

І. С. Колесник, канд. техн. наук, доц.;
І. І. Михайлова, студ.

РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ГЛОБАЛЬНИХ І ЛОКАЛЬНИХ РИЗИКІВ

Проаналізовано задачі оцінювання ризиків в комп'ютерних системах (КС) і проблема побудови універсальної імітаційної моделі перетворювача вхідних розподілів імовірностей у вихідні. Запропоновано і реалізовано підхід щодо оцінювання ризиків в КС на базі алгебраїзації моделей.

Вступ

На сьогодні існує велика кількість самих різноманітних комп'ютерних систем, які забезпечують функціонування всіх сфер людської діяльності, в першу чергу — виробництва і комунікацій. Від надійності таких систем залежить робота як маленьких підприємств, так і великих корпорацій. Тому оцінювання ризиків у таких системах — постійно актуальна задача для проєктувальників і користувачів. Існує велика кількість аналітичних моделей і методів аналізу ризику, однак, всі ці моделі коректні для певних фіксованих розподілів імовірностей вхідних потоків. Класичні, моделі побудовані окремо для пуасонівських, ерлангівських та ін. розподілів імовірностей вхідних потоків. Ці моделі є наближеними для множини розподілів, близьких до базових.

Дж. Кінгман зробив радикальний крок до побудови моделей систем масового обслуговування (СМО) з довільними розподілами вхідного потоку заявок на базі розширення функції згортки [1]. На базі алгебри Кінгмана утворився клас робіт з узагальненими моделями СМО [2, 3].

Постановка проблеми та задачі

Нові можливості математичних пакетів і пакетів дозволили створити нові технології розробки імітаційних моделей систем, що дозволяють не «набирати відомі моделі в середовищі пакету», а конструювати «нові моделі для нових задач» [4, 5, 6, 7]. Термін конструювання тут означає створення моделі для кінцевих витрат часу і ресурсів. Ці моделі фактично є перетворювачами довільних вхідних сигналів у вихідні, що можуть бути «віртуальною реальністю», що є заміником реальних даних. Ефективність такої заміни зумовлюється рівнем адекватності моделі. Тобто, замість **витончених**, але обмежених аналітичних моделей, приходимо до чисто емпіричних моделей. Класична методологія побудови моделей «збирання статистичних даних, перевірка статистичної гіпотези, постановка і розв'язання аналітичної задачі». У цій роботі використовується методологія «аналіз породжуючих механізмів в цьому класі СМО, побудова імітаційної моделі, зведення її до алгебраїчної форми «нелінійне стохастичне різницеве рівняння, отримання і алгебраїзація моделі-перетворювача розподілів імовірностей. В підсумку отримуємо оператор, подібний звичайні згортці розподілів. Отримуємо модель, що дозволяє застосувати арсенал **витончених** методів «чистої» математики, а саме — алгебри [3].

Мета роботи — аналіз відомих підходів щодо оцінювання ризиків в КС; побудова імітаційних моделей процесів і моделей перетворень «вхідні розподіли імовірностей — вихідні розподіли імовірностей»; аналіз властивостей цих перетворень.

Аналіз і класифікація невизначеностей та ризиків в КС

В літературі існує велика кількість класифікацій невизначеностей, вибираємо за основу стандарти UML [6]. На рис. 1 подана класифікація невизначеностей, яка є прагматичним узагальненням відомих класифікацій стосовно мети цієї роботи. Вибрано такі класи: рівень невизначеності, ΔP_2 невизначеностей, невизначеності зовнішнього оточення, внутрішні невизначеності. Для рівня невизначеності взято такі значення: відомий розподіл невизначеностей, відомий тільки розкид, відомий породжуючий механізм, невизначеність незнання. Породжуючі механізми розділяємо в три

класи: гаусівські (з кінцевою дисперсією), негаусівські (з нескінченною дисперсією) та хаотичні. Невизначеності зовнішнього оточення, що можуть бути головним джерелом ризиків, розділені теж на три класи: потреби, або навантаження, конкуренти, або інші КС, глобальні невизначеності — природні, техногенні, фінансові.

