

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Іванов Юрій Олександрович



УДК 004.383.4/004.272.2:004.451.7.031.43

**ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ
В СИСТЕМАХ НАПІВНАТУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Спеціальність 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Донецьк – 2013

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Святний Володимир Андрійович,
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії
Донецького національного технічного університету

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Руденко Олег Григорович,
завідувач кафедри електронно-обчислювальних машин
Харківського національного університету радіоелектроніки;

доктор технічних наук, доцент
Швачич Геннадій Григорович,
завідувач кафедри прикладної математики та обчислювальної
техніки
Національної металургійної академії України

Захист відбудеться «17» жовтня 2013 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.03 ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою:

83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, уч. корпус 8, ауд. 704.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою:

83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, уч. корпус 2.

Автореферат розісланий «__» вересня 2013 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 11.052.03,
кандидат технічних наук, доцент

 Г. В. Мокрий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення ефективності вирішення різноманітних науково-технічних задач у значній мірі досягається впровадженням засобів їх модельного супроводу. До цих засобів відносяться в першу чергу системи напівнатурного моделювання, в яких разом функціонують дискретні апаратно-програмні симулятори неперервних об'єктів та реальна апаратура, яка включає засоби зв'язку з об'єктом, процесори обробки інформації та програмне забезпечення, що реалізує алгоритми керування в автоматизованому та автоматичному режимах роботи. Апаратно-програмні засоби обчислювального комплексу системи напівнатурного моделювання повинні вирішувати задачі реального часу і потребують оптимізації характеристик обчислювального процесу.

У реальних об'єктах, які є складними динамічними системами, одночасно протікає декілька пов'язаних фізичних процесів у часі, які описуються системами диференціальних рівнянь. Для досягнення необхідного рівня адекватності моделі одною із основних є вимога відповідності швидкості зміни величин моделі та фізичного об'єкту. Для вирішення проблеми обчислень у директивних строках реального часу необхідна розробка способів оптимізації програмно-апаратних засобів напівнатурного моделювання, які характеризуються циклічним виконанням операцій перетворення, вводу інформації в цифрову частину моделі, обчислення та видачі перерахованих значень в натурну частину моделі.

Одним із способів досягнення високих показників продуктивності напівнатурних систем є підвищення ефективності розкладів обчислювальних процесів циклу реального часу в цифровій частині за рахунок мінімізації процесорного часу на виконання різночастотних потоків задачі моделювання. Умовою ефективно організації обчислень є побудова математичної моделі обчислювального процесу у вигляді розкладу циклу реального часу. Особливістю таких розкладів для напівнатурних систем є те, що їх побудова виконується в умовах повної визначеності, коли всі часові параметри та обмеження задачі моделювання визначені та відомі заздалегідь.

Цей напрямок досліджень детально вивчений науковими школами Бейліна та Гільмана, Танаєва та Шкурби, Віттіха, Пьявченка та зарубіжними дослідниками Ліу (Liu), Лейландом (Layland), Баруа (Baruah). Аналіз літератури показує, що не відомо робіт, де розглядається організація обчислювального процесу в циклі реального часу моделі, при якому крайні терміни обробки потоків цифрової частини визначаються часовими характеристиками об'єкту і при цьому функціонують, в тому числі, на окремих обчислювачах.

Актуальність підходів до оптимізації обчислювальних процесів реального часу в системах напівнатурного моделювання визначається необхідністю розгляду питань організації циклічних розкладів з перериваннями і практичного врахування особливостей їх створення; вирішення задач узгодження та розподілу теорії розкладів, що враховують вимоги директивних

строків жорсткого реального часу при керуванні обчислювальним процесом цифрової частини системи напівнатурного моделювання; вирішення задачі оптимізації математичних моделей циклічного розкладу для системи з загальною цифровою частиною та багатоядерної системи.

Таким чином, існує важлива науково-технічна задача – розвиток теорії та реалізація ефективних програмно-апаратних засобів напівнатурного моделювання, що дають можливість виконання експериментів з реальними наукомісткими об'єктами. В дисертаційній роботі розглядається один з напрямків застосування напівнатурних моделюючих систем, значиме для вугільної галузі – створення напівнатурних моделей автоматизованих систем керування провітрюванням, призначених для запобігання виникненню аварійних ситуацій. Розробка цифрової частини напівнатурних систем моделювання з використанням багатоядерних процесорів дозволить розширити клас моделей керованих складних об'єктів.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. В основу дисертаційного дослідження покладені роботи, виконані за держтемою кафедри “Комп'ютерна інженерія” Н-26-10 «Теоретичний аналіз та дослідження процесів керування та обробки даних в комп'ютерних системах». Дисертант приймав участь у цих дослідженнях як виконавець. Тема дисертації є частиною робіт кафедри в рамках міжнародного співробітництва по проблематиці паралельного моделювання складних динамічних систем.

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності цифрових засобів напівнатурного моделювання за рахунок розробки нового способу організації обчислювального процесу, який враховує різночастотні параметри моделей, та його оптимізації.

Для досягнення сформульованої мети вирішуються наступні основні задачі:

- 1) розробка математичних моделей розкладів циклу реального часу для різночастотних динамічних систем;
- 2) постановка задачі оптимізації розкладу циклу реального часу;
- 3) розробка методів вирішення задачі побудови оптимальних розкладів циклу реального часу для системи с загальною цифровою частиною та багатоядерної системи;
- 4) розробка технології проектування системи планування для генерування циклічного розкладу та системи керування процесами напівнатурної моделі;
- 5) модифікація методики побудови засобів напівнатурного моделювання для випадку різночастотних динамічних об'єктів та її експериментальне дослідження на багатозв'язному динамічному об'єкті – шахтній вентиляційній мережі.

Об'єктом дослідження є організація обчислювального процесу циклу реального часу цифрових засобів напівнатурного моделювання різночастотних динамічних систем.

Предмет дослідження – моделі та алгоритми побудови розкладів циклу реального часу, що визначають підхід до оптимізації обчислювального процесу програмно-апаратних засобів цифрової частини напівнатурного моделювання.

Методи дослідження. Методологічну та теоретичну основу дослідження складають методи теорії моделювання, теорії розкладів, теорії проектування систем реального часу, теорії нелінійної цілочисельної оптимізації, теорії алгоритмів, теорії чисельних методів. Отримані результати перевірялись шляхом проведення модельних експериментів, які показали достовірність теоретичних положень.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Встановлено, що врахування різночастотності параметрів моделей при складанні розкладів обробки обчислювальних потоків в цифровій частині напівнатурних систем дозволяє скоротити необхідний об'єм обчислень.

2. Показано, що створення ефективних комплексів напівнатурного моделювання в реальному масштабі часу визначається особливостями представлення моделі об'єкту у вигляді циклічного розкладу та специфікою застосованих апаратних рішень.

Наукові результати, що виносяться на захист:

1. Отримала подальший розвиток модель циклічного розкладу з перериваннями, яка враховує багаточастотність динамічних систем, дає можливість виконувати моделювання в масштабі реального часу і при цьому скоротити процесорні витрати на обробку потоків задачі моделювання для виконання на багатоядерній системі.

2. Запропоновано та реалізовано ефективний підхід до визначення параметрів розкладу системи моделювання з узагальненою цифровою частиною, який враховує встановлені особливості оптимізації дискретної моделі циклу реального часу на основі методу меж та гілок.

3. Вперше для вирішення дискретної задачі пошуку оптимальних параметрів розкладу функціонування багатоядерної системи, що моделює різночастотні динамічні об'єкти, адаптовано популяційний алгоритм штучної бджолоїної колонії, досліджено область його ефективних параметрів.

