

УДК 658.7: 658.8  
UDC 658.7: 658.8

## СТАТИСТИЧНЕ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В УПРАВЛІННІ ЗАПАСАМИ

*Хаврук В.О.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна

## STATISTICAL IMITATING MODELLING IN STOREKEEPING

*Khavruk V.O.*, National Transport University, Kyiv, Ukraine

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В УПРАВЛЕНИИ ЗАПАСАМИ

*Хаврук В.А.*, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

**Постановка проблеми.** Для суб'єктів підприємницької діяльності одним з найважливіших завдань є підвищення ефективності управління запасами. Дослідження систему правління запасами здійснюють на основі показників за попередні періоди діяльності підприємства, використовуючи різноманітні методи моделювання випадкових процесів обсягів витрат і тривалості функціонального циклу постачання. Одним із інструментів дослідження процесу руху запасів на складі («надходження», «витрата», «залишок») є імітаційне моделювання, проведення якого потребує складного математичного апарату. Саме через складність і значний обсяг математичних розрахунків імітаційне моделювання не набуло широкого поширення в практичній діяльності, про що наголошується деякими авторами [1, с. 50].

**Аналіз літературних джерел** свідчить, що проблему управління запасами досліджують багато вчених і практиків, зокрема: Анікін Б. О.[2], Бауерсокс Д. Дж. [3], Гаджинський А. М.[4], Клосс Д. Дж. [3], Крикавський Є. В.[5], Кристофер М. [6], Лукінський В. С.[7], Міротін Л. Б.[8], Пономарьова Ю. В.[9], Раштон А. [10], Сергєєв В. І.[11], Стерлігова А. М.[12], Шапіро Дж. [13], Шрайбфедер Дж. [14].

В працях вчених переважно розглядається загальноприйнятий підхід в управлінні запасами, виходячи із відомої формули Вільсона для визначення оптимального обсягу замовлення, менше уваги приділяється методу імітаційного моделювання управління запасами. Метод імітаційного моделювання наведений в роботах: О. О.Бикова [15], Лукінського В. В.[7], С. І. Коновалова і В. В. Савіна [16, с. 29-36], Н. О. Маркової та І. А. Кіосєвої [1], Якимова І.М. [17].

З огляду, на те, що для імітаційного моделювання управління запасами необхідне застосування складного математичного апарату, постає необхідність розглянути основоположні принципи визначення законів розподілу випадкових величин, що і дасть змогу з'ясувати основне призначення даного моделювання.

**Метою статті** є аналіз методу статистичного імітаційного моделювання управління запасами і визначення законів розподілу таких випадкових величин як: попит (витрата), інтервал часу між замовленнями і терміну виконання замовлення.

**Головний розділ.** На практиці багато систем управління запасами містять елемент невизначеності як по відношенню до часу постачання, так і відносно попиту. Відомо, що попит змінюється в часі, тобто середнє значення попиту коливається впродовж року. Проблеми, пов'язані з невизначеністю часу постачання замовлення і зміною значення попиту в часі, є особливо складними. У таких ситуаціях навряд чи можна застосовувати детерміновані математичні моделі. Потрібне залучення інших методів, наприклад, імітаційного моделювання.

Імітаційне моделювання – метод, що дозволяє будувати моделі, що описують процеси так, як вони проходили б насправді. Статистичне імітаційне моделювання в управлінні запасами може бути використано для вирішення наступних завдань [7, с. 181-182]:

1. «Відновити» процес витрати (поповнення) запасів за неповними даними (середні значення, середньоквадратичне відхилення та ін.), тобто отримати штучним способом статистичні дані, яких не вистачає і які необхідні при прогнозуванні.

2. Визначити наслідки застосування різних стратегій управління запасами, а також порівняти ефективність різних систем управління запасами за результатами відповідних імітаційних експериментів.

Розглянемо порядок статистичного імітаційного моделювання процесів, пов'язаних з поповненням(витрачанням)запасів.

Спочатку, необхідно визначити параметри, що підлягають моделюванню. До них відносять:

- витрата запасів( $\lambda_j$ );
- інтервали часу між замовленнями( $T_j$ );
- терміни виконання замовлення( $L_j$ );

Також можуть моделюватися значення обсягів постачання( $Q_{mi}$ ) для того, щоб врахувати випадки не дотримання постачальником вимог за обсягом, якістю, комплектністю постачання.

