

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНИКА INFORMATIONAL TECHNOLOGIES AND COMPUTING ENGINEERING

УДК 62.50:658.21

С. П. Бадьора, асп.; Боровська Т. М. к. т. н., доц.

С. П. Бадёра, асп.; Боровская Т. Н. к. т. н., доц.

S. Badyora, Post. Graduate; T. Borovska, Cand. Sc. (Eng.), Assist. Prof.

## ІМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ

### ВЕРОЯТНОСНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

#### PROBABILISTIC MODEL FOR THE FORECAST OF DISTRIBUTED SYSTEMS DEVELOPMENT

*Розглядається задача побудови імовірнісної моделі для прогнозування розвитку розподілених виробничих систем, елементи яких розподіляють ресурси між виробництвами декількох видів «продуктів». Задача має широке коло інтерпретацій і застосувань – від алгоритмів оптимізації інформаційних мереж до прогнозування розвитку техніко-економічних систем. Розроблено узагальнену модель невизначеностей, виконано дослідження впливу невизначеностей на властивості розподіленої системи.*

*Рассматривается задача построения вероятностной модели для прогнозирования развития распределенных производственных систем, элементы которых распределяют ресурсы между производствами нескольких видов «продуктов». Задача имеет широкий круг интерпретаций и применений – от алгоритмов оптимизации информационных сетей до прогнозирования развития технико-экономических систем. Разработана обобщенная модель неопределенности, выполнено исследование влияния неопределенности на свойства распределенной системы.*

*Probabilistic model for the forecast of distributed systems development. The paper considers the problem regarding optimal distribution of "production" of several kinds of "products" between «production elements» of distributed system in case of uncertainty.*

*The problem has a wide range of interpretations and applications- from optimization algorithms and information networks to industrial systems. Generalized model of uncertainty has been elaborated, research regarding the influence of uncertainty on properties of distributed system has been carried out.*

#### Вступ

Відносно недавно програми для комп'ютерів були визнані видом промислової продукції. Сьогодні все більше організацій випускають незвичну продукцію — «знання». Одним із найпоширеніших видів такої продукції є математичні моделі для прогнозування, планування і управління. Серед цих моделей найактуальніші моделі розподілених, децентралізованих систем.

Сучасні обчислювальні, інформаційні та виробничі системи є розподіленими, децентралізованими і суттєво нестационарними. Для виробничих систем, взагалі, і, особливо, сучасних систем характерними є режими навчання в процесі розробки і виробництва. Ефективність системи з урахуванням цього може збільшуватись в сотні і тисячі разів. Типові приклади – мікропроцесори, мобільні телефони, програмне забезпечення. Тому актуальними є моделі розвитку розподілених систем. Для сучасних розподілених систем типовими є задачі оптимального управління з урахуванням випадкових збурень і невизначеностей.

#### Вступление

Относительно недавно программы для компьютеров были признаны видом промышленной продукции. Сегодня все больше организаций выпускают непривычную продукцию — «знания».

Одним из более распространенных видов такой продукции являются математические модели для прогнозирования, планирования и управления. Среди этих моделей наиболее актуальны модели распределенных, децентрализованных систем.

Современные вычислительные, информационные и производственные системы являются распределенными, децентрализованными и существенно нестационарными. Для производственных систем, вообще, и, в особенности, современных систем характерными являются режимы обучения в процессе разработки и производства. Эффективность системы при этом может увеличиваться в сотни и тысячи раз. Типичные примеры – микропроцессоры, мобильные телефоны, программное обеспечение. Поэтому актуальными являются модели развития распределенных систем. Для современных распределенных систем типичными являются задачи оптимального управления с учетом случайных возмущений и неопределенностей.

### Introduction

Quite recently software has been recognized as a sort of industrial production. Mathematical models intended for the forecasting, planning and management are most widely spread examples of such production. Models of distributed, decentralised systems are considered to be the most actual ones.

Modern computing, information and industrial systems are distributed, decentralised and, what is more important, non-stationary. For industrial systems, in general, and, especially, for modern systems modes of tutoring during development and manufacturing are typical. The system efficiency in this case, increases hundreds and thousands times. Typical examples are — microprocessors, mobile telephones, software. Therefore models of distributed systems development are of paramount importance. For modern distributed systems problems of optimum control taking into account random disturbances and indeterminacy are very typical.

### Основна частина

**Мета даної статті** — розробка модульної системи імовірнісних моделей, що придатна як для дослідження і оптимізації алгоритмів управління інформаційно-обчислювальними мережами, так і для прогнозування розвитку розподілених технічних систем. Модульність означає можливість скласти модель з функціональних елементів, а функціональний елемент, наприклад, алгоритм прийняття рішень, вибирати з набору альтернативних субмодулів. Імовірнісна математична модель розподіленої системи може бути головним елементом адаптивної відмовостійкої системи управління, засобом проектування розподілених систем, наприклад, обчислювальних мереж, засобом прогнозування розвитку розподілених технічних систем.

### Постановка проблеми

Розглядається система з  $N$  обчислювальних елементів, що обробляють потік даних, який складається з задач  $M$  видів. Елементи мають різні характеристики виконання задач різних видів. Природно розподілити навантаження між елементами так, щоб сумарна продуктивність системи була максимальною, природно також розподілити інтенсивності виконання задач різних видів в кожному елементі так, щоб сумарна продуктивність елемента була максимальною. Характеристики виконання задач і зв'язки між елементами системи є неповністю визначеними, імовірнісними. В умовах, коли постійно з'являються нові класи розподілених систем, а наявні системи швидко еволюціонують потрібна не просто математична модель, а комплекс: робоча модель з відкритою модульною структурою і раціональні технології розширення і модифікації моделі.

Робоча модель — це триєдине: математична модель, програма моделювання і технологія розробки і модифікації моделі. Це те, що давно фактично існує, але не вписується в стандарти і класифікації — «моделювання», «програмування», «інформаційні технології».

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сьогодні одночасно збільшується попит на засоби прогнозування розвитку складних мережних інформаційно-обчислювальних систем і можливості швидкої розробки моделей – засобів прогнозування і оптимізації. Характерний приклад: в центрі чергової версії програмного забезпечення від корпорації Oracle є програмна система для оперативної розробки моделей бізнес-процесів. В умовах високої актуальності для практики певного теоретичного напрямку, наукові публікації з дійсно новими результатами зникають з сторінок часописів і монографій. Такі явища спостерігалися і раніше — індикатором важливості певного напрямку було зменшення вагомих

публікацій з теми.

Серед сучасних публікацій слід виділити статтю [8], де розглянуто дійсну проблему – прогнозування розвитку сучасних технічних систем в умовах суттєво інноваційного характеру їх функціонування та підходи до вирішення проблеми. Конструктивних аналогів і прототипів для вирішення проблеми — розробки моделей та технологій роботи з моделями розподілених систем — не знайдено.

Відзначимо ще одну особливість інформаційних процесів в умовах виникнення нових актуальних практичних задач і нових засобів, в даному випадку програмних продуктів та інформаційних технологій. В таких умовах поширені й напрацьовані моделі та методи виявляються непридатними для нових задач. На заміну їм приходять моделі й методи, що випереджували свій час – були неактуальними і нереалізованими. До таких слід віднести роботи Р. Белмана [1—3], роботи з системного підходу до моделювання [4, 7], і фундаментальні роботи з аналізу розподілених активних систем [5, 6]. Конструктивних аналогів, де подано моделі, що працюють, та результати моделювання, не знайдено. Найближчою за тематикою є робота [9], яка, проте, базується на моделях лінійного програмування. Ці моделі є не тільки неадекватними, але й витратними за обчислювальними ресурсами.

### Постановка задачі

Розглядаємо системи, елементи яких мають власні (локальні) цілі, критерії, обмінюються певними продуктами, мають певні, власні, ресурси. Елементи розподіляють власні ресурси між напрямками своєї діяльності, так щоб оптимізувати свій критерій. Сьогодні поширеним є підхід до розробки складних систем управління й прийняття рішень на базі аналогії — «штучних нейронних мереж». Для сучасних мережевих систем існує продуктивніша аналогія — «штучні соціальні мережі». Головна відмінність цього напрямку в тому, що «інтелект» елемента системи не є меншим ніж інтелект системи.