4. Отримали подальший розвиток алгоритмічні структури модулів оптимального планування циклічних розкладів, керування циклом реального часу на базі операційної системи реального часу.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблено програмну частину системи напівнатурного моделювання аерогазодинаміки шахтної вентиляційної мережі.

2. Розроблено структури та алгоритми, що дозволяють виконувати побудову оптимальних розкладів циклів реального часу для існуючих та нових обчислювальних систем реального часу при вирішенні різночастотних задач моделювання.

3. Елементи розроблених вирішувальних алгоритмів і програмного комплексу можуть застосовуватися при створенні систем автоматизації керування

виробництвом, фізичними об'єктами, тренажерами на базі багатоядерних платформ.

4. Результати роботи впроваджені в навчальний процес на кафедрі комп'ютерної інженерії ДонНТУ розробкою підсистеми напівнатурного моделювання розподіленого паралельного моделюючого середовища (РПМС), а також в вигляді методики побудови паралельних напівнатурних моделей реального часу у курсі «Паралельні та розподілені обчислення».

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати роботи, що виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Результати дисертації та матеріали досліджень доповідались, обговорювались та отримали позитивні оцінки спеціалістів на конференціях:

- Dependable Systems, Services & Technologies (DESSERT'2012). 6th International Conference (Севастополь, 2012);

- Інформатика та комп'ютерні технології. VIII міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих науковців (ДонНТУ, Донецьк, 2012);

- Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій. VI міжнародна науково-практична конференція (ЗНТУ, Запоріжжя, 2012).

Результати дисертаційного дослідження та дисертація в повному обсязі доповідались на наукових семінарах кафедри комп'ютерної інженерії Донецького національного технічного університету (м. Донецьк).

Публікації. Результати дисертації опубліковано в п'яти друкованих працях у рекомендованих фахових виданнях України, два з яких входять до бази цитування ВІНІТІ та один в INSPEC (Web of Knowledge), Index Copernicus.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, трьох додатків, висновку та списку літератури. Загальний обсяг дисертації складає 152 стор., містить 41 рисунок, 7 таблиць, список літератури із 106 найменувань, 3 додатка на 43 стор.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **першому розділі** «Аналіз методів і засобів організації обчислювальних процесів систем напівнатурного моделювання складних динамічних систем» проведений огляд: а) особливостей задач моделювання динамічних систем в реальному масштабі часу; б) функціональних вимог і особливостей напівнатурних засобів моделювання; в) програмно-апаратних засобів систем напівнатурного моделювання г) методів побудови розкладів в системах реального часу (РЧ); д) способів підвищення ефективності обчислювальних процесів з використанням методів цілочисельної оптимізації при розподілі та плануванні завдань. Розглянуто приклади багаточастотних динамічних об'єктів застосування напівнатурного моделювання. Показним є важливий об'єкт для промисловості – шахтна вентиляційна мережа (ШВМ), що представляється у

вигляді графа $G(m, n)$, де m – кількість гілок, n – кількість вузлів. Кожна гілка розглядається як об'єкт з розподіленими параметрами, що описується системою рівнянь динаміки руху повітря і змін концентрації метану. Представлення динаміки аерогазодинамічного об'єкта двочастотною математичною моделлю використовується для вирішення завдань гірничодобувної галузі. Особливо важливими серед них є такі, коли на перший план висуваються критичні вимоги швидкого реагування при встановлених директивних термінах обробки, зокрема: різке метановидеління, загроза пожеж в шахтах. Це обумовлює необхідність використання сучасних апаратних платформ в реальному часі при вирішенні завдань дослідження режимів керування провітрюванням у шахтах.

На підставі виконаного аналізу формулюється актуальна мета підвищення ефективності моделювання динамічних систем в реальному масштабі часу за рахунок оптимізації обчислювального процесу. Визначено завдання вдосконалення цифрових напівнатурних систем моделювання шляхом розробки проектних рішень для визначення параметрів циклу реального часу цифрової частини багатоядерної системи.

У **другому розділі** «Розробка дискретних моделей паралельних завдань циклу реального часу напівнатурної динамічної системи» при розгляді структури напівнатурної системи моделювання особлива увага приділяється цифровій частині. Основним завданням такої системи є обчислення різночастотних фазових змінних задачі моделювання (ЗМ), які виконуються в окремих програмних потоках з постійною тривалістю τ_i ($i = 1..M$, де M – кількість потоків). Для дотримання реального масштабу часу робота кожного потоку повинна бути завершена протягом директивного періоду T_i ($i = 1..M$) об'єкта. Порушення директивних термінів виконання призводить до збою в роботі системи і може викликати аварійні наслідки. Керування всіма апаратними ресурсами, на яких виконуються потоки ЗМ, відбувається під контролем ядра системи моделювання.

В дисертаційній роботі виконується аналіз цифрової частини апаратної платформи, яка реалізується на багатоядерній платформі. Розглядається модель такої системи, до складу якої входять: оперативна пам'ять, n -ядерний суперскалярний процесор, на кожному з обчислювальних ядер якого може виконуватися $p!$ контекстів задачі моделювання і час перемикання між якими становить p . Швидкодія такої системи при циклічному розкладі оцінюється функцією, яка залежить від параметрів: кількості потоків, кількості ядер системи, часу обробки потоків завдання на ядрі, періодів надходження M потоків в систему, часу перемикання контексту обчислень, часу доступу до пам'яті. При цьому підвищити швидкодію необхідно за умови виконання всіх потоків без порушення директивних термінів. У роботі пропонуються два варіанти вирішення цієї проблеми: зменшення необхідних витрат процесорного часу на обчислення фазових змінних, що призводить до зниження вимог ЗМ до апаратури, і оптимізація планування обчислювальних потоків (зменшення використання процесорних ресурсів), що розширює клас вирішуваних завдань.

Обидва підходи враховуються в запропонованій циклічній організації обчислювального процесу.

Крок моделювання цифрової частини, що визначає час циклу реального часу, вибирається, виходячи з значень періодів виклику потоків обчислення фазових змінних об'єкта. Розрахунок одного значення кожної i -ї фазової змінної буде виконуватися один раз на періоді T_i . При такому підході обсяг обчислень до заданого моменту часу може бути скорочений і становитиме:

$$C_D = \sum_{i=1}^M \left(\frac{T_T'}{T_i} \right) < C_O = M \left(\frac{T_T'}{T_1} \right) \quad (1)$$

На етапі виконання моделі виділяються часові інтервали, на яких напівнатурна система повинна виконувати однакову циклічну послідовність дій: 1) введення вхідних сигналів і генерування вихідних; 2) рішення рівнянь, що описують об'єкт та алгоритм керування з урахуванням логіки моделі, 3) обмін результатами з іншими гілками цифрової частини задачі моделювання; 4) очікування початку наступного циклу. Під кожною з цих дій виділяється проміжок часу, порядок виклику якого визначається особливостями ЗМ. Назвемо інтервал, на якому повторюються всі перераховані операції процесу моделювання, циклом РЧ. Таким чином, система паралельних завдань напівнатурної системи моделі повинна виконувати ординарні дії по обробці обмеженої кількості циклів РЧ. Її функціонування описується побудовою циклічного розкладу.

Директивний часовий інтервал, протягом якого повинні бути виконані всі потоки, будемо називати повним періодом $T_{\text{ц}}$. Мінімальний інтервал, на якому виконуються блоки кожного потоку – цикл РЧ. Чим менше тривалість циклу РЧ, тим вище частота обробки потоків ЗМ. Однак при цьому одночасно зменшуються і обчислювальні блоки потоків. Це призводить до зменшення числа виконуваних команд потоків обчислення фазових змінних, що збільшує витрати на перемикання контекстів між блоками і в результаті призводить до зниження продуктивності всієї системи. У зв'язку з цим виникає подвійна задача: максимізувати період циклу РЧ, не допустивши при цьому збільшення накладних витрат на обслуговування ЗМ. Розв'язання задачі оптимізації в такій постановці дозволяє побудувати ефективний розклад, що відповідає директивним обмеженням РЧ.