Процес статистичного імітаційного моделювання вищезазначених параметрів може бути здійснений таким чином[7, с. 182]:

1. Задаються середні значення і середньоквадратичні відхилення (СКВ) значень модельованих параметрів(вони можуть бути визначені заздалегідь експертним шляхом):

- середнє значення інтенсивності споживання  $d$  і СКВ інтенсивності споживання  $\sigma_d$ ;
- середній інтервал часу між замовленнями  $\bar{T}_{cs}$  і СКВ часу між замовленнями  $\sigma_T$ ;
- середнє значення терміну виконання замовлення  $\bar{L}$  і СКВ терміну виконання замовлення  $\sigma_L$ .

2. На основі середніх значень і СКВ для кожного параметра розраховується коефіцієнт варіації –*v* за формулою:

$$v = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}, \quad (1)$$

де  $\sigma_x$  –середньоквадратичне відхилення модельованого параметра « $x$ »;  $\bar{x}$  –середнє значення модельованого параметра.

3. По коефіцієнту варіації визначається закон розподілу, якому, як передбачається, підпорядкований розподіл випадкових значень модельованих параметрів процесу витрати(поповнення) запасів. У першому наближенні вибір закону розподілу може бути зроблений по таблиці 1[7, с. 183].

Таблиця 1 – Закони розподілу випадкової позитивної величини в залежності від коефіцієнта варіації[7, с. 183]

Межі зміни коефіцієнта варіації	Закон розподілу випадкової величини
$v \leq 0,3$	Нормальний
$0,3 < v < 0,4$	Гамма-розподіл
$0,4 \leq v < 1$	Вейбулла
$v = 1$	Експоненціальний

4. За допомогою генератора випадкових чисел визначається масив випадкових значень  $\xi$ , які потім використовуватимуться для визначення випадкових значень модельованих параметрів. Для генерації випадкових чисел може бути використаний відповідний інструмент MS Excel, MathCAD. Зокрема, в MathCAD для генерації випадкових чисел використовуються такі команди: `gnorm(m, mu, sigma)` – нормальний закон розподілу; `rgamma(m, s)` – гамма-розподіл; `rweibull(m, s)` – закон розподілу Вейбулла; `gehr(m, r)` – експоненціальний закон розподілу.

Кількість згенерованих випадкових чисел  $\xi$  залежить від параметра, який необхідно отримати в результаті моделювання. Так для  $T_j$  (період часу між замовленнями) кількість випадкових чисел  $\xi$  залежатиме від кількості згенерованих випадкових значень витрати запасу  $-N_d$  і від середнього значення періоду часу між постачаннями( $T$ )[7, с. 184]:

$$N_T = \frac{N_d}{T}, \quad (2)$$

де  $N_T$ – кількість випадкових чисел для  $T_j$ ;  $N_d$ – кількість згенерованих випадкових значень  $d$ ;  $\bar{T}$  – середнє значення періоду часу між замовленнями.

Кількість значень  $L_j$ (час виконання замовлення), яке необхідно згенерувати, відповідає числу  $N_T$ . Наприклад, генерується 120 випадкових величин витрати запасу, середній період часу між постачаннями 10 днів, отже, передбачувана кількість постачань дорівнює 12.

5. Отриманий після генерації вектор(стовпець) випадкових чисел  $\xi$  трансформується з урахуванням визначеного раніше закону розподілу у випадкові значення модельованого параметра( $d_j, T_j, L_j$ ). Для цього використовуються спеціальні залежності (табл. 2). Отримані за формулами значення округляються до цілого.

Таблиця 2 – Формули для моделювання випадкових величин, що підкоряються різним законам розподілу [7, с. 185]

Закон розподілу випадкової величини	Розрахункова формула
Нормальний	$x_i = \bar{x} + \sigma_x \xi'_i$
Вейбулла	$x_i = x_0 \cdot \sqrt[m]{-\ln \xi_i}$
Експоненціальний	$x_i = x \cdot (-\ln \xi_i)$
Гамма-розподіл	$x_i = -\sum_{j=1}^n \ln(1 - \ln \xi_i) / \lambda$
Рівномірний	$x_i = a + (b - a)\xi_i$

Примітка:  $\xi'_i$  – нормальнорозподілена випадкова величина із середнім значенням 0 і середньоквадратичним відхиленням 1;  $\xi_i$  – рівномірно розподілена випадкова величина на інтервалі від 0 до 1.

