$$\varepsilon_{ij}(\tau)=\frac{1}{E_{ijkl}}\sigma_{ij}(\tau)+\int_0^{\tau}\frac{1}{E_{ijkl}}\sigma_{kl}(\tau)K_{ijkl}(\tau-\tau_0)\,d\tau_0\,; \qquad (18)$$

$$\sigma_{ij}(\tau)=E_{ijkl}\varepsilon_{kl}(\tau)-\int_0^{\tau}E_{kl}\varepsilon(\tau)R_{ijkl}(\tau-\tau_0)\,d\tau_0\,, \qquad (19)$$

де індексами i, j, k, l позначено головні напрямки анізотропії матеріалу.

Висновок. Рівняння Вольтери-Больцмана описують реологічну поведінку деревини в лінійній інваріантній відносно часового зсуву області деформування.

Література

1. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин. – М. : Изд-во "Наука", 1986. – 320 с.
2. Можарский В.В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В.В. Можарский, В.Е. Старжинский. – Минск : Изд-во "Наука и техника", 1988. – 170 с.

Поберейко Б.П. **Обоснование ограничений практического использования уравнений Вольтера-Больцмана**

Проведено обобщение упруго-демпферных моделей Фойгта, Максвелла, Кельвина и т. д., и на его основании показано, что практическое использование известных уравнений Вольтера-Больцмана для описания деформативности древесины ограничено. В частности установлено, что эти уравнения удовлетворительно описывают реологическое поведение материала в линейной инвариантной относительно временного сдвига области деформирования. Кроме этого, подтверждено, что в отличие от упруго-демпферных моделей уравнения Вольтера-Больцмана позволяют определить характеристики деформативности древесины как с одноосным, так и с двухосным, плоским та сложным напряженными состояниями.

Ключевые слова: ядро ползучести, ядро релаксации, напряжения, деформации, уравнения Вольтера-Больцмана.

Pobereyko B.P. **Justifying Limitations for Practical Use of Voltaire-Boltzmann's Equations**

Some elastic-damping models of Voigt, Maxwell, Kelvin, etc. are generalised. The practical use of the known Voltaire-Boltzmann's equations to describe the deformation of wood is indicated to be limited. In particular, these equations are found to reasonably describe the rheological behaviour of a material in a linear invariant under time offset area of deformation. Moreover it is confirmed that unlike elastic-damping models, Voltaire-Boltzmann's equations allow determining the deformation characteristics of wood as with uniaxial and biaxial, the flat complex stressed state.

Key words: kernel creep, relaxation kernel, stress, strain, equations Voltaire-Boltzmann.

УДК 681.3

Доц. О.А. Пастух, д-р техн. наук – Тернопільський НТУ ім. Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ КВАНТОВИМИ РАДІОТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Виконано аналіз дослідження та математичне моделювання ефективності роботи квантових радіотехнічних систем при перетворенні нечіткої інформації. Встановлено, що ефективність перетворення нечіткої інформації квантовими радіотехнічними системами є більшою, порівняно з ефективністю відповідних перетворень нечіткої інформації у суперкомп'ютерних системах. Важливість результатів полягає в тому, що фактично розглянуто реалізацію нечітких баз знань у квантових радіотехнічних системах. Важливість одержаних результатів обумовлена тим, що квантові радіотехнічні системи мають змогу здійснювати обробку інформації, що містить невизначеність.

Ключові слова: квантова радіотехнічна система, нечітка інформація, суперкомп'ютер.

Вступ. На сьогодні широкого використання набувають квантові радіотехнічні системи, що призначені для перетворення нечіткої інформації, зокрема нечіткого функціонального перетворення та нечіткого логічного виведення з $\max-\bullet$ композиційним правилом виведення і Larsen-імплікацією. Інтерес до таких квантових радіотехнічних систем обумовлений тим, що вони затрачають менше обчислювальних та енергетичних ресурсів, порівняно з наявними прототипами.

У роботі розглянуто аналіз затрат ресурсів часу квантовими радіотехнічними системами на нечіткі функціональні перетворення та нечіткі логічні виведення з $\max-\bullet$ композиційним правилом виведення і Larsen-імплікацією, порівняно з ідеалізованою моделлю суперкомп'ютера "Jaguar". Ці методи уперше розроблені в **[1]**.

Постановка завдання. Дослідити ефективність часового ресурсу квантових радіотехнічних систем у разі виконання ними нечітких функціональних перетворень та нечітких логічних виведень з $\max-\bullet$ композиційним правилом виведення і Larsen-імплікацією.

Основна частина. Порівняння ефективності квантових радіотехнічних систем (qr-систем) здійснюється з ефективністю нечітких функціональних перетворень та нечітких логічних виведень з $\max-\bullet$ композиційним правилом виведення і Larsen-імплікацією в ідеалізованій моделі суперкомп'ютера "Jaguar".

В основі елементних баз 224162 процесорних ядер розглядають емітерно-зв'язану логіку (ЕЗЛ), емітерно-емітерно-зв'язану логіку (E^2ЗЛ), малосигнальну емітерно-зв'язану логіку (МЕЗЛ) та комплементарну метал-оксид напівпровідникову логіку (КМОН).

У qr-систем розглянуто 64-кубітний квантовий регістр.

На рис. 1 а, б зображено оцінки $\tilde{t}(n)$ у вигляді функцій затрат часу: $\tilde{t}_{ЕЗЛ}(n)$ – оцінка затрат часу, коли процесорні ядра суперкомп'ютера використовують ЕЗЛ тип логіки, $\tilde{t}_{E^2ЗЛ}(n)$ – E^2ЗЛ тип логіки, $\tilde{t}_{МЕЗЛ}(n)$ – МЕЗЛ тип логіки, $\tilde{t}1_{qf}(n)$ – оцінка затрат часу qr-системи, квантові біти якої реалізовані на напівпровідниковій елементній базі, $\tilde{t}2_{qf}(n)$ – НВЧ-резонаторах.

На рис. 2 а, б показано оцінки: $\tilde{t}_{ЕЗЛ}(n)$ – оцінка затрат часу, коли процесорні ядра суперкомп'ютера використовують ЕЗЛ тип логіки, $\tilde{t}_{E^2ЗЛ}(n)$ – E^2ЗЛ тип логіки, $\tilde{t}_{МЕЗЛ}(n)$ – МЕЗЛ тип логіки, $\tilde{t}3_{qf}(n)$ – оцінка витрат часу qr-системи, квантові біти якої реалізовані на квантових точках, $\tilde{t}4_{qf}(n)$ – іонних пастках, оптичних резонаторах або електронах-Au.

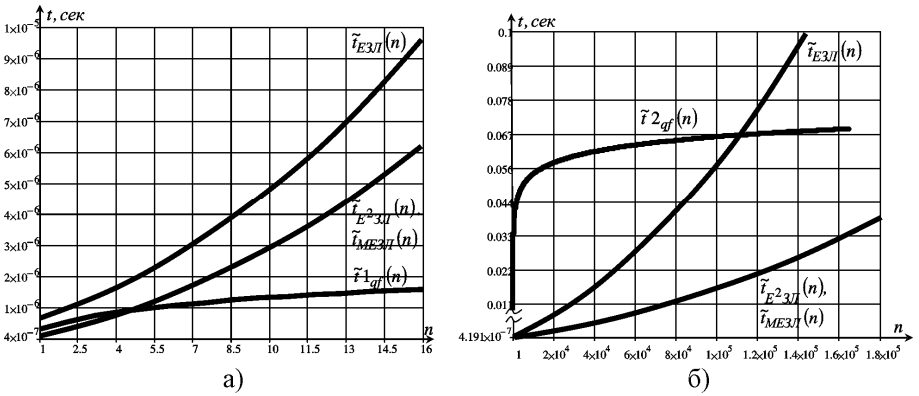

Рис. 1. Порівняння оцінок затрат часу суперкомп'ютера з ЕЗЛ, Е²ЗЛ, МЕЗЛ типами логік процесорних ядер з *qr* ***-системою, квантові біти якої реалізовані на:*** *1) напівпровідниковій елементній базі, 2) НВЧ-резонаторах*