Виконавча частина системи моделювання характеризується такими особливостями: на цифровий обчислювач надходить часова циклограма з M потоків на виконання, кожному з яких необхідно виділити процесорний час τ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) з періодом T_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Обробка всіх потоків повинна бути завершена хоча б один раз до настання часу чергового виконання тієї ж групи потоків через $T_{\text{ц}} = \text{НОК}(T_i)$ ($T_{\text{ц}} \in N$). Нехай L ($L \in N$) – тривалість циклу РЧ, під час якого виконується частка Δ_i ($0 < \Delta_i \leq 1$) кожного потоку. Таким чином, виконання кожного потоку буде синхронізовано значенням L . Вікно для виконання кожного блоку визначається як $\Delta_i \tau_i$. При цьому повністю

потік буде оброблений за $k_i = \left\lceil \frac{T_i}{L} \right\rceil$ РЧ-циклів, де $\lceil x \rceil$ – визначається як найбільше ціле, менше або рівне x . При введенні РЧ-циклу в системі відбувається зміна значень періодів на кратні L , які не перевищують $T'_i = k_i L \leq T_i$. Внаслідок цього зміниться і значення повного періоду $T'_ц = \text{НОК}(T'_i)$. Тоді в повному циклі буде $k = \left\lceil \frac{T'_ц}{L} \right\rceil$ РЧ-циклів. Запропонований циклічний розклад може бути представлений як список блоків виконання на часовій діаграмі повного періоду $T'_ц$ (рис.1), де β_j – момент початку виконання j -го циклу РЧ, γ_j – час завершення виконання j -го циклу РЧ.

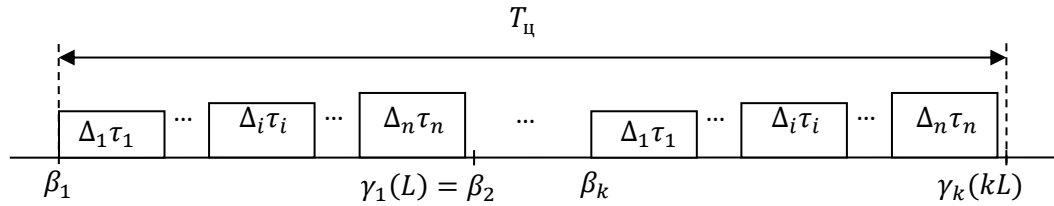


Рисунок 1 – Схема організації обчислювального процесу для одного повного періоду $T'_ц$

Для складання формального опису моделі обчислювального процесу в роботі визначаються критерії ефективності розкладу, за якими можливе виконання оптимізації і формулюються співвідношення, які описують фізичні обмеження системи. Критерієм ефективності, що відображає показники роботи системи, є її швидкодія. Даний критерій визначається як зміна навантаження при розрахунку потоків задачі моделювання, пов'язаний із зміною фактичного періоду через введення РЧ-циклу. Крім цього враховуються накладні витрати, що вносяться при перемиканні між потоками $\frac{Mp}{L}$. За своїм фізичним змістом L визначає тривалість часового інтервалу i , зважаючи на вимоги технічної реалізації таймера, є натуральним числом $1 \leq L \leq T_1$. Цифрова модель оптимізації обчислювального процесу циклу РЧ описується системою співвідношень:

$$\begin{aligned} & \arg \min_{L=1,2,\dots,T_1} F(L) & (2) \\ & F = \sum_{i=1}^M \left[\left(\frac{\tau_i}{T'_i} - \frac{\tau_i}{T_i} \right) \right] + \frac{Mp}{L} \\ & \sum_{i=1}^M \frac{\tau_i}{T'_i} \leq 1, \quad T'_i = \left\lceil \frac{T_i}{L} \right\rceil L, \quad i = \overline{1, M}. \end{aligned}$$

Дана модель розглядає обчислювальні ресурси цифрової частини як цілісний компонент і характерна для систем з узагальненою цифровою частиною.

Для цільової багатоядерної системи найважливішим показником, що впливає на продуктивність обчислень, є способи розподілу завдань між ядрами системи. При складанні розкладу для таких систем враховується не тільки кількість ядер, але і які завдання слід закріпити за кожним з ядер. При цьому всі ядра розглядаються як ідентичні і для кожного може бути визначено персональне значення періоду циклу РЧ, ґрунтуючись на параметрах групи потоків, призначених на конкретне ядро для обчислення фазових змінних.

Нехай M' – множина всіх потоків задачі моделювання, а M'_j – множина потоків, які необхідно виконати на j -му ядрі. Тоді вірно, що всі потоки повинні бути розподілені по ядрах $\bigcup_{j=1}^n M'_j = M'$, причому кожний потік повинен бути призначений на виконання тільки на одному ядрі $\bigcap_{j=1}^n M'_j = \emptyset$. Кількість потоків, призначених на виконання на конкретному ядрі, буде дорівнювати потужності відповідної множини $M_j = |M'_j|$.

Для побудови моделі обчислювального процесу обробки потоків на багатоядерній системі вводиться параметр, що відображає розбиття потоків по групах. Нехай

$$x_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i \text{ потік не обробляється } j \text{ – му ядрі,} \\ 1, & \text{якщо обробляється.} \end{cases} \quad (3)$$

Аналогічно обмеженню системи з узагальненою цифровою частиною, навантаження на кожне ядро не може перевищувати 100% $((\forall j) \sum_{i=1}^M \frac{\tau_{i,j}}{T_i} x_{i,j} \leq 1)$.

З огляду на те, що кожен потік може виконуватися тільки на одному ядрі, мусить бути $(\forall i) \sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1$. При цьому в розкладі мають бути враховані всі M потоків, з яких складається ЗМ, тобто $\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^M x_{i,j} = M$.

Після узагальнення розроблених умов отримаємо дискретну модель циклічного обчислювального процесу, що виконує обробку M потоків ЗМ на n ядрах:

$$\begin{aligned} & \arg \min F(L_j, x_{i,j}) \quad (4) \\ & (\forall j) L_j \in N, L_j \leq T_j^{\min}, (\forall j, i) x_{i,j} \in Z, 0 \leq x_{i,j} \leq 1 \\ & F = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^M \left\langle \left(\frac{\tau_{i,j}}{T'_i} - \frac{\tau_{i,j}}{T_i} \right) x_{i,j} \right\rangle + \frac{\sum_{k=1}^M x_{k,j} p}{L_j} \right] \\ & (\forall j) \sum_{i=1}^M \frac{\tau_{i,j}}{T_i} x_{i,j} \leq 1, \\ & (\forall i) \sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1, \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^M x_{i,j} = M \\ & (\forall j, i) T'_i = T_i - \left\lfloor \frac{T_i}{L_j} \right\rfloor, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, n} \end{aligned}$$

Таким чином, на основі запропонованого способу побудови циклічного розкладу сформульовано завдання оптимізації обчислювального процесу напівнатурної динамічної системи.

У **третьому розділі** «Оптимізація розподілу паралельних завдань в циклі реального часу багатоядерної обчислювальної системи» класифіковано запропоновані математичні моделі організації обчислювальних процесів як задачі математичного програмування. Розглядаються можливі підходи до оптимізації обчислювального навантаження цифрової частини напівнатурної системи моделювання в циклі реального часу.

Аналіз математичного опису моделі розкладу системи з узагальненою цифровою частиною показує, що завдання її оптимізації відноситься до класу нелінійних цілочисельних, з огляду на те, що цільова функція F - нелінійна і багатоекстремальна. Верхня оцінка обчислювальної складності детермінованого алгоритму розв'язання визначається, в даному випадку, числом Стірлінга від числа потоків і значень РЧ-циклу, отже, розглянута задача є NP-повною.