Для розподілу Вейбулла параметр положення  $x_0$  визначається за формулою:

$$x_0 = \frac{\bar{x}}{b_m}, \quad (3)$$

Коефіцієнт  $b_m$  і параметр форми  $m$  можна визначити по таблиці 3.

Таблиця 3 – Коефіцієнти для розрахунку параметрів розподілу Вейбулла [7, с. 185-186]

Коефіцієнт варіації	Коефіцієнт $b_m$	Параметр форми $m$
1,000	1,000	1,0
0,910	0,965	1,1
0,837	0,941	1,2
0,775	0,924	1,3
0,723	0,911	1,4
0,681	0,903	1,5
0,640	0,897	1,6
0,605	0,892	1,7
0,575	0,889	1,8
0,547	0,887	1,9
0,523	0,887	2,0
0,499	0,886	2,1
0,480	0,886	2,2
0,461	0,886	2,3
0,444	0,886	2,4
0,428	0,887	2,5

Параметри гамма-розподілу можна знайти за формулами:

$$\lambda = \frac{\bar{x}}{\sigma_x^2}, \quad (4)$$

$$\eta = \frac{(\bar{x})^2}{\sigma_x^2}, \quad (5)$$

де  $\eta$  – ціла частина числа від ділення.

6. Визначається початковий рівень запасу на складі. Він може відповідати реальним даним складської статистики або його можна розрахувати за формулою:

$$S_{\text{поч}} = \bar{d} \cdot \bar{T}, \quad (6)$$

де  $\bar{d}$  – середнє значення інтенсивності споживання;  $\bar{T}$  – середній інтервал часу між постачаннями (час циклу).

7. На основі отриманого на попередніх етапах масиву початкових даних формуються тимчасові ряди, що відбивають процес руху запасів на складі («надходження», «витрата», «залишок») під впливом різних стратегій управління запасами.

Таким чином, загальний алгоритм статистичного моделювання може бути представлений блок-схемою [7, с. 187].

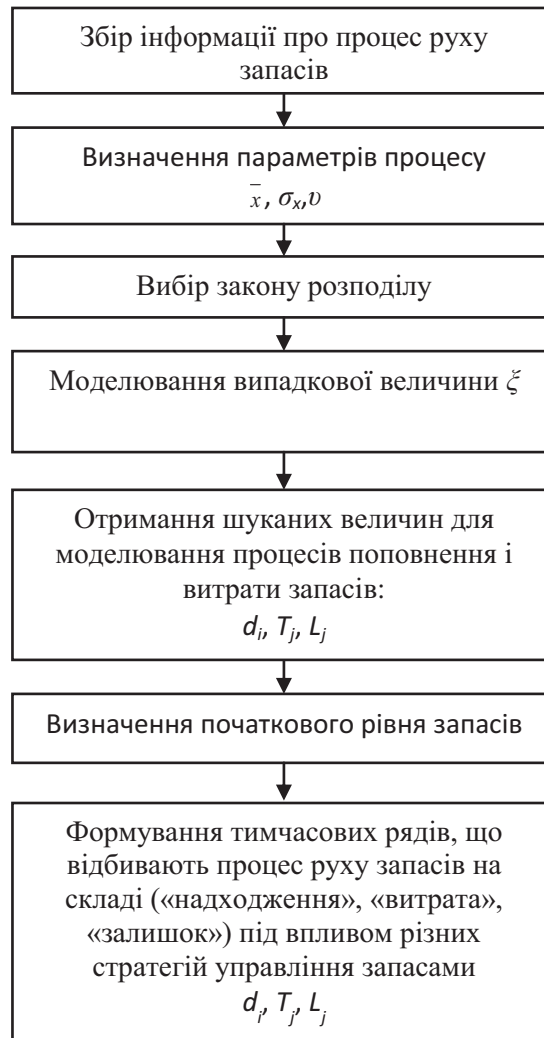


Рисунок 1 – Блок-схема послідовності дій при моделюванні роботи системи управління запасами[7, с. 187]

На основі вищеописаного алгоритму здійсимо статистичне моделювання процесів витрати і поповнення запасу.