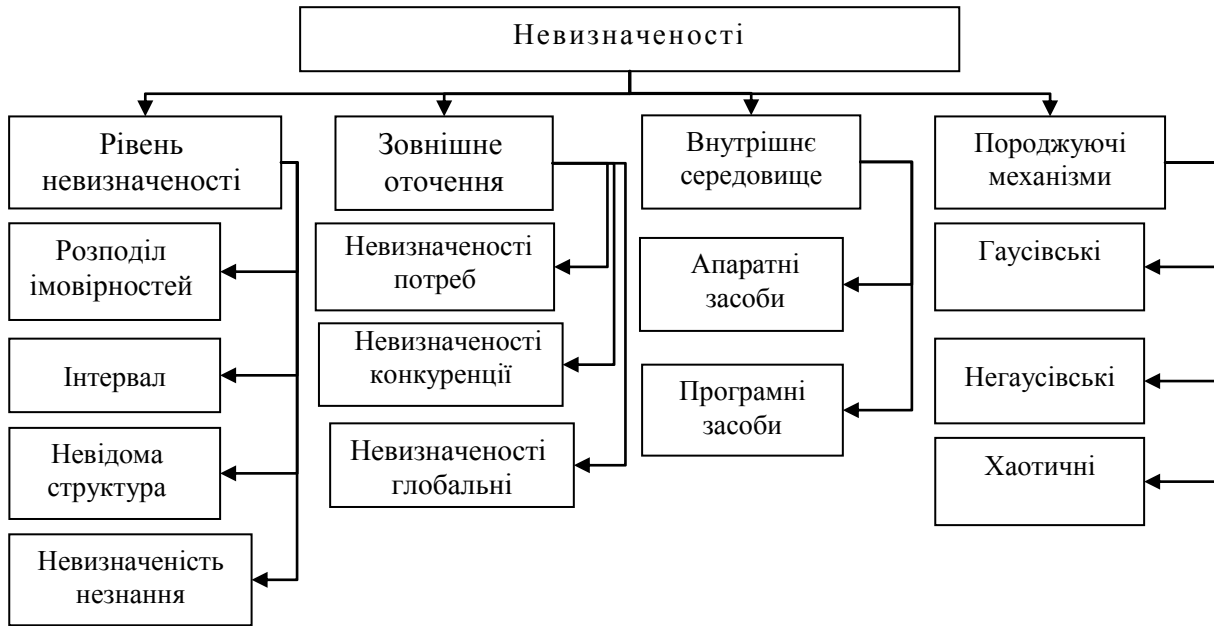


Рис. 1. Класифікація невизначеностей

Ризики — сьогодні наймасовіший за кількістю публікацій сегмент, особливо — англomовний. На проблемах ризиків побудована «страхова індустрія». Радикальне вирішення проблеми ризиків — створення безпечних технічних систем, наприклад, — без звичайних електронних систем. В рамках теми цієї роботи формуємо прагматичну класифікацію ризиків в комп'ютерних системах (рис. 2). Класифікуємо ризики за причинами ризиків та рівнями втрат у разі виникнення події ризику. Втрати групуємо за ознаками «відновлювальні» і «невідновлювальні», причини ризиків втрат розділяємо на групи: «черги, затримки», «невиявлені дефекти в програмному забезпеченні», «втрата даних». Втрати даних можуть бути розділені в підгрупи за першопричинами. На базі аналізу тенденцій розвитку автоматизованих систем управління і власних розробок швидких, безпошукових методів оптимізації [4, 5], в класифікацію причин ризиків введено групу «неоптимальне і некоректне управління». Це стосується «інтелектуальних» пошукових методів оптимізації, результати роботи яких є імовірнісними.