З метою визначення мінімуму функції пропонується підхід до оптимізації, який використовує розбивку задачі на більш прості, що дає можливість виконувати пошук покроково. При цьому на кожному кроці відсікаються обрані плани рішень з використанням схеми меж та гілок.

Виконаний в дисертаційній роботі аналіз особливостей дискретної моделі циклічного розкладу дозволяє представити плани рішення таким чином, що, використовуючи метод меж та гілок та встановлений напрям руху пошуку, гарантовано буде визначений глобальний екстремум досліджуваної функції. Для цього пропонується зробити розбиття множин допустимих рішень на підмножини з метою послідовного обчислення цільових функцій-оцінок кожної підмножини та отримання проміжних значень цільової функції, що будуть уточнюватися згодом. Вводиться множина H , яка містить всі підмножини елементів суми цільової функції $\sum_{i=1}^M (\frac{\tau_i}{T_i} - \frac{\tau_i}{T_i})$ для всіх допустимих планів зміни

$L \in [1, T_1]$, тобто $H = \{H_{g_1}, H_{g_2}, \dots, H_{g_{T_1}}\}$. Множина V містить елементи виду Mp/L для всіх планів зміни L . Перший елемент множини V для $L = T_1$ визначається в початковому вигляді $V_0 = Mp/L$. Всі інші елементи представляються модулем різниці відносно попереднього елемента множини V . Структура схеми обчислень являє собою дерево з коренем у вершині $F = 0$ (рис. 2).

Гілки дерева - елементи множин H та V . При вирішенні проводиться вибір одного з шляхів підсумовування елементів цих підмножин. Обчислення меж пошуку виконується за результатами аналізу значень оцінки функції F на множині поточного кроку. Спочатку множина S є порожньою $S = 0$. Після цього на кожному кроці виконується вибір напрямку руху для продовження підсумовування шляхом порівняння наступних не врахованих елементів по вертикалі і горизонталях дерева та перехід за мінімальним значенням функції F .

Виконання послідовності таких дій призведе до отримання оптимального значення цільової функції, яке дорівнює значенню оцінки поточного кроку в разі його вибору для першого елемента будь-якої підмножини $H_{g_i}[1]$.

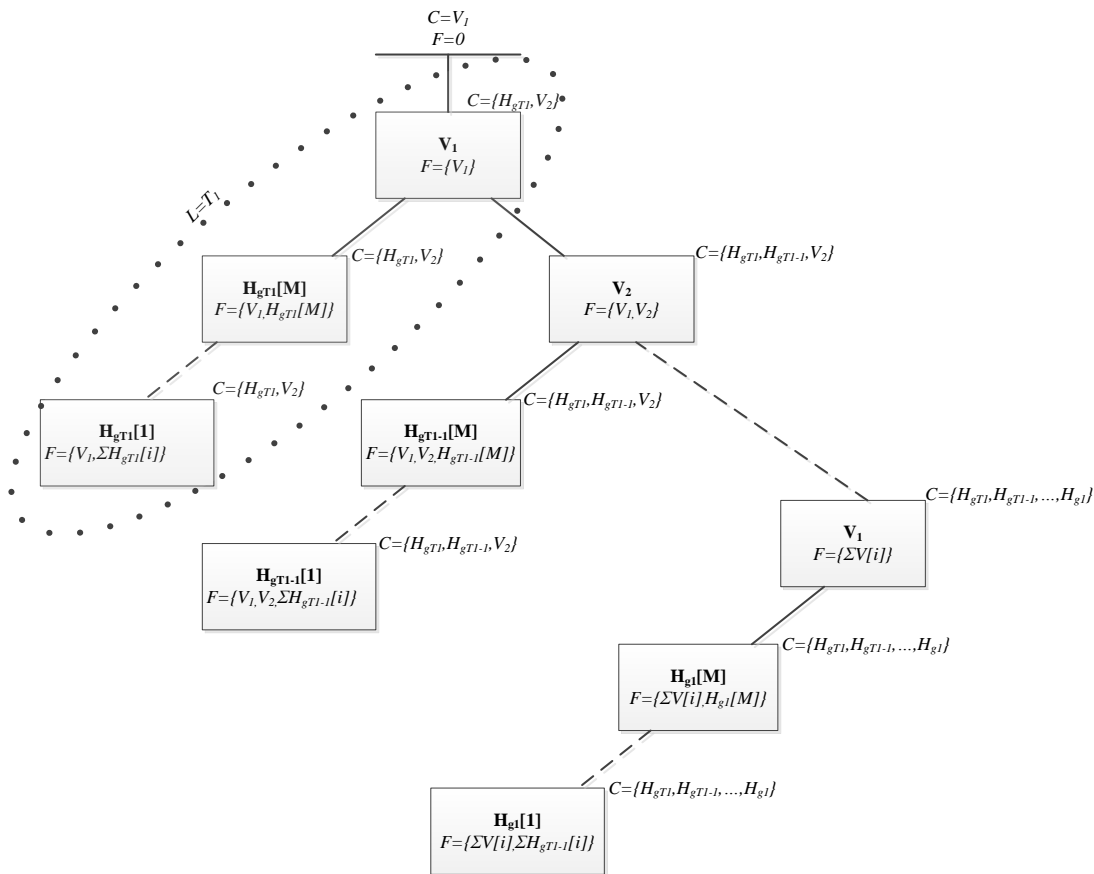


Рисунок 2 – Дерево пошуку рішень

На кожній з розглянутих гілок пошуку рішення виконується елімінуючий тест. На підставі обмежень нижнього і верхнього значень цільової функції відсікаються напрямки пошуку, які в ході рішення не відповідають обмеженням завдання і тому надалі не будуть розглядатись.

Результатом запропонованого в роботі алгоритму, який реалізує метод оптимізації, для знаходження оптимального плану рішення є значення L , яке потім буде використано для формування циклограми розкладу.

Для підтвердження достовірності результатів, одержаних за допомогою запропонованого методу оптимізації моделі з узагальненою цифровою частиною і алгоритму, розробленого на його основі, виконано контрольні розрахунки для тестових наборів вхідних параметрів. Оцінку ефективності роботи алгоритму здійснено для послідовностей випадкового набору вхідних даних і визначено як відношення кількості кроків, витрачених на знаходження величини L запропонованим алгоритмом, в порівнянні з рішенням повним перебором. Для 100 запусків програми скорочення склало 38,87%. Ефективність для послідовності простих чисел склала 29,77%, що відображає вплив некратних періодів потоків обробки на роботу алгоритму.

Запропонована у роботі модель обчислювального процесу багатоядерної системи подібна до розглянутої і для неї актуальні отримані раніше висновки. Цільова функція даної моделі містить додатково введену множину булевих змінних \bar{x} , що визначають розподіл паралельних потоків по ядрах системи. Це призводить до перекласифікації задачі в змішану нелінійну цілочисельну.

Основною особливістю, яка характеризує дану задачу, є багатоекстремальність. Виконаний аналіз літератури показує, що гарантоване знаходження точного рішення даної задачі можливе тільки перебором. Повна кількість варіантів планів рішень складає число Белла для комбінації множини потоків і ядер, що ускладнює пошук рішення. Складність завдання побудови такого багатопроцесорного розкладу для паралельних процесорів дозволяє віднести її до класу NP-повних.

У роботі для знаходження оптимального рішення обраний метаевристичний алгоритм штучної бджолої колонії (ABC), який відноситься до групи популяційних алгоритмів, показує високий рівень застосовуваності та ефективності при вирішенні оптимізаційних завдань.