Під час побудови інформаційно-обчислювальних мереж можна будувати ефективні алгоритми обчислень, виконання певних складних задач, певним чином розподіливши загальну задачу системи між елементами і зробивши це розподілення децентралізованим. Природно приписати елементам цілі, наміри і навіть «рішучість чи обережність». Природно ввести для узагальнених ресурсів і продуктів «ціни» і «попит», та навіть поняття «ринок». Фактично це параметри обчислювальних алгоритмів. Звичайно «ціни» в таких задачах – це множники Лагранжа. Досить часто сучасні системи не мають прототипів, не мають статистики, тому вибираємо підхід на базі конструювання математичних моделей ad hoc — для конкретних актуальних задач, як правило нових, таких, що не мають прямих прототипів.

В цій статті подана розробка й дослідження моделі з урахуванням невизначеності в прийнятті рішень елементами, коли ресурс ділиться теж в залежності від очікуваної ефективності, але імовірно. Як це можна трактувати і навіщо це вводити?

1. Один із методів «боротьби» з невизначеністю зовнішнього оточення — введення випадковості рішень. Така керована невизначеність рішень — основа алгоритмів випадкового пошуку, так же як керована нечіткість — основа алгоритмів оптимізації на базі нечіткої логіки.

2. В умовах великої невизначеності і динамічності процесів розвитку технічних систем «останнє слово» залишається за людиною. Природно оцінити вплив випадковості прийняття рішень людиною на розвиток технічних систем.

### Побудова імовірнісної моделі розподіленої системи

Ставимо за мету зробити модульну модель, функціональні модулі якої відтворюють відповідні «механізми» – закони хімії, термодинаміки, психології, та мають мінімум параметрів настроювання та ідентифікації. Виходимо з принципу адекватності точності моделі і даних, на основі яких побудована модель функціонування розподіленої системи. Як і будь-яка інша, ця математична модель може мати різні інтерпретації, в тому числі, й економічну. Використаємо загальнозрозумілу термінологію, однак, беремо відповідні терміни в лапки: це тільки назви математичних моделей.

#### Модель «виробництва»

За основу беремо відому детерміновану модель росту з обмеженням, але параметри її вважаємо імовірнісними.

Логіка моделі виробництва: обсяг виробництва зростає експоненційно за умови необмеженого обсягу ринку. Рано чи пізно сумарне виробництво усіх елементів заповнить ринок. Якщо сумарне виробництво перевищує обсяг ринку, то виробничі потужності будуть скорочуватись, і для цього теж можуть бути потрібні витрати. Ці міркування можемо відобразити нелінійним різницеvim робочим рівнянням

$$\Delta X_{i,j} = \left[ ef_i \left[ (X_t)_{i,j} \right] \left( \frac{Ryn_j - Sus_{j,t}}{Ryn_j} \right) \cdot Inv_{i,j} \right] \cdot krok; \tag{1}$$

$$(X_{t+1}) = (X_t)_{i,j} + \Delta X_{i,j}, \quad i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, M,$$

де  $\Delta X_{ij}$  — поточне прирощення випуску  $i$ -тим виробником  $j$ -го продукту (текущее приращение выпуска  $i$ -тым производителем  $j$ -го продукта; current increase of output by the  $i$ -th producer of  $j$ -th product),  $ef_i$  — коефіцієнт ефективності (коэффициент эффективности; efficiency factor),  $X_t$  — матриця стану системи (матрица состояния системы; matrix of the system state),  $(X_t)_{i,j}$  — елемент матриці стану (элемент матрицы состояния; element of the matrix state)  $Ryn_j$  — «ринок» (рынок; market),  $Sus_{j,t}$  — поточне сумарне виробництво (текущее суммарное производство; current total production),  $Inv_{i,j}$  — темп інвестицій  $j$ -го продукту (темп инвестиций  $j$ -го продукта; investments rate of  $j$ -th product),  $krok$  — крок моделювання (шаг моделирования; step of modeling).

Будемо вважати параметр моделі  $ef_i$  (1) випадковою величиною з певним розподілом імовірностей. Припускаємо, що цей розподіл може бути ідентифікованим в процесі функціонування системи з точністю, що достатня для управління. Записуємо вираз для частотного розподілу значення параметру ефективності

$$dEf((ef_0((X_t)_{i,j}) - \chi), t, Vp), \tag{2}$$

де  $ef_0((X_t)_{i,j})$  — математичне очікування ефективності, від рівня виробництва (математическое ожидание эффективности от уровня производства; expectation of efficiency from level of production),  $\chi$  — змінна розподілу (переменная распределения; distribution variable),  $t$  — поточний час (текущее время; current time),  $((X_t)_{i,j})$  — поточний рівень виробництва (текущий уровень производства; current level of production),  $Vp$  — вектор параметрів розподілу (вектор параметров распределения; vector of distribution parameters). Вважаємо розподіл мінімально задовільним, тобто таким, що має максимум імовірності для значення  $\chi = x$ . Звичайно апіорні розподіли коректуються за результатами спостережень та експериментів. Введемо такі обмеження для аргументу функції розподілу:  $0 < \chi < 1,2$ , що інтерпретується так: найменший рівень приросту виробництва дорівнює нулю (не розглядаємо катастрофічні випадки), найбільший незначно перевищує номінальний. Значне перевищення нереалістичне — це б означало або незадовільні моделі, або порушення законів природи. На рис. 1 показано приклад розподілу як функції змінних  $\chi$  та  $(X_t)_{i,j}$  і окремий переріз (нормований) для фіксованого  $X$ .

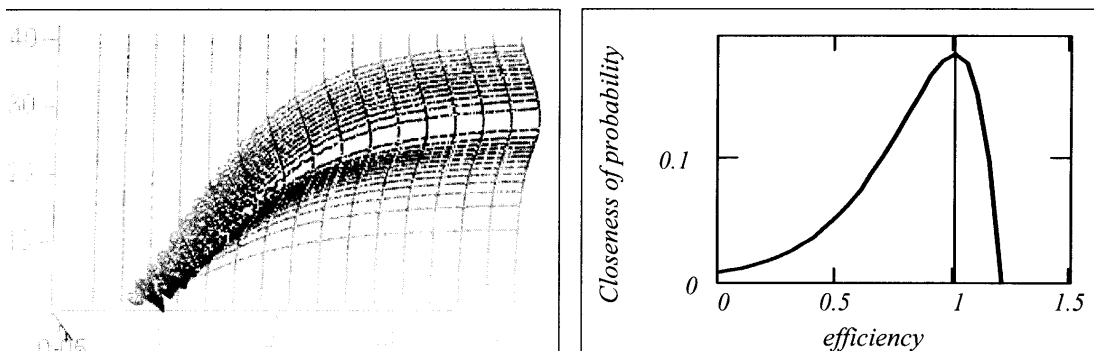


Рис. 1. Типовий розподіл імовірностей параметра ефективності розвитку  
 Рис. 1. Типичное распределение вероятности параметра эффективности развития  
 Fig. 1. Typical distribution of efficiency development parameter probability

### Модель «ринку»

Записуємо рівняння динаміки попиту з урахуванням випадкових збурень

$$Run_t = \alpha_1 \cdot Run_{t-1} + \alpha_2 \cdot Run_{t-2} + \alpha_3 + (\alpha_4 - 2rnd(\alpha_4)), \quad (3)$$

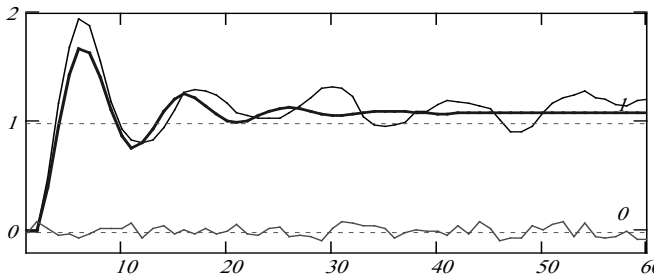


Рис. 2. Модель випадкового попиту на обробку інформації  
 Рис. 2. Модель случайного спроса на обработку информации  
 Fig. 2. Models of casual demand on information processing

де  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  — параметри моделі (параметры модели, model parameters). Вибрана нами модель часового ряду — це авторегресивний процес Юла [26]. На рис. 2 показано приклад процесу зміни попиту за наявності і відсутності збурень. Параметри процесу вибрані так, щоб моделювати динамічну систему, в якій збурення породжують коливання з досить великим періодом і повільним затуханням. Нагадуємо — що це тільки приклад побудови

помірно реалістичної моделі попиту.