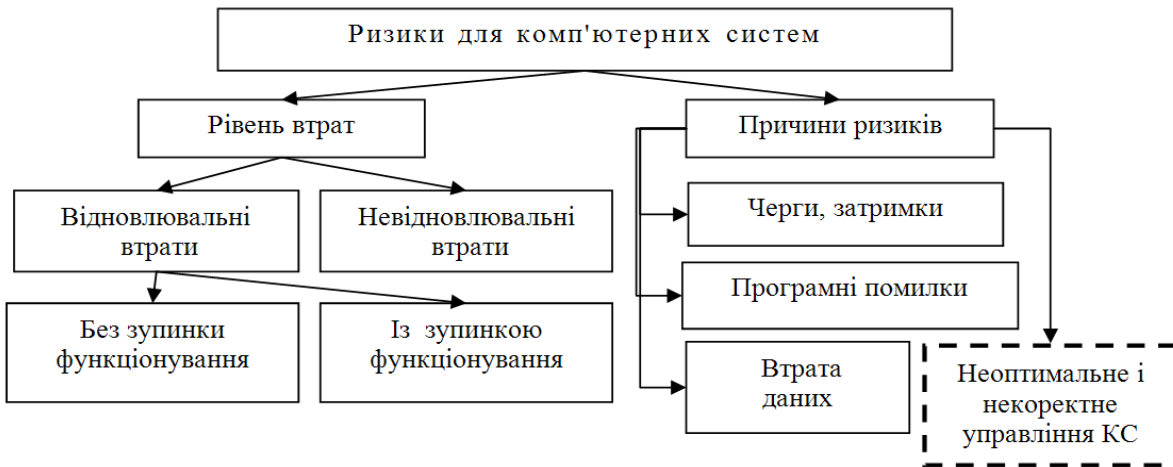


Рис. 2. Класифікація ризиків у комп'ютерних системах

В розробленій імітаційній моделі КС — нелінійний, імовірнісний перетворювач імовірнісних процесів. Об'єкти управління, контролю, обслуговування для КС — теж імовірнісні, нелінійні. Тому суттєва частина імітаційної програми КС це ефективні модулі — імітатори перетворень випадкових процесів. Розроблена прагматична класифікація перетворень випадкових процесів (рис. 3): всі блоки класифікаційної схеми реалізовані в програмних модулях, і всі модулі використовуються в робочих імітаційних моделях КС.

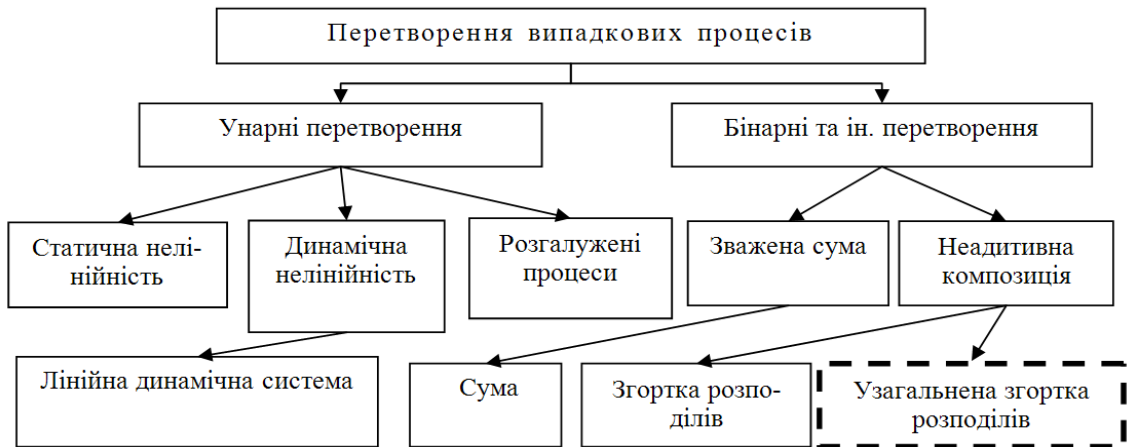


Рис. 3. Класифікація перетворень випадкових процесів

Розробка структури системи моделей КС

Для динамічних систем зі складною структурою та функціями елементів необхідно розробляти кілька моделей на базі альтернативних концепцій КС [4]. Це дозволяє організувати взаємоконтроль коректності та адекватності моделей.

Були обрані такі альтернативні концепції побудови імітаційних моделей КС (рис. 4):

- розподілена багатопродуктова (багатоцільова) виробнича система;
- мережа однорідних елементів з нечітким розподілом задач між елементами;
- модель системи масового обслуговування.

Комплекс моделей для практичного застосування повинен складатись з таких спеціалізованих моделей: «випадкові процеси», «функції впливу», «розподіли ймовірності», «живучість». Подвійними контурами виділено складові системи моделей, що є об'єктами дослідження у цій роботі.