З метою підвищення ефективності роботи алгоритму при виборі початкового положення бджіл з вулика в роботі пропонується виконувати етап ініціалізації значенням рівномірного розподілу потоків по ядрах. При такому підході ставиться мета досягнення мінімального значення навантаження на кожному з ядер і таким чином формування рівномірного розподілу базових значень навантаження $\frac{\tau_i}{T_i}$, без врахування РЧ-циклу. Таким чином, може бути гарантовано збалансований розподіл, який надасть максимальний запас вільної процесорної потужності при модифікаціях періодів виконання. Отримані рішення будуть задовольняти всім умовам системи обмежень і при подальшій оптимізації вже будуть уточнені робочими бджолами. Таким чином, на початкових кроках алгоритму вже буде отримано один з перспективних екстремумів. Формулювання даної початкової задачі еквівалентне «задачі про камені» (bin packing), яка належить класу NP-повних задач. Для її вирішення запропоновано використовувати евристичний жадібний алгоритм, що полягає в послідовному завантаженні ядер потоками в міру спадання їх складності.

Для перенесення бджіл на ділянки прийнята система координат, що дозволяє однозначно представити всі можливі плани вирішення. У цю систему включено представлення розподілу потоків по ядрах і значення періодів L_j на кожному із ядер. Дане представлення пропонується розглядати як десяткове число, що визначає номер комбінації розподілу потоків по ядрах, яке обмежене нулем ліворуч та значенням числа Белла для комбінації потоків і ядер: $0 \leq x \leq S'(M, n)$.

Представлення значень періоду РЧ-циклу визначається множиною значень L_j з обмеженнями:

$$1 \leq L_j \leq \begin{cases} T_i, & (x_{i,j} = 1) \cap (i = \min), i = 1, M \\ 1, & (x_{i,j} \neq 1), i = 1, M \end{cases} \quad (5)$$

Координату ділянки пошуку рішення становить пара $[x; L_j]$. Околиця даної координати - всі точки, що охоплюють задане значення РЧ-циклу, а також значення в діапазоні $\pm range$, де $range \in N$ є параметром алгоритму, що налаштовується, тобто $L_j \pm (1:range)$. Під відправкою бджоли в околицю точки x в роботі розуміється установка значення координати

$$pos_{i+1} = \begin{pmatrix} x_i \\ L_{i1} \\ \vdots \\ L_{in} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ rnd_1 * rL_1 \\ \vdots \\ rnd_n * rL_n \end{pmatrix}, \quad (6)$$

де rnd – випадкове ціле число, що набуває значення в діапазоні $[-range; +range]$;

rL – випадкове булеве число, що набуває значення 0 або 1.

У дисертаційній роботі алгоритм ABC реалізований з використанням об'єктно-орієнтованого підходу, при якому створені відповідні класи бджоли (bee) і вулика (hive). Кожна бджола описується набором своїх характеристик, серед яких: координата $[x; L_j]$, параметри вихідної задачі $(M, n, \bar{r}, \bar{T}, p)$, значення фітнесу.

На підставі аналізу досвіду використання алгоритму в опублікованих наукових дослідженнях та отриманих експериментальних даних із змінними наборами налаштувань на базових тестових вхідних послідовностях запропоновано рекомендації по налаштуванню параметрів алгоритму ABC з метою підвищення його продуктивності. Для моделей, що досліджуються, були отримані наступні рекомендовані параметри: необхідно вибрати 100 бджіл-розвідників і 200 ітерацій без зміни результату. Необхідна одна краща ділянка, на яку посилається 100 бджіл. Обрано діапазон зміни періоду РЧ-циклу при роботі на ділянці - 10, що дозволяє охопити достатню кількість рішень, не пропускаючи при цьому локальних екстремумів. Кількість обраних ділянок - 10, кількість бджіл на кожній з ділянок - 25. Вибір таких початкових даних можна пояснити особливістю конкретного завдання і саме тим, що якісно на значення цільової функції більшою мірою впливає вибір періоду РЧ-циклу серед множини можливих значень, ніж їх розподіл по ядрах (звісно, в тому випадку, якщо виконується умова існування розкладу).

Дослідження роботи алгоритму показало високу ефективність включення прийнятого на початку рішення задачі ініціалізації. Проведено експерименти для синтетичного набору вхідних даних. Для 5 запусків кожної тестової послідовності алгоритмом було здійснено перехід в екстремуми з помилкою, що не перевищує 0,1%

З метою уточнення цих даних для 10 вхідних послідовностей розраховано середньоквадратичне відхилення отриманих результатів мінімуму функції (рис. 3). Отримане значення свідчить про стійкість роботи розробленого алгоритму.

Графік функції F може бути побудований за даними роботи алгоритму і являє собою набір точок, що утворюють тривимірні нелінійні площини (рис. 4), кількість яких дорівнює кількості ядер.

У **четвертому розділі** «Розробка спеціалізованого програмного забезпечення планування та керування завданнями циклу реального часу в багатоядерній системі» виконується аналіз можливості застосування промислових розширень систем реального часу за параметрами: принцип структурної організації, часові чисельні показники і додаткові технології.

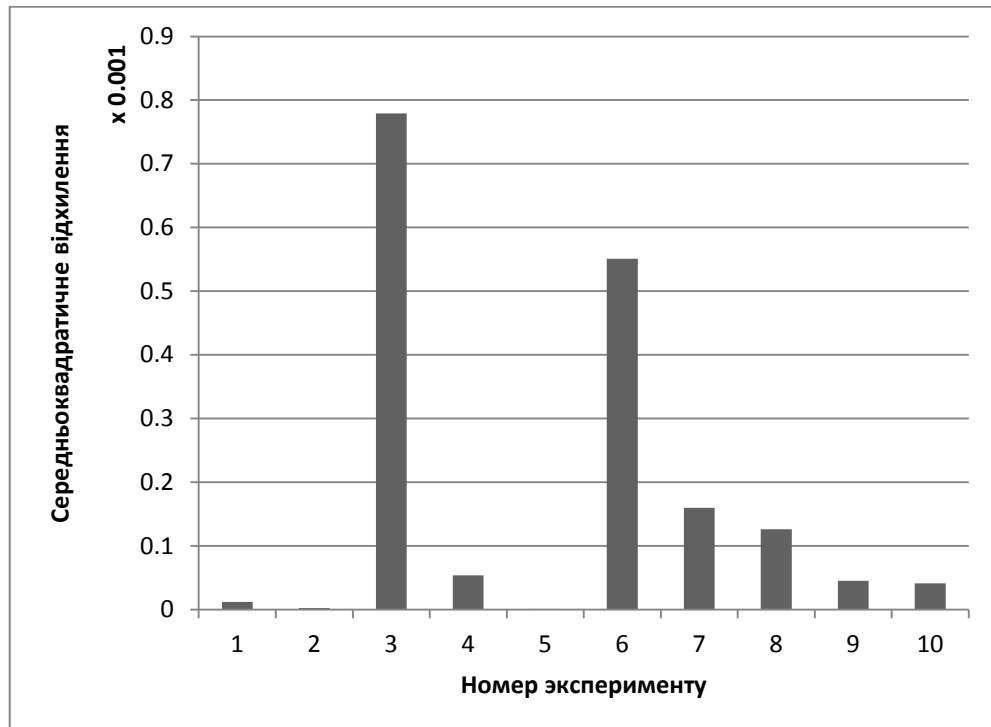


Рисунок 3 – Середньоквадратичне відхилення фітнесу для тестових послідовностей

Порівнюються два новітніх розширення RTX 2012 фірми IntervalZero і Kithara Real-Time Suite від Kithara Software. На розроблених тестових прикладах обидві досліджувані системи показали відповідність заявленим розробниками можливостям і всім необхідним вимогам для реалізації спеціалізованого програмного забезпечення: високий рівень реактивності 0,01 мс; можливість створення потоків з пріоритетами; створення таймерів високої швидкодії; призначення прив'язки (affinity) до ядра для кожного створеного потоку.

