

УДК 338.36

А.В. ТОЛБАТОВ, О.Б. В'ЮНЕНКО, О.О. ТОЛБАТОВА

Сумський національний аграрний університет, м. Суми

І.А. ШЕХОВЦОВА

НТУ КПП ім. І. Сікорського, м. Київ

В.А. ТОЛБАТОВ

Сумський державний університет, м. Суми

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ
АНАЛІЗУ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Анотація. У статті представлені сучасні підходи до розробки економіко-математичної моделі аналізу бізнес-процесів на промислових підприємствах. Сукупність розроблених функціональних моделей (метод IDEF0 з методом описання процесів IDEF3, який його доповнює), організаційних та інформаційних (діаграми потоків даних – DFD) моделей дозволяють зробити детальний аналіз підприємства, яке вивчається, з точки зору його бізнес-процесів, зв'язків між ними та навколишнім середовищем. Ці моделі відповідають на питання як протікають процеси на підприємстві в часі та просторі, але відкритим залишається питання кількісної характеристики потоків даних та матеріалів, яке виникає коли в процесі моделювання досягнуто нижні рівні декомпозиції. З практичної точки зору цікавим є побудова економіко-математичної моделі аналізу багатоканальної системи масового обслуговування з обмеженим очікуванням як найбільш складний і типовий для сучасних виробництв випадок. При цьому вважаємо, що всі n каналів системи однаково досяжні для всіх заявок. Інформація про виробничий процес та його характеристики, отримана в результаті економіко-математичного моделювання, дає змогу спеціалісту предметної області здійснювати детальний аналіз основних властивостей процесу. В результаті такого аналізу можуть бути розроблені конкретні рекомендації щодо удосконалення виробничого обладнання, його ефективного використання, підвищення якості продукції та рентабельності виробництва. Тому метод економіко-математичного моделювання є потужним інструментом дослідження операцій в області виробничих процесів.

За результатами досліджень проведено:

- розробку алгоритму побудови комплексу економіко-математичних моделей аналізу підприємства, який визначить їх типи, послідовність розробки та взаємозв'язок;
- розробку комплексу економіко-математичних моделей аналізу підприємства в рамках розробленого алгоритму, які дозволяють здійснити детальний аналіз підприємства з погляду його процесів (до рівня окремих технологічних процесів), організаційної структури та інформаційних потоків (баз даних);
- розробку економіко-математичної моделі аналізу технологічних процесів та програмне забезпечення для реалізації розробленої моделі.

Ключові слова: економіко-математична модель аналізу бізнес-процесів, економіко-математична модель аналізу технологічного процесу, інтегроване інформаційне середовище, теорія масового обслуговування, промислове підприємство, реінжиніринг, система масового обслуговування.

A.V. TOLBATOV, O.B. VIUNENKO, O.O. TOLBATOVA

Sumy National Agrarian University

I.A. SHEKHOVTSOVA

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv

V.A. TOLBATOV

Sumy State University

THEORETICAL BASES OF ECONOMIC-MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT FOR INDUSTRIAL
ENTERPRISES' BUSINESS PROCESSES ANALYSIS

Annotation. This article represents modern approaches for economic-mathematical model development for industrial enterprises' business processes analysis. Detailed analysis of the enterprise is performed considering its business processes along with internal and outside relationships by introducing a set of developed functional models (methods IDEF0 and IDEF3), organizational and information models (data flow diagrams – DFD). These models uncover the question on how an enterprise processes flow in time and space though the quantitative characteristics of data flows and materials during lower levels of modeling decomposition remain unclear.

From a practical point of view, it is interesting to construct an economic-mathematical model for analyzing a multichannel mass service system with limited expectations as the most complex and typical case for modern productions. At the same time, we believe that all n channels of the system are equally achievable for all applications.

Information about the production process and its characteristics that is obtained as a result of economic-mathematical modeling, allows the subject matter expert to carry out a detailed analysis of the main properties of the process. As a result of this analysis, specific recommendations can be developed for improving the production equipment, its efficient use, improving product quality and profitability. Therefore, the method of economic-mathematical modeling is a powerful tool for researching operations in the field of production processes.

Research results:

- development of algorithm for building a complex of economic-mathematical models of enterprise analysis, which will determine their types, sequence of development and interconnection;

- development of a complex of economic-mathematical models of enterprise analysis within the framework of the developed algorithm, which allows to carry out a detailed analysis of the enterprise in terms of its processes (to the level of individual technological processes), organizational structure and information flows (databases);

- development of the economic-mathematical model of the analysis of technological processes as well as software for implementation of the developed model.

Keywords: economic-mathematical model for business process analysis, economic-mathematical model for technological process analysis, integrated information environment, mass service theory, industrial enterprise, reengineering, mass service system.

Вступ. Проведемо аналіз сучасних підходів до розробки економіко-математичної моделі аналізу бізнес-процесів (ЕММАБП) на промислових підприємствах (ПП) [1–18]. Саме кількісні характеристики бізнес-процесів дозволяють здійснити їх реінжиніринг на підприємстві з метою створення інтегрованого інформаційного середовища (ІС). В такому випадку необхідно розробляти ЕММАБП (рис.1), які описуються функції, відношення між ними, інформаційні та матеріальні потоки на підприємстві чіткими математичними рівняннями або співвідношеннями, які можуть бути розв'язані відомими аналітичними або чисельними методами.

Основна частина. Розглянемо характеристики економіко-математичної моделі аналізу технологічного процесу (ЕММАТП), як одного з бізнес-процесів підприємства, який безпосередньо приймає участь у створенні доданої якості підприємства, проаналізувавши класифікацію економіко-математичних моделей (ЕММ) за різними ознаками. За ієрархічним рівнем ЕММАТП відноситься до моделей макrorівня (моделі мікро рівня описують фізичні процеси на рівні проходу, а мета рівня – діяльність цеха, підприємства) та призначена для відображення інформаційних та фізичних процесів, які протікають в обладнанні в ході технологічного процесу в часі, тобто є функціональною.

З точки зору отримання ЕММАТП вона є емпіричною, оскільки створюється в результаті здійснення експериментів для вивчення властивостей обладнання та обробки результатів методами математичної статистики. Так як ЕММАТП враховує вплив імовірних факторів на поведінку об'єкту, тобто оцінює стан обладнання з позиції імовірності тих чи інших подій (імовірність того, що обладнання вільне в певний момент часу і т. ін.) та створюється з використанням теорії масового обслуговування (ТМО), модель технологічного процесу характеризується як імовірнісна. Найбільш важливим питанням для розробника ЕММ є питання способу представлення властивостей операцій в рамках технологічних процесів, які моделюються. Згідно класифікації (рис.1) модель може бути аналітичною, алгоритмічною та імітаційною. В роботі розглядається розробка аналітичної ЕММ та відповідного програмного забезпечення для її реалізації. Аналітичне моделювання засновано на описанні технологічного процесу набором математичних формул. Мова аналітичного опису включає наступні групи семантичних елементів: дані, невідомі, математичні операції та обмеження. Найбільш суттєвою особливістю аналітичної моделі є те, що модель не відображує структуру технологічного процесу. Аналітична модель завжди може бути проаналізована математичними засобами і є ефективним інструментом для вирішення задач оптимізації процесів, які відбуваються в технологічних системах, а також оптимізації та розрахунку характеристик самих систем. Важливим моментом є правильне визначення розмірності конкретної аналітичної моделі, яка може бути критичною з точки зору як можливості вирішення, так і обчислювальних можливостей сучасного апаратного забезпечення. Можливість побудови аналітичних ЕММАТП використовуючи наявний математичний апарат, а також простота реалізації цих моделей з використанням сучасних комп'ютерів створюють умови для широкого застосування методу моделювання під час рішення різноманітних практичних задач в процесі здійснення реінжинірингу виробництва. Інформація про виробничий процес та його характеристики, отримана в результаті моделювання, дає змогу спеціалісту предметної області здійснювати детальний аналіз основних властивостей процесу. В результаті такого аналізу можуть бути розроблені конкретні рекомендації щодо удосконалення виробничого обладнання, його ефективного використання, підвищенням якості продукції та рентабельності виробництва. Тому метод моделювання є потужним інструментом дослідження операцій в області виробничих процесів. Дослідження операцій завжди починається з вивчення процесу та постановки задач дослідження. Перший крок – чітка постановка задачі та вивчення процесу за допомогою комплексу функціональних, організаційних та інформаційних моделей – дають результати, які мають практичну цінність з точки зору більш глибокого осмислення процесу та закономірностей функціонування системи. Для кількісної оцінки властивостей виробничого процесу як правило вводяться відповідні числові характеристики – показники ефективності. З цієї точки зору показник ефективності – це кількісна міра такої властивості виробничого процесу, яка найбільш повно визначає його призначення. В загальному випадку, любий показник ефективності залежить від параметрів обладнання та самого процесу, а також від величин зовнішніх факторів. Тому значення цього показника для різних реалізацій процесу може носити випадковий характер. Таким чином, при виборі показника ефективності необхідно враховувати цю обставину та вживати заходи щодо забезпечення їх статистичної стійкості. В якості типового показника ефективності виробничого процесу використовують продуктивність даного комплексу (верстатів, цеха, заводу і т. ін.), яка вимірюється середньою кількістю готових виробів, які випускаються за фіксований інтервал часу [1, 2, 12, 14].

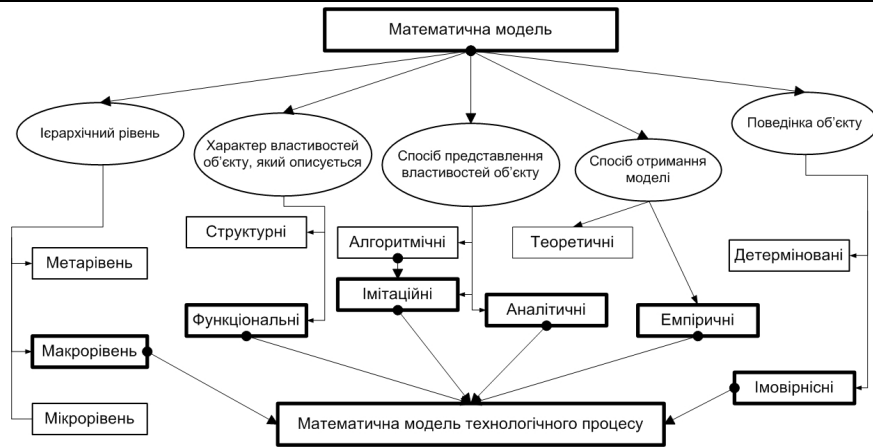


Рис.1. Класифікація математичних моделей

Однак, для більшої частини сучасних, особливо багато профільних виробництв, продуктивність є загальним показником, який не дозволяє наглядно представити закономірності, властиві даному процесу. Тому, наряду з продуктивністю використовують інші показники ефективності, які можуть бути отримані за допомогою ЕММ, серед яких:

- середня доля відбракованих виробів для кожного верстата;
- середня кількість виробів, оброблених кожним верстатом;
- середня тривалість операції на кожному верстаті (середній час обробки, або час зайнятості);
- середня кількість заготовок, які знаходяться в черзі на обробку;
- середня кількість заготовок, які одночасно знаходяться в системі;
- середній час перебування заготовки в черзі і в системі;
- середній час простою станції, і т. ін.

При дослідженні складних технічних систем, якими є ПП, важливими задачами є задачі аналізу, пов'язані з вивченням поведінки системи в залежності від її структури і значень параметрів, та задачі синтезу, які дозволяють визначитися зі структурою та значенням параметрів, виходячи з заданих властивостей виробництва.

Ідея аналізу полягає в ЕММАТП при різноманітних варіантах його структури та параметрів. Порівняння показників ефективності для розглянутих варіантів, а також вивчення тенденцій для цих варіантів дозволяє отримати матеріал для побудови оптимальних з точки зору показників ефективності структур процесів, тобто вирішення задач синтезу. Для формалізації процесу, для побудови ЕММ, а також для того, щоб добитися відповідного рівня адекватності моделі здійснюється експериментальне вивчення процесу з метою збору статистичних даних. Для того, щоб експериментальне вивчення було практично доцільним, необхідно дотримуватися таких вимог:

1. Існуючий процес допускає такі зміни режимів функціонування, які забезпечують вирішення поставлених перед експериментом задач.
2. Є можливість фіксувати всю необхідну інформацію без занадто великих витрат на спеціальне обладнання та накопичувачі інформації.
3. Фіксація і статистична обробка даних в реальному масштабі часу дозволяє в практично прийнятні строки накопити достатню кількість інформації для здійснення моделювання.
4. Зміна режимів роботи обладнання, пов'язана з виконанням експерименту, не приводить до значних втрат в випуску продукції та небажаних наслідках.

Перераховані умови виконуються як правило частково, тому для вивчення існуючих процесів слід комбінувати експериментальні методи та методи моделювання.

Розглянемо основні вимоги, які висуваються до ЕММ.

1. Універсальність ЕММ характеризує повноту відображення в ній властивостей реального технологічного процесу. Назвати будь-яку модель універсальною можливо лише за певних припущень. Універсальність характеризує можливість використовувати модель при певних структурних та кількісних змінах в технологічних процесах (збільшення кількості верстатів, ліній і т. ін.) без суттєвого коригування самої моделі.

2. Точність ЕММ оцінюється ступенем співпадання значень вихідних параметрів реального технологічного процесу та значень тих же параметрів, отриманих за допомогою моделювання.

3. Адекватність ЕММ – це її здатність відображувати задані властивості технологічного процесу з помилкою, не вище заданої.

4. Обчислюваність, тобто можливість дослідження за допомогою програмного та апаратного забезпечення якісних та кількісних закономірностей функціонування технологічного процесу.

5. Алгоритмізованість, тобто можливість розробки відповідного алгоритму або програми, яка реалізує ЕММ на комп'ютері.

Наявність налагодженої ЕММ дозволяє приступити безпосередньо до вирішення широкого кола задач реінжинірингу. Розглянемо підходи та методи ТМО, які можуть бути використані для побудови ЕММАТП на ПП.

Предметом ТМО є розробка імовірнісно-статистичних методів вирішення задач з обслуговування великої кількості однорідних об'єктів, наприклад, надходження заготовок до ліній обробки, робота ліній обробки і т. ін. Моделі масового обслуговування дозволяють оцінити продуктивність обладнання, визначити реальну пропускну здатність каналів обробки, виявити обладнання, яке створює чергу та оцінити процеси завантаження обладнання.

Розглянемо деякі поняття ТМО, необхідні для подальшого викладення матеріалу. Потік одиниць (заготовки, готові вироби і т. ін.), що обслуговується, незалежно від його конкретної природи будемо називати потоком заявок. Для описання методів ТМО вводиться поняття потоку однорідних подій.

Потік однорідних подій – це певна послідовність подій, однорідних за фактом здійснення або нездійснення події в той чи інший момент часу. Моменти здійснення цієї події можуть бути чітко визначеними, тоді як інтервали між моментами здійснення подій є випадковими величинами. Значно частіше трапляються випадки, коли інтервали між моментами здійснення подій і самі моменти не визначені та є випадковими величинами. У цьому випадку потік буде визначеним, коли відомо закон розподілу моментів здійснення даної події, тобто для будь-яких значень t_1, t_2, \dots, t_k і будь-якого k відома функція [1, 2, 14]

$$F(t_1, t_2, \dots, t_k) = P\{t^{(1)} < t_1, t^{(2)} < t_2, \dots, t^{(k)} < t_k\},$$

де $t^{(k)}$ – k -й момент здійснення події, що визначає потік.

Потік заявок в ТМО як раз і є деяким потоком однорідних подій. Поняття системи масового обслуговування (СМО), яке розглядається у роботі, поєднує сукупність обладнання та спеціалістів для організації самого процесу обслуговування за певними законами функціонування системи, яка розглядається. У процесі обслуговування заявка займає на деякий час певний канал. Цей час називається часом зайнятості каналу. За кількістю каналів СМО може бути одноканальною чи багатоканальною. В залежності від організації обслуговування СМО класифікується за трьома типами [1, 2, 12–18].

Система з відмовами. Заявка, яка надходить до системи в той час, коли всі канали зайняті, покидає систему без обслуговування.

Система з очікуванням. Заявка, яка надійшла в систему де всі канали зайняті, не покидає систему, а очікує, коли звільниться будь-який канал і тоді обслуговується.

Система з обмеженим очікуванням. Механізм обслуговування такий, як і у випадку системи з очікуванням, але на час очікування накладено обмеження, після якого заявка отримує відмову в обслуговуванні.

Розглянемо на прикладі одноканальної СМО можливі аналітичні методи вирішення задач дослідження технологічних процесів з урахуванням певних припущень. Як відомо кожна СМО може бути описана часом зайнятості каналу t_3 і час очікування $\tau_{оч}$, які, в загальному випадку є випадковими величинами з функціями розподілення $F_3(t)$, $F_{оч}(t)$ і математичними очікуваннями $M(t_3) = \frac{1}{\mu}$ та $M(\tau_{оч}) = \frac{1}{\nu}$

відповідно, де μ – інтенсивність обробки, ν – інтенсивність покидання каналу. Нами розглянуто змішану систему, яка представляє найбільш загальний випадок СМО. Інші СМО розглядаються як похідні від змішаної системи при певних умовах, так для системи з відмовами $\frac{1}{\nu} \rightarrow 0$, а при $\frac{1}{\nu} \rightarrow \infty$ отримуємо систему з очікуванням. Основним показником роботи змішаної системи є імовірність відмови $p_{від}(t)$, тобто імовірність отримати відмову для заявки в деякий момент часу t . Якщо розглядати достатньо відділений момент часу t , коли встановлюється стаціонарний режим ($t \rightarrow \infty$), то величина вірогідності відмови практично не буде залежати від t

$$\lim_{t \rightarrow \infty} p_{від}(t) = p_{від} \quad (1)$$

Таким чином $p_{від}$ розглядається як відношення кількості заявок, які отримали відмову, до загальної кількості заявок, які надійшли в систему та може бути розрахована аналітично при певних припущеннях. Розглянемо два випадки.

1. Час зайнятості каналу t_3 і час очікування $\tau_{оч}$ розподілені за показниковими законами з щільністю розподілення $\mu e^{-\mu t}$ та $\nu e^{-\nu t}$ відповідно. Потік заявок на вході системи вважається найпростішим з інтенсивністю λ . Для вірогідності відмови при даних припущеннях для одноканальної СМО справедливий наступний вираз [1, 2, 7–11]:

$$p_{від} = \frac{\beta \sum_{s=1}^{\infty} \frac{sa^s}{(1+\beta)(1+2\beta)\dots(1+s\beta)}}{(1+a) + a \sum_{s=1}^{\infty} \frac{a^s}{(1+\beta)(1+2\beta)\dots(1+s\beta)}}, \quad (2)$$

де $a = \frac{\lambda}{\mu}$, $\beta = \frac{\nu}{\mu}$ s – кількість заявок, які знаходяться в черзі. Для СМО з відмовами ($\frac{1}{\nu} \rightarrow 0$), отримуємо

$$p_{від} = \frac{a}{1+a}. \quad (3)$$

2. У випадку, коли час зайнятості каналу t_3 і час очікування $\tau_{оч}$ – постійні величини: $t_3 = \frac{1}{\mu}$ та $\tau_{оч} = \frac{1}{\nu}$; обслуговування упорядковане, тобто в момент звільнення каналу заявки в черзі надходять на обслуговування в тому ж порядку, в якому вони надійшли в систему, а їх потік найпростіший. В цьому випадку для вірогідності відмови отримано наступний вираз [1, 2, 7–13]

$$p_{від} = \frac{a + e^{\frac{a}{\beta}} - 1}{a + e^{\frac{a}{\beta}}}. \quad (4)$$

Слід зазначити, що для СМО з відмовами ($\frac{1}{\nu} \rightarrow 0$) формула (4) приймає вигляд (2), що свідчить про незалежність вірогідності відмови для одноканальної системи з відмовами від закона розподілення часу обслуговування. Розглянуті ЕММ одноканальних СМО дозволяють моделювати роботу верстатів та інших одиниць обладнання, що вимагає деталізацію функціональних моделей до рівня операції та дія, тобто до третього та четвертого рівнів і, як результат, призводить до суттєвого зростання обсягів розрахунків, а інколи робить їх навіть неможливими у випадку, коли вхідний потік не є найпростішим.

З практичної точки зору цікавим є побудова ЕММА багатоканальної СМО з обмеженим очікуванням як найбільш складний і типовий для сучасних виробництв випадок. При цьому вважаємо, що всі n каналів системи однаково досяжні для всіх заявок. Основним показником роботи системи з обмеженим очікуванням є імовірність відмови $p_{від}(t)$ та асимптотична поведінка цієї величини при $t \rightarrow \infty$.

Для багатоканальної системи доведено, що існує $\lim_{t \rightarrow \infty} p_{від}(t) = p_{від}$, де суть величини $p_{від}$ така ж, як і у випадку одноканальної системи.

Аналітичне дослідження багатоканальної СМО є більш важким, ніж у випадку одноканальної системи. Розглянемо можливі стани системи під час її функціонування (табл.1).

Таблиця 1. Можливі стани багатоканальної системи масового обслуговування

Стан системи	Кількість вільних каналів	Кількість зайнятих каналів	Кількість заявок в черзі
0	n	0	0
1	$n-1$	1	0
2	$n-2$	2	0
...
...
k	$n-k$	k	0
...
...
n	0	n	0
$n+1$	0	n	1
...
...
$n+s$	0	n	s
...

Визначимо через $p_k(t)$ імовірність того, що система в момент часу t знаходиться в стані k . Тобто $\lim_{t \rightarrow \infty} p_k(t) = p_k$.

Величину p_k можна пояснити як імовірність застати систему в стані k в стаціонарному режимі.

Розглянемо можливе аналітичне вирішення задачі за таких умов: вхідний потік заявок вважається найпростішим з параметром λ , число каналів СМО – n , час зайнятості системи t_3 є випадковою величиною, розподіленою за показниковим законом із параметром μ , а час очікування – детермінованою величиною $\tau_{оч} = \tau = \frac{1}{\nu}$. Обслуговування здійснюється в порядку черговості надходження заявок в систему. При цих умовах для вірогідності p_k отримаємо наступні формули [1, 2, 5, 7, 14–18]:

$$p_k = \frac{\alpha^k}{k!} p_0 \quad \text{при } 1 \leq k \leq n,$$

$$p_k = \frac{\alpha^k}{n!n^{k-n}} p_0 e^{-\frac{n}{\beta}} \sum_{j=k-n}^{\infty} \left(\frac{n}{\beta}\right)^j \frac{1}{j!} \text{ при } k > n.$$

Імовірність того, що станція вільна – p_0 , знаходиться з рівняння $\sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1$:

$$p_0 = \left[1 + \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n-\alpha)} \left(1 - e^{-\frac{n-\alpha}{\beta}} \right) \right]^{-1} \text{ при } \alpha \neq n, \quad (5)$$

$$p_0 = \left[1 + \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!\beta} \right]^{-1} \text{ при } \alpha = \beta.$$

Якщо $\tau = 0$ ($\beta \rightarrow 0$), то всі вірогідності p_k при $k > n$ перетворюються в нуль. Визначимо імовірність відмови $p_{\text{від}}$.

Для цього вводиться величина C_s , яка є щільністю відмови при умові, що кількість заявок, які очікуються, дорівнює s . Маємо:

$$c_s = \frac{n\mu \left(\frac{n}{\beta}\right)^{s-1} e^{-\frac{n}{\beta}}}{\int_0^{\infty} z^{s-1} e^{-z} dz}$$

Середня щільність відмови в такому випадку визначається як

$$c = \sum_{s=1}^{\infty} c_s p_{n+s} = \frac{\mu \alpha^{n+1}}{n!} e^{-\frac{n-\alpha}{\beta}} p_0. \quad (6)$$

Імовірність відмови визначається співвідношенням $p_{\text{від}} = \frac{c}{\lambda}$. Враховуючи (6) та останню формулу, маємо: $p_{\text{від}} = \frac{\alpha^n}{n!} e^{-\frac{n-\alpha}{\beta}} p_0$.

В роботах [1–18] розглянуто декілька прикладів з урахуванням різних підходів до обслуговування заявки і показано, що дисципліна черги впливає на показники системи, а також поставлено питання про вибір каналу для обслуговування з числа вільних. Варіанти такого підходу представлені трьома підходами.

1. Усі канали мають свої номери, і заявка після надходження до системи обирає канал з найменшим номером.
2. Канали, які звільнюються, організовують чергу в порядку звільнення моментів від обслуговування. Тобто заявка буде обслуговуватися каналом, першим в черзі (з максимальним часом простою).

3. Заявка займає будь-який з вільних каналів за випадковим законом розподілення.

Критерій вибору одного або деякої комбінації наведених варіантів залежить від конкретної ситуації. Так, якщо всі канали рівноцінні за вартістю або надійністю, то краще вибрати перший варіант. Другий варіант краще вибрати, коли всі канали рівноцінні, але бажано, щоб ступінь старіння був приблизно однаковим у момент часу t .

ЕММ змішаних систем, як зазначалося раніше, є найбільш загальними випадками СМО. Як показує аналіз технологічних процесів сучасних ПП, СМО, які можуть використовуватися як моделі даних процесів є системами з очікуванням, тобто $\frac{1}{\nu} \rightarrow \infty$. Що стосується часу зайнятості системи, то для практичних розрахунків для більшості процесів його можна вважати детермінованим $t_3 = \frac{1}{\mu}$.

Як правило, час зайнятості системи приймається рівним середньому часу обробки того

чи іншого виробу на певному типі обладнання. Заявки обслуговуються в порядку їх надходження в систему каналом, першим в черзі, тобто тим, який має максимальний час простою. Саме побудова технологічних процесів за цими принципами і призводить до необхідності здійснення їх реінжинірингу з метою їх оптимізації з точки зору завантаження та ефективного використання обладнання.

Висновок. В статті розглянуті теоретичні основи розробки ЕММАБП для ПП. За результатами досліджень проведено: 1) розробку алгоритму побудови комплексу ЕММА підприємства, який визначить їх типи, послідовність розробки та взаємозв'язок; 2) розробку комплексу ЕММА підприємства в рамках розробленого алгоритму, які дозволяють здійснити детальний аналіз підприємства з погляду його процесів (до рівня окремих технологічних процесів), організаційної структури та інформаційних потоків (баз даних); 3) розробку ЕММАП та програмне забезпечення для реалізації розробленої моделі.

Література

1. Толбатов А.В. Методика побудови інтегрованого інформаційного середовища сучасного промислового підприємства / А.В. Толбатов, В.А. Толбатов // Перспективні тренди розвитку науки: техніка і технології. – Одеса: КУПРИЕНКО СВ, 2016. – С.82–96.
2. Толбатов В.А. Моделі та методи побудови автоматизованих інтегрованих систем життєвого циклу виробів промислових підприємств: автореф. дис ... канд. техн. наук / В.А. Толбатов. – Київ, 2007. – 12 с.
3. Толбатов А.В. Перспективні досягнення сучасних учених: техніка і технології: Аналіз та розробка концепції моделювання бізнес-процесів промислового підприємства з точки зору сучасної методології аналізу та проектування складних систем / [авт.кол.: Толбатов А.В., Толбатов В.А., Толбатов С.В., В'юненко О.Б., Толбатова О.О. і др.]. – Одеса: КУПРИЕНКО СВ, 2017 – 219 с.
4. Толбатов В.А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах : навч. пос. / В.А. Толбатов, І.І. Лебединський, А.В. Толбатов / – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 195 с.
5. Толбатов В.А. Методологічні основи вибору критерію параметричної надійності електричних систем управління металорізальним обладнанням / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. - 2010. - №1. - С.37-45.
6. Толбатов В.А. Інженерний синтез за критерієм надійності електричних систем керування металорізальним обладнанням із жорсткою логікою / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, С.В. Толбатов // Вісник СумДУ. – 2011. – №2. – С.48–54.
7. Толбатов В.А. Техніко-економічне обґрунтування побудови систем управління підвищеної надійності / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, С.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2012. – №3. – С.68-71.

8. Толбатов А.В. Методологія створення автоматизованих систем керування / А.В. Толбатов, В.Д. Черв'яков, Т.Л. Щербак // Вісник СумДУ. Серія технічні науки №9(81) 2005, Суми, СумДУ, 2005. – С. 124–130.
9. Толбатов А.В. Передумови створення інтегрованого інформаційного середовища для промислових підприємств / А.В. Толбатов, В.А. Толбатов, С.В. Толбатов // Матеріали НТК факультету ЕлІТ. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – С.42–43.
10. Толбатов В.А. Оцінка повноти захисту технологічного обладнання від відмов у системі управління / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, О.Б. В'юненко, О.А. Добrorоднов, С.В. Толбатов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2015. – № 3(52). – С. 30–33.
11. Толбатов В.А. Основні принципи організації захисту технологічного обладнання від відмов у системі управління / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, О.Б. В'юненко, О.А. Добrorоднов // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. Серія: “Технічні науки”. – Хмельницький, 2015. – № 3(225). – С. 46–50.
12. Tolbatov A.V. Functional modeling – methodological basis for investigation of business processes at industrial enterprises / A.V. Tolbatov, S.V. Tolbatov, O.O. Tolbatova, S.V. V.A. Tolbatov // International scientific-technical magazine Measuring and computing devices in technological processes. – Khmel'nyts'kyu, 2017. – №3 –P.186–189.
13. Tolbatov A.V. Development concept modeling of business processes of modern industrial enterprises in terms of theoretical and legal approaches to the analysis information security / A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov // International scientific-technical magazine Measuring and computing devices in technological processes. – Khmel'nyts'kyu, 2017. – №1 –S.196–199.
14. Tolbatov A. Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems / Evgeniy Lavrov, Nadiia Pasko, Anna Krivodub, Andrii Tolbatov // TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 72–75.
15. Tolbatov A.V. Information technology of the work complexity optimization for metalworking machinery with flexible logic operations' dynamics analysis / S.V. Tolbatov, A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, O.A. Dobrorodnov // International scientific-technical magazine Measuring and computing devices in technological processes. – Khmel'nyts'kyu, 2014. – №3 (48). – P. 132–135.
16. Zaritskiy O. Theoretical bases, methods and technologies of development of the professional activity analytical estimation intellectual systems / O. Zaritskiy, P. Pavlenko, V. Sudic, S. Tolbatov, A. Tolbatov, O. Viunenko, O. Tolbatova, V. Tolbatov // 2 International Conference on Advanced Information and Communication Technologies–2017 (AICT–2017), Lviv, Ukraine, July 4–7, 2017. – P. 101–104.
17. Tolbatov A.V. Information technology for data exchange between production purpose integrated automated systems / P.M. Pavlenko, A.V. Tolbatov, V.V. Tretiak, S.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, H.A. Smolyarov, O.B. Viunetko // scientific-technical magazine Measuring and computing devices in technological processes. – Khmel'nyts'kyu, 2016. – №1 –P. 86–89.
18. Tolbatov A. Cybersecurity of distributed information systems. The minimization of damage caused by errors of operators during group activity / Lavrov, E., Tolbatov, A., Pasko, N., Tolbatov, V. / 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings – Lviv, 2017. – P. 83–87.

References

1. Tolbatov A.V. Metody'ka pobudovy' integrovanogo informacijnogo sredovy'shha suchasnoho promy'slovogo pidpr'yemstva / A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov / Perspektivnyie trendyi razvitiya nauki: tehnika i tehnologii. – Odessa: KUPRIENKO SV, 2016. – S.82–96.
2. Tolbatov V.A. Models and methods of construction of the automated integrated systems of enterprises' product life cycle: avtoref. dys ... kand. tekhn. nauk / V.A. Tolbatov. – Kyiv, 2007. – 12 s.
3. Tolbatov A.V. Perspektivnyie dostizheniya sovremennyih uchenyih: tehnika i tehnologii: Analiz ta rozrobka kontseptsiyi modelyuvannya biznes-protseсів promyslovoho pidpr'yemstva z tochky zoru suchasnoyi metodolohiyi analizu ta proektuvannya skladnykh system / [avt.kol.Tolbatov A.V, Tolbatov V.A, Tolbatov S.V, V'yunenکو O.B., Tolbatova O.O.]. – Odessa: KUPRYENKO SV, 2017 – 219s.
4. Tolbatov V.A. Orhanizatsiya system enerhozberezhennya na promyslovykh pidpr'yemstvakh / V.A. Tolbatov, I.L. Lebedyns'kyu, A.V. Tolbatov / – Sumy : SumDU, 2009. – 195 s.
5. Tolbatov V.A. Metodologichni osnovy' vy'boru kry'teriyu parametry'chnoyi nadijnosti elektry'chny'x sy'stem upravlinnya metalorizal'ny'm obladnanniam / V.A. Tolbatov, A.V. Tolbatov // Visnyk SumDU. Seriya texnichni nauky'.-2010.-№1.-S.37-45.
6. Tolbatov V.A. Inzhenerny'j sy'ntez za kry'teriyem nadijnosti elektry'chny'x sy'stem keruvannya metalorizal'ny'm obladnanniam iz zhorstkoyu logikoyu / V.A. Tolbatov, A.V. Tolbatov, S.V. Tolbatov // Visnyk SumDU. -2011.-№2.-S.48-54.
7. Tolbatov V.A. Tekhniko-ekonomichne obrgruntuвання pobudovy' sy'stem upravlinnya pidvy'shenoyi nadijnosti // V.A. Tolbatov, A.V. Tolbatov, S.V. Tolbatov // Visnyk SumDU. Seriya texnichni nauky'.-2012.-№3.-S.68-71.
8. Tolbatov A.V. Metodolohiya stvorennya avtomatyzovanykh system keruvannya / A.V. Tolbatov, V.D. Cherv'yakov, T.L. Shcherbak // Visnyk SumDU. Seriya texnichni nauky №9(81) 2005, Sumy, SumDU, 2005. – С. 124–130.
9. Tolbatov A.V. Peredumovy stvorennya intehrovanoho informatsiynoho sredovysshcha dlya promyslovykh pidpr'yemstv / A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, S.V. Tolbatov // Materialy NTK fakultetu EIIT. – Sumy: Vyd-vo SumDU, 2010. – S.42–43.
10. Tolbatov V.A. Otsinka povnoty zakhystu tekhnolohichnoho obladnannya vid vidmov u systemi upravlinnya / V.A. Tolbatov, A.V. Tolbatov, O.B. V'yunenکو, O.A. Dobrorodnov, S.V. Tolbatov // Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – Khmel'nyts'kyu, 2015. – № 3(52). – С. 30–33.
11. Tolbatov V.A. Osnovni pryntsypy orhanizatsiyi zakhystu tekhnolohichnoho obladnannya vid vidmov u systemi upravlinnya / V.A. Tolbatov, A.V. Tolbatov, O.B. V'yunenکو, O.A. Dobrorodnov // Visnyk Khmel'nyts'kohо nats. un-tu. Seriya: “Tekhnichni nauky”. – Khmel'nyts'kyu, 2015. – № 3(225). – S. 46–50.

Рецензія/Peer review : 10.11.2017 р.

Надрукована/Printed : 11.01.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ

В роботі розглядаються якість і надійність програмного забезпечення. Наводяться показники надійності програмного забезпечення, описуються деякі підходи до оцінки надійності програмного забезпечення і аналізу видів, наслідків та критичності помилок у програмному забезпеченні. Пропонується методика розрахунку коефіцієнта готовності та середнього напрацювання на відмову програмного забезпечення інформаційно-управляючих систем. Методика використовує теорію марковських процесів. Робота може бути застосована для проектної оцінки та аналізу надійності інформаційно-управляючих систем.

Ключові слова показники якості, коефіцієнт готовності, якість програмного забезпечення, напрацювання на відмову, марковський процес, математична модель.

Y.B. KOVALENKO, L.P. RYBALKA, M. V. BURLAKA

National Aviation University

ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF THE FUNCTIONING OF THE SOFTWARE OF INFORMATION AND MANAGEMENT SYSTEMS

Abstract – The paper considers the quality and reliability of software. Leading Different indicators of software reliability, describes some approaches to assessing the reliability of software and analysis of the types, consequences and criticality of errors in the software. The method of calculating the availability factor and the mean time between failures of the software of information-control systems is proposed. The technique uses the theory of Markov processes. The work can be applied for the project evaluation and analysis of the reliability of information management systems. The analysis of the function of the software for the protection of information and control systems have been performed, and the function of the intensity has been shown to demonstrate the pardon and assessment of the parameters for the observant denim. The approaches to the excellent hope of the software analysis are determined, the consequences that the criticality of the software on providing true-control systems. Method of developing software for the preparation of middle gates for information and control software systems has been hammered, and it has given the team the opportunity to prepare a medium-sized channel for the software support of information management systems.

Keywords: quality indicators, availability factor, software quality, time between failures, markov process, mathematical model.

Вступ

Надійність програмного забезпечення інформаційно-управляючих систем (ІУС) є однією з основних характеристик його якості [1, 3]. Саме від надійності функціонування програмного забезпечення (ПЗ) ІУС залежить повнота виконання завдань. Свідченням цього є значне число фатальних ситуацій як вітчизняних, так і зарубіжних об'єктів підвищеної небезпеки. В міру ускладнення об'єктів управління, збільшення їх функцій проблема забезпечення необхідного рівня надійності ПЗ стає актуальною.

Відомо чотири основних напрямки забезпечення надійності ПЗ [1, 2]. Перший напрямок – попередження помилок – засновано на мінімізації або виключенні помилок. Друге – виявлення помилок – реалізується за рахунок здатності ПЗ самостійно виявляти помилки. Третє – виправлення помилок і їх наслідків. Четверте – забезпечення стійкості до помилок – засновано на унікальній властивості ПЗ, що полягає в здатності ПЗ функціонувати при наявності помилки, тобто його відмовостійкості.

Одним з найпоширеніших підходів до реалізації програмної відмовостійкості є методологія надмірності. У теорії надійності відомі декілька форм надмірності: апаратна; інформаційна, навантажувальна, функціональна, часова, комбінована.

Для більшості ІУС перехід у критичний стан, не допустимий для їх функціонування у режимах зберігання або транспортування, не передбачено. Тому зупинимося на оцінці двох властивостей надійності: безвідмовність і ремонтпридатність. Комплексною характеристикою безвідмовності і ремонтпридатності системи є коефіцієнт готовності. Аналітичний підхід до оцінки показників надійності базується на незалежному обліку потоку відмов за рахунок різних чинників, що впливають на функціонування ІУС. На початкових етапах розвитку теорії надійності основна увага приділялася розробці методик, що регламентують порядок збору та обробки статистичних даних про відмови виробів.

При цьому удосконалювалися ймовірно-статистичні методи дослідження, в тому числі, визначення адекватних законів розподілу показників безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і зберігання. Пізніше почали розроблятися методи розрахунку і випробувань виробів з урахуванням випадкового характеру відмов.

Основними організаторами робіт з розвитку теорії надійності, в тому числі прикладної, стали академік А.І. Берг, Я.М. Сорін, Б.Р. Левін і Я.Б. Шор. Найбільший внесок в даній області був зроблений Б.В. Гнеденко, А.Д. Соловйовим, Ю. К. Беляєвим, Х.Б. Кордонським, Н.А. Шішоноковим, В.Ф. Репкін, Л.Л. Барвінським, М.А. Ястребенецьким, Т.А. Голінкевічем, І.А. Ушаковим.

Проблеми надійності сучасних інформаційно-обчислювальних систем, автоматизованих систем управління розглядаються в роботах А.Є. Олександровича, Ю.В. Бородакія, В.О. Чаканова, Ю.Н. Федорова та ін.