1) Задаємо початкові дані. Прийнемо[7, с. 188]:

– середнє значення інтенсивності споживання  $d = 8$  од./день і СКВ інтенсивності споживання  $\sigma_D = 4,84$  од.;

– середній інтервал часу між замовленнями  $\bar{T}_c = 10$  днів і СКВ часу між замовленнями  $\sigma_T = 2$  дні;

– середнє значення терміну виконання замовлення  $L = 3$  дні і СКВ терміну виконання замовлення  $\sigma_L = 1$  день.

2) На основі середніх значень і СКВ для кожного параметра розраховується коефіцієнт варіації  $v$ :

$$v_d = \frac{4,84}{8} = 0,605; v_T = \frac{2}{10} = 0,2; v_L = \frac{1}{3} = 0,333$$

3) За коефіцієнтами варіації(табл. 1) визначаємо закони розподілу випадкових величин:

величині  $d$  в нашому прикладі відповідає закон розподілу Вейбулла, величинам  $T$  і  $L$  – нормальний закон розподілу.

4) Генеруємо допоміжні випадкові величини для визначення значень параметрів  $d, T$  і  $L$ . Нехай попит буде даний за 40 днів, тоді нам необхідно буде згенерувати 40 випадкових чисел  $\xi$  для визначення  $d$  і  $40/10 = 4$ (формула2)випадкових чисел для визначення параметрів  $T$  і  $L$ .

5) Проведемо моделювання значень параметра  $d$  за формулами таблиці 2 для закону розподілу Вейбулла. По таблиці3 визначаємо значення параметрів  $b_m$  і  $m$ , що відповідають відомому значенню

коефіцієнта варіації( $v=0,605$ ). Так  $b_m=0,892$ ,  $m=1,7$ . Розрахуємо параметр  $x_0$ :  $x_0=8/0,892=8,97$ . Далі за формулою 7 визначимо обсяги щоденної витрати(їх ще слід округлити до цілого).

$$x_i = x_0 \cdot \sqrt[m]{-\ln \xi_i} , \quad (7)$$

Наприклад, при  $\xi = 0,973$  знаходимо:  $d_1 = 8,97 \cdot \sqrt[1,7]{-\ln 0,973} \approx 1$ ;

при  $\xi = 0,425$ :  $d_2 = 8,97 \cdot \sqrt[1,7]{-\ln 0,425} \approx 8$ ;

при  $\xi = 0,758$ :  $d_2 = 8,97 \cdot \sqrt[1,7]{-\ln 0,758} \approx 4$  і т.д.

Результати моделювання витрати представлені в таблиці 4[7, с. 189-190].

Таблиця 4 – Моделювання щоденної витрати запасу( $d_i$ )[7, с. 189-190]

Номер дня	Випадкова величина	Витрата деталей, $d_i$	Округлене значення $d_i$
1	0,973	1,065	1
2	0,425	8,170	8
3	0,758	4,208	4
4	0,185	12,190	12
5	0,649	5,470	5
6	0,465	7,656	8
7	0,563	6,468	6
8	0,617	5,838	6
9	0,955	1,447	1
10	0,311	9,826	10
11	0,017	20,482	20
12	0,438	8,010	8
13	0,498	7,249	7
14	0,024	19,374	19
15	0,793	3,794	4
16	0,540	6,735	7
17	0,352	9,195	9
18	0,610	5,914	6
19	0,685	5,058	5
20	0,623	5,774	6
21	0,690	5,002	5
22	0,259	10,686	11
23	0,501	7,209	7
24	0,629	5,702	6
25	0,074	15,702	16
26	0,592	6,124	6
27	0,950	1,546	2
28	0,213	11,578	12
29	0,699	4,897	5
30	0,065	16,164	16
31	0,057	16,634	17
32	0,624	5,760	6
33	0,356	9,138	9
34	0,188	12,116	12
35	0,130	13,640	14
36	0,919	2,083	2
37	0,415	8,309	8
38	0,714	4,728	5
39	0,820	3,461	3
40	0,920	2,078	2

б) Змоделюємо значення  $T$  і  $L$ . Оскільки їм відповідає один тип закону розподілу(нормальний закон), детальний розрахунок можна показати лише для однієї величини, наприклад,  $L$ .

Для розрахунків скористаємося формулою:

$$x_i = \bar{x} + \sigma_x \xi_i', \quad (8)$$

де  $\xi_i'$  – нормально розподілена випадкова величина з середнім значенням 0 і середньоквадратичним відхиленням 1 (4 значення);  $\bar{x}$  – середнє значення модельованого параметра;  $\sigma_x$  – СКВ модельованого параметра.

Проведемо розрахунок для  $L$ :

$$L_1 = 3 + 1 \cdot (-0,13) \approx 2,86; L_2 = 3 + 1 \cdot 1,49 \approx 4,49; L_3 = 3 + 1 \cdot (-1,6) \approx 1,38 \text{ і т.д. (табл. 5);}$$

Таблиця 5 – Моделювання часу виконання замовлення ( $L_k$ ) [7, с. 191]

Випадкова величина	Строк виконання постачання $L_k$	Округлене значення $L_k$
-0,13393	2,866072	3
1,492986	4,492986	4
-1,61832	1,381682	1
0,232844	3,232844	3

Результати розрахунків для  $T$  наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Моделювання інтервалів часу між замовленнями ( $T_j$ ) [7, с. 192]

Випадкова величина	Інтервали часу між постачаннями $T_j$	Округлене значення $T_j$
-0,7942	10,01448780	10
0,517575	13,29393811	13
-0,03707	11,90731965	12
-0,43369	10,91576294	11

На базі отриманих раніше значень щоденних витрат запасу ( $d_i$ ), інтервалів часу між замовленнями ( $T_j$ ) і термінів виконання замовлення ( $L_k$ ) можна змоделювати процес надходження і витрати запасів в умовах різних стратегій управління.

В даному прикладі розглянемо найпростіший випадок, не вдаючись до оцінки доцільності застосування даної стратегії управління запасами на практиці.

Нехай стратегія управління запасами полягає в тому, щоб розміщувати однакові замовлення ( $Q_3 = \text{const}$ ) через рівні проміжки часу ( $T_{cs}$ ). Постачання здійснюватимуться через час  $L_k$  після подання клієнтом відповідного запиту. Вважатимемо, що величина постачання завжди відповідатиме величині замовлення ( $Q_{п} = Q_3$ ).

В якості початкових даних використовуватимемо:

- згенеровані значення споживання ( $d$ ) для періоду в 40 днів (табл. 4);
- згенеровані значення часу виконання замовлення ( $L_k$ ) (табл. 5);
- в якості постійної періодичності замовлень візьмемо середній час між замовленнями ( $\bar{T}_{cs} = 10$  днів);
- для розрахунку  $Q_3$  скористаємося формулою:

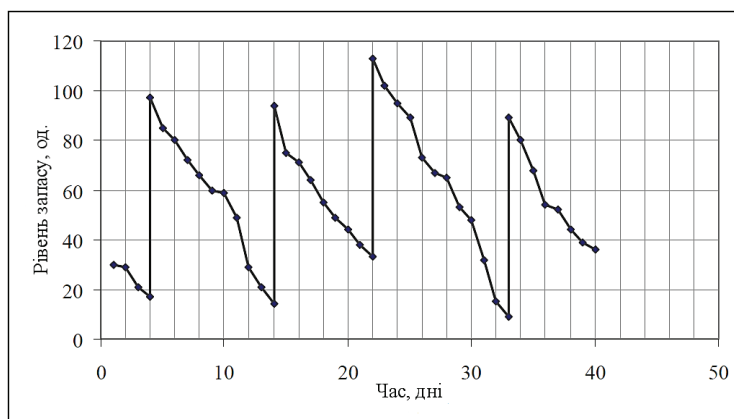
$$Q_3 = \bar{d} \cdot \bar{T} = 8 \cdot 10 = 80 \text{ од.}$$

При цьому, прийняті «ідеалізовані» умови, а саме замовлення здійснювалось в кінці дня, а тривалість виконання замовлення не перевищувала 3 дні. Хоча, на практиці управління багато номенклатурними запасами і дотримання строків постачання по кожній позиції товару вимагає «високої відповідальності» як від спеціалістів відділу постачання так і від постачальників. У випадку неможливості дотримання строків постачання одним із постачальників, спеціаліст відділу постачання повинен мати базу постачальників та здійснити замовлення товару в іншого постачальника. Для зменшення часу пошуку альтернативного постачальника, спеціаліст відділу постачання має здійснювати ранжування постачальників за показниками тривалості виконання і вартістю замовлення, далі на основі аналізу результатів ранжування, обирати необхідного постачальника.

Результати моделювання процесів витрати-поповнення запасів для цієї стратегії слід наводити як в табличному (табл.7), так і в графічному (рис. 2) вигляді [7, с. 193-194].

Таблиця 7 – Моделювання стратегії ( $T=const, Q=const$ )[7, с. 193-194]

День	Попит	Замовлення в кінці дня	Постачання на початок дня	Залишок на початок дня	Залишок на кінець дня
1	1	80		30	30-1=29
2	8			29	21
3	4			21	17
4	12		80	80+17=97	85
5	5			85	80
6	8			80	72
7	6			72	66
8	6			66	60
9	1			60	59
10	10	80		59	49
11	20			49	29
12	8			29	21
13	7			21	14
14	19		80	80+14=94	75
15	4			75	71
16	7			71	64
17	9			64	55
18	6			55	49
19	5			49	44
20	6	80		44	38
21	5			38	33
22	11		80	80+33=113	102
23	7			102	95
24	6			95	89
25	16			89	73
26	6			73	67
27	2			67	65
28	12			65	53
29	5			53	48
30	16	80		48	32
31	17			32	15
32	6			15	9
33	9		80	80+9=89	80
34	12			80	68
35	14			68	54
36	2			54	52
37	8			52	44
38	5			44	39
39	3			39	36
40	2	80		36	34

Рисунок 2 – Стратегія ( $T = const, Q = const$ ) [7, с. 194]

**Висновки.** Таким чином, статистичне імітаційне моделювання використовується для отримання масивів випадкових параметрів, що визначають ефективність системи управління запасами. Такими параметрами є: витрата (попит) запасів, інтервали часу між замовленнями, терміни виконання замовлення.

Статистичне імітаційне моделювання включає послідовність наступних дій: аналіз інформації про процес руху запасів; визначення середніх значень і середньоквадратичних відхилень випадкових модельованих параметрів; вибір закону розподілу; моделювання випадкової величини параметру; визначення початкового рівня запасу; формування тимчасових рядів, що відбивають процес руху запасів («надходження», «витрата», «залишок»).

Статистичне імітаційне моделювання неможливе без використання комп'ютерних програм за допомогою яких здійснюється генерування випадкових чисел.

Однією з проблем моделювання є «точність» визначення законів розподілу випадкових величини (параметрів).

Подальші дослідження методу статистичного імітаційного моделювання необхідно проводити у напрямі пошуку способів визначення: середніх значень і середньоквадратичних відхилень модельованих параметрів; коефіцієнтів варіації та коефіцієнтів, які характеризують інші закони розподілу, наприклад біноміальний, бета-розподіл,  $\chi^2$ -квадрат, розподіл Пуассона.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Маркова Н. О. Імітаційне моделювання управління запасами / Н. О. Маркова, І. А. Кіосєва // Вісник Бердянського університету менеджменту і бізнесу. – 2015. – № 2 (30). – С. 50-56.
2. Аникин Б. А. Логистика: учеб. пособ. [для студ. вузов] / [Б. А. Аникин, В. В. Дыбская, И. Н. Омельченко И. Н. и др.]; под ред. Б. А. Аникина. – [3-е изд. перераб. и доп.]. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 368 с.
3. Бауэрсокс Доналд Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок / Бауэрсокс Доналд Дж., Клосс Дейвид Дж. 2-е изд. / [Пер. с англ. Н. Н. Барышниковой, Б. С. Пинскера]. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 640 с.
4. Гаджинский А. М. Логистика: учеб. / А. М. Гаджинский. – 20-е изд. – М.: Дашков и К. – 2012. – 484 с.
5. Крикавський Є.В. Логістичне управління / Є. В. Крикавський. – Львів: Львівська політехніка, 2005. – 684 с.
6. Кристофер М. Логистика и управление цепями поставок / под ред. С.В. Лукинского. – СПб.: Питер, 2004. – 316 с.
7. Управление запасами в цепях поставок: учеб. пособ. / [Бадокин О. В., Лукинский В. В., Малевич Ю. В. и др.]; под общ. ред. В. С. Лукинского. – СПб.: СПбГИЭУ, 2010. – 372 с.
8. Миротин Л.Б. Эффективная логистика / Л.Б.Миротин, Ы. Э.Ташбаев, О. Г. Порошина. – М.: Экзамен, 2002. – 160 с.
9. Пономарьова Ю.В. Логістика: навч. посіб. – К.: Центр навч. літератури, 2005. – 328 с.



10. Rushton, A. The Handbook of Logistics and Distribution Management / A. Rushton, Ph. Croucher, P. Baker. –Ed. 3. – Chartered Institute of Logistics and Transport in the UK, Kogan Page Limited, 2006. – 612 p.
11. Сергеев В.И. Ключевые показатели эффективности логистики [Электронный ресурс] / Сергеев В.И. // СПб: НП Центр дистанционного образования «Элитариум», 2011 – Режим доступа: [http://www.elitarium.ru/2011/09/21/pokazateli\\_jeffektivnosti\\_logistiki.html](http://www.elitarium.ru/2011/09/21/pokazateli_jeffektivnosti_logistiki.html)
12. Стерлигова А. Н. Управление запасами в цепях поставок: учеб. / А. Н. Стерлигова. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 430 с.
13. Шапиро Дж. Моделирование цепи поставок / под ред. С.В.Лукинского. – СПб.: Питер, 2006. – 720 с.
14. Шрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами / Джон Шрайбфедер; Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 304 с.
15. Быков А. А. Оптимизация запасов на основе имитационного моделирования / А. А. Быков, Е. И. Велеско // Логистика. – 2004. – №1. – С. 19-21.
16. Коновалов С. В. Моделирование случайных процессов автомобильного транспорта: метод. указ. к сам. раб.: в 2 ч. Ч. 2. / С. И. Коновалов, В. В. Савин; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2004. – 52 с.
17. Якимов И.М. Имитационное моделирование системы управления запасами предприятия фиксированным временем поставок / И.М.Якимов, В.В.Хоменко, Г.Р. Аляутдинова // Вестник экономики, права и социологии. – 2015. – №4. – С.156-161.

#### REFERENCES

1. Markova N. O., Kioseva I. A. Imitating modelling of storekeeping // Bulletin of the Berdiansk university of management and business, 2015, no. №2(30), pp. 50-56. (Ukr)
2. Anikin B. A., Dybskaya I. N., Omelchenko I. N., Sergeev V. I., Tunakov A. P., Fedorov L. S., Naymark Yu. Yu., Sterligova A. N., Chudakov S. K., Anikin O. B. Logistics. Moscow, INFRA-M Publ., 2002. 368 p. (Rus)
3. Donald J. Bowersox, David J. Closs. Logistical Management The Integrated Supply Chain Process. Moscow, Olimp-Business Publ., 2008. 640 p. (Rus)
4. Gadzhinskiy A.M. Logistics. Moscow, Dashkov i K Publ., 2012. 484 p. (Rus)
5. Krykavsky Ye. V. Logistic management. Lviv, Lvivska politekhnik Publ., 2005. 684 p. (Ukr)
6. Martin Christopher. Logistics and supply chain management. Saint Petersburg, Piter Publ., 2004. 316 p. (Rus)
7. Badokin O. V., Lukinskiy V. V., Lukinskiy V. S., Malevich YU. V., Stepanova A. S., Shulzhenko T. G. Management by supplies in the chains of deliveries. Saint Petersburg, SPbGIEU Publ., 2010. 372 p. (Rus)
8. Mirotin L. B., Tashbaev I. E., Poroshina O. G. Effective logistics. Moscow, Ekzamen Publ., 2002. 160 p. (Rus)
9. Ponomarova Yu. V. Logistics. Kyiv, Tsentr navchalnoi literatury Publ., 2005. 328 p. (Ukr)
10. Rushton, A. The Handbook of Logistics and Distribution Management / A. Rushton, Ph. Croucher, P. Baker. –Ed. 3. – Chartered Institute of Logistics and Transport in the UK, Kogan Page Limited, 2006. 612 p.
11. Sergeev V. I. Key indicators of efficiency of logistics. Saint Petersburg, Elitarium Publ., 2011. Available at: [http://www.elitarium.ru/2011/09/21/pokazateli\\_jeffektivnosti\\_logistiki.html](http://www.elitarium.ru/2011/09/21/pokazateli_jeffektivnosti_logistiki.html) (Rus)
12. Sterligova A. N. Storekeeping in chains of deliveries. Upravlenie zapasami v tsepyakh postavok. Moscow, INFRA-M Publ., 2008. 430 p. (Rus)
13. Jeremy Shapiro. Modelling the Supply Chain. Saint Petersburg, Piter Publ., 2006. 720 p. (Rus)
14. Jon Schreiber. Achieving Effective Inventory Management. Moscow, Alpina Biznes Buks Publ., 2006. 304 p. (Rus)
15. Bykov A. A., Velesko E. I. Optimisation of stocks on the basis of imitating modelling. Logistics, 2004, no. 1, pp. 19-21. (Rus)
16. Kononov S. V., Savin V. V. Modelling of casual processes of motor transport. Vladimir, 2004. 52 p. (Rus)