Однак, у зв'язку з тим, що розроблені в дисертаційному дослідженні моделі припускають монопольне використання ресурсів системи, в якості платформи для розробки системи керування процесом моделювання було обрано розширення реального часу RTX 2012. Крім відповідності модельним вимогам, дана система надає додаткові засоби для контролю виконання, оцінки продуктивності та налагодження програм.

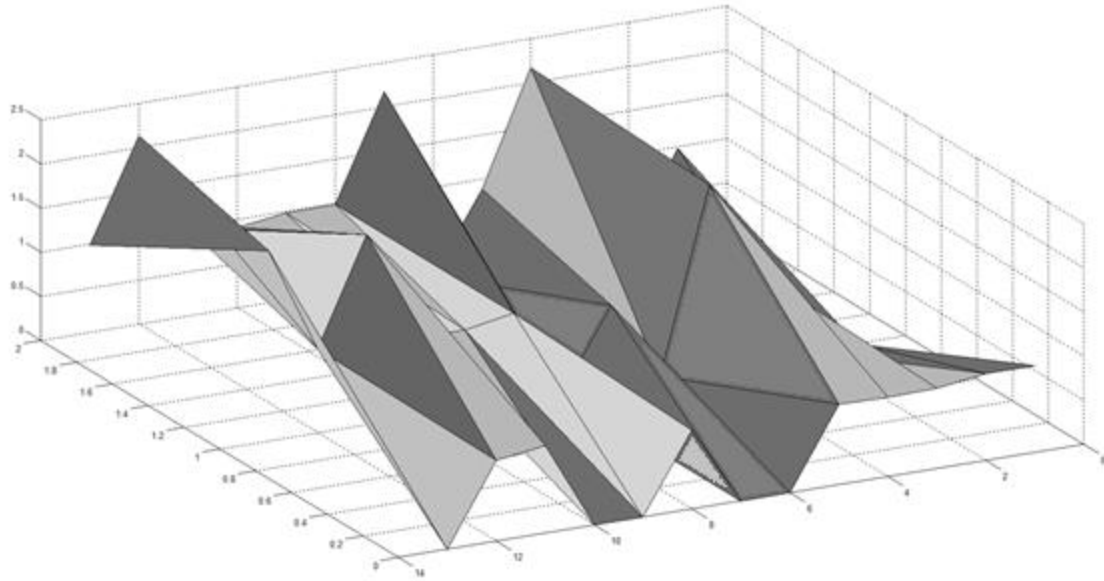


Рисунок 4 – Графік однієї з площин цільової функції F (одне ядро)

На підготовчому етапі створення моделі виконано вимірювання часових характеристик з використанням засобів профілювання середовища розробки Microsoft Visual Studio 2012. Отримано значення часової затримки, заснованої на використанні програмованих таймерів і при передачі керування з функції обробки подій таймера, а також час роботи самої функції обробки. Сумарне значення цих величин визначає витрати на диспетчеризацію (p), яке для досліджуваної операційної системи склало 0,1 мкс.

Наступним етапом пропонується структурна організація комплексу напівнатурного моделювання і його програмних компонент для стандартної архітектури x86 (рис.5).

Залежно від типу цільової платформи виконується розрахунок чисельних значень моделі за одним із запропонованих в дисертації алгоритмів оптимізації: для системи з узагальненою цифровою частиною або для багатоядерної системи. Побудова розкладу на основі раніше виконаної оптимізації виконується у відповідному модулі (рис.5) у вигляді датаграми для подальшої її передачі та обробки в циклі реального часу ЗМ.

Основне завдання модуля керування зводиться до виконання запропонованого циклічного обчислювального процесу на кожному з ядер системи. В основі даної реалізації лежить установка таймера з заданим для кожного з ядер періодом обробки. Його значення визначається датаграмою і дорівнює L_j , де j – номер ядра. При створенні таймера йому встановлюється максимальний пріоритет в системі, щоб забезпечити безумовне слідування розробленому розкладу. Оброблювач таймера виконує послідовний запуск всіх призначених на ядро M_j потоків ЗМ в зазначеному порядку. Кожному потоку моделі надається заданий час на виконання, після чого його робота припиняється. Далі виконується наступний потік зі списку. Після виклику всіх

необхідних потоків функція обробника таймера припиняється. Її повторний виклик ініціюється сигналом від таймера, який відповідає настанню нового РЧ-циклу. Всі виконувані потоки створюються з встановленням affinity mask, в якій задана їх прив'язка до необхідного ядра системи.

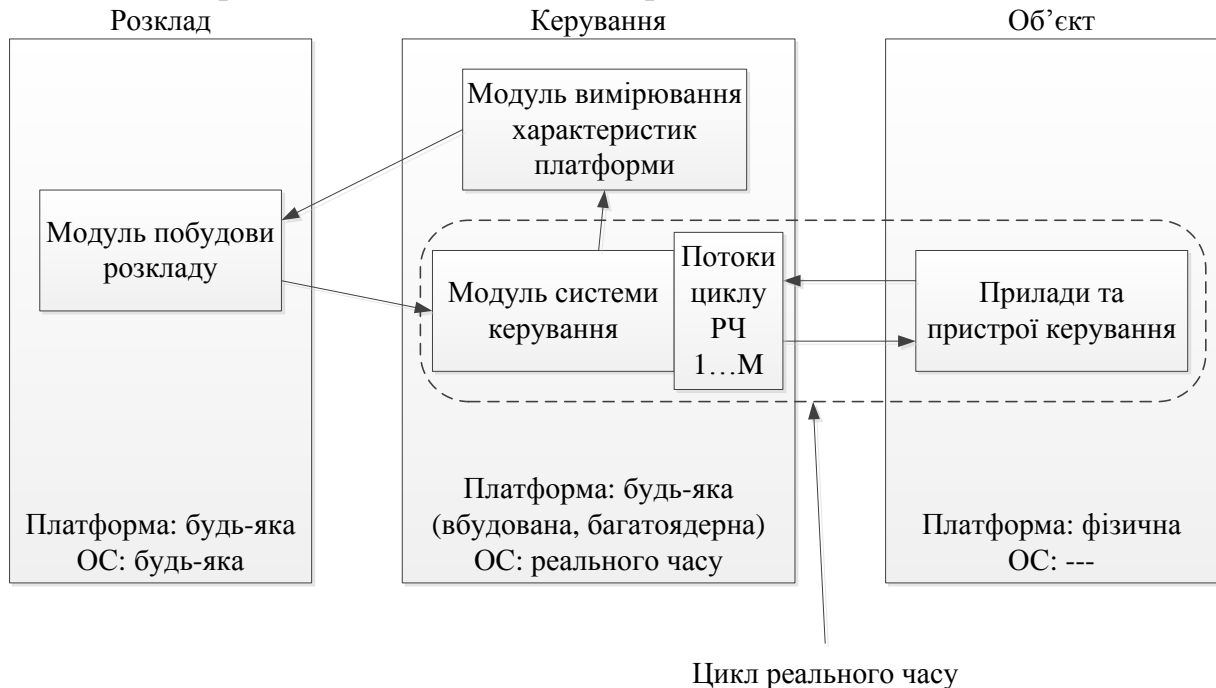


Рисунок 5 – Структура комплексу напівнатурного моделювання

Реалізацію середовища керування циклічним розкладом реального часу на системі RTX 2012 виконано мовою C++ з використанням спеціальних системних функцій бібліотек RTX.

