прискорення обчислень;

- за рахунок застосування процесорного модуля з інтерфейсом *TCA* нового покоління та жорсткого диска *SSD*, що має інтерфейс *NVMe*, знизити час завантаження операційної системи в *main* -вузлі на 180 %, у *slave*-вузлах на 320 %; час програмної реорганізації мережевого інтерфейсу скоротити на 530 %; до того ж на 250 % знизити час обробки, пересилання й зберігання проміжних та кінцевих результатів розрахунку; причому на 240 % зменшити тривалість обробки системних статистичних даних;

- шляхом застосування віртуальних локальних мереж *VLAN* і багатовимірної агрегації каналів мережевого інтерфейсу збільшити пропускну спроможність порту мережевого інтерфейсу від 200 до 800 Мб/с,

що в чотири рази підвищує швидкість обміну даними між вузлами багатопроцесорної системи;

– істотно скоротити час опрацювання експериментальних даних, а також підвищувати ефективність обчислень, використавши багатопроцесорну систему з багатовимірною агрегацією каналів мережевого інтерфейсу;

– суттєво зменшувати число натурних випробувань та скоротити час їх проведення за рахунок провадження розподілених обчислювальних експериментів, отримуючи при цьому потрібну інформацію завдяки використанню розроблених математичних моделей і комплексів програм;

– удосконалити технологічний процес ТО металу, задіявши відповідні математичні моделі й комплекс розроблених програм; згадані моделі обробляються в багатопроцесорній обчислювальній системі, а це дозволяє контролювати температурне поле металу під час його нагрівання, витримки та охолодження і тим самим забезпечує швидку адаптацію виробництва металопродукції до вимог споживача.

Досвід імплементації мережевих технологій у багатопроцесорній системі було описано в монографії “Актуальні напрями розвитку технічного та виробничого потенціалу національної економіки”, його також впроваджено в навчальний процес підготовки студентів відповідного фаху.

6. Впровадження результатів роботи. Результати дисертації впроваджено й підтверджено відповідними актами в діяльність наступних організацій:

– *підприємств*: закритого акціонерного товариства “СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН” , товариства з обмеженою відповідальністю “Жордон”, товариства з обмеженою відповідальністю “КМД”;

– *науково-дослідної організації*: державного підприємства “Український інститут проектування металургійних заводів”;

– *вищих навчальних закладів*: Західноукраїнського національного університету, Українського державного університету науки і технологій,

закритого акціонерного товариства “Дніпровського університету ім. Альфреда Нобеля”.

Крім того, результати дисертації впроваджено й підтверджено відповідними актами при розробці наукових тем дослідження з наступними номерами державної реєстрації: 0116U006782, 0121U109528, 0120U105547.

7. Зміст, завершеність, стиль викладу, публікації, апробація.

Зміст дисертації Мороза Д.М. відповідає обраній темі, характеризується логічністю та комплексністю. Дисертація оформлена відповідно до вимог, встановлених для дисертаційних робіт. Дисертація має традиційну структуру, що відповідає вимогам МОН України, і складається зі вступу, п'яти розділів, висновків до них, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи – 214 сторінки, з яких основний зміст викладено на 170 сторінках машинописного тексту, включаючи 27 рисунків і 10 таблиць. Додатки на 24 сторінках містять акти впровадження результатів роботи та додаткові результати розробок і досліджень.

Структура дисертації є чіткою та логічною.

У *вступі* обґрунтовано вибір теми, її актуальність, визначено об'єкт, предмет, мету та задачі дослідження, його наукову новизну, окреслено теоретичну і практичну цінність результатів, сформульовано висновки щодо апробації та впровадження результатів дослідження. Слід визнати коректний і обґрунтований підхід до постановки цілей і задач дослідження, характеристику його новизни. Необхідно зауважити, що дисертант не лише довів актуальність розгляду обраної теми досліджень, але й здійснив глибокий та всебічний аналіз проблематики у сфері багатопроцесорних обчислювальних систем та використання автоматизованого управління складними технологіями заявленого класу задач.

