

УДК: 330.315

І.С. Ткаченко,
д. е. н., професор, професор кафедри автоматизованих систем та моделювання в економіці,
Хмельницький Національний університет
Р. П. Терновий,
аспірант, Хмельницький університет управління і права

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ У ВИРОБНИЧО-ЕКОНОМІЧНІЙ СИСТЕМІ

SIMULATION MODELING OF TECHNOLOGY OPERATIONS LOGISTICS IN PRODUCTION-ECONOMIC SYSTEM

Здійснено побудову двох імітаційних моделей логістики виконання технологічної операції у виробничо-економічній системі на рівні виробничої ділянки.

Ключові слова: Логістика, технологічна операція, імітаційна модель, економічна ефективність.

Two logistics models were built to simulate technological operations in the production and economic systems at the manufacturing site.

Keywords: Logistics, technological operation simulation model, economic efficiency.

I. Вступ. Управління в сучасному світі стає все більш складною і важкою справою, оскільки організаційна структура суспільства постійно ускладнюється. Ця тенденція пояснюється характером відносин між різними елементами організації і фізичними системами, з якими вони взаємодіють. Хоча ця складність існувала давно, тільки зараз приходить розуміння її істинного значення. Стає очевидним, що зміна однієї з характеристик системи може легко привести до змін або створити потребу в зміні в інших частинах системи. У зв'язку з цим одним з найбільш важливих і корисних знарядь аналізу складних процесів і систем стало імітаційне моделювання. Імітувати, згідно словника Вебстера [1], означає "уявити, сягнути сутності явища, не проводячи експерименти над реальним об'єктом".

Кожен сучасний керівник, якщо він хоче досягнути максимальної ефективності свого підприємства, повинен періодично звертатися до методів імітаційного моделювання, оскільки воно є найбільш універсальним методом дослідження систем і кількісної оцінки характеристик їх функціонування.

II. Основна частина. В даній статті здійснена побудова двох імітаційних моделей та проаналізовано можливість їх використання з метою аналізу та прогнозування витрат у виробничій логістиці на підприємстві. Однією з моделей розглянемо моделювання процесу функціонування матеріального потоку при його двократному перетворенні при здійсненні технологічних операцій.

Проаналізуємо функціонування виробничо-економічної системи, яка характеризує технологічний процес перетворення матеріального ресурсу на двох стадіях. Затримка ресурсу при функціонуванні процесу можлива як перед першою стадією, так і перед другою, що, природно впливає на його економічну ефективність. Крім цього, можливі прості перетворюючих пристроїв через відсутність ресурсу, що призводить також до зміни ефективності функціонування процесу. Величину надходження ресурсу, як і в попередніх випадках, вважаємо такою, яка відповідає характеристикам випадкового процесу, що відповідають певному закону розподілу випадкових величин. Теж саме стосується і відносно інтенсивностей перетворення ресурсу на кожній із стадій.

Конкретний закон розподілу і його параметри визначаються виходячи із статистичних даних реального процесу або передбачаються можливими із заданого її переліку при проектуванні, або удосконаленні процесу.

Для оцінки функціонування процесу можуть бути вибрані різні показники і, зокрема, визначення економічних затрат від неефективного функціонування як окремих моментів процесу, так і всього в цілому; визначення часу надходження ресурсу в систему при заданих показниках його надходження та перетворення; визначення сумарних втрат часу системою від знаходження ресурсу в стадії затримки (в запасі) і неповного використання часу перетворюючих пристроїв при заданих параметрах законів розподілу випадкових величин λ , ξ , η , а також інші, які формуються умовами необхідності прийняття управлінських рішень.

Запишемо зміст величин, що приймають участь у процесі:

λ – параметр закону розподілу незалежних випадкових величин надходження ресурсу в прийнятих одиницях його вимірювання в кожний із моментів часу t ;

ξ , η – параметри законів розподілу незалежних випадкових величин перетворення ресурсу в кожний з моментів часу t , відповідно на першій та другій стадіях перетворення;

μ_1 , μ_2 – середні величини перетвореної кількості ресурсу за одиницю часу t на першій та другій стадіях відповідно, що отримуються з статистичних даних за період часу T або вони можуть бути задані як планові показники перетворення ресурсу за одиницю часу t на період, що планується T .

Процес функціонування матеріального потоку може бути визначено як систему двохфазного масового обслуговування вимог.

Обмеження на довжину черги не накладається. Одиницею часу t обирається час, зміна, доба, місяць і т.д.

У випадку, якщо вектор цілей включає економічний показник, то додатково повинні бути введені наступні вартісні показники:

δ_1 , δ_2 – вартість очікування однієї одиниці ресурсу відповідно перед першою і другою стадіями обробки за одиницю часу t ;

δ_3 , δ_4 – вартість недозавантаження відповідно першої та другої стадій до очікуваної величина переробки ресурсу за одиницю часу t ;

$a(t)$ – кількість ресурсу, який надійшов для перетворення в момент часу t ;

$b(t)$ – продуктивність першої фази з перетворення ресурсу в момент часу t ;

$c(t)$ – теж саме, що й $b(t)$, тільки для другої фази;

$d_1(t)$ – стан довжини черги на першій фазі в момент часу t ;

$d_2(t)$ – теж саме, що й $d_1(t)$ для другої фази;

$u_1(t)$ – накопичені втрати часу внаслідок очікування ресурсу в черзі за час $[0, t - 1]$;

$u_2(t)$ – теж саме, що й $u_1(t)$ для другої фази;

$u_3(t)$ – накопичені втрати часу через фактичне недозавантаження першої фази ресурсом за проміжок часу від початку функціонування системи до моменту

$t - 1$ включно.

$u_4(t)$ – теж саме, що й $u_3(t)$, тільки для другої фази;

$u_{4+i}(t), i \in [1, 4]$ – наближені значення математичних сподівань відповідних витрат часу ($u_1(t), \dots, u_4(t)$), які отримані за допомогою усереднення за проміжком часу $[0, t - 1]$.

Такий підхід до формалізації функціонування матеріального потоку при його двократному перетворенні, може бути сформульований вектор цілей для визначення його ефективності.

1. Визначення наближеного значення витрат часу на стадіях обробки ресурсом при очікуванні початку обслуговування та перетворюючими пристроями, внаслідок відсутності ресурсу ($u_5(t), u_6(t), u_7(t), u_8(t)$) в момент часу t .
2. Визначення економічних витрат від постійного знаходження ресурсу у стані очікування початку обслуговування на обох фазах $u_9(t)$ в момент часу t .
3. Визначення економічних витрат від фактичної недозавантаженості обох фаз системи, тобто втрати від неповного використання основних фондів $u_{10}(t)$ в момент часу t .
4. Визначення економічних витрат по кожній з окремих зазначених причин $u_{11}(t), u_{12}(t), u_{13}(t), u_{14}(t)$ в момент часу t .
5. Сумарні економічні витрати від неефективної експлуатації системи в момент часу t : $u_{15}(t)$.
6. Сумарні витрати часу від очікування ресурсом початку обслуговування $u_{16}(t)$ в момент часу t .
7. Сумарні витрати часу від простою перетворюючих пристроїв, в момент часу t : $u_{17}(t)$.
8. Сумарний середній час простою системи від неефективної її експлуатації на момент часу t : $u_{18}(t), u_{19}(t), u_{20}(t)$.

При необхідності вектор цілей може бути доповнений. Наприклад, якщо відома ціна обробки однієї одиниці ресурсу за допомогою пристрою, що його перероблює за одиницю часу t , то можна нараховувати заробітну плату робітнику, який обслуговує дану стадію технологічної операції. При цьому передбачається, що обробка ресурсу відбувається тільки якісно (без браку). Нехай розцінки по фазах відповідно рівні α_1 і α_2 , тоді на кожен момент часу $t + 1$ від початку функціонування системи робітникам буде відповідно нараховано:

$$u_{19}(t + 1) = u_{19}(t) + b(t)\alpha_1,$$

$$u_{20}(t + 1) = u_{20}(t) + b(t)\alpha_2.$$

Отже, до кінця періоду часу функціонування системи можна визначити величину суми необхідної до нарахування відповідно кожному робітникові:

$$u_{19}(t) = \sum_{vt} u_{19}(t),$$

$$u_{20}(t) = \sum_{vt} u_{20}(t).$$

Крім цього, можна отримати середню величину заробітної плати за період часу T :

$$u_{21}(t) = \frac{u_{19}(t)}{T},$$

$$u_{22}(t) = \frac{u_{20}(t)}{T}.$$

Проведений опис формування вектора цілей за допомогою індикатора в моделі системи створює передумови для побудови всього економіко-інформаційного портрету системи в залежності від практичної необхідності.

Величина проміжку часу, що сплинув від початку функціонування системи, яка моделюється, задається станом автомату T .

Виходячи із загального принципу побудови імовірісно-автоматної моделі дискретної системи [2], отримуємо, що таблиця умовних функціоналів переходів в даному випадку має вигляд (див табл. 1).

Таблиця 1. Автомати системи та відповідні ним умовні функціонали переходів.

А Автомати системи	Умовні функціонали переходів
A	λ
B	ξ
C	η
D_1	$\max\{0, d_1 + a - b\}$
D_2	$\max\{0, d_2 + \min\{b, a + d_1\} - c\}$
U_1	$u_1 + \max\{0, a + d_1 - b\} : \mu_1$
U_2	$u_2 + \max\{0, d_2 + \min\{b, a + d_1\} - c\} : \mu_2$
U_3	$u_3 + \max\{0, b - a - d_1\} : \mu_1$
U_4	$u_4 + \max\{0, c - \min\{b, a + d_1\} - d_2\} : \mu_2$
U_5	$u_1 : \max\{1, t\}$
U_6	$u_2 : \max\{1, t\}$
U_7	$u_3 : \max\{1, t\}$
U_8	$u_4 : \max\{1, t\}$
U_9	$u_5 \cdot \delta_1 + u_6 \cdot \delta_2$
U_{10}	$u_7 \cdot \delta_3 + u_8 \cdot \delta_4$
U_{11}	$u_5 \cdot \delta_1$
U_{12}	$u_6 \cdot \delta_2$

U_{13}	$u_7 \cdot \delta_3$
U_{14}	$u_8 \cdot \delta_4$
U_{15}	$\sum_{i=4}^4 u_{10+i}$
U_{16}	$u_{11} + u_{12}$
U_{17}	$u_{13} + u_{14}$
U_{18}	$\sum_{i=1}^4 u_{4+i}$
T	$I+1$

При комп'ютерній інтерпретації моделі у відповідному програмному середовищі можна проводити різні ігрові експерименти з визначення впливу зміни окремих виробничих або економічних параметрів системи на зміну локальних критеріїв.

Дана модель використана нами для вибору додаткового обладнання з метою визначення узгодженості між фазами обслуговування вимог, але може бути також використана при дослідженні матеріальних потоків у різних виробничо-економічних системах багатьох практичних спрямувань при виборі виду підприємницької діяльності.

Другим видом імітаційних моделей, який моделює виконання логістики технологічної операції, може бути модель однономенклатурного матеріального потоку, який перетворюється у виробничо-економічній системі. Розглянемо постановку моделі. Вхідний матеріальний потік є однономенклатурним

$M = \{R_M, P, U, T\}$. Матеріальні ресурси R_M , які поступають на вхід системи, подаються до основного перетворюючого пристрою, що забезпечує випуск продукції P , і частково на склад (бункер) для підтримки запасів з метою забезпечення безперебійного функціонування виробництва. Матеріальний потік в процесі виконання технологічної операції в багатьох випадках розділяється на дві частини, утворюючи засоби виробництва (деталі, заготовки, готові вироби тощо) та відходи виробництва, якими іноді можна знехтувати, сюди ж можна віднести і створення брухту. Далі, продукти виробництва, які отримують при виконанні певної операції, підлягають транспортуванню, продовжуючи рух матеріального потоку. У випадку, якщо вони не складають готову продукцію процесу перетворення (виробничого процесу), то вони надходять для подальшого перетворення, яке передбачено технологією отримання з них готової продукції. В іншому випадку організовується їх відвантаження з виробничої ділянки.

Обсяги ресурсів, що надходять в кожен момент часу $t \in$ випадковими незалежними величинами, які відповідають одному з теоретично можливих законів розподілу.

В залежності від організаційних заходів, які проводяться організатором виробництва, може змінюватися характер надходження ресурсів і їх обсяги. Це природно призводить до зміни закону розподілу та його параметрів. Отже, запропоновані заходи щодо зміни процесу надходження ресурсів на вхід системи необхідно перевіряти, що на практиці не завжди економічно вигідно. Тоді це можна зробити за допомогою імітаційної моделі.

Для проведення другого експерименту необхідна найбільш повна стандартизована модель функціонування виробничо-економічної системи. Однак, попередньо розглянемо й інші можливі стани елементів системи.

Що стосується швидкості перетворення потоку і його поглинання (тобто попиту), то вони можуть бути визнані аналогічно надходженню ресурсів. При цьому слід зауважити, що в окремі моменти часу виконання технологічної операції може не здійснюватись через відсутність необхідного обсягу ресурсу, а це призведе до простою обладнання та утворення економічних витрат. До цього ж призводить і відсутність перетворюючого ресурсу в системі, коли попит задовольняється не в повному обсязі від необхідної кількості.

Відносно складських приміщень можна сказати, що вплив їх на рух матеріального потоку залежить тільки від максимально допустимих розмірів. Економічні ж показники логістики технологічної операції $\delta_i (i = \overline{1,8})$ цілком співпадають з визначенням станів автоматів системи $u_i (i = \overline{1,8})$.

Цілі дослідження поведінки потоку можуть бути самими різними, що випливають з потреб їх вивчення:

1. Визначення сумарних середніх витрат на підставі заданих обсягів складів.
2. Визначення впливу на суспільні витрати заміни технології виробництва, характеру надходження ресурсу і попиту на продукцію, яку отримують в результаті виконання технологічної операції.
3. Встановлення можливості зміни розрахунку економічних показників.
4. Визначена логістика виконання технологічної операції може бути адекватно задана за допомогою наступної імовірно-автоматної моделі, в якій поведінка основних елементів потоку відтворюється станами p 'яти автоматів.

Змістовний сенс цих автоматів складається в наступному:

$a_1(t)$ – надходження ресурсу до пристрою з виконання технологічної операції в момент часу t ;

$a_2(t)$ – продуктивність при виконанні технологічної операції в момент часу t ;

$a_3(t)$ – величина попиту на отриману продукцію після виконання технологічної операції в момент часу t ;

$a_4(t)$ – величина, що характеризує стан запасу ресурсу на складі (бункері) в момент часу t .

$a_5(t)$ – величина, яка характеризує стан запасу виробництва готової продукції на складі (бункері) в момент часу t .

Економічна оцінка виконання технологічної операції відповідно до першої з визначених цілей виконується за допомогою індикатора, який складається відповідно з 17 автоматів, змістовний сенс станів яких задається наступним чином:

$u_1(t)$ – накопичені витрати за утримання наднормативного запасу ресурсу на ділянці за проміжок часу $[0, t - 1]$;

$u_2(t)$ – накопичені витрати за зберігання ресурсу на складі за проміжок часу $[0, t - 1]$;

$u_3(t)$ – накопичені витрати за зберігання готової продукції на складі за проміжок часу $[0, t - 1]$;

$u_4(t)$ – накопичені витрати за транспортування від складу до пристрою з виконання технологічної операції за проміжок часу $[0, t - 1]$;

$u_5(t)$ – накопичені витрати за транспортування готової від пристрою до складу за проміжок часу $[0, t - 1]$;

$u_6(t)$ – накопичені витрати за можливе недовантаження з виконання технологічної операції за проміжок часу $[0, t - 1]$;

$u_7(t)$ – накопичені можливі витрати за неповне задоволення попиту на готову продукцію за проміжок часу $[0, t - 1]$;

$u_8(t)$ – накопичені значення сум, які отримані від реалізації відходів виробництва і браку за проміжок часу $[0, t - 1]$;

$u_{9..k}(t)$ – наближені значення математичних сподівань накопичених витрат; $u_1(t), u_2(t), \dots, u_7(t)$ за системою, отримані усередненням за час від 0 до $t = \frac{t-1}{I}$.

$u_{16}(t)$ – наближене значення математичного сподівання суми, яка отримана від реалізації відходів і браку, шляхом усереднення за проміжок часу $[0, t - 1]$.

$u_{17}(t)$ – сумарна величина наближених значень математичних сподівань витрат за системою з вирахуванням суми, яка отримана від реалізації відходів виробництва і браку.

В залежності від потреб практичного вивчення поведінки матеріального потоку може бути обрана і одиниця часу його функціонування.

Стан номеру поточної одиниці часу задається станом автомату T .

Стан системи імовірнісних автоматів, які моделюють виконання технологічної операції, в кожен момент часу t може бути охарактеризовано за допомогою Марківського вектору:

$$\vec{w}(t) = [a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t), a_5(t), u_1(t), \dots, u_{17}(t), t(t)],$$

компонентами якого є стани автоматів в цей же момент часу t .

Згідно з визначенням імовірнісного автомату [2], він володіє внутрішнім станом, здатний сприймати вхідні і вихідні сигнали, які відображають його взаємозв'язок з іншими автоматами системи, що характеризується матрицею алфавіту визначимо, якими внутрішніми алфавітами володіють окремі автомати, за допомогою яких моделюється реальна система логістики виконання технологічної операції.

В залежності від вибору одиниці вимірювання матеріальних ресурсів внутрішніми алфавітами автоматів A_i ($i = \overline{1,5}$) може бути або множиною всіх натуральних чисел (в подальшому будемо позначати літерою H), якщо в якості одиниць вимірювання береться пошпунчий вимір заготовок і готової продукції; або множина дійсних невід'ємних чисел (позначимо його літерою D), якщо одиницею вимірювання матеріалу і готової продукції береться їх ваговий вимір (кг, т тощо).

У випадку, коли для матеріалу обрано ваговий вимір, а готової продукції – пошпунче із врахуванням коефіцієнту перерахунку, то внутрішніми автоматами A_1 і A_4 буде множина дійсних невід'ємних чисел, а автоматів A_2 , A_3 і A_5 – множина натуральних чисел.

Внутрішнім алфавітом автоматів індикатору U_j ($j = \overline{1,17}$) є множина дійсних невід'ємних чисел, оскільки в якості одиниці вимірювання витрат зазвичай є валютний показник країни. Внутрішнім алфавітом автомату T , котрий слугує для визначення проміжку часу, який пройшов від початкового функціонування системи, є множина всіх натуральних чисел H (за одиницю виміру може бути взято годину, добу, зміну тощо).

Матриця алфавітів є квадратною, при цьому число її рядків та стовпчиків відповідає числу автоматів системи.

Спочатку заповнюється головна діагональ матриці у відповідності із внутрішніми алфавітами автоматів системи. Після цього матриця заповнюється по горизонталі, в результаті чого визначається, на стан яких автоматів здійснюється вплив вихідними сигналами кожного автомату (див. табл. 2).

Система функцій виходу у даному випадку відсутня у зв'язку з тим, що кожен вихідний сигнал автомату співпадає зі значення стану того автомату, з якого сигнал виходить.

Компоненти вектору початкових станів автоматів моделі при її імітації на комп'ютері обираємо, по можливості, близькими до середніх реальних значень характеристик логістики, виконання технологічної операції. При цьому початкові стани усіх автоматів індикатору і автомату T приймаємо рівними нулю.

Таким чином, є можливість побудувати таблицю умовних функціоналів переходів (див. табл. 3). За допомогою цієї таблиці обчислюються стани автоматів на момент часу $t + 1$ через їх стани в момент часу t :

Стан автоматів A_1 , A_2 і A_3 згідно з припущенням є незалежні випадкові величини, які будемо позначати відповідно ξ , η і ζ . При цьому ξ є випадковою величиною, яка моделює надходження матеріалів, η – відповідає продуктивності пристрою з виконання технологічної операції, а величина ζ представляє собою попит на готову продукцію. Розподіл всіх цих випадкових величин задається на основі результатів статистичного дослідження функціонування логістики виконання технологічної операції, або є значенням числових послідовностей.

Таблиця 2. Матриця алфавітів автоматів моделі

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	U ₈	U ₉	U ₁₀	U ₁₁	U ₁₂	U ₁₃	U ₁₄	U ₁₅	U ₁₆	U ₁₇	T	
A ₁	H			H		H	H	H	H				H											
A ₂		H			H	H	H	H	H	H	H	H	H											
A ₃			H		H					H	H	H												
A ₄				H		H	H	H	H															
A ₅					D					H	H	H		D										
U ₁						D									D									
U ₂							D									D								
U ₃								D									D							
U ₄									D									D						
U ₅										D									D					
U ₆											D									D				
U ₇												D									D			
U ₈													D									D	H	
U ₉														D									D	H
U ₁₀															D								D	H
U ₁₁																D							D	H
U ₁₂																	D						D	H
U ₁₃																		D					D	H
U ₁₄																			D				D	H
U ₁₅																				D			D	H
U ₁₆																					D	D	D	H
U ₁₇																							D	H
T																								H

Для того, щоб можна було знайти співвідношення, за допомогою яких будуть перераховуватися стани автоматів A_4 і A_5 , визначимо наступні проміжні величини:

- кількість матеріалу, яка не забезпечує завантаження пристрою з виконання технологічної операції, що викликало звернення до використання запасу в момент часу t :

$$b(t) = \max(0, a_2(t) - a_1(t));$$

- кількість матеріалу, який надійшов для поповнення запасу, після задоволення процесу перетворення в момент часу t :

$$c(t) = \max(0, a_1(t) - a_2(t));$$

- кількість перетвореного матеріалу, який передано на склад готової продукції, в момент часу t :

$$d(t) = \max(0, f(t) - a_3(t));$$

- кількість готової продукції, взятої зі складу, з метою задоволення попиту для відвантаження в момент часу t ;

$$e(t) = \max(0, a_3(t) - f(t));$$

- фактично отримана кількість готової продукції в результаті виконання технологічної операції в момент часу із врахуванням коефіцієнтів отримання відходів матеріалу і виникнення браку:

$$f(t) = \max(0, a_2(t) - \max(0, b(t) - a_4(t))) \cdot (1 - e) \cdot (1 - w),$$

де, e – коефіцієнт отримання відходів матеріалу,

w – коефіцієнт виникнення браку в процесі виконання технологічної операції.

Таблиця 3. Умовні функціонали переходів

Автомати системи ($k = \overline{1,8}$)	Умовні функціонали переходів
A_1	ξ
A_2	η
A_3	ζ
A_4	$\min\{N, \max(0, a_4 - b + c)\}$
A_5	$\min\{M, \max(0, a_5 - e + d)\}$
U_1	$U_1 + \delta_1 \cdot \max\{0, a_4 - b + c - N\}$
U_2	$U_2 + \delta_2 \cdot \min\{N, \max(0, a_4 - b + c)\}$
U_3	$U_3 + \delta_4 \cdot \max\{0, a_4 - \max(0, a_4 - b + c)\}$
U_4	$U_4 + \delta_6 \cdot \max\{0, a_2 - a_1 - a_4\}$
U_5	$U_5 + \delta_3 \cdot \max\{0, f - a_3\}$
U_6	$U_6 + \delta_3 \cdot \min\{M, \max(0, a_5 - e + d)\}$
U_7	$U_7 + \delta_1 \cdot \max\{0, a_3 - f - a_5\}$
U_8	$U_8 + \delta_8 \cdot \max\{0, a_1 - f + \max(0, a_4 - b)\}$
U_9	$U_9 : \max(1, t)$
U_{10}	$\sum_{k=1}^7 U_{8+k} - U_{16}$
U_{11}	$t - 1$

Стан автомату A_4 характеризує наявність матеріального ресурсу на складі в початковий момент часу $t + 1$. З метою визначення чисельного значення цього стану необхідно знати, скільки матеріалу надійшло для поповнення запасу, скільки його було витрачено для забезпечення повної завантаженості пристрою і яка кількість залишилась після цього в складі.

Крім того, наявність матеріального ресурсу на складі не повинна перевищувати його ємності. Зазначені стани автомату A_4 можуть бути отримані за допомогою наступного співвідношення:

$$a_4(t + 1) = \min\{N, \max(0, a_4(t) + c(t) - b(t))\}.$$

З метою визначення стану A_5 , який характеризує наявність готової продукції на складі, в початковий момент часу $t + 1$ необхідно знати, яка кількість продукції надходить на склад і скільки з нього береться для задоволення попиту за час t із врахуванням ємності складу, тобто, використовуючи проміжні величини $e(t)$ і $d(t)$, можна записати функціонал:

$$a_5(t + 1) = \min\{m, \max(0, a_5(t) + d(t) - e(t))\}.$$

За допомогою цього функціоналу і перераховуються стани автомату A_5 за проміжок часу, що моделюється.

Стани автоматів індикатору $U_j (j = \overline{1,7})$ перераховуються на основі показників витрат за одиницю ресурсу або готового виробу $\delta_j (j = \overline{1,7})$ із врахування їх кількості на момент моделювання часу t та загальними затратами до цього моменту.

В якості прикладу розглянемо побудову функціоналу, за допомогою якого перераховуються стани автомату U_1 .

Для того, щоб знати, яка кількість ресурсу залишилася над величиною встановленого нормативу, необхідно визначити, скільки його могло надійти в момент часу t , скільки було на складі і скільки взято зі складу для обробки за цей час, тобто це буде величина $c(t) + a_4(t) - b(t)$.

Однак, наднормативний об'єм складе величину, яка відповідає $\max(0, c(t) + a_4(t) - b(t) - N)$, оскільки на складі може знаходитись не більше N одиниць ресурсу. В деякі моменти проміжку часу, що моделюється, може виявитись, що на складі знаходиться його менше, ніж було і могло надійти у порівнянні з витратами і обсягом складу, тобто

$$c(t) + a_4(t) - b(t) - N < 0.$$

Природно, що поза складом не може знаходитись від'ємна кількість ресурсу. Тому з метою попередження можливої появи подібних значень величина наднормованого запасу вибирається як максимум з нуля і деякої величини, яка визначається за допомогою лівої частини шойно приведенної нерівності.

Таким чином, за час t може бути витрачено за збереження наднормованого ресурсу $\delta_1 \cdot \max(0, a_4(t) + c(t) - b(t) - N)$ гривень, а за час від початку функціонування системи до моменту $t + 1$ визначимо за допомогою функціоналу:

$$\delta_1(t + 1) = u_1(t) + \delta_1 \cdot \max(0, a_4(t) + c(t) - b(t) - N)$$

Обчислення станів автоматів U_2, U_3, \dots, U_8 зараз можна легко зрозуміти з таблиці умовних функціоналів переходів (див. табл. 3).

Визначення середніх витрат і доходів на момент часу $t + 1$ за вказаними раніше напрямками визначається за допомогою співвідношення

$$U_{8+k}(t + 1) = U_k(t) : \max(1, t), (k = \overline{1,8}).$$

Значення $\max(1, t)$ взято з урахуванням того, що на початку проміжку часу t , який моделюється, він приймає значення рівне нулю, а ділення на нуль при комп'ютерній імітації моделі неприпустиме. Сумарні середні витрати на момент часу $t + 1$ визначимо наступним чином:

$$U_{17}(t+1) = \left(\sum_{k=1}^7 U_{8+k}(t) \right) - U_{16}(t).$$

а за допомогою функціоналу

$$t+1 = t(t)+1.$$

перераховується стан автомату T , який імітує час моделювання, іншими словами – модельний таймер.

Таким чином, побудована модель, за допомогою якої розраховуються стани автоматів, що повністю характеризують логістику виконання технологічної операції. В цьому випадку величину проміжку часу, що моделюється $T = 25$ робочим дням і $t = 1$ зміні, при двозмінних добах отримуємо 50 значень стану логістики виконання технологічної операції у виробничо-економічній системі.

Після систематизації цих значень в тривимірному просторі (вісь абсцис відповідає значенням ємності складу заготовок, вісь ординат – значенням ємності складу готової продукції і вісь аплікату – значенням сумарних середніх витрат по системі) отримаємо сукупність точок, які відповідають лінії визначення показника ефективності логістики виконання технологічної операції у виробничо-економічній системі.

Змінюючи значення M і N в заданих межах, будуючи для кожного з них відповідні лінії, отримуємо множину ліній, яка дає можливість визначити ті значення M і N , коли виконання технологічної операції здійснюється з найменшими витратами.

Зрозуміло, що при цьому багаторазово використовується алгоритм, який забезпечує проведення ігрових експериментів. Це дозволяє приймати оптимальне рішення з управління логістичним процесом виконання технологічної операції у виробничо-економічній системі.

Крім того, модель може бути доповнена групою автоматів для визначення показників ефективності, які відповідають іншим критеріям, а також може бути використана в режимі «запит-відповідь» з метою отримання даних про потік довідкового характеру або формування звітних даних за період часу T його функціонування.

Побудовані моделі свідчать, що імітаційне моделювання дозволяє розглядати процеси, які відбуваються в системі, практично на будь-якому рівні деталізації. При цьому в імітаційній моделі існує можливість для реалізації практично будь-якого алгоритму управлінської діяльності або поведінки системи. Крім того, моделі, які допускають дослідження аналітичними методами, також можуть бути проаналізовані за допомогою імітаційних методів. Все це свідчить про те, що імітаційні методи моделювання сьогодні стають основними методами дослідження складних виробничо-економічних систем, особливо при створенні бізнес-планів для отримання ліцензій на виконання підприємницької діяльності.

Усі імітаційні моделі представляють собою моделі типу «чорної скриньки». Це означає, що вони забезпечують видачу вихідних параметрів системи якщо на її взаємодіючі підсистеми надходять вхідні сигнали впливу. Тому для отримання необхідної інформації або результатів слід здійснити «прогон» моделей.

III. Висновки. Зазначимо, що розробка імітаційної моделі системи, як правило, дозволяє краще зрозуміти поведінку реальної системи. Під час моделювання можливе «стиснення» часу: роки практичної експлуатації реальної системи можна змоделювати протягом декількох секунд чи хвилин.

Моделювання не вимагає переривання поточної діяльності реальної системи. Імітаційні моделі є набагато більш загальними, оскільки їх можна використовувати в тих випадках, коли для проведення стандартного математичного аналізу немає відповідних умов.

В деяких випадках імітаційне моделювання забезпечує більш реалістичне забезпечує відтворення системи, ніж математичний аналіз. Імітаційне моделювання можна використовувати для аналізу перехідних процесів, тоді як моделі математичного аналізу для цієї мети не завжди підходять.

Разом з цим, імітаційні моделі мають і певні спрощення, порівняно з моделями математичного аналізу.

Не дивлячись на те, що на розробку імітаційної моделі системи може піти достатньо багато часу, немає ніякої гарантії, що модель дозволить отримати відповіді на питання, які нас цікавлять. Не завжди можна довести, що робота моделі повністю відповідає роботі реальної системи. Моделювання пов'язано з багаторазовими повтореннями послідовностей, які базуються на генерації випадкових чисел. Дані числа імітують надходження тих чи інших подій.

В залежності від складності системи її побудова може займати від однієї години до кількох людино-років. Тобто моделювання складних систем може виявитися доволі дорогим і займати багато часу. Моделювання може бути менш точним, ніж математичний аналіз, оскільки в його основу закладена генерація випадкових чисел. Тому реальну систему можна представити за допомогою математичної моделі, перевагу слід віддати саме такому способу моделювання. Для «прогнозу» складних моделей за допомогою комп'ютерного моделювання необхідно витратити доволі багато часу.

Враховуючи досвід використання методології імітаційного моделювання в багатьох спрямуваннях дослідження складних систем, зазначимо, що при розробці бізнес-планів для визначення ефективності підприємницької діяльності побудовані моделі знайдуть своє реальне застосування.

Література.

1. Third New International Dictionary of the English Language. Merriam-Webster; New Edition edition, 2,662 p., 2002.
2. Яровицкий Н.В. Вероятностно-автоматное моделирование дискретных систем // Кибернетика, №5. — 1966 р.

Стаття надійшла до редакції 20.12.2010 р.



ТОВ "ДКС Центр"