Отримані на практиці результати теоретичних досліджень використані для доповнення методики розробки засобів моделювання для багаточастотних динамічних систем. Уточнено етап розробки циклічної моделі автоматизованої системи керування об'єктом, який передбачає перенесення готової напівнатурної моделі у вигляді набору функцій обробки (ФО) всіх диференціальних рівнянь фізичного об'єкта у форму програмного коду цільової платформи.

П'ятий розділ «Експериментальне дослідження коректності та застосовності розроблених інструментальних програмних засобів для багатозв'язного об'єкта з розподіленими параметрами» присвячений експериментальному дослідженню наукових результатів, отриманих при розробці комплексу напівнатурного моделювання. В якості різночастотної динамічної системи для перевірки обраний мережевий аеродинамічний об'єкт - ШВМ. Кожна його гілка розглядається як об'єкт з розподіленими параметрами, аерогазодинамічні процеси описуються системою рівнянь відносно концентрації метану і потоків повітря. Загальна кількість рівнянь, які описують розглянуту аерогазодинамічну модель, становить 406.

Для чисельного моделювання системи ЗДУ обраний метод Рунге-Кутта четвертого порядку. Для його застосування при вирішенні задачі Коші крім самої системи рівнянь, визначені початкові умови.

Згідно запропонованої в четвертому розділі методики було виконано реалізацію програмного вирішувача системи рівнянь даної моделі мовою C++. Інтегрування рівнянь системи по повітрю і метану реалізовано в окремих програмних потоках проекту. Оскільки зміна витрати повітря і концентрації метану в об'єкті відбувається з різною швидкістю, їх моделювання, згідно запропонованої методики, також виконується паралельними потоками з різною частотою.

Для верифікації результатів, отриманих розробленою системою, виконувалося порівняння сталих значень величин з відомими еталонними і результатів моделювання даної ШВМ в MATLAB.

Оцінка ефективності роботи системи реального часу при багатопотоковому моделюванні аерогазодинамічного об'єкта виконана для різних режимів роботи: обчислення систем рівнянь за метаном і повітрям виконуються з однаковою частотою (загальноприйняте моделювання) і обчислення на одному ядрі з використанням запропонованого підходу по згенерованому розкладу для системи з узагальненою цифровою частиною. Мета першого експерименту полягає в отриманні еталонних значень для можливості подальшої оцінки ефективності розробленого підходу. Моделювання виконувалося на інтервалі 40 секунд. З використанням функцій часових вимірів розширення RTX були отримані значення витраченого процесорного часу на виконання обробки, наведені в табл. 1 (I).

Таблиця 1

Витрати процесорного часу при моделюванні

	Витрати процесорного часу при моделюванні	
	I	II (різночастотне)
Час роботи потоку обробки по повітрю	24,591 с	24,585 с
Час роботи потоку обробки по метану	1,997 с	0,4447 с
Сумарний процесорний час ЗМ	27,221 с	25,643 с

Час функціонування циклу РЧ визначається від точки входу у функцію обробки потоку, тобто після спрацьовування сигналу від таймера до передачі управління під час повернення з функції.

Під час другого експерименту моделювання виконується на тому ж часовому інтервалі, але кожна з систем фізичних величин прораховується з власною частотою, яка відповідає періодам (T_1, T_2). Порядок та часові параметри роботи моделі системи керування встановлюються розробленою датаграмою. В результаті профілювання були отримані дані, наведені в табл. 1 (II).

Отримані величини процесорного часу виконання обробки потоків ЗМ для другого експерименту менші і значить, ефективніші в порівнянні з першим. Результати свідчать про істотне зменшення часових витрат на моделювання системи по метану в 4,49 рази. Загальне скорочення процесорного часу склало 5,7%, враховуючи малі обчислювальні витрати по метану на циклі РЧ. Верифікація отриманої продуктивності системи виконується порівнянням відношення реального сумарного часу виконання до часу моделювання і значення цільової функції, розрахованого при оптимізації моделі обчислювального процесу $0,641075 < 0,641100$. Таким чином, побудована система моделювання задовольняє обмеженням завдання проектування і дозволяє зменшити час обчислення для повільних складових динамічного об'єкта.

У дисертації було виконано моделювання ШВМ з використанням розробленої датаграми, згідно якої виконання потоків відбувається на різних ядрах системи. При такій організації обчислень фазових змінних скорочення процесорного часу склало 7,5% по відношенню до загальноприйнятого підходу.

Незважаючи на продемонстровану ефективність, можливо удосконалення запропонованих способів і алгоритмів на різних етапах проектування засобів напівнатурного моделювання динамічних багаточастотних об'єктів. Основні шляхи поліпшення пов'язані з удосконаленням моделей організації обчислювального процесу та реалізацією системи керування процесом моделювання в реальному масштабі часу для конкретних апаратних платформ.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено рішення науково-практичної задачі, яка полягає в створенні та оптимізації нового способу організації обчислювального процесу, який дозволяє підвищити ефективність засобів напівнатурного моделювання для різночастотних об'єктів з директивними строками. Розроблені алгоритми напівнатурного моделювання апробовані на шахтній вентиляційній мережі, вони можуть застосовуватися і в інших предметних областях.

В дисертації отримані наступні результати:

1. Запропоновано та обґрунтовано модель цифрової частини обчислювальної системи, в якій враховано особливості моделювання різночастотних об'єктів. Введено показники, що визначають основні характеристики системи, які впливають на необхідну швидкодію.

2. Запропоновано нову організацію циклічного обчислювального процесу, для якого сформульовано необхідні умови, що описують його виконання. Введено поняття циклу реального часу. Обґрунтовано та розроблено модель організації обчислювального процесу для багатоядерної системи.

3. Встановлено, що задача оптимізації моделі циклу реального часу системи із узагальненою цифровою частиною відноситься до класу нелінійних цілочисельних задач. Виконано аналіз можливих методів вирішення, серед яких

обрано, обґрунтовано та застосовано з урахуванням особливостей задачі метод меж і гілок.

4. Задача оптимізації розкладу для цифрової частини багатоядерних систем класифікована як змішана нелінійна цілочисельна. Для її вирішення обґрунтований вибір алгоритму штучної бджолоїної колонії. Виконано адаптацію та реалізацію алгоритму, в якій покращені функції ініціалізації початкових значень та переходу за дискретними координатами. На підставі експериментальних досліджень проведено налаштування його параметрів і перевірку для тестових послідовностей вихідних даних.

5. Розроблено структуру модуля планування для складання оптимальних датаграм на основі моделей обчислювальних процесів для системи із узагальненою цифровою частиною та багатоядерної системи.

6. Запропоновано та реалізовано програмну організацію системи керування процесом моделювання на базі операційної системи реального часу RTX 2012.

7. Модифіковано методику побудови засобів напівнатурного моделювання для дослідження різночастотних динамічних об'єктів.

8. Розроблено аерогазодинамічну багаточастотну напівнатурну програмну модель ШВМ, яка складається із восьми гілок. Встановлено існування та побудовано циклічні розклади для одноядерного та багатоядерного розв'язання рівнянь моделі. На основі розроблених датаграм виконано розробку та конфігурування засобів керування обчислювальним процесом в реальному масштабі часу. Виконано аналіз результатів моделювання розробленої системи.

Розроблені алгоритми та моделі реалізовано у вигляді комплексу програм. Результати дисертаційних досліджень впроваджено в навчальний процес ДонНТУ в якості методичних вказівок з курсу «Паралельні та розподілені обчислення».

Розроблене програмне забезпечення і тестові паралельні моделі використовуються у науковій співпраці з Обчислювальним центром надвисокої потужності (HLRS), Інститутом паралельних і розподілених систем (IPVS) Штутгартського університету.