У *першому розділі* дисертаційної роботи здобувач провів аналіз розподіленого моделювання багатовимірних задач, а також задач, які потребують великої кількості процесорного часу в гірничо-металургійному виробництві. У даному розділі також зроблено огляд напрямів розвитку

сучасних багатопроцесорних обчислювальних систем, результати якого показали, що потреба у високопродуктивних обчисленнях належить до фундаментальних чинників стратегічного розвитку суспільства, вона має важливе науково-технічне й економічне значення. За результатами проведених автором досліджень закладено теоретико-методологічні основи створення сучасних обчислювальних математичних технологій кластерного типу, що дозволило форсувати розв'язування особливо складних задач фундаментальної математичної науки й розвивати прикладні дослідження. Таким чином, з'явилась можливість моделювати *в реальному часі процеси металургійного виробництва*.

Виконаний у даному розділі дисертаційної роботи аналіз напрямів розвитку сучасних високопродуктивних систем показав, що реального перелому в оволодінні технологіями паралельних обчислень можна досягти введенням додаткового (фактично базового) рівня в ієрархії потужностей апаратних засобів багатопроцесорних обчислювальних систем *MPP-архітектури, тобто модульних багатопроцесорних обчислювальних систем*. Проведений в заключній частині першого розділу огляд сучасних багатопроцесорних систем показав їх суттєві недоліки, і на основі таких досліджень дисертант прийшов до висновку, що на сучасному етапі розвитку вони мають конструюватися спеціально для розв'язування задач певного класу. Це обумовило необхідність розробки моделей багатопроцесорних систем, які були б позбавлені вказаних недоліків і орієнтовані на розв'язування заявлених задач. Ці питання й були розкриті в наступних розділах дисертаційної роботи.

Текст першого розділу дисертаційної роботи свідчить про хороше знання автором ретроспективи розробки питань конструювання сучасних модульних багатопроцесорних систем, уміння вичленувати концептуальний зміст проаналізованих джерел, підкреслено строге ставлення до базових понять, що використовувалися в процесі узагальнення і критичного осмислення сучасного стану проблеми, яка висвітлюється під час досліджень.

На основі аналізу сучасного стану розвитку модульних багатопроцесорних систем у *другому розділі* дисертаційної роботи висвітлено методологію побудови багатопроцесорного обчислювального комплексу з багатовимірною агрегацією каналів мережевого інтерфейсу. Дисертант ставить задачу розробки багатопроцесорної системи, що має пікову реальну ефективність і продуктивність для розв'язування заявлених задач. Розроблена система відзначається підвищеною надійністю та високою енергоефективністю.

Мороз Д.М. показує, що технічний результат, який досягається при запровадженні багатопроцесорної системи, полягає в тому, що завдяки введенню в багатопроцесорну систему окремої обчислювальної мережі для обміну даними, додаткових керованих комутаторів, що працюють паралельно, проміжного буфера пам'яті комутаторів, а також шляхом розробки режиму мережевого завантаження процесорів та механізму резервування ключових компонентів модуля вдалося підвищити швидкодію обчислень під час розв'язування сильнозв'язаних задач, забезпечити високошвидкісний доступ до пам'яті вузлів кластера й обмін даними між ними, знизити завантаження каналу, що проходить між вузлами кластера; підвищити ефективність кластерної системи, адаптуючи структуру її мережі до розв'язування задач кожного конкретного типу; за рахунок модульного принципу побудови спростити проектування, нарощування або заміну кластерних вузлів, що вийшли з ладу, а також роботу й експлуатацію всієї системи; забезпечити здатність до перенесення програмного забезпечення на інші кластерні системи з метою виконання подібних розрахунків.

У *третьому розділі дисертації* автор розкриває особливості використання й налаштування системного програмного забезпечення модульної багатопроцесорної системи. Саме цей розділ дисертаційної роботи спрямовано на висвітлення питання системної агрегації багатоканального мережевого інтерфейсу модульного комплексу. Зокрема розглянуто особливості його реалізації за допомогою технології *channel*

bonding. Встановлено, що в багатопроцесорній системі наявні чотири двопортові мережеві адаптери: *IB1*, *IB2*, *IB3* та *IB4*. При цьому описано детальну методику об'єднання цих адаптерів в один псевдоадаптер *bond0*. За таких умов було зроблено висновок, що багатопроцесорна система розпізнає такі агреговані мережеві адаптери як один об'єкт. Показано, що такі адаптери мають налаштовувати свою роботу на одну *MAC*-адресу. А віддалені сервери почали теж сприймати їх як один єдиний пристрій. Тоді виянилось, що псевдоадаптер *bond0* налаштується на одну певну *IP*-адресу. В описаних умовах будь-які програмні засоби звертаються до такого пристрою як до одного звичайного мережевого адаптера, швидкість передачі даних якого вдвічі вища.

Крім усього іншого, цей розділ дисертаційної роботи зосереджує в собі характеристику програмного налаштування та функціонування модульної багатопроцесорної системи. При цьому детально висвітлюється взаємодія процесів у різних її вузлах. У зв'язку з цим було проаналізовано дію двох протоколів: *RSH (Remote Shell)* – той, що дозволяє підключатися віддалено до пристрою і виконувати на ньому певні команди та протокол *SSH (Secure Shell)*. Виконано порівняльний аналіз таких протоколів. Беручи до уваги, що багатопроцесорна система являє собою замкнуту систему, то було визнано доцільність запровадження протоколу *RSH*. Розкрито загальні принципи його дії в запропонованій багатопроцесорній системі.

Четвертий розділ дослідження став логічним розвитком другого та третього. Дисертантом достатньо повно представлена методика дослідження ефективності розробленої багатопроцесорної системи. Теоретичні дослідження разом з експериментальними випробуваннями підтвердили якісний і кількісний аналіз одержаних результатів. Позитивної оцінки заслуговує те, що дисертантом розроблено методику впливу мережевого інтерфейсу багатопроцесорної системи на показники її ефективності. Якісний і кількісний аналізи результатів впровадження розробленої методики дали дисертанту підставу сформулювати таку проблему: *як за рахунок*

конструктивних особливостей (архітектури) обчислювальних мереж багатопроцесорних систем можна підвищити показники її ефективності та швидкодії? Виявилося, що цю проблему можна розв'язати, запровадивши технологію, яка передбачає об'єднання декількох мережевих адаптерів в один швидкісний канал, т.т. за рахунок агрегації каналів мережевого інтерфейсу. Запропонований підхід спрямовано на підвищення швидкості обміну даними між вузлами системи і зменшення завантаження каналу, який з'єднує вузли системи.

Розроблена в даному розділі методика для визначення показників ефективності багатопроцесорної кластерної системи дозволила не тільки виконувати процедуру узгодження технічного устаткування таких систем, а також створила можливість проектувати їх із наперед заданими характеристиками, що має дуже важливе значення для розробки нових технологічних процесів, а також для розв'язування багатовимірних задач.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи розглядаються проблеми комп'ютиризованого контролю параметрів сучасних складних технологічних процесів. При цьому було розроблено установку процесу термічної обробки довгомірного сталевого виробу, яку використовують при виготовленні високоміцних кріпильних виробів методом холодного об'ємного штампування без завершальної термічної обробки. Така модель має на меті поліпшити технологічні властивості металопрокату за рахунок забезпечення високої дисперсності й однорідності структури зразка по всій площині його перерізу. При цьому технологічний процес термічної обробки сталі набуває таких переваг, як висока продуктивність, знижене енергоспоживання, поліпшення експлуатаційних характеристик. Цього вдалося досягти завдяки застосуванню багатопроцесорної обчислювальної системи, виконаної у вигляді окремого модуля. За допомогою спеціального програмного забезпечення вона здатна задавати й контролювати необхідні температурні режими термічної обробки сталі.

Загальні висновки дисертаційної роботи структуровані, відповідають завданням і у концентрованому вигляді коректною відображають основні досягнення дисертанта, чим доводиться, що мета роботи досягнута і всі поставлені завдання виконано. Робота має важливе практичне значення, її основні ідеї можуть бути використані в подальшому при вдосконаленні багатопроцесорних обчислювальних систем та їх використанні при розв'язуванні актуальних задач практики.

Повнота викладу наукових результатів у публікаціях автора відображена у 33 наукових працях, серед яких одна монографія, один патент, 4 праці входять у міжнародні наукометричні бази SCOPUS та Web of Science, 7 наукових статей у журналах і збірниках, 6 публікацій у зарубіжних наукових виданнях, 6 тез доповідей, які входять до наукометричної бази SCOPUS, а також 9 публікацій за матеріалами вітчизняних конференцій і симпозіумів. Основні результати роботи опубліковано у фахових виданнях, вони охоплюють усі положення, що виносяться на захист.

Стиль та мова викладених наукових положень дисертації та публікацій автора відзначаються послідовністю, спостерігається логічний зв'язок проблем, що досліджуються.

Основні положення, наукові результати й практичні розробки дисертації доповідались та обговорювались на міжнародних і національних конференціях та симпозіумах і презентувались у збірниках наукових праць.

8. Зауваження по дисертаційній роботі.

Як спеціаліст в області розробки, впровадження та експлуатації комп'ютерних систем і мережевих технологій, хотіла б зробити деякі зауваження, зокрема:

1. Розроблена модульна багатопроцесорна система позиціонується автором як надійна і відмовостійка, проте, в дисертаційній роботі не вказується яким чином здійснюється резервування, наприклад, таких її ключових компонентів, як комутатори в мережі завантаження, управління і

діагностики, так і в мережі обміну даними, а також комутаційних панелей (пасивного обладнання для перекомутації каналів).

2. Розроблена багатопроцесорна система включає декілька slave-вузлів. Якщо оптимальне число вузлів для вирішення певного завдання більше, або менше заявлених, то виникає питання: яким чином в такій ситуації здійснюється налаштування мережевого інтерфейсу?. На жаль, наведений режим роботи багатопроцесорної системи і особливості налаштування мережевого інтерфейсу, в дисертаційній роботі не висвітлюються в повному обсязі.

3. Внаслідок експлуатації розробленої модульної багатопроцесорної системи може виникати ситуація, коли один із slave-вузлів з деяких причин виходить з ладу. Така ситуація в дисертаційній роботі не розглядається. В той же час, представляє інтерес процедура введення до ладу працездатного вузла і процес переконафігурації мережевого інтерфейсу.

4. На жаль, в дисертаційній роботі не набула розвитку процедура діагностики неполадок, наприклад, мережевих карт і портів комутатора.

5. Із представленої роботи не зовсім ясно, яким чином здійснюється комутація і налаштування мережевого інтерфейсу при виході з ладу, наприклад, порту комутатора.

6. У дисертаційній роботі не набуло розвитку важливе питання відносно режимів роботи резервних або не задіяних slave-вузлів. Така ситуація має важливе значення при визначенні стратегії підтримки високої надійності багатопроцесорної обчислювальної системи та забезпечення її енергоефективності.

Однак, ці зауваження не впливають в цілому на високу оцінку дослідження, яке виглядає самостійним, завершеним, логічним за побудовою і глибоким за змістом, теоретично насиченим і практично значущим, а вказані зауваження можуть бути усунені в процесі подальших досліджень пошукувачем в обраному ним науковому напрямі.

9. Висновки по роботі.

Дисертаційне дослідження Д.М. Мороза є за своєю суттю комплексним дослідженням теорії і практики модульних багатопроцесорних обчислювальних систем як системного явища, узагальнюючого сукупність апаратно-програмних засобів, обчислювальних методів, алгоритмів із складною логічною структурою і програмних реалізацій для розв'язування прикладних задач. В цьому відношенні дисертаційна робота, що рецензується, органічно вписується в сучасні теоретико-методологічні пошуки вітчизняної комп'ютерної науки, тому теоретична і практична цінність проведеного дослідження, його новизна не викликають сумнівів.

Дисертація Мороза Дмитра Максимовича «Розвиток сучасних модульних багатопроцесорних обчислювальних систем для автоматизованого управління складними технологіями» відповідає спеціальності 122 – Комп'ютерні науки та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7, 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Отже, дисертаційна робота Мороза Дмитра Максимовича «Розвиток сучасних модульних багатопроцесорних обчислювальних систем для автоматизованого управління складними технологіями» характеризується структурованістю, методичною завершеністю та чіткістю зроблених висновків. В цілому, дисертація відрізняється оригінальністю, високим науковим рівнем і новизною, строгим логічним обґрунтуванням, має важливе наукове і практичне значення. Висновки і положення дисертації аргументовані і достовірні. Публікації автора повно відображають зміст

дисертації та підтверджують достатньо високий рівень проведеного дослідження.

Автор дисертації Мороз Дмитро Максимович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки, галузь знань 12 – Інформаційні технології.

Опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри теоретичної та
прикладної системотехніки
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна

Марина МІРОШНИК