### Моделі локального управління

Природним глобальним критерієм системи в цілому є темп сумарного виробництва, або накопичене за певний період сумарне виробництво. В даному випадку розглядаємо тільки локальне управління: розподіл елементами системи інвестицій між виробництвами різних продуктів. Вибираємо таку детерміновану модель розподілу: для кожного продукту елемент оцінює перспективність розширення виробництва. Мірою перспективності є певний критерій — «успіх» кожного продукту. Тут можуть бути такі альтернативи:

- 1 — згідно з усередненим за певний період «успіхом» кожного продукту;
- 2 — згідно з сумою усереднених успіху та темпу успіху (темп — синонім похідної).

Локальне управління: розподіл ресурсів елемента між задачами (продуктами).

Вибираємо таку детерміновано-імовірнісну модель розподілу інвестицій.

1. Кожен елемент системи розподіляє тільки те, що отримав («заробив») на попередньому кроці процесу. Цей ресурс вважаємо рівним темпу сумарного виробництва елемента на попередньому кроці процесу. Такий підхід здається занадто примітивним — а де накопичення, використання зовнішніх ресурсів тощо? — В наступних моделях, які буде неважко зробити з цієї — базової моделі.

2. Кожен елемент на кожному кроці обчислює певну критеріальну функцію — «перспективність» кожного з продуктів. Для оцінки перспективності беремо вираз

$$\text{оцінка} = a1 \cdot \text{середня\_віддача\_інвестицій} + a2 \cdot \text{середній\_темп\_зміни\_віддачі}.$$

На реальні темпи виробництва і продажів впливають різноманітні випадкові коливання, тому замість поточних темпів продажів і приросту продаж беремо ковзні середні. Вони обчислюються так: задається параметр оновлення середнього:  $0 \leq \alpha \leq 1$  і визначається ковзне середнє

$$xs_{i,j} = xs_{i,j} \alpha + (X_{t+1})_{i,j} (1 - \alpha). \quad (4)$$

Аналогічно робимо середнє для прирощення темпу випуску. Задається параметр оновлення  $0 \leq \beta \leq 1$  і визначається ковзний середній темп

$$dxs_{i,j} = dxs_{i,j} \beta + \Delta xs_{i,j} (1 - \beta). \quad (5)$$

Майже очевидно, що параметри визначають темпи оновлення відповідних середніх, або швидкість «забування» минулих значень. Вибирається цей параметр в залежності від швидкості змін процесу і рівня шумів. Оцінка перспективності продукту

$$efp_{i,j} = a1 \cdot xs_{i,j} + a2 \cdot dxs_{i,j}. \quad (6)$$

Це теж тільки базова модель, що досить довільно змінюється, однак урахування оцінки рівня і оцінки темпу є інваріантом.

### Логіка розподілу ресурсу

Інтуїтивна логіка: «маємо відфільтровані та спрогнозовані згідно з фундаментальними методами оцінки стану і темпу реалізації «продукту» диктує правило розподілу поточного ресурсу: пропорційно перспективності продуктів  $(Roz_t)_{i,j} = efp_{i,j} \div \left( \sum_j efp_{i,j} \right)$ .

Логіка здорового глузду: «нічому повністю не довіряти» диктує інше правило: поділити ресурс на дві частини: одну —  $X_t^* \gamma$ , розподілити пропорційно перспективностям, а другу —  $X_t^* (1 - \gamma)$ , розіграти в лотереї, де шанси кожного продукту пропорційні його перспективності. Таким чином ми отримуємо досить просту єдину модель для широкого спектра алгоритмів локального управління розподілом ресурсів – від чисто імовірнісних ( $\gamma = 0$ ) до детермінованих ( $\gamma = 1$ ). Фактично ми вводимо в алгоритми елементи випадкового пошуку. Параметри узагальненого алгоритму  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  — об'єкти алгоритмів навчання.

Цей алгоритм реалізовано програмним модулем  $VPD (Me, \gamma)$ , що бере  $(M \times N)$  матрицю, стовпці якої — розподіли перспективностей  $N$  продуктів для  $M$  елементів системи, та параметр  $\gamma$  і повертає матрицю розподілу ресурсу, кожен стовпець якої — вектор розподілу ресурсу для певного елемента. Для випадку, коли елемент може тільки порівнювати результати прийнятих рішень з розподілу ресурсу, розроблено модуль вибору з навчанням. Цей модуль змінює ймовірності вибору для кожного з продуктів в залежності від результатів попередніх рішень.

### Аналіз результатів моделювання

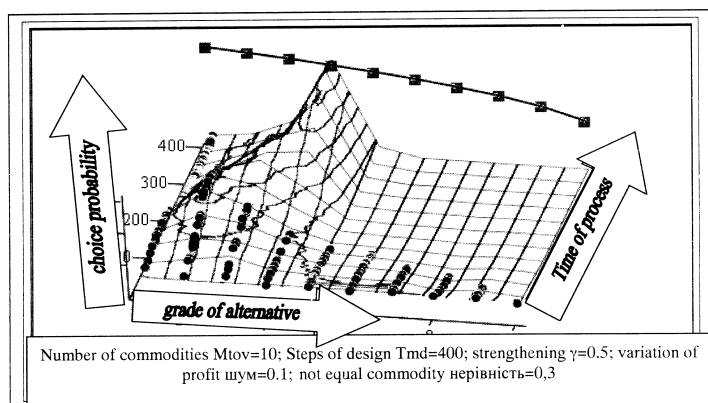


Рис. 3. Тестування модуля навчання. Велика швидкість навчання, великий шум  
 Рис. 3. Тестирование модуля обучения. Высокая скорость обучения, высокие шумы  
 Fig. 3. Testing of the tutoring module. High rate of tutoring, large noise

Головним елементом програми моделювання є модулі імітації невизначеностей. Проведено повне тестування цих модулів. Спеціально для тестування і дослідження розроблено інтерфейси. На рис. 3 показано приклад процесу для високої швидкості навчання та граничного рівня шумів, коли можливі ситуації вибору не кращої альтернативи.

На рис. 4 показано приклади процесів для високої та малої швидкостей навчання. Модулі виявились не тільки працездатними, але й придатними для підвищення рівня «інтелектуальності» системи управління.

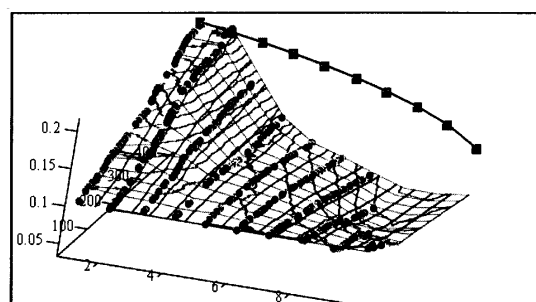
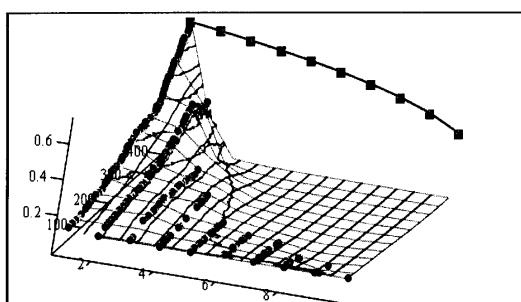


Рис. 4. Тестування модуля навчання. Вплив швидкості навчання  
 Рис. 4. Тестирование модуля обучения. Влияние скорости обучения  
 Fig. 4. Testing of the tutoring module. Influence of tutoring rate

Висока швидкість програми моделювання дозволила набирати «віртуальну статистику» процесів розвитку розподілених систем. На рис. 5 подані частотні розподіли навантаження для системи

«три елементи, три продукти» побудовані на вибірці з 1000 реалізацій процесу розвитку.

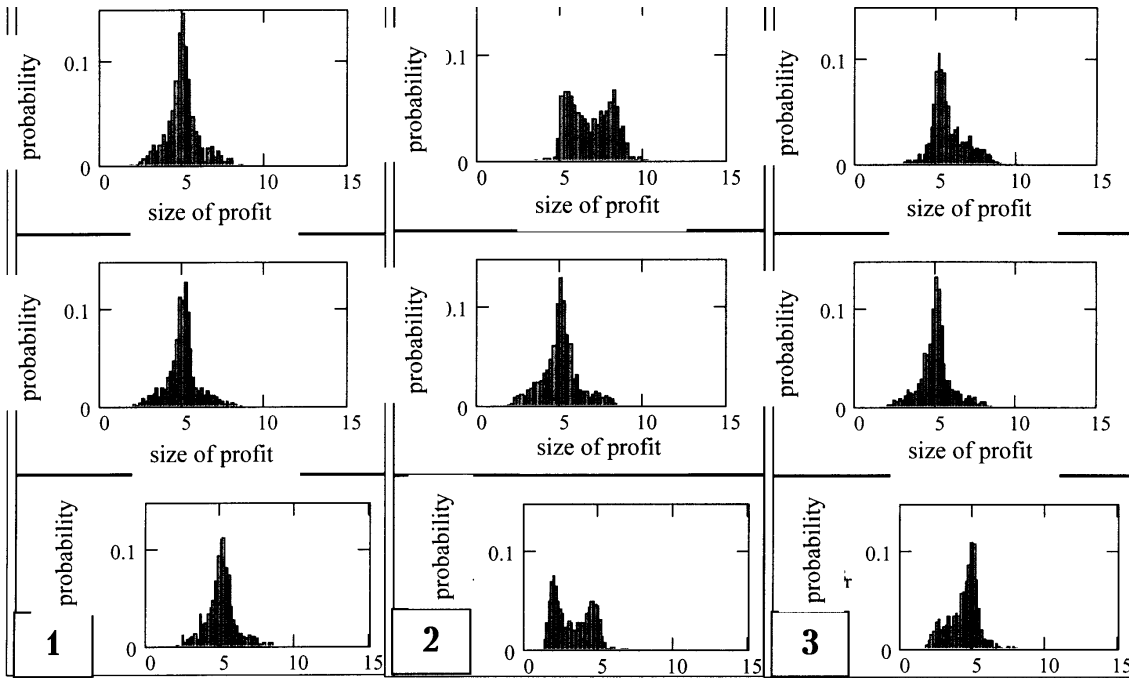


Рис. 5. Приклади частотних розподілів сумарного ефекту для елементів розподіленої системи

Рис. 5. Приклади частотних розподілів сумарного ефекту для елементів розподіленої системи

Рис. 5. Пример частотных распределений сумарного эфф екта для элементов распределенной системы

Fig. 5. Examples of total effect frequency distributions for elements of the distributed system

На рис. 5.1 показані розподіли для випадку «рівні умови». Елементи мають рівні ефективності і рівні стартові позиції для всіх продуктів. Усі розподіли ідентичні і явно не Гаусові. Гострі вершини розподілів відповідають високій ймовірності виникнення спеціалізації кожного елемента по одному з продуктів.

На рис. 5.2 показані розподіли для випадку «перевага в ефективності». Елементи (зверху вниз) мають значення параметрів ефективності (1,1; 1,0; 0,9). В середньому перший елемент забирає половину загального навантаження. Частотні розподіли для першого і третього елементів мають дві моди. Стійкими є розподіли навантаження елементів (5; 5; 5) та (10; 5; 0). На рис. 5.3 показано розподіли для випадку «мала різниця в ефективності» (1,05; 1,00; 0,95). Розподіли для кожного учасника мають суттєвий максимум для навантаження в третину від загального. На відміну від першого випадку розподіли суттєво несиметричні.

### Модулі аналізу рангових розподілів

Для активних систем високоінформативними є рангові розподіли елементів за величиною сумарного ефекту.

На рис. 6 показані рангові розподіли для усталеного стану системи для випадків детермінованого розвитку і розвитку за наявності невизначеностей. Одновимірні розподіли подають залежність сумарного виробництва елемента від його рангу, двовимірні розподіли — відповідні залежності по кожному продукту окремо. Для детермінованого випадку ранг елемента за ефективністю однозначно визначає ранг елемента за сумарним виробництвом. За наявності невизначеностей цей зв'язок порушується, а ранговий розподіл розпадається на дві частини – розподіли для лідерів і аутсайдерів.

На рис. 6 показано перехідні процеси розподілу навантаження, що саме приводить до отриманих рангових розподілів. В разі монопольного розподілу процеси переходу елементів і системи в цілому до усталеного стану скорочуються – це очевидний результат концентрації ресурсу в активній системі (в якій продуктивність елемента зростає із зростанням «розміру» елемента). Розкид усталених значень для окремого елемента може бути значним (рис. 5), однак розкид усталеного значення системи в цілому – незначний.

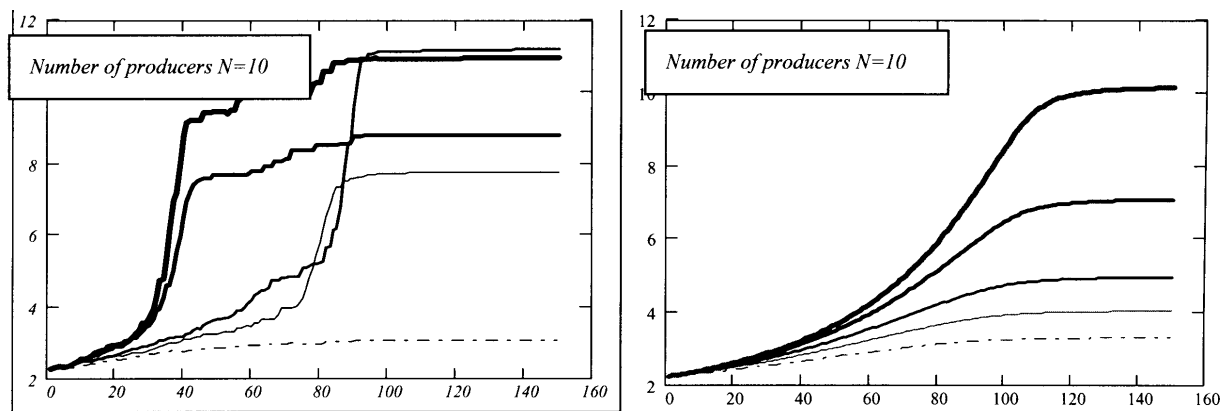


Рис. 6. Порівняння перехідних процесів розвитку елементів системи  
 Рис. 6. Сравнение переходных процессов развития элементов системы  
 Fig. 6. Comparison of transition processes of system elements development.

В статистичних даних з високотехнологічного виробництва можна знайти подібні залежності. Це є очікуваним результатом, тому що в модель закладені «природні механізми» розвитку і взаємодії елементів.

Порівняльний аналіз двох граничних варіантів розвитку розподіленої системи:

- а) пропорційний розподіл ресурсу в умовах повної визначеності;
- б) монопольний розподіл ресурсу в умовах невизначеностей виробництва і попиту; підтверджує:
  - 1) працездатність системи моделювання, як інструмента досліджень;
  - 2) живучість та асимптотичну оптимальність методу відкритого управління.

### Приклад

Одне з призначень розробленої моделі — пошук оптимальних алгоритмів управління в умовах невизначеності. Розглянемо приклад Інтернет-мережі, працюють 30 організацій, що постачають певні послуги та інформаційні продукти. Згідно зі статистикою, для таких систем характерна висока динамічність — певні продукти і послуги швидко втрачають попит, так же швидко і несподівано з'являються нові інформаційні продукти. Наша модель дозволяє індивідуалізувати параметри кожного елемента. Використаємо цю можливість — розглянемо еволюцію змішаної системи, де одна половина елементів використовує монопольний розподіл, а друга — пропорційний. Одне з положень системного аналізу — бажану, але нову альтернативу слід перевірити в несприятливих для неї умовах — це «підсилювальний» аналіз. Будемо вважати що елементи ранжовані за продуктивністю, і кращі 15 використовують пропорційний розподіл і мають точну інформацію про ефективності продуктів, а гірші – монопольний розподіл та інформацію з випадковими помилками.

### Основная часть

**Цель данной статьи** — разработка модульной системы вероятностных моделей, применимой как для исследования и оптимизации алгоритмов управления информационно-вычислительными сетями, так и для прогнозирования развития распределенных технических систем. Модульность означает возможность собирать модель из функциональных элементов, а функциональный элемент, например, алгоритм принятия решений, выбирать из набора альтернативных submodule. Вероятностная математическая модель распределенной системы может быть главным элементом адаптивной отказоустойчивой системы управления, средством проектирования распределенных систем, например, вычислительных сетей, средством прогнозирования развития распределенных технических систем.



## Постановка проблеми

Рассматривается система из  $N$  вычислительных элементов, которые обрабатывают поток данных, состоящий из задач  $M$  видов. Элементы имеют разные характеристики выполнения задач разных видов. Естественно распределить нагрузки между элементами так, чтобы суммарная производительность системы была максимальной, естественно также распределить интенсивности выполнения задач разных видов в каждом элементе так, чтобы суммарная производительность элемента была максимальной. Характеристики выполнения задач и связи между элементами системы не полностью определены, вероятностны. В условиях, когда постоянно появляются новые классы распределенных систем, а имеющиеся системы быстро эволюционируют, нужна не просто математическая модель, а комплекс: рабочая модель с открытой модульной структурой и рациональные технологии расширения и модификации модели.

Рабочая модель — это триединое: математическая модель, программа моделирования и технология разработки и модификации модели. Это то, что давно фактически существует, но не вписывается в стандарты и классификации — «моделирование», «программирование», «информационные технологии».

## Анализ последних исследований и публикаций

Сегодня одновременно увеличивается спрос на средства прогнозирования развития сложных сетевых информационно-вычислительных систем и возможности быстрой разработки моделей — средств прогнозирования и оптимизации. Характерный пример: в центре очередной версии программного обеспечения от корпорации Oracle есть программная система для оперативной разработки моделей бизнесов-процессов. В условиях высокой актуальности для практики определенного теоретического направления, научные публикации с действительно новыми результатами исчезают со страниц журналов и монографий. Такие явления наблюдались и раньше — индикатором важности определенного направления было уменьшения весомых публикаций по теме.

Среди современных публикаций следует выделить статьи [8], где выделена действительная проблема — прогнозирования развития современных технических систем в условиях существенно инновационного характера их функционирования и подходы к решению проблемы. Конструктивные аналоги и прототипы для поставленной задачи — разработки моделей и технологий работы с моделями распределенных систем — не найдены.

Отметим еще одну особенность информационных процессов в условиях появления новых актуальных практических задач и новых средств, в данном случае программных продуктов и информационных технологий. В таких условиях распространенные и наработанные модели и методы оказываются непригодными для новых задач. На замену им приходят модели и методы, которые опережали свое время — были неактуальными и нереализованными. К таким следует отнести работы Р. Белмана [1—3], работы по системному подходу к моделированию [4, 7], и фундаментальные работы по анализу распределенных активных систем [5, 6]. Конструктивные аналоги, где представлены работающие модели и результаты моделирования не найдены.

Ближайшей по тематике есть монография [9], однако, все там базируется на моделях линейного программирования, которое не только неадекватно, но и затратно по вычислительным ресурсам.

## Постановка задачи

Рассматриваем системы, элементы которых имеют собственные (локальные) цели, критерии, обмениваются определенными продуктами, имеют определенные, собственные ресурсы. Элементы распределяют собственные ресурсы между направлениями своей деятельности, так чтобы оптимизировать свой критерий. Сегодня распространен подход к разработке сложных систем управления и принятия решений на базе аналогии — «искусственных нейронных сетей». Для современных сетевых систем существует более продуктивная аналогия — «искусственные социальные сети». Главное отличие этого направления в том, что «интеллект» элемента системы не является меньшим чем интеллект системы.

При построении информационно-вычислительных сетей можно строить эффективные алгоритмы вычислений, выполнения определенных сложных задач, определенным способом распределив общую задачу системы между элементами и сделав это распределение децентрализованным. Естественно приписать элементам, цели, намерения и даже «решительность или осторожность». Естественно ввести для обобщенных ресурсов и продуктов «цены» и «спрос», ввести даже понятие «рынок». Фактически это параметры вычислительных алгоритмов. Обычно «цены» в таких задачах — это множители Лагранжа. Современные системы обычно не имеют прототипов, не имеют статистики, поэтому выбираем подход на базе конструирования математических моделей ad hoc — для

конкретных актуальных задач, как правило неимеющих прямых прототипов.

В этой статье представлена разработка и исследования модели с учетом неопределенности в принятии решений элементами, когда ресурс делится тоже в зависимости от ожидаемой эффективности, но вероятностно. Как это можно трактовать и зачем это вводить?

1. Один из методов «борьбы» с неопределенностью внешнего окружения — введение элементов случайности решений. Такая управляемая неопределенность решений — основа алгоритмов случайного поиска, так же как управляемая нечеткость — основа алгоритмов оптимизации на базе нечеткой логики.

2. В условиях большой неопределенности и динамичности процессов развития технических систем «последнее слово» остается за человеком. Естественно оценить влияние случайности принятия решений человеком на развитие технических систем.

### Построение вероятностной модели распределенной системы

Ставим цель — сделать модульную модель, функциональные модули которой воссоздадут соответствующие «механизмы» — законы химии, термодинамики, психологии, и имеют минимум параметров настройки и идентификации. Выходим из принципа адекватности точности модели и данных, на основе которых построена модель функционирования распределенной системы. Как и любая другая математическая модель может иметь разные интерпретации, в том числе, и экономическую. Используем общепонятную терминологию, однако, заключаем соответствующие термины в кавычки: это только названия математических моделей.

#### Модель «производства»

За основу берем известную детерминированную модель роста с ограничением, но параметры ее считаем вероятностными.

Логика модели производства: объем производства возрастал бы экспоненциально при неограниченном объеме рынка. Рано или поздно суммарное производство всех элементов заполнит рынок. Если суммарное производство превышает объем рынка, то производственные мощности будут сокращаться, и для этого тоже могут быть нужны затраты. Эти соображения можем отобразить нелинейным разностным рабочим уравнением (1).

Будем считать параметр модели  $ef_i$  (1) случайной величиной с определенным распределением вероятности. Предполагаем, что это распределение может быть идентифицировано в процессе функционирования системы с точностью, которая достаточна для управления. Записываем выражение для частотного распределения значения параметра эффективности (2).

Считаем распределение минимально удовлетворительным, т. е. имеющим максимум вероятности для значения  $\chi = x$ . Обычно априорные распределения корректируются по результатам наблюдений и экспериментов. Введем такие ограничения для аргумента функции распределения:  $0 < \chi < 1,2 X_0$ , что интерпретируется так: наименьший уровень приращения производства равняется нулю (не рассматриваем катастрофические случаи), наибольший незначительно превышает номинальный. Значительное превышение нереалистичное — это бы означало или неудовлетворительные модели, или нарушения законов природы. На рис. 1 представлен пример распределения как функции переменных  $\chi$  и  $(X_t)_{i,j}$  и отдельный перерез (нормированное) для фиксированного  $X$ .

#### Модель «рынка».

Записываем уравнение динамики спроса с учетом случайных возмущений (3)

Выбранная нами модель временного ряда — это авторегрессионный процесс Юла. На рис. 2 приведен пример процесса изменения спроса при наличии и отсутствии возмущений. Параметры процесса выбраны так, чтобы моделировать динамическую систему, в которой возмущения рождают колебания с достаточно большим периодом и медленным затуханием. Напоминаем — это только пример построения реалистической модели спроса.

### Модели локального управления

Природным глобальным критерием системы в целом является темп суммарного производства, или накопленное за определенный период суммарное производство. В данном случае рассмотрим только локальное управление: распределение элементами системы инвестиций между производствами разных продуктов. Выбираем такую детерминированную модель: для каждого продукта элемент оценивает перспективность расширения производства. Мерой перспективности является определенный критерий — «успех» каждого продукта. Тут могут быть такие альтернативы:

1 — согласно усредненному за определенный период «успеху» каждого продукта;

2 — согласно сумме усредненного успеха и темпа успеха (темп – синоним производной);  
 Локальное управление: распределение ресурсов элемента между задачами (продуктами).  
 Выбираем такую детерминировано-вероятностную модель распределения инвестиций.

1. Каждый элемент системы распределяет только то, что получил («заработал») на предыдущем шаге процесса. Этот ресурс принимаем равным темпу суммарного производства элемента на предыдущем шаге процесса. Такой подход кажется очень примитивным, — а где накопление, использование внешних ресурсов и т. д.? — В следующих моделях, которые будет несложно сделать из этой — базовой модели.

2. Каждый элемент на каждом шагу вычисляет определенную критериальную функцию – «перспективность» каждого из продуктов. Для оценки перспективности берем выражение:

$$\text{оценка} = a1 * \text{средняя\_отдача\_инвестиций} + a2 * \text{средний\_темп\_изменения\_отдачи}$$

На реальные темпы производства и продаж влияют разнообразные случайные колебания, поэтому вместо текущих темпов продаж и темпа прироста продаж берем скользящие средние. Они вычисляются так (взято определение из рабочей программы): задается параметр обновления среднего:  $0 \leq \alpha \leq 1$  и вычисляется скользящее среднее (4).

Аналогично делаем среднее для прироста темпа производства. Задается параметр обновления  $0 \leq \beta \leq 1$  и определяется скользящий средний темп (5).

Почти очевидно, что параметры определяют темпы обновления соответствующих средних, или скорость «забывания» прошлых значений. Выбирается этот параметр в зависимости от скорости изменения процесса и уровня шумов. Оценка перспективности продукта будет (6)

Это тоже только базовая модель, которая достаточно медленно изменяется, однако учет оценки уровня и оценки темпа является инвариантом.

### Логика распределения ресурса

Интуитивная логика: «имеем отфильтрованные и спрогнозированные согласно фундаментальным методам оценки состояния и темпа реализации «продукта», диктует правило распределения текущего ресурса: пропорционально перспективности продуктов  $(Roz_t)_{i,j} = \frac{efp_{i,j}}{\sum_j efp_{i,j}}$ .

Логика здравого смысла: «ничему полностью не доверять» диктует другое правило: разделить ресурс на две части: одну —  $X_t^* \gamma$ , разделить пропорционально перспективности, а другую —  $X_t^* (1 - \gamma)$ , разыграть в лотерее, где шансы каждого продукта пропорциональны его перспективности. Таким образом мы получаем достаточно простую одну модель для широкого спектра алгоритмов локального управления распределением ресурсов – от чисто вероятностных ( $\gamma = 0$ ) до детерминированных ( $\gamma = 1$ ). Фактически мы вводим в алгоритмы элементы случайного поиска.

Параметры обобщенного алгоритма  $\alpha, \beta, \gamma$  — объекты алгоритмов обучения.

Этот алгоритм реализован программным модулем *VPD* (*Me, \gamma*), который берет ( $M \times N$ ) матрицу, столбцы которой — распределение перспективностей  $N$  продуктов для  $M$  элементов системы, и параметр  $\gamma$  возвращает матрицу распределения ресурсов, каждый столбец которой – вектор распределения ресурса для определенного элемента. Для случая, когда элемент может только сравнивать результаты принятых решений по распределению ресурсов, разработано модуль выбора с обучением. Этот модуль меняет вероятности выбора для каждого из продуктов в зависимости от результатов предыдущих решений.

### Анализ результатов моделирования

Главным элементом программы моделирования есть модуль имитации неопределенностей. Проведено полное тестирование этих модулей. Специально для тестирования и исследования разработаны интерфейсы. На рис.3 приведен пример процесса при высокой скорости обучения и ограниченном уровне шумов, когда возможны варианты выбора не наилучшей альтернативы.

На рис. 4 приведены примеры процессов при высокой и низкой скоростях обучения. Модули оказались не только работоспособными, но и подходящими для увеличения уровня «интеллектуальности» системы управления.

Высокое быстродействие программы моделирования разрешило набрать «виртуальную статистику» процессов развития распределенных систем. На рис. 5 приведены частотные распределения нагрузки для системы «три элемента, три продукта» построенные на выборке из 1000 реализаций процесса развития.

На рис. 5.1 приведені розподілення для випадку «рівні умови». Елементи мають рівні ефективності і рівні стартові позиції по всім продуктам. Все розподілення ідентичні і явно не гаусові. Остріві вершини розподілення відповідають високій ймовірності виникнення спеціалізації кожного елемента по одному з продуктів.

На рис. 5.2 приведені розподілення для випадку «преимущество в эффективности». Елементи (сверху вниз) мають значення параметрів ефективності (1,1; 1,0; 0,9). В середньому перший елемент забирає половину загальної навантаження. Частотні розподілення для першого і третього елементів мають дві моди. Стойкими є розподілення навантаження елементів (5; 5; 5) і (10; 5; 0). На рис. 5.3 приведені розподілення для випадку «маленькая разница в эффективности» (1,05; 1,00; 0,95). Розподілення для кожного учасника мають суттєвий максимум для навантаження в третю частину загальної. В відмінності від першого випадку, розподілення суттєво не симетричні.

### Модулі аналізу рангових розподілення.

Для активних систем високоінформативними є рангові розподілення елементів по величині суммарного ефекта.

На рис. 6 приведені рангові розподілення для установившогося стану системи для випадків детермінованого розвитку і розвитку при наявності неопределенностей. Одномерні розподілення представляють залежність суммарного виробництва елемента від його рангу, двохмерні розподілення – відповідуючі залежності по кожному продукту в окреміності. Для детермінованого випадку ранг елемента по ефективності однозначно визначає ранг елемента по суммарному виробництву. При наявності неопределенностей ця зв'язь порушується, а рангове розподілення розпадається на дві частини – розподілення для лідерів і аутсайдерів.

На рис. 6 приведені перехідні процеси розподілення навантажень, які приводять до отриманим ранговим розподіленням. При монопольному розподіленні процеси переходу елементів і системи в цілому до установившогося стану скорочуються – це очевидний результат концентрації ресурсу в активній системі (в якій продуктивність елемента зростає при зростанні «розміру» елемента). Розброс установившихся значень для окремого елемента може бути значущим, однак розброс установившихся значень системи в цілому – незначущий.

В статистичних даних по високотехнологічним виробництвам можна знайти схожі залежності. Це очікуваний результат, тому що в модель закладені «природні механізми» розвитку і взаємодії елементів.

Сравнительний аналіз двох граничних варіантів розвитку розподіленої системи:

- а) пропорційне розподілення ресурсів в умовах неопределенності;
- б) монопольне розподілення ресурсів в умовах неопределенності виробництва і попиту підтверджує:

- 1) здатність системи моделювання, як інструмента досліджень;
- 2) живучість і асимптотичну оптимальність методу відкритого управління.

### Пример

Одно з призначень розробленої моделі – пошук оптимальних алгоритмів управління в умовах неопределенності. Розглянемо приклад Інтернет-сетей, працюють 30 організацій, які надають певні послуги і інформаційні продукти. Згідно статистики, для таких систем характерна висока динамічність – деякі продукти і послуги швидко втрачають попит, так же швидко і несподівано з'являються нові інформаційні продукти. Наша модель дозволяє індивідуалізувати параметри кожного елемента. Використовуємо цю можливість – розглянемо еволюцію змішаної системи, де одна половина елементів використовує монопольне розподілення, а друга – пропорційне. Одно з положень системного аналізу – нову альтернативу потрібно перевірити в несприятливих для неї умовах – це «усилительний» аналіз. Допустимо, що елементи ранговані по продуктивності, і кращі 15 використовують пропорційне розподілення і мають точну інформацію про ефективність продуктів, а гірші – монопольне розподілення і інформацію з випадковими помилками.

### Main part

**The purpose of this article is** development of the module system of probabilistic models, applicable both for research and optimization of algorithms of computer networks control and forecast of distributed technical systems development. Module means the possibility to compose the model from functional elements, and functional element, for example, algorithm of decision-making, to choose from a set of the alternative submodules. The probabilistic mathematical model

of the distributed system can be the main component of adaptive faultproof control system, means of distributed systems design, for example, computer networks, by means of forecast of distributed technical systems development.

### **Statement of the problem**

The system composed of  $N$  computing elements processing the data flow, which consists of problems of  $M$  kinds is considered. The elements have different characteristics of various problems performance. It is quite natural to distribute the load between elements in such a way so that the total productivity of a system be maximum, it is also natural to distribute intensities of various problems performance in each element so that the total productivity of an element be maximum. Characteristics of problems performance and connections between elements of a system are probabilistic, stochastic. In conditions, when new classes of distributed systems emerge, and existing systems are rapidly evolving we need not simply mathematical model, but a complex: operating model with open modular structure and rational technologies of the extension and updating of a model.

The operating model comprises three components: mathematical model, program of modeling and technology of model design and updating. Such an approach actually exists, but is not described in terms of standards and classifications — "modeling", "software development", "information technology".

### **The analysis of recent research and publications**

Nowadays the demand for means of forecasting of complex network information systems development and possibility of rapid model development — means of forecast and optimization, constantly grows. Typical example: the core element of corporation Oracle new software version is programming system for development of business-processes models. In conditions of a high urgency for practical application of certain theoretical direction, the scientific publications containing really new results disappear from pages of journals and monographs. Such phenomena were observed and earlier — the indicator of importance of certain direction was the reduction of new publications regarding the given subject.

Among publications it is necessary to point out papers [8], where the valid problem — forecasting of modern technical systems development in conditions of innovative character of their operation and approaches to the solution of the problem is chosen.

Design analogs and prototypes for the problem to be solved — the development of models and technologies of operation with models of distributed systems have not been revealed. Let's note one more feature of information processes in conditions of new practical problems and new means emergence, in this case, software products and information technologies. In such conditions the already known and used models and methods are not suitable for the solution of new problems and they are replaced by models and methods which have not been realized earlier. Among them are works of P. Bellman [1—3], works on system approach to modeling [4, 7], and fundamental works on distributed active systems analysis [5, 6]. Design analogs, where operating models are represented and results of modeling have not been found. The monograph [9], is rather close to the subject in question, however, the material is based on models of linear programming, which is not only inadequate, but also requires considerable computing resources.

### **Practical set-up**

We consider systems, the elements of which have their own local criteria, exchange with certain products, have certain determined own resources. The elements distribute their own resources between spheres of activity, in order to optimize their own criterion.

Nowadays the approach to development of complex control systems and decision-making systems based on analogy — "artificial neural networks" is widely spread. For modern network systems more productive analogy — "artificial social networks" is used. The main difference of this trend is that the "intelligence" of system element is not less than the "intelligence" of the system itself. While construction of information networks we can elaborate effective computing algorithms, performing of certain complex problems, having distributed general problem of the system between elements and having made this distribution decentralized. It is natural to attribute to elements, goals, intentions and even "caution". It is quite natural to introduce for generalized resources and products "prices" and "demand" and even the notion "market". Actually these are the parameters of computing algorithms. As a rule "prices" in such problems are Lagrange multipliers. Modern systems as a rule do not have prototypes, do not have statistics, that is why we choose the approach based on model construction ad hoc — for given actual problems, as a rule prob-

lems which do not have any direct prototypes.

In this article the development and research of the model taking into account uncertainty in decision-making by the elements, when the resource is divided depending on expected efficiency but in stochastic manner. How can it be treated and why is it necessary to introduce?

1. One of methods of "fight" against the uncertainty of external environment is the introduction of elements of random decisions. Such controlled uncertainty of decisions is the basis of algorithms of random search, similarly as controlled uncertainty is the basis of algorithms of optimization on the base of fuzzy logic.

2. In conditions of great uncertainty and dynamics of processes of technical systems development "the last word" is to be pronounced by man. It is natural to evaluate the influence of uncertainty of decision-making by a man on the development of technical systems.

### **Construction of probabilistic model of distributed system**

We put forward the task to make a modular model, which functional modules reconstruct appropriate «mechanisms»—— the laws of chemistry, thermodynamics, psychology, and have a minimum of parameters of set-up and identification. We proceed from the principle of adequacy of model exactitude and data, on the basis of which model of distributed system operation is constructed. As well as any other model mathematical model can have different interpretations, including economic. We take generally accepted terminology, however, we take appropriate terms in quotation marks: they are only names of mathematical models.

#### **Model "production"**

As a basis we take known determined model of growth with restriction, but its parameters we assume as probabilistic.

Logic of production model: volume of production would increase exponentially in case of unlimited volume of the market. Early or late total production of all elements will fill in the market. If total production exceeds the volume of the market, the production capacities will be reduced, and expenditures will be required. These reasons we can present by nonlinear difference operating equation (1)

Let's assume the parameter of the model  $ef_i$  (1) as random value with certain distribution of probability. Assume, that this distribution can be identified during operation of the system with exactitude, which is sufficient for management. We note the expression for frequency distribution of efficiency parameter value (2).

We consider distribution minimum satisfactory, i. e. such, that has a maximum of probability for value  $\chi = x$ . Usually a priori distributions are corrected by the results of observations and experiments. Let's introduce such restrictions for argument of cumulative distribution function:  $0 < \chi < 1,2 X_0$ , that is interpreted as: the least level of increment of production equals zero (disastrous cases are not considered), the greatest slightly exceeds the nominal. The significant exceeding is unrealistic — it would mean either nonsatisfactory models, or violation of the laws of nature. In Fig. 1 the example of distribution both of function of variables  $\chi$  and  $(X_i)_{ij}$  and separate section (normalized) for fixed  $X$  is presented.

#### **Model "market"**

We note the equation of demand dynamics taking into account random disturbances (3).

The model of time series, selected by us is autoregressive Yule process [26]. In Fig. 2 the example of process of demand modification in case of available disturbances and their absence is represented. The parameters of process are selected so that to simulate dynamic system, in which the disturbances generate oscillations with rather large period and slow damping. We remind — that it only example of construction moderately realistic model of demand.

#### **Models of local management**

The natural global criterion of a system as a whole is the rate of total production, or total production, accumulated for determined period. In this case we consider only local management: distribution by elements of the investments between producers of different products. We select such determined model of distribution: for each product the element evaluates the perspectiveness of production expansion. Measure of perspectiveness is certain criterion — «success» of each product. Here there can be such alternatives:

1 — According to averaged for certain period " success» of each product;

2 — According to the sum of averaged success and rate of success; (rate — synonym of derivative)

Local management: distribution of element resources between problems (products).

We select such determined— probabilistic model of distribution of the investments.

1. Each element of a system distributes only what it has received («has earned») on the previous stage of the process. This resource is considered to be equal to the rate of total production of the element at the previous stage of process. Such an approach seems too primitive — and where is accumulation, usage of external resources? In the following models, which will be constructed on the of this — base model.

2. Each element at each stage calculates certain criterial function — «perspectiveness» of each of the products. For evaluation of perspectiveness we take the expression:

Evaluation =  $a_1 \cdot \text{average\_a\_response\_of\_the\_investments} + a_2 \cdot \text{average\_rate\_modifications\_responses}$

The real rates of production and sale are influenced by diverse random disturbances, therefore instead of current rate of sale and rate of sale increment we take «sliding» average rate. They are evaluated in the following way (taken from the operating program): the parameter of updating of average is set:  $0 \leq \alpha \leq 1$  and sliding average is determined (4)

Similarly we make average for an increment of production rate. The parameter of updating  $0 \leq \beta \leq 1$  is set. Sliding average rate is determined (5).

It is obvious that parameters determine rates of updating of appropriate average, or speed of «forgetting» of previous values. This parameter is selected depending on the rate of modification of the process and noise level. The evaluation of product perspectiveness will be (6).

It only base model, which changes rather slowly, however account of level evaluation and rate evaluation is invariant.

### Logic of resource allocation

Intuitive logic: » we have filtered and forecast according to fundamental methods evaluations of state and rate of realization of "product », dictates the rule of distribution of current resource:

proportionally to perspectiveness of products  $(Roz_t)_{i,j} = \frac{efp_{i,j}}{\sum_j efp_{i,j}}$ .

Logic of common sense: "completely do not trust to anybody" dictates another rule: divide the resource into two parts: the first —  $X_t^* \gamma$  to distribute proportionally to perspectiveness, and the second —  $X_t^* (1 - \gamma)$  to play in a lottery, where chances of each product are proportional to its perspectiveness. Thus we obtain rather simple model for a broad spectrum of algorithms of local management of resources allocation — from purely probabilistic ( $\gamma = 0$ ) to determined ( $\gamma = 1$ ). Actually we introduce in algorithms the elements of random search. Parameters of generalized algorithm  $\alpha, \beta, \gamma$  — objects of algorithms of tutoring.

This algorithm is realized by the program module *VPD (Me, g)*, which takes  $(M, N)$  matrix, columns of which — distribution of perspectiveness of  $N$  products for  $M$  elements of the system, and parameter  $\gamma$  returns matrix of resource allocation, each column of which — vector of resource allocation for certain element. For the case, when the element can only compare the results of decisions taken regarding resource allocation, the module of choice with tutoring is developed. This module changes probabilities of choice for each products depending on the results of the previous decisions.

### The analysis of modeling results

The main element of modeling program is modules of indeterminacies simulation. Complete testing of these modules is carried out. Interfaces were developed for testing and research. In Fig 3 the example of process at high speed of tutoring and limited level of noise, when variants of selection of not the best alternative are possible is represented.

Fig 4. shows the examples of processes taking place at high and low tutoring speeds. Modules proved to be not only serviceable but suitable for increase of "intelligence" level of control system.

High fast acting of simulation program enabled to collect "virtual statistics" regarding the processing of distributed system development.

Fig. 5. shows frequency distributions of the load for the system "three elements, three products" constructed on the basis of sampling of 1000 implementations of development process.

Fig. 5.1 shows distributions for the case "equal conditions". The elements have equal efficiencies and equal initial positions by all products. All distributions are identical and obviously are not

Gaussian.

Sharp peaks of distributions correspond to high probability of specialization emerge of each element by one of the product.

Fig. 5.2 shows distributions for the case of "advantage in efficiency", Elements (from the top to the bottom) have the values of efficiency parameters (1.1; 1.0; 0.9). On average the first element takes half of the total load. Frequency distributions for the first and third elements have two modes. Stable are distributions of elements load (5; 5; 5) and (10; 5; 0)

Fig. 5.3 shows distributions for the case "small difference in efficiency" (1.05; 1.00; 0.95)

Distributions for each participant have considerable maximum for load, representing one third of the whole. Unlike the first case, the distributions are not symmetric.

Modules of grade distributions of element by the value of total effect are highly informative.

Fig. 6 shows grade distributions for established state of the system for the cases of determined development and development in case when uncertainties are available. One dimensional distributions represent the dependency of total products of the element on its grade, two-dimensional distributions – corresponding dependencies by each products separately. For determined case the rank of the element by the efficiency determines the rank of the element by total production. If uncertainties are available this connection is broken down and rank distribution is decomposed into two parts — distributions for leaders and outsiders.

Fig. 6 shows transient processes of loads distributions which lead to obtained rank distributions. In case of monopolystic distributions, processes of transition of elements and system on the whole to steady state are reduced — it is obvious result of resource concentration in active system (in which productivity of the element increases when element "size" increases).

Variations of steady values for separate element can be considerable, but variation of steady values of the system as a whole is not large.

Similar dependencies can be observed in statistic data regarding high – tech industries. The result is quite expected, because "natural mechanisms" of development and interaction of elements are incorporated in the model.

Comparative analysis of two boundary variants of distributed system development.

a) proportional distribution of resources in condition of uncertainty;  
b) monopolystic distribution of resource in condition of production and demand uncertainly proves:

- 1) serviceability of modeling system as the research tool;
- 2) survivability and asymptotic optimality of open control method.

### Example

One of the designations of the developed model – search of optimal control algorithms in conditions of uncertainty.

Let us consider the example of the Internet networks. 30 organizations operate, they provide certain services and information products, according statistical reports, such systems are characterized by high dynamics- some products and services rapidly loose the demand, and new information products emerge. Our model allows to tailor the parameters of each element. Let us make use of this opportunity — we consider the evolution of mixed system, where one half of elements use monopolistic distribution, and the second — proportional. One of the assumptions of system analysis is – new system must be tested in hazardous environment — such an approach is called "enforced" analysis. Let us assume that the elements are graded in accordance with the productivity and 15 best elements use proportional distribution and have accurate information regarding the efficiency of products, and worst elements — use monopolistic distribution and information with random errors.

### Висновки

Розроблено робочі моделі для задачі розподілу «виробництва» певних видів «продуктів» між елементами виробничої системи при наявності імовірнісних невизначеностей. Ці моделі дозволили провести дослідження, результати яких відповідають статистичним даним про розвиток систем виробників певних галузей, таких як програмна індустрія, електроніка та ін.

Виконано порівняльний аналіз двох алгоритмів розподілу ресурсів елементом системи між виробництвами видів продуктів. За результатами цього аналізу отримано висновок про наявність шансів у елементів-аутсайдерів потрапити в лідери, а також висновок про необхідність для розвитку як елементів, так і системи в цілому певного — оптимального рівня невизначеності і ризику.



Розроблені моделі зручні для розширень і деталізації і можуть бути основою для розробки систем технологічного прогнозування інноваційних процесів.

### Выводы

Разработаны рабочие модели для задачи распределения «производства» определенных видов «продуктов» между элементами производственной системы при наличии вероятностных неопределенностей. Эти модели позволили провести исследования, результаты которых отвечают статистическим данным о развитии систем производителей определенных отраслей, таких как программная индустрия, электроника и др.

Выполнен сравнительный анализ двух алгоритмов распределения ресурсов элементом системы между производствами видов продуктов. По результатам этого анализа получен вывод о наличии шансов у элементов-аутсайдеров попасть в лидеры, а также вывод о необходимости развития как элементов, так и системы в целом определенного — оптимального уровня неопределенности и риска. Разработанные модели удобные для расширений и детализации и могут быть основой для разработки систем технологического прогнозирования инновационных процессов.

### Conclusions

Operation models intended for the problem of distribution of "production" of certain kinds of "products" between the elements of production system in case of presence of probabilistic uncertainties have been developed. These models allowed to carry out research the results of which correspond to statistical information regarding the development of the systems of producers in certain industries, such as software industry, electronics, etc.

The comparative analysis of two algorithms of resources distribution by systems element between productions of types of products is carried out. By the results of analysis the conclusion is drawn regarding the chances of elements-outsiders to become leaders, and also conclusion concerning the necessity for development of both elements and system on the whole, optimum level of uncertainty and risk. The developed models are suitable for expansions, workings out in detail and can be the basis for development of systems intended for technological forecast of innovative processes.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### REFERENCES

1. Беллман Р. Процессы регулирования с адаптацией. — М.: Наука, 1964. — 317 с.
2. Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. — М.: Наука, 1969. — 131 с.
3. Пешель М. Моделирование сигналов и систем. — М.: Мир, 1981. — 286с.
4. Бурков В. Н., Новиков Д. А. Введение в теорию активных систем. — М.: ИПУ РАН, 1996. — 125 с.
5. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. — М.: Наука, 1968 — 400 с.
6. Шрейдер Ю. А., Шаров А. А. Системы и модели. — М.: Радио и связь, 1982. — 152 с.
7. Попов Ю. П. Самарский А. А. Вычислительный эксперимент. — М.: Знание, 1983. — 64 с.
8. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Системна стратегія технологічного передбачення в інноваційній діяльності // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2003, — № 3. — С. 7-24
9. Файзрахманов Р. А. Математическое моделирование материальных производственных потоков и управление ими с учетом факторов неопределенности и риска. — СПб.: Издательский дом «Литера», 2004. — 176 с.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Надійшла до редакції 13.04.05  
Рекомендована до друку 6.09.05

**Бадьора Сергій Петрович** — аспірант, **Боровська Таїса Миколаївна** — доцент.

Кафедра комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет.

**Бадёра Сергей Петрович** — аспирант, **Боровская Таиса Николаевна** — доцент.

Кафедра компьютерных систем управления, Винницкий национальный технический университет.

**Serhiy Badyora** — Post-Graduate student, **Taisa Borovska** — Associate Professor.

Chair of computer control systems, Vinnitsia National Technical University.