ПУБЛІКАЦІЇ НА ТЕМУ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Иванов Ю. А. Измерение накладных расходов в операционной системе для построения системы моделирования процессов реального времени / Ю. А. Иванов // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування». — 2008. — № 7(150). — С. 158—167.
2. Иванов Ю. А. Управление циклом реального времени встроенных систем при моделировании / Ю. А. Иванов, В. А. Святный // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування». — 2010. — № 8(168). — С. 5—14.
3. Иванов Ю. А. Анализ выполнения программ при моделировании динамических систем / Ю. А. Иванов // Наукові праці Донецького

національного технічного університету, серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування». — 2011. — № 10(197). — С. 234—240.

4. Иванов Ю. А. Алгоритм оптимизации цикла реального времени при моделировании динамических систем / Ю. А. Иванов // Научно-технический журнал «Радиоэлектронные и компьютерные системы», Национальный аэрокосмический университет им. М. Е. Жуковского «ХАИ». — 2012. — № 6(58). — С. 135—138.

5. Иванов Ю. А. Алгоритм решения задачи оптимизации для циклических расписаний с прерываниями / Ю. А. Иванов // Научно-технический журнал «Радиоэлектроника, информатика, управление», Запорожский Национальный технический университет. — 2012. — № 2(27). — С. 97—101.

У роботі [2] авторів належать основні ідеї, алгоритми, методи побудови моделей і результати модельних експериментів.

АНОТАЦІЯ

Іванов Ю.О. Оптимізація обчислювальних процесів реального часу в системах напівнатурного моделювання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2013.

Дисертація присвячена оптимізації обчислювальних процесів цифрових засобів напівнатурного моделювання складних динамічних систем з різночастотними складовими.

З використанням методів теорії розкладів і врахуванням специфіки динамічних об'єктів, що досліджуються, запропоновано спосіб організації обчислювального процесу, для якого сформульовано необхідні умови, які описують його існування. В роботі запропоновано математичні моделі обчислень в циклі реального часу та поставлено екстремальні задачі синтезу оптимальних стратегій керування розкладами для найбільш розповсюдженої платформи, яка використовується в даний час – багатоядерної системи. Для систем з узагальненою цифровою частиною сформульовано підхід для розрахунку оптимальних параметрів розкладу на основі методу меж та гілок і реалізовано як алгоритм. Оптимізацію моделі багатоядерної системи виконано шляхом модифікації дискретного алгоритму штучної бджолоїної колонії.

В дисертаційній роботі побудовано структурну організацію системи керування процесом моделювання на базі розширення реального часу RTX 2012. Запропоновано узагальнену методику побудови засобів напівнатурного моделювання для апаратних платформ із загальною пам'яттю. Розроблено програмну систему моделювання різночастотного мережевого аерогазодинамічного об'єкту – шахтної вентиляційної мережі. Дослідження моделі показало значне підвищення ефективності роботи за рахунок зниження витрат процесорного часу на обробку та диспетчеризацію.

Ключові слова: обчислювальний процес, розклад, система реального часу, цілочисельна оптимізація, напівнатурне моделювання, багатоядерна система.

АННОТАЦІЯ

Иванов Ю.А. Оптимизация вычислительных процессов реального времени в системах полунатурного моделирования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Компьютерные системы и компоненты. – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2013.

Диссертация посвящена оптимизации вычислительных процессов цифровых средств полунатурного моделирования сложных динамических систем с разночастотными составляющими.

Эффективность задачи моделирования предложено оценивать с помощью нагрузочной характеристики для определения возможностей совершенствования системы при решении задач полунатурного моделирования. С использованием методов теории расписаний и учетом специфики исследуемых динамических объектов предложен способ организации вычислительного процесса, для которого сформулированы необходимые условия, описывающие его реализуемость. Введены показатели, определяющие основные характеристики системы, влияющие на быстродействие. В работе предложены математические модели вычислений в цикле реального времени и поставлены экстремальные задачи синтеза оптимальных стратегий управления расписаниями для наиболее распространенной платформы, использующейся в данное время – многоядерной системы. Предложена и обоснована модель с директивными сроками для такой вычислительной системы.

На основании анализа полученных математических моделей, с применением методов теории нелинейной целочисленной оптимизации предложены алгоритмы расчета оптимальных параметров расписания. Для систем с обобщенной цифровой частью сформулирован подход на основе метода ветвей и границ и реализован как алгоритм. Проведенные эксперименты показали высокий уровень эффективности и получение точного решения для всех тестовых последовательностей. Оптимизация более сложной модели многоядерной системы выполнена путем модификации дискретного алгоритма искусственной пчелиной колонии. С целью повышения эффективности предложено усовершенствование алгоритма за счет использования для инициализации начальных условий сбалансированного распределения потоков по ядрам системы. Для достижения такого результата сформулирована задача оптимизации, которая классифицирована как задача о камнях. Выполнена ее реализация с использованием эвристического решения, основанного на применении жадного алгоритма. Исследование его работы показало высокую эффективность включения принимаемого в начале решения. Анализ

среднеквадратического отклонения полученных результатов минимума функции гарантирует устойчивость работы разработанного дискретного алгоритма искусственной пчелиной колонии.

Основываясь на предложенном способе организации вычислительного процесса, предложена структура комплекса полунатурного моделирования. В ее состав входят: модуль предварительного планирования для составления датаграммы, на основе результатов оптимизации моделей вычислительных процессов для системы с обобщений цифровой частью, многоядерной платформы и система управления процессом моделирования на базе операционной системы реального времени RTX 2012. Предложено дополнение к методике построения средств полунатурного моделирования с учетом особенностей разночастотных динамических объектов, которое заключается в модификации этапа: разработки циклической модели автоматизированной системы управления объектом. Соответствие вычисления потоков задачи моделирования установленным директивным срокам обеспечивается точностью проведенного профилирования и выполненного анализа временных характеристик расширений реального времени.

Разработана программная система моделирования разночастотного сетевого аэрогазодинамического объекта – шахтной вентиляционной сети. Моделирование в реальном масштабе времени с учетом двухчастотного представления объекта выполнено как на системе с обобщенной цифровой частью, так и на многоядерной системе. Исследование модели показало значительное повышение эффективности работы за счет снижения затрат процессорного времени на обработку и диспетчеризацию, а также полное соответствие работы математическим моделям вычислительного процесса, выполнение директивных сроков всех потоков. Эффективность проведенных экспериментов определена уменьшением процессорного времени на вычисление функции расчета значений по метану в 4,5 раза.

Ключевые слова: вычислительный процесс, расписание, система реального времени, целочисленная оптимизация, полунатурное моделирование, многоядерная система.

ANNOTATION

Ivanov Y.O. Task scheduling optimization in real-time simulators. – Manuscript.

The thesis for a candidate's degree in technic sciences in specialty 05.13.05 – Computer systems and components. – Donetsk National Technical University, Donetsk, 2013.

The purpose of the thesis – digital processing optimization in real-time simulators for complex dynamical multifrequency objects simulation.

New approach for scheduling dynamic systems processing was proposed based on scheduling theory and features the problem under consideration. All necessary conditions that describe its feasibility were determined. In the thesis real-time

computational period optimization problems were proposed. Author set tasks of synthesis scheduling strategies for common multicore system. For systems with general digital computing unit new approach was proposed to determine optimal schedule parameters using branch and bound method. Also in thesis a corresponding algorithm was developed. Artificial bee colony algorithm was modified and applied for optimization multicore system model.

In thesis system for simulation control was developed using real-time extension RTX 2012. General method for developing real-time simulators was proposed for all hardware platforms with shared memory. Experimental verification in thesis was done for simulation multifrequency aerodynamic problem – mine ventilation network. The investigations showed significant increase effectiveness through reduce CPU time for computing and scheduling

Key words: scheduling, hard-real-time system, mixed- nonlinear optimization, real-time simulation, multicore system.