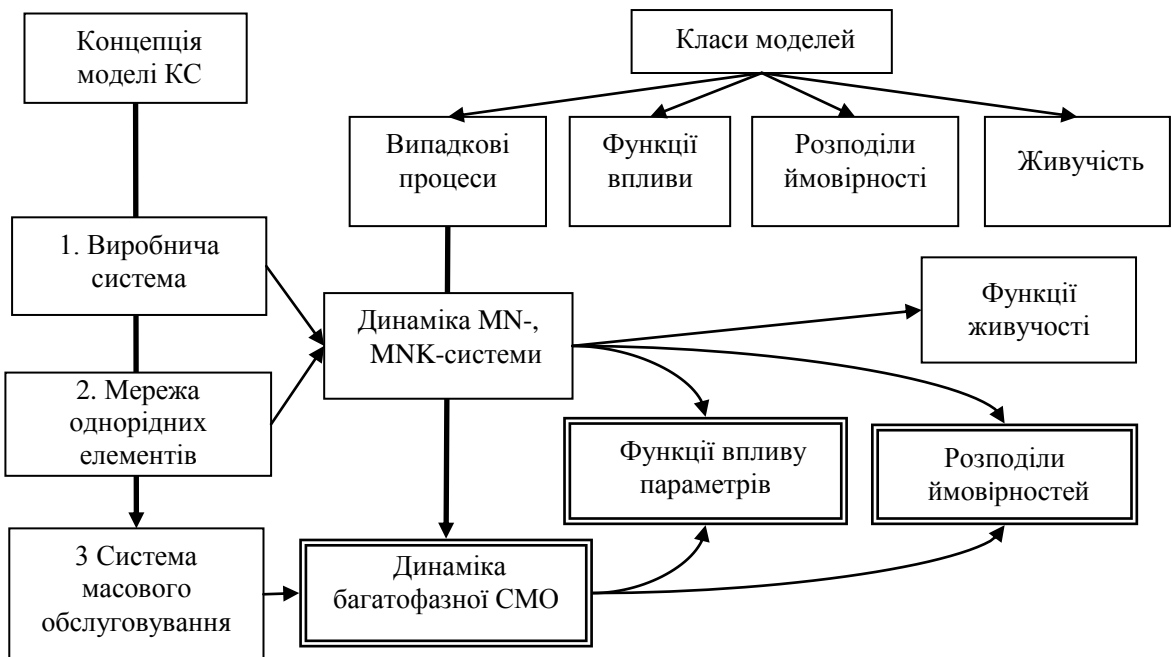


Рис. 4. Система моделей для аналізу і управління КС

Реалізація системи моделей КС

Всі моделі, подані на рис. 4, розроблені і випробувані. Імітаційні моделі були зведені до стандартної, алгебраїзованої — «псевдоодновимірної» форми, що дозволило розробити уніфіковані моделі функцій впливу і функції розподілу ймовірностей для моделей класів 1 і 3 (рис. 4). На рис. 5 подана схема моделювання. Компоненти схеми — результати моделювання на альтернативних моделях. Неважко перенести розроблені моделі у візуальні середовища програмування Simulink, VisSim, Trace Mode. Подібна діаграма там буде одночасно схемою та інтерфейсом програмної системи. В такому напрямку — інтеграції системного проектування і програмування розвивається уніфікована мова моделювання UML [6].

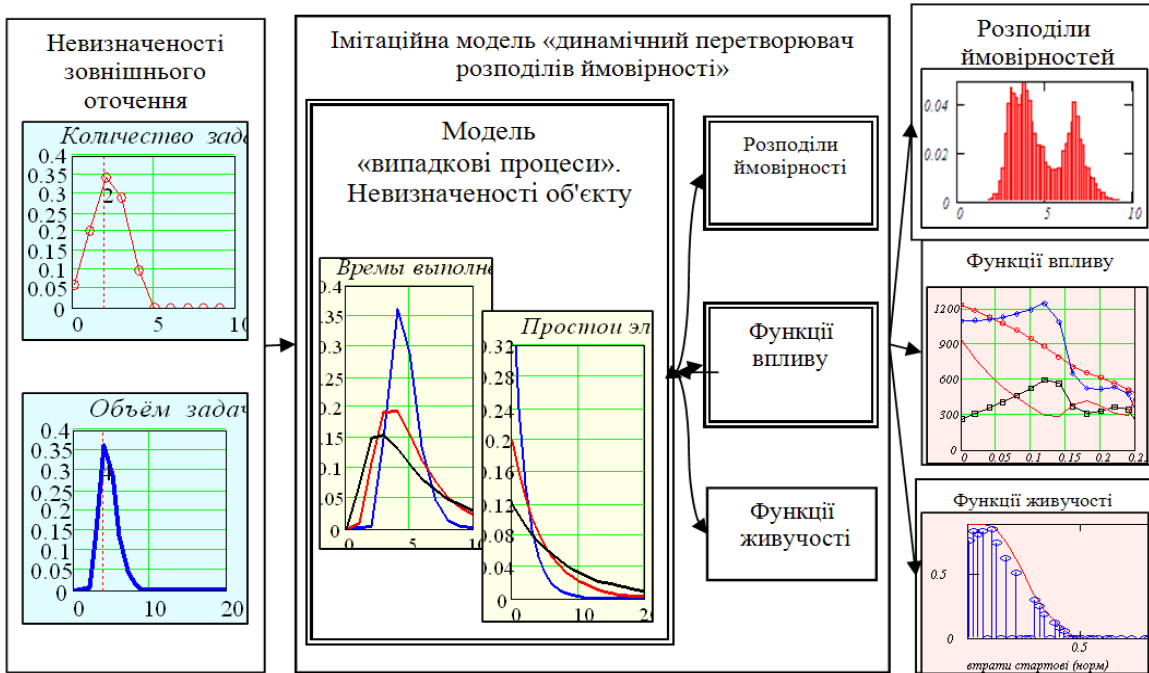


Рис. 5. Схема моделювання КС з урахуванням невизначеностей

Ключовий елемент ефективності імітаційних моделей КС — це вибір структури даних, описує стан КС. На рис. 6 подано приклад такої структури.