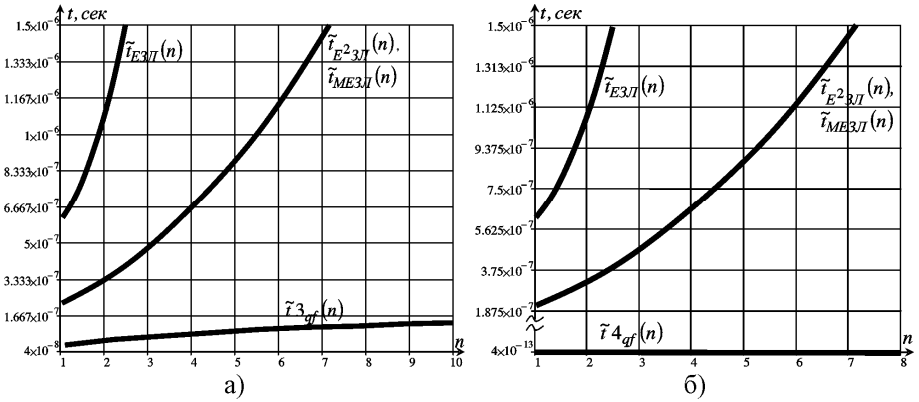

Рис. 2. Порівняння оцінок затрат часу суперкомп'ютера з ЕЗЛ, Е²ЗЛ, МЕЗЛ типами логік процесорних ядер з *qr* ***-системою, квантові біти якої реалізовані на:*** *1) квантових точках; 2) іонних пастках, оптичних резонаторах або електронах-Au*

На рис. 3 а, б показано оцінки: $\tilde{t}_{КМОН}(n)$ – оцінка затрат часу, коли ядра використовують КМОН тип логіки, $\tilde{t}1_{qf}(n)$ – оцінка затрат часу *qr*-системи, квантові біти якої реалізовані на напівпровідниковій елементній базі, $\tilde{t}2_{qf}(n)$ – НВЧ-резонаторах.

На рис. 4 а, б зображено оцінки для реалізації нечіткого функціонального перетворення або нечіткого логічного виведення, що базується на max–• композиційному правилі виведення із Larsen-імплікацією: $\tilde{t}_{КМОН}(n)$ – оцінка затрат часу, коли ядра суперкомп'ютера реалізовані КМОН тип логіки, $\tilde{t}3_{qf}(n)$ – оцінка затрат часу *qr*-системи, квантові біти якої реалізовані на квантових точках, $\tilde{t}4_{qf}(n)$ – іонних пастках, оптичних резонаторах або електронах-Au.

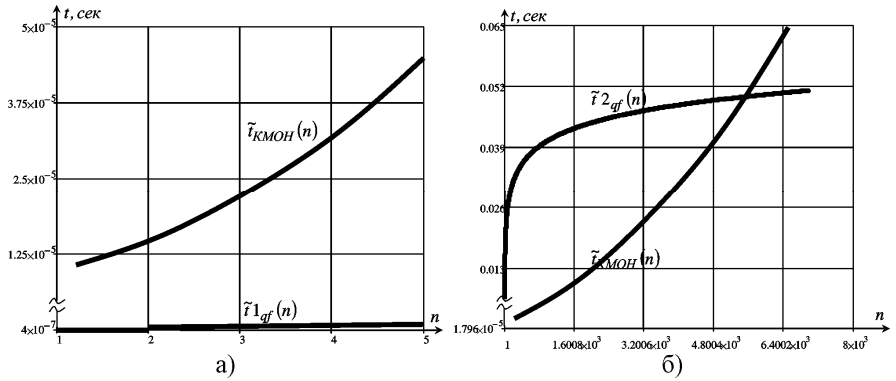

Рис. 3. Порівняння оцінок затрат часу суперкомп'ютера з КМОН логікою ядер з *qr* ***-системою, квантові біти якої реалізовані на:*** *1) напівпровідниковій елементній базі, 2) НВЧ-резонаторах*

Якщо збільшувати масштаб по вертикальній координатній вісі в околі значень оцінок функцій $\tilde{t}4_{qf}(n)$ (рис. 2 б), $\tilde{t}3_{qf}(n)$ (рис. 4 а), $\tilde{t}4_{qf}(n)$ (рис. 4, б), вони набудуть вигляду логарифмічних функцій. Загальний вигляд зображено на рис. 5.

