

УДК 330.43

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧОЮ СИСТЕМОЮ

Істомін Л.Ф.

IMITATION MODELING OF MANUFACTURING FUNCTIONING AND MANAGEMENT

Istomin L.

В роботі розглянуті елементи математичних моделей та проблеми управління суб'єктом економічної діяльності щодо поставленої мети його функціонування і розвитку в умовах нестійкого зовнішнього середовища. Запропоновано моделі оцінки динаміки параметрів системи і розглянуто можливі підходи до управління і адаптації параметрів та структури суб'єкта господарчої діяльності в умовах невизначеності зовнішнього середовища.

Ключові слова: системний аналіз, системна динаміка, економічна виробнича система, управління, стійкість, економіко-математичне моделювання, імітаційне моделювання.

Вступ. Необхідність вирішення проблем управління функціонуванням та розвитком суб'єкта господарської діяльності (СГД) в нестабільному середовищі не викликає сумніву, оскільки в нинішній період нестабільності і невизначеністю характеризується як зовнішнє середовище підприємства так і внутрішні чинники.

Завдання адаптації підприємства в умовах невизначеності мають на увазі як параметричну так і структурну адаптацію до нових умов функціонування і у критичних умовах не виключають адаптації цілей управління та розвитку СГД.

Внаслідок цього завдання управління СГД є актуальною і елементом її рішення присвячені роботи [1-6], в яких розглянуті як деякі теоретичні питання функціонування СГД так і прикладні питання аналізу системних характеристик економічних систем, маневреності та надійності прийнятих управлінських та планових рішень.

Мета статті та постановка завдання. У даній роботі поставлена задача розробки базових елементів імітаційної моделі функціонування та розвитку СГД та аналізу проблем прийняття рішень в нестабільних, невизначених чи кризових ситуаціях.

Управління СГД з позицій мінімізації ризику і втрат від ризику вимагає стабільного функціонування суб'єкта, оскільки СГД - це створена для досяг-

нення визначеної мети група елементів, пов'язаних певними відносинами, то найбільший інтерес представляє рішення задачі підвищення можливості досягнення поставленої мети, а не підвищення стабільності функціонування як такої. Тому доцільно розглядати тільки стабільність функціонування, при якій може бути досягнута поставлені цілі. У той же час слід зазначити, що саме поняття «стабільності» у деякому сенсі суперечить поняттю розвитку або еволюції системи. Справедливо було б говорити про те, що рівноважний стан економічного суб'єкта буде досягнутий тільки в тій точці (вірніше області) фазового простору еволюції системи, де можна вважати, що мета управління досягнута. У процесі ж досягнення мети дії внутрішніх і зовнішніх чинників, а також керуючих дій ніяким чином не врівноважені, що і призводить систему до «руху» в напрямку сформованої у процесі аналізу мети.

Аналізу стійкості функціонування виробничої організації присвячено безліч робіт, з яких можемо відзначити роботи [1], [2], які близькі в напрямку дослідження, але істотно розрізняються по ідеології підходів. Питання управління системами, які втрачають стійкість або здатність досягнення наміченої мети (кризові стани СГД), висвітлені в роботах [3,8,] а загальні питання системного підходу та управління в економічних системах розглянуті в роботах [4,5,6].

Виклад основного матеріалу. Перш за все розглянемо сукупність економічно активних суб'єктів, як бізнес-підсистему регіону, який у свою чергу є соціально-економічним елементом держави у цілому. Як свідчить схема взаємодій в загальній системі (рис.1), кожний СГД регіону є відкритою системою і взаємодіє з багатьма "зовнішніми" елементами на правовому, інформаційному, матеріальному рівнях.

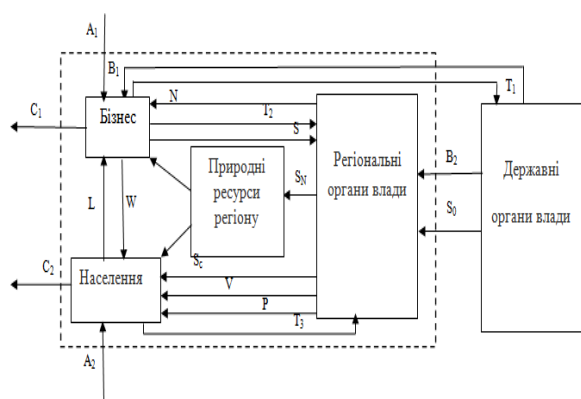


Рис. 1. Схема взаємодії бізнесу в регіоні

$A_{1,2}$ – інформаційні (стан ринків сировини, товарів та послуг, тощо) і матеріальні потоки; $B_{1,2}$ – законодавчі та нормативно-правові важелі впливу, що регулюють діяльність регіональної влади та бізнесу; $C_{1,2}$ – матеріальні потоки (товари), потік трудових ресурсів; S_0 – фінансові потоки в регіон від державних органів влади; N – регуляторні акти, що визначають взаємодію регіональних органів влади та бізнесу; L – трудові ресурси, що працюють як наймані працівники; W – заробітна плата; $T_{1,2,3}$ – податкові відрахування та сплати до регіонального та державного бюджету; S – соціальні інвестиції бізнесу; $S_{N,C}$ – інвестиції регіональних органів влади в екологію, фінансування соціальних виплат; V – фінансування заходів з підвищення безпеки життєдіяльності населення регіону; P – фінансування розвитку інфраструктури регіону, освітніх програм тощо.

Очевидно, що розгляд та аналіз динаміки функціонування СГД в такій загальній схемі аналітичними або статичними чисельними засобами неможливий. Єдиним шляхом дослідження є розробка імітаційної моделі з використання основних факторів та параметрів функціонування СГД.

Якщо розглянути процес функціонування СГД в фазовому просторі станів, то вектор стану в кожен момент часу можна представити у вигляді операторного співвідношення:

$$X(t) = H[X(t_0), V_{t_0 t}, W_{t_0 t}, U_{t_0 t}],$$

де $X(t_0)$ – початковий стан, $V_{t_0 t}$ – внутрішні процеси в системі на інтервалі $t_0 t$, $W_{t_0 t}$ – вплив зовнішнього середовища в той же період часу, $U_{t_0 t}$ – система керуючих дій в плановий період.

Тоді в кінцевий момент планового періоду t_k при досягненні запланованої мети стан об'єкта має задовольняти умові $X(t_k) \in D_k$, де область D_k визначається необхідними значеннями фазових координат (техніко-економічних показників (рис.2)), їх динамікою та станом зовнішнього середовища.

Траєкторія еволюції (руху) системи повинна знаходитися всередині області, обмеженої поверхнею S , яка визначається умовами досягнення «критичного» стану, що вимагає «антикризового» управління[3].

У детермінованому випадку для оптимізації траєкторії повинна бути вирішена задача пошуку оптимуму функціоналу для керованої траєкторії:

$$J[x(t_0), v(t), w(t), u(t)] \rightarrow \text{extr},$$

$$\dot{x}(t) = f_0(x(t), v(t), w(t), u(t))$$

$$x(t_0) = x_0, x(t_k) \in D_{t_k},$$

$$x(t) \in D_t, v(t) \in V_{t_0 t}, w(t) \in W_{t_0 t},$$

$$\int_{t_0}^{t_k} \varphi(x(t), u(t)) dt \leq U_0,$$

де U_0 – обмежені ресурси управління.

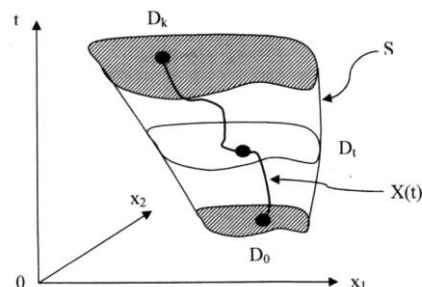


Рис. 2. Динаміка фазової траєкторії і допустимих областей стану в процесі розвитку системи

Функціонал J залежить від реалізації конкретних траєкторій внутрішніх і зовнішніх впливів і управління.

У разі ймовірнісної і нечіткої природи діючих факторів виникає завдання оцінки стійкості руху економічної системи відносно досягнення кінцевої мети розвитку системи. В силу відсутності ефективного передбачення стану зовнішнього середовища на задовільний період часу при деякому t система може опинитися в неприпустимій області: $x(t) \notin D_t$, або при незмінних структурах і ресурсах управління мета може виявитися недосяжною.

Слід також відзначити особливі умови функціонування СГД в нинішніх умовах. Перш за

все, потрібно відзначити, що прийняття поза економічної системи правил (законів, розпоряджень і т.п.) функціонування може призводити не тільки до розривних управлінь, а й розривних фазових траєкторій, коли практично миттєво СГД може з допустимої області стрибком перейти в кризовий стан.

Розглянемо діяльність виробничого підприємства в умовах взаємодії із зовнішнім середовищем, яке визначимо як сукупність ринку праці, ринку сировини і ринку збуту продукції.

Основну виробничу діяльність опишемо за допомогою варіанту моделі Солоу:

$$\dot{K}_1(t) = -\mu K_1(t) + v(t), K_1(0) = K_0, \quad (1)$$

де $K_1(t)$ - обсяг наявних основних виробничих фондів (ОВФ), μ - норма амортизації, $v(t)$ - темпи впровадження нових ОВФ в виробництво, причому і виражені в вартісних одиницях. Для опису темпів впровадження ОВФ використаємо модель з розподіленним лагом впровадження:

$$v(t) = \int_0^t \varepsilon(t - \tau) i(\tau) d\tau, \quad (2)$$

де $i(t)$ - темпи інвестування в розвиток виробництва, $\varepsilon(t)$ - функція щільності розподілу (ФР) впровадження інвестицій, тобто

$$\int_0^\infty \varepsilon(t) dt = 1, \quad \varepsilon(t) \geq 0.$$

Будемо вважати, що в кожен момент часу t керівництво підприємства планує обсяг ОВФ, задіяного у виробництві:

$$K_2(t) = q(t) K_1(t), \quad (3)$$

де $q(t)$ - частка ОВФ, задіяних в виробництві, тобто $0 \leq q \leq 1$.

Для здійснення виробництва необхідними ресурсами виробництва є: сировина для виробництва продукції і трудові ресурси у необхідному для реалізації технологічного про-процесу обсязі. Якщо покласти, що на деякому інтервалі часу функціонування системи технологія виробництва незмінна, а змінним може бути тільки масштаб виробництва, то очевидно, що з міркувань раціональності потрібно, щоб обсяг трудових ресурсів $L(t)$ задовольняв умові:

$$a_1 K_2(t) \leq L(t) \leq a_2 K_2(t), \quad (4)$$

де коефіцієнти можуть бути визначені з технічних і технологічних нормативів.

Що стосується моделі формування запасів сировини використаємо модель зі складом, де знаходиться $Z(t)$ сировини і постійно запаси поповнюються зі швидкістю $z_c(t)$ і витрачаються зі швидкістю $z_p(t) = \gamma x(t)$, де $x(t)$ - обсяг випуску продукції в одиницю часу, γ - витрати сировини на одиницю продукції. Поповнення запасів визначається плануванням замовлень $\bar{z}_c(t)$ та їх реалізацією, що може бути описано виразом:

$$z_c(t) = \int_0^t \chi(t - \tau) \bar{z}_c(\tau) d\tau, \quad (5)$$

де $\chi(t - \tau)$ - функція щільності розподілу (ФР) виконання замовлень, зроблених в момент τ . Тоді для обсягу запасів справедливе співвідношення:

$$\dot{Z}(t) = \begin{cases} z_c(t) - z_p(t), & \text{якщо } Z(t) > 0; \\ 0, & \text{якщо } Z(t) \leq 0; \end{cases} \quad (6)$$

$$Z(0) = Z_0.$$

Що стосується підсистеми кадрового забезпечення виробництва, то можна відзначити, що при середній ставці заробітної плати $\omega(t)$ загальний обсяг витрат на зарплату складає величину

$$c(t) = \omega(t) L(t). \quad (7)$$

Оскільки ми припустили можливість управління масштабом виробництва, то в разі невиконання умови (4) необхідна зміна обсягу трудових ресурсів - звільнення працівників або додатковий набір виконавців. Очевидно, що кожен з цих процесів пов'язаний з визначними витратами: виплатами трудової допомоги або витратами на підготовку кваліфікованого персоналу. Модель динаміки зміни обсягу трудових ресурсів можна в першому наближенні описати рівнянням:

$$\dot{L}(t) = \begin{cases} \alpha_1 (a_1 K_2(t) - L(t)), & \text{якщо } L(t) < a_1 K_2(t); \\ 0, & \text{якщо } a_1 K_2(t) \leq L(t) \leq a_2 K_2(t); \\ \alpha_2 (a_2 K_2(t) - L(t)), & \text{якщо } L(t) > a_2 K_2(t); \end{cases} \quad (8)$$

$$L(0) = L_0.$$

а витрати, пов'язані з цим процесом, записати у вигляді

$$s(t) = \begin{cases} s_1 |\dot{L}(t)|, & \text{якщо } \dot{L}(t) < 0; \\ s_2 \dot{L}(t), & \text{якщо } \dot{L}(t) \leq 0, \end{cases} \quad (9)$$

де s_1 і s_2 - наведені витрати при скороченні штатів або їх розширенні відповідно, а емпіричні параметри α_1, α_2 можуть бути визначені з даних по роботі з кадрами.

У зв'язку з обмеженою швидкістю поповнення кадрів в певний момент призначена величина задіяних ОВФ - $K_2(t)$ може бути не забезпечена трудовими ресурсами. Тоді, при виконанні умови забезпеченості сировиною, обсяг випуску можна визначити через виробничу функцію $f(\bullet)$ наступним чином:

$$x(t) = \begin{cases} f(K_2(t)), & \text{якщо } L(t) \geq a_1 K_2(t); \\ f\left(\frac{L(t)}{a_1}\right), & \text{якщо } L(t) < a_1 K_2(t). \end{cases} \quad (10)$$

Якщо ж в певний момент $Z(t) = 0$, то $x(t) = 0$ зі збереженням витрат на зарплату (8).

Наступною підсистемою для розгляду в моделі є маркетингова служба, відповідальна за взаємодію підприємства з ринками сировини і продукції. Якщо покласти, що в певний момент ціни на сировину і продукції дорівнюють $w_c(t), w_T(t)$ відповідно, то темпи витрат на сировину дорівнюють:

$$V(t) = w_c(t)z_c(t). \quad (11)$$

Для обсягу реалізованої продукції у вартісному вираженні можна записати:

$$y(t) = \int_0^t r(\beta, t - \tau) w_T(\tau) x(\tau) d\tau, \quad (12)$$

де $r(\beta, t - \tau)$ - функція щільності розподілу ймовірності (ФР) реалізації продукції за часом, β - параметр, що визначає характер темпів реалізації продукції. Обсяг нереалізованої продукції в поточний момент складе величину:

$$R(t) = \int_0^t [x(\xi) - \int_0^\xi r(\beta, \xi - \tau) x(\tau) d\tau] d\xi, \quad (13)$$

У даній підсистемі змінні $w_c(t)$ і $w_T(t)$ схильні до впливу зовнішнього середовища на ринках сировини і товару. Значення параметра β визначаються як властивостями товару (якість, вартість), станом ринку товарів так і рекламною діяльністю маркетингової служби виробника.

Фінансова підсистема враховує надходження і витрати у фінансовій сфері діяльності підприємства.

Якщо спростити ситуацію і розглянути тільки найпростіші взаємодії виробника з фінансовими установами, то можна покласти, що $b(t)$ - значення поточного рахунку виробника і для темпів його зміни можна записати рівняння:

$$\dot{b}(t) = \alpha(t)b(t) - i(t) + (1 - \rho)[y(t) - (c(t) + p(t) + v(t) + s(t))], \quad (14)$$

де $\alpha(t)$ - банківський відсоток, ρ - ставка податку на прибуток, $b(0) = b_0$ - початкове значення рахунку, $p(t)$ - витрати на виробництво та інші заходи.

Схема взаємодії елементів в розглянутій відкритій економічній системі представлена на рис. 3.

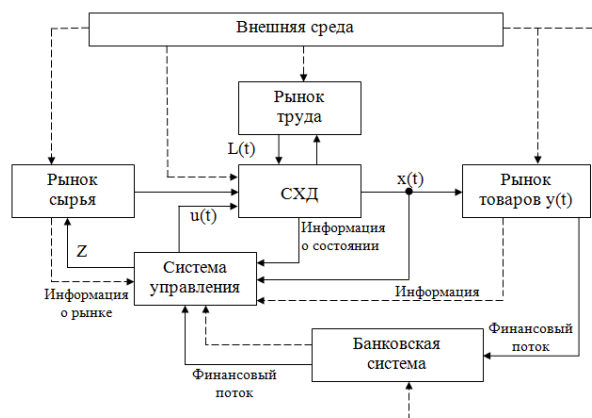


Рис. 3. Схема взаємодії СГД з навколишнім середовищем.

Як активи виробника можна врахувати також нереалізований товар (13):

$$Q(t) = w_T(t)R(t) \quad (15)$$

Таким чином сумарний капітал, яким володіє підприємство в поточний момент складе величину:

$$W(t) = b(t) + \psi_1(t)K_1(t) + \psi_2(t)Q(t) \quad (16)$$

де $\psi_1(t)$ - коефіцієнт, що враховує ринкову вартість ОВФ, який при високій прибутковості підприємства може перевищувати одиницю і, навпаки, бути менше одиниці, якщо підприємство є збитковим або в умовах економічної кризи, $\psi_2(t)$ - коефіцієнт «переоцінки» нереалізованого товару і має такі ж властивості.

В процесі еволюції економічної виробничої системи цілком керованими є: $i(t)$ - темпи інвестицій, $q(t)$ - частка використаних у виробництві ОВФ, $w(t)$ - заробітна плата, яка не може бути нижче рівня, встановленого державою. До частково керованих параметрів можна віднести: $w_c(t)$, $w_T(t)$ - ціни на

сировину і продукцію, $\varepsilon(t), V(t), r(\beta, t), \beta$ - функції щільності розподілу, які визначаються правилами, домовленостями і т.д. з суб'єктами ринків сировини і продукції. Параметри $\psi_1(t)$ і $\psi_2(t)$ в найбільшій мірі схильні до впливу зовнішнього, щодо виробництва, середовища.

На основі розглянутих моделей у середовищі MATLAB Simulink [7] було розроблено імітаційну динамічну модель підприємства як частину в системі "region" (рис.4), яка відповідає схемі рис.1.

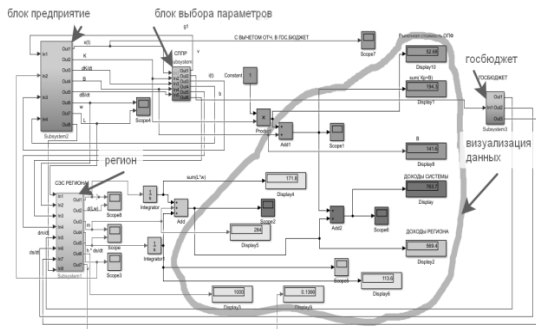


Рис. 4. Імітаційна модель "region"

Імітаційний блок – "підприємство" включає основні моделі, які розглянуті в роботі і протестовані для стаціонарних умов і без запізнювання у рівняннях (2),(5),(12).

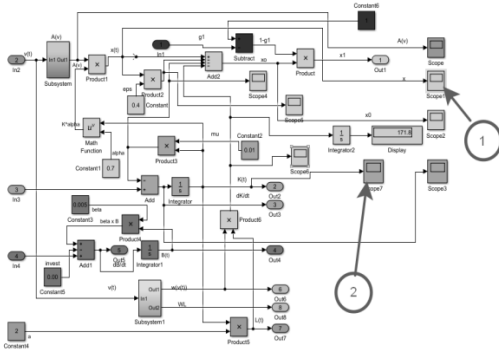
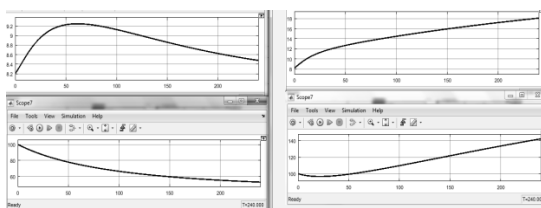


Рис. 5. Імітаційна модель підприємства

На рисунку 6 представлена динаміка випуску продукції (верхній графік) та динаміка ОВФ (нижній графік), що відображають блоки SCOPE 1 і 2 на рис.5. Представлено варіанти недостатніх інвестицій (а) і задовільний рівень даного показника(б).



а

б

Рис. 6. Динаміка випуску та ОВФ

Таким чином очевидна якісна адекватність динаміки поведінки економічних показників підприємства. Однак для повної (точніше достатньої) адаптації моделей до умов реальної ситуації необхідна статистична інформація для відпрацювання значень параметрів моделей і опису стохастичних процесів, які враховуються в моделях.

Висновки. Розглянуті моделі і підходи до побудови імітаційної моделі функціонування виробничого підприємства дозволяють розробити практичні рекомендації до можливого формування загальної моделі взаємодії СГД і регіону з метою підвищення ефективності його функціонування.

Викладені підходи в подальшому доцільно реалізувати в системно-динамічній моделі, використовуючи статистичні економічні показники і і логічні дослідження функціонування конкретних підприємств, а також можна оцінити реальну адекватність моделей і принципів, викладених вище.

Л і т е р а т у р а

1. Зубанов Н.В., Постриков СВ. Анализ устойчивости функционирования экономических систем относительно поставленных целей. Самара: Издательство Самарского государственного технического университета, 1999.- 168 с.
2. Иванов В.Л. Управление экономической стійкістю промислових підприємств (на прикладі підприємств машинобудівного комплексу): Монографія. - Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2005. - 268 с.
3. Рамазанов С.К., Степаненко О.П., Тимашева Л.А. Методи антикризового управління. Монографія. - Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2004. - 192 с.
4. Дрогобыцкий И.Н. Системный анализ в экономике: Учеб. пособие. -М.: Финансы и статистика, 2007. - 512 с.
5. Системный анализ в управлении: Учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; под ред. А.А. Емельянова - М.: Финансы и статистика, 2003. - 368 с.
6. Полякова О.Ю., Милов А.В. Моделирование системных характеристик экономики: Учеб. Пособие. – 2-е изд. Х. Издательский дом «ИНЖЭК», 2006, - 206 с.
7. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. –СПб.: БХВ-Петербург, 2005.-1104 с.
8. Рамазанов С.К. Оптимізація ризику та безпеки для гармонійного і сталого розвитку складних систем. – С. 45-55. // Моделювання процесів в економіці та управлінні проектами з використанням нових інформаційних технологій. Монографія. / За заг. ред. В.О. Тимофеева, І.В. Чумаченко. - Харків: ХНУРЭ, 2015. – 245 с.

References

1. Zubanov N.V., Postrikov SV. Analiz ustoychivosti funkcionirovaniya ekonomicheskikh sistem otositelno postavlennyyh tseley. Samara: Izdatelstvo Samarskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta, 1999.- 168 s.
2. Ivanov V.L. Upravlinnya ekonomichnoyu stiykistyu promislovykh pidpriemstv (na prikladi pidpriemstv mashinobudivnogo kompleksu): Monografiya. - Lugansk: Vid-vo SNU Im. V.Dalya, 2005. - 268 s.

3. Ramazanov S.K., Stepanenko O.P., Timasheva L.A. Metodi antikrizovogo upravlinnya. Monografiya. - Lugansk: Vid-vo SNU im. V.Dalya, 2004. - 192 s.
4. Drogobyitskiy I.N. Sistemniy analiz v ekonomike: Ucheb. posobie. -M.: Finansyi i statistika, 2007. - 512 s.
5. Sistemniy analiz v upravlenii: Ucheb. posobie / B.C. Anfilatov, A.A. Emelyanov, A.A. Kukushkiy; pod red. A.A. Emelyanova - M.: Finansyi i statistika, 2003. - 368 s.
6. Polyakova O.Yu., Milov A.V. Modelirovanie sistemnyih harakteristik ekonomiki: Ucheb. Posobie. – 2-e izd. H. Izdatelskiy dom «INZhEK», 2006, - 206 s.
7. Anufriev I.E., Smirnov A.B., Smirnova E.N. MATLAB 7. –SPb.: BHV-Peterburg, 2005.-1104 s.
8. Ramazanov S.K. Optimizatsiya riziku ta bezpeki dlya harmoniyogo i stalogo rozvitku skladnih sistem. – S. 45-55. // Modelyuvannya protsesiv v ekonomitsi ta upravlinni proektami z vikoristannyam novih informatsiynih tehnologiy. Monografiya. / Za zag. red. V.O. Timofeeva, I.V. Chumachenko. - Harkiv: HNURE, 2015. – 245 s.

Истомин Л.Ф. Имитационное моделирование функционирования и управления производственными системами

В работе рассмотрены элементы математических моделей и проблемы управления субъектом экономической деятельности по поставленной цели его функционирования и развития в условиях неустойчивого внешней среды. Предложены модели оценки динамики параметров системы и рассмотрены возможные подходы к управлению

и адаптации параметров и структуры субъекта хозяйственной деятельности в условиях неопределенности внешней среды.

Ключевые слова: *системный анализ, системная динамика, экономическая производственная система, управление, устойчивость, экономико-математическое моделирование, имитационное моделирование.*

Istomin L.F. Imitation modeling of manufacturing functioning and management

The paper considers the elements of mathematical models and the problems of managing a subject of economic activity in relation to the goal of its functioning and development in conditions of unstable external environment. Models of the dynamics of parameters of the system are proposed and possible approaches to the management and adaptation of the parameters and structure of the subject of economic activity under conditions of uncertainty of the external environment are considered.

Key words: *system analysis, system dynamics, economic production system, management, stability, economic-mathematical modeling, simulation modeling.*

Истомин Леонід Федорович, к.т.н., доцент кафедри економіки і підприємництва СНУ ім. В.Даля

Рецензент: д.е.н., проф. **Чернявська Є.І.**

Стаття подана 13.06.2017.