17. Yakimov I. M., Khomenko V. V., Alyautdimova G. R. Imitating modelling of a control system by stocks of the enterprise with fixed time of deliveries. Bulletin of economy, the right and sociology, 2015, no. 4, pp. 156-161. (Rus)

### РЕФЕРАТ

Хаврук В. О. Статистичне імітаційне моделювання в управлінні запасами / В. О. Хаврук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Економічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 2 (38).

В статті розглядається метод статистичного імітаційного моделювання управління запасами, наведений алгоритм знаходження тимчасових рядів, що відображають процес руху запасів («надходження», «витрата», «залишок»).

Об'єкт дослідження – система управління запасами.

Мета роботи – провести дослідження методу статистичного імітаційного моделювання управління запасами і визначення законів розподілу таких випадкових величин як: попит (витрата), інтервал часу між замовленнями і терміну виконання замовлення.

Метод дослідження – аналіз та формалізація: показників системи управління запасами, методики визначення законів розподілу випадкових величин витрати запасів, інтервалу часу між замовленнями і терміну виконання замовлення.

Встановлено, що на початковому етапі статистичного імітаційного моделювання необхідне проведення аналізу інформації про процес руху запасів, на основі якого визначаються середні значення і середньоквадратичні відхилення значень модельованих параметрів. Одним із методів їх визначення є метод експертних оцінок.

З'ясовано, що основними законами розподілу випадкових величин виступають: нормальний, гамма-розподіл, розподіл Вейбулла, експоненціальний. Вибір закону розподілу здійснюється на основі коефіцієнта варіації.

Наводяться приклади визначення законів розподілу витрати запасів, інтервалу часу між замовленнями і терміну виконання замовлення; процесу надходження і витрати запасів при застосуванні стратегії управління запасами, коли замовлення здійснюються через рівні проміжки часу. Вказується на необхідність представлення результатів моделювання процесів витрати-поповнення запасів в табличному і в графічному виглядах.

Обґрунтовано застосування комп'ютерних програм, зокрема MathCAD, в якості генератора випадкових чисел.

Результати статті можуть бути використані для розробки та запровадження системи управління запасами будь-якими суб'єктами підприємницької діяльності, у випадку, коли виникає проблема низької ефективності роботи відділів постачання.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – розробка і уточнення методів визначення показників і застосування інших законів розподілу випадкових параметрів з використанням комп'ютерних програмних продуктів та їх впровадження в практичну діяльність підприємств.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВИПАДКОВЕ ЧИСЛО, ВИТРАТА, ЗАКОН РОЗПОДІЛУ, ЗАМОВЛЕННЯ, ЗАПАС, ІНТЕНСИВНІСТЬ, ІНТЕРВАЛ, КОЕФІЦІЄНТ ВАРІАЦІЇ, ПАРАМЕТР, СЕРЕДНЄ ЗНАЧЕННЯ, СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНЕ ВІДХИЛЕННЯ, ТЕРМІН.

### ABSTRACT