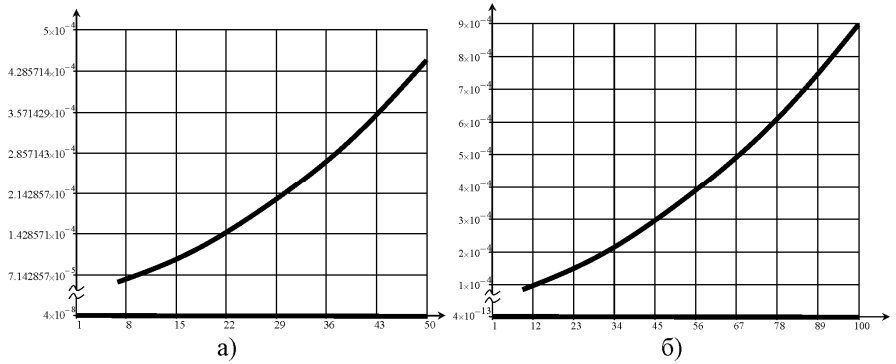

Рис. 4. Порівняння оцінок затрат часу суперкомп'ютера з КМОН логікою ядер з *qr* ***-системою, квантові біти якої реалізовані на:*** *1) квантових точках; 2) іонних пастках, оптичних резонаторах або електронах-Au*

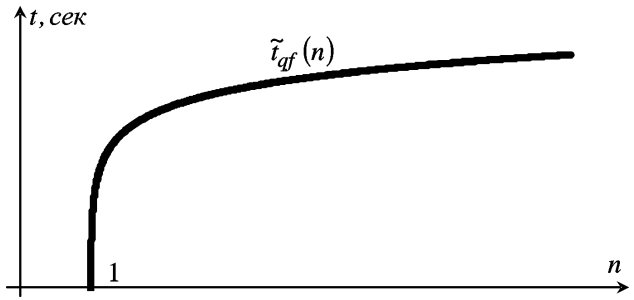

Рис. 5. Загальний вигляд оцінок затрат часу для *qr* ***-системи***

Висновки. З отриманих результатів випливає, що при малих об'ємах вхідних даних ефективними є суперкомп'ютери, а при великих об'ємах вхідних даних ефективними є qr-системи.

Література

1. Пастух О.А. Науково-технічні основи побудови квантових нечітких обчислювальних засобів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.13.05 / Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. – К., 2013. – 38 с.

Пастух О.А. **Исследование и математическое моделирование эффективности преобразования информации квантовыми радиотехническими системами**

Выполнен анализ исследования и математическое моделирование эффективности работы квантовых радиотехнических систем при превращении нечеткой информации. Установлено, что эффективность превращения нечеткой информации квантовыми радиотехническими системами является большей в сравнении с эффективностью соответствующих превращений нечеткой информации в суперкомпьютерных системах. Важность результатов статьи заключается в том, что фактически рассмотрены реализации нечетких баз знаний в квантовых радиотехнических системах. Важность полученных результатов обусловлена тем, что квантовые радиотехнические системы имеют возможность осуществлять обработку информации, которая содержит неопределенность.

Ключевые слова: квантовая радиотехническая система, нечеткая информация, суперкомпьютер.

Pastukh O.A. **The Investigation and Mathematical Simulation of Information Transformation Efficiency by Quantum Radio-Engineering Systems**

The analysis and mathematical simulation of the quantum radio-engineering system operation efficiency by transformation of fuzzy information is carried out. The efficiency of transformation of fuzzy information by quantum radio-engineering systems is determined to be higher comparing to the efficiency of corresponding transformation of indistinct information in supercomputers. The importance of the research is due to the fact that implementation of indistinct knowledge bases in quantum radio-engineering systems is studied. The importance of the obtained results is due to the fact that quantum radio-engineering systems are able to process information that contains uncertainty.

Key words: quantum radio-engineering system, fuzzy information, supercomputer, transformation, knowledge base.

УДК 621.9.048.6 ***Проф. З.А. Стоцько, д-р техн. наук; асист. Д.П. Ребот; доц. В.Г. Топільницький, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"***

ВПЛИВ НЕПЕРІОДИЧНИХ СИЛ НА ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У СИПКОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПІД ЧАС ВІБРАЦІЙНОЇ СЕПАРАЦІЇ

Описано метод визначення амплітудно-частотних характеристик сипкого середовища за умови впливу на процес його сепарації неперіодичних сил. Для цього розглянуто математичну модель сипкого середовища за умови його вертикального збурення в контейнері вібраційного сепаратора. У цьому випадку сипке середовище розглядається як нашарування плоских балок. Побудовано залежності зміни амплітуди коливань сипкого середовища від швидкості його руху вздовж сита. Досліджено вплив явища резонансу на амплітуду коливань сипкого середовища за умови певної заданої маси завантаження.

Ключові слова: вібросепаратор, динаміка, сипке середовище, математична модель, амплітудно-частотні характеристики.

Актуальність. Враховуючи зростаючі темпи виробництва у гірничодобувній, хімічній, будівельній, харчовій галузях промисловості, у машинобудуванні, сільському господарстві щоразу більша кількість сировини різного типу потребує перероблення сепарацією, що сприяє необхідності дослідження та вдосконалення конструкції сепаруючого обладнання. Для цього на відповідних підприємствах запроваджують дедалі досконаліше обладнання, зокрема вібраційні сепаратори. Вони належать до ефективних видів технологічного обладнання та можуть широко застосовуватись для розділення всіх видів сипких матеріалів, окрім липких. Вони чудово зарекомендували себе при збагаченні та переробленні різних видів мінеральної сировини. Спосіб розділення у вібросепараторах оснований на ефекті сепарації частинок матеріалу за їх властивостями на вібруючих поверхнях та дає змогу здійснювати розподіл за розміром, формою, коефіцієнтом тертя, пружністю та іншими фізико-механічними характеристиками частинок.

У різних сферах промисловості використовують різні типи вібраційних сепараторів. Загалом можна виділити сім типів машин для вібросепарації у виробництві [2, 7]. До першого типу належать обертові ситові барабани із зовнішньою та внутрішньою подачею суміші. У вібросепараторах шафового типу для видалення сторонніх домішок створений робочий вузол, для попереднього очищення від грубих, об'ємних та частково легких домішок.

Другий тип – вібраційні машини з коловими поступальними рухами робочих органів. Прикладом таких машин є сепаратор для розділення сипких середовищ фірми SWECO [8]. У цій сфері проведено дослідження зі збільшення можливостей фракціонування в машинах даного типу, зосередження в окремих фракціях домішок, які важко відділяються. Це дозволило збільшити ефективність машин, зменшити втрати з відходами та раціонально використовувати середовища, що завантажуються.

Третій тип – вібраційні машини зі зворотно-поступальним рухом робочих органів. Здійснено дослідження із заміни решітчастих робочих органів на робочі органи з рифленою поверхнею, створення надійних приводних механізмів з мінімальними силовими навантаженнями та параметрами, що регулюються.

Четвертий тип – вібровідцентрові сортувальники. Характерні наявністю постійної та гармонічної складових кутової швидкості ситового барабана навколо вертикальної осі. У цих вібросепараторах досягнуто високої ефективності розділення сипких середовищ.

П'ятий тип – вібропневматичні сепаратори. Ці машини ефективно використовують для усунення із середовищ домішок, які важко видаляються.

Шостий тип – ударно-вібраційні сепаратори. Використовують для сепарації сипкого середовища по фракціях за масою та пружними властивостями.

Сьомий тип – використання вібрацій у робочих органах з повітряним потоком, шляхом застосування вібраційних лотків, що ділять сипкі суміші на шари перед подачею її в повітряний канал. Це дасть змогу зосередити легкі домішки у верхній частині шару, а важкі фракції у нижній частині шару.

Вагомою особливістю всіх типів вібросепараторів є те, що збурення від приводу передаються безпосередньо до просіюючих поверхонь. Параметри ко-