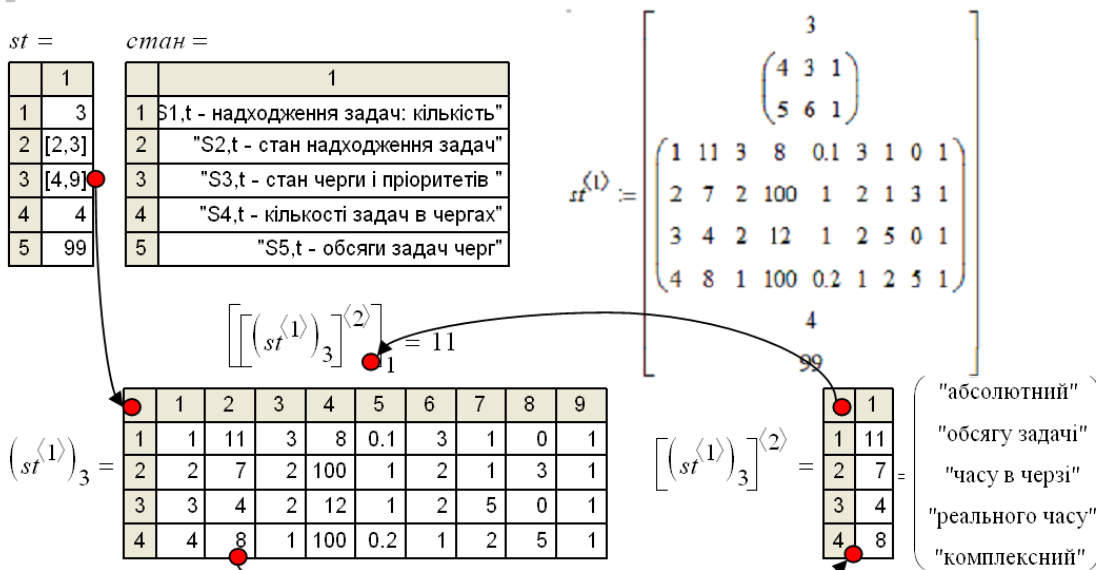


Рис. 6. Схема структури даних «станКС»

Як приклад інтеграції розробки моделей і аналізу результатів моделювання на рис. 7 подано інформаційний блок (копія екрану) для моделі КС на базі концепції «СМО». Користувач має доступ до параметрів і структури (тестів програм) елементів моделі. На схемі ліворуч подано схему програми, що складається п'яти функціональних модулів: «поповнення черги», «обробка черги», «імітація потоку задач», «поповнення черги», «розрахунок пріоритетів». Кінцевий результат — нелінійне різницеве рівняння з параметризованим оператором переходу між станами.

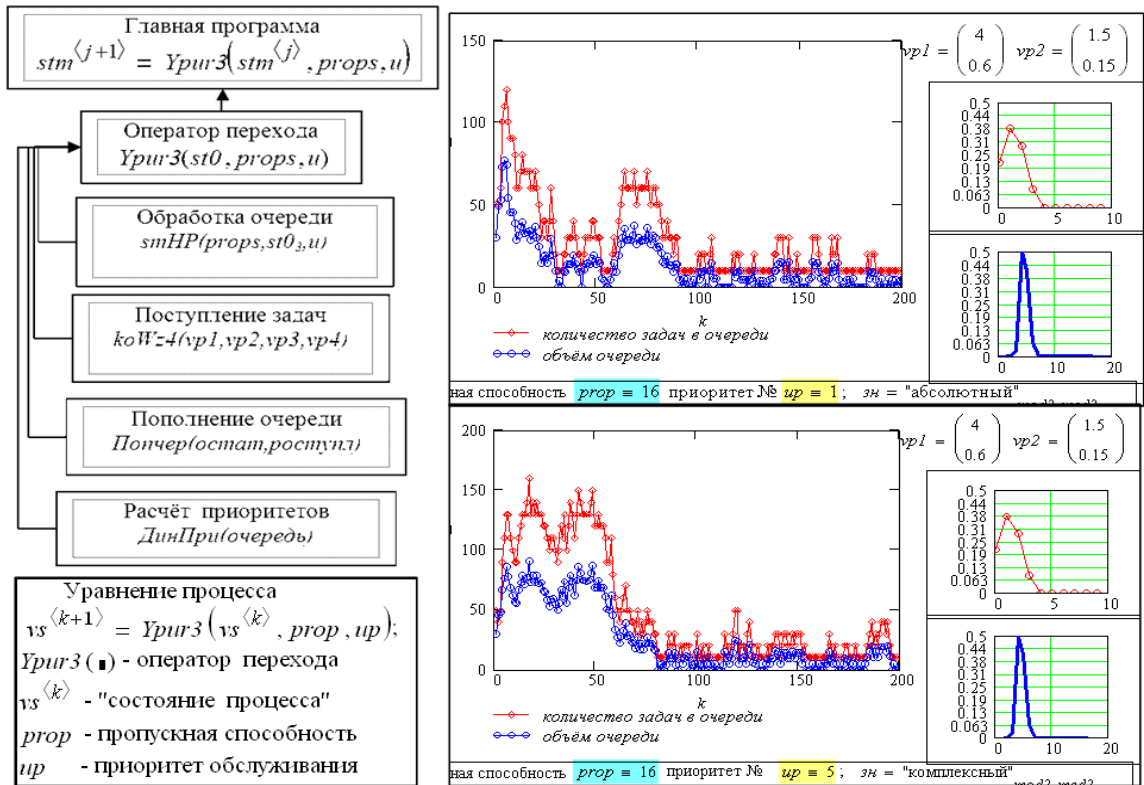


Рис. 7. Інформаційний блок «Імітаційна модель КС класу СМО»

На рис. 8 подано інформаційний блок — модель КС «Перетворення розподілів ймовірностей». Модель має чотири ймовірнісних входи і три виходи (показано тільки по два).

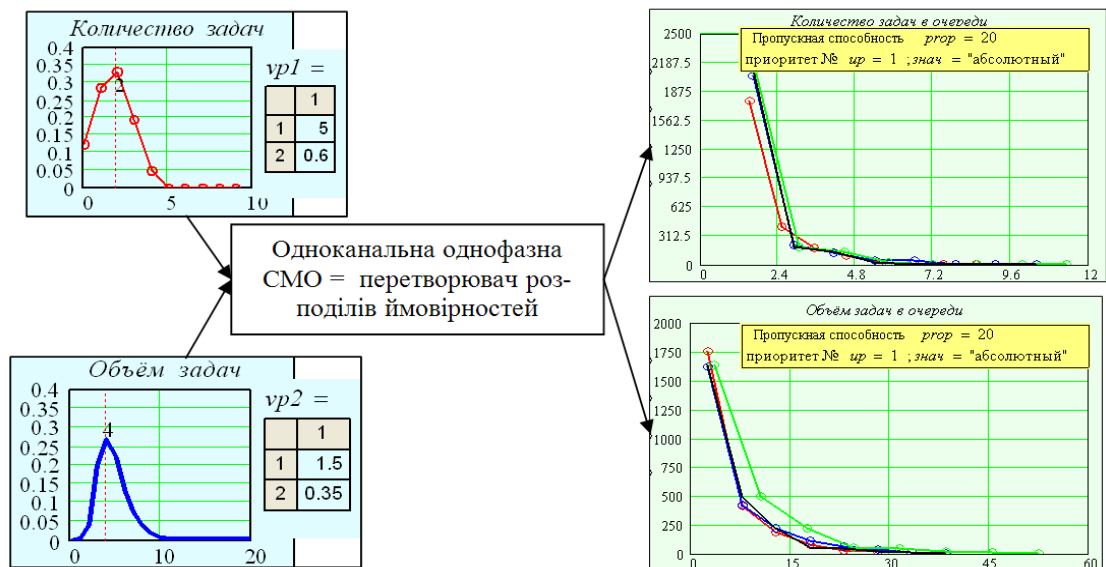


Рис. 8. Інформаційний блок «Перетворення розподілів ймовірностей»

Виходи моделі: розподіли обсягу черги, кількості задач в черзі, часу очікування в черзі. Модель параметризована і тому дозволяє отримувати спеціалізовані функції впливу зовнішніх і внутрішніх параметрів. Можна проводити дослідження, що недоступні на аналітичних моделях. На рис. 9 — прик-

лад проведення досліджень критичних режимів КС, коли інтенсивність потоку задач близька до пропусної здатності. В таких умовах черги, що виникають у разі випадкових сплесків вхідного потоку зменшуються повільно. На графіках подано динаміку частотних розподілів для чотирьох послідовних інтервалів перехідного процесу в СМО після сплеску. Верхня пара графіків для вибірки в 10000 прогонів програми, нижня пара — для вибірки в 30000 прогонів.

Для реальних КС збирається, накопичується подібна статистика, однак можливість ставити натурні експерименти для граничних режимів, з очевидних причин, відсутня.

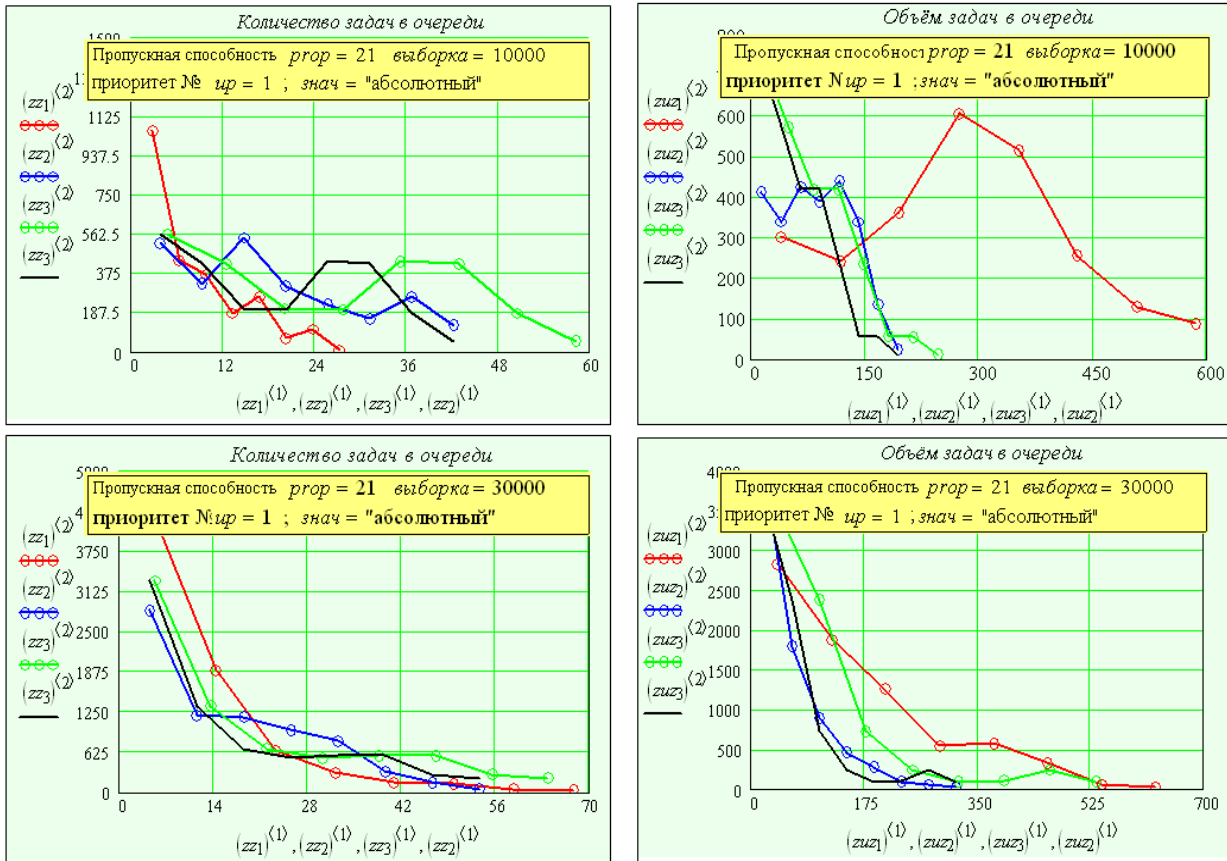


Рис. 9. Вплив обсягу вибірки на розподіл імовірностей величини черги

Теоретичне узагальнення моделей КС. Алгебра Кінгмана

Подані моделі не повинні, але можуть витіснити аналітичні методи. Проте, отримання робочих моделей у вигляді параметризованих функцій користувачів, параметризованих операторів переходу між станами породжують новий шар аналітичних методів. З алгебраїзованими моделями можна оперувати як функціями синус, логарифм, операторами Лапласа і згортки. Дж. Кінгман (1966 рік) побудував на множині задач СМО класу G/G/1 (множина одноканальних СМО з довільними законами розподілу потоку заявок і часу обслуговування) алгебру, названу його ім'ям [1]. Елементи носія цієї алгебри — дискретизовані об'єкти з певними законами розподілу. Для двох будь-яких таких об'єктів h_1, h_2 їх сума $h_1 + h_2$ і добуток на скаляр $alf * h_1$ належать до початкової множини об'єктів, тобто маємо лінійний векторний простір для об'єктів $\{h\}$. Інтерпретація об'єктів h — вибірки для деяких випадкових процесів (див рис. 9). На множині $\{h\}$ визначена операція $hist_n(h)$: $fx1(y) = hist_n(h_1)$; $fx2(y) = hist_n(h_2)$, де $hist_n(\cdot)$ — функція «гістограма нормована», що повертає емпіричний розподіл імовірностей. Для цих розподілів визначена операція множення — згортка розподілів

$$fs(y) = fx1(y) \bullet fx2(y) = \int_{-\infty}^{\infty} fx1(y - x2) \cdot fx2(x2) dx2.$$

Операція згортки комутативна і асоціативна. Якщо ввести одиничний елемент $e \bullet h = e$, то на носії — множині нормованих частотних розподілів $\{f\}$ існує алгебра з однією операцією множення і з одиницею.

Розширення алгебри Кінгмана

Порівняємо отримані результати з алгеброю Кінгмана. Отримано дві імітаційні моделі для процесів в КС на рівнях «станів» (див. рис. 7) і «частотних розподілів станів» (див. рис. 8). Запишемо спільно рівняння перетворення вхідних розподілів у вихідні для класичної моделі СМО і для імітаційної моделі узагальненою згорткою.

$f_s(y) = f_{x1}(y) \bullet f_{x2}(y)$ — згортка розподілів.

$Dvux = Fsmo(Dvxid, Dobrob, vPs)$ — модель, вхід і вихід якої — розподіли імовірностей, її можна інтерпретувати як «узагальнену згортку».

Перепишемо цей вираз у такій самій формі як і звичайну згортку:

$$Dvux = Dvxid \heartsuit (vPs) Dobrob.$$

Відмінність операторного виразу $\heartsuit(vPs)$ від операції згортки — залежність від багатьох параметрів КС, зокрема дисципліни обробки черг задач. Інша відмінність оператора «узагальненої згортки» в тому, що він оперує з вектор-функціями, наприклад:

$$\begin{pmatrix} Dvuxkol \\ Dvuxvol \end{pmatrix} = Fsmo \left[\begin{pmatrix} Dvuxkol \\ Dvuxvol \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} Dobrob_1 \\ Dobrob_2 \end{pmatrix}, vPs \right].$$

В цих виразах $Dvux$ — вектор розподілу імовірності вхідних потоків задач, $Dvuxkol$ — частотний розподіл величини черги. Оператор згортки породжує об'єкт того ж класу, що і операнди. Це твердження справедливе для багаторазового застосування оператора згортки. Оператор $\heartsuit(vPs)$ також породжує об'єкти того ж класу — розподіли імовірностей. Однак він некомутативний через нелінійності перетворень випадкових процесів в КС.

Висновки

Запропонована структура імітаційних моделей для аналізу ризиків в комп'ютерних системах. Для концепції моделі «система масового обслуговування» на базі декомпозиційного підходу і технологій конструювання моделей [4, 5] побудовані моделі «випадкові процеси» і «розподіли імовірностей». Користувач оперує з моделлю як з одновимірною дискретною динамічною системою. Однак, ця модель агрегована, а не спрощена. Всі деталі процесів в елементах упаковуються в структурі даних і операторі переходу між станами. Кожен програмний модуль робочої моделі — параметризований і відкритий для змін. Функціональні модулі відображають реальні підсистеми. Тому користувач, змінюючи модель, оперує з нею майже як з опосередкованою реальністю. Алгебраїзація моделей дозволяє застосовувати напрацьовані аналітичні методи для отримання теоретичних узагальнень для відповідних класів КС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hinkelmann K., Kempthorne O. Design and Analysis of Experiments. Vol. 2 : Advanced Experimental Design (First ed.) / K. Hinkelmann, O. Kempthorne, (2005). Wiley. — ISBN 978-0-471-55177-5.
2. Nguyen VTA, Kingman convolution approach to Bessel processes, Probab. Math. Stat, 29, fasc. 1(2009) 119-134.
3. Боровська Т. М. Метод оптимального агрегування в оптимізаційних задачах : моног. / Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 229 с. — ISBN 978-966-641-285-3.
4. Моделювання і оптимізація процесів розвитку виробничих систем з урахуванням використання зовнішніх ресурсів та ефектів освоєння : моног. / [Боровська Т. М., Бадьора С. П., Северілов В. А., Северілов П. В.] ; за заг. ред. Т. М. Боровської. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 255 с. — ISBN 978-966-641-312-6.
5. UML Superstructure Specification Version 2.2. OMG, February 2009.
6. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия / Форрестер Дж. — М. : Прогресс, 1971. — 340 с.

Рекомендована кафедрою обчислювальної техніки

Стаття надійшла до редакції 25.02.11
Рекомендована до друку 11.05.11

Колесник Ірина Сергіївна — доцент кафедри обчислювальної техніки; **Михайлова Інна Іванівна** — студентка Інституту магістратури, аспірантури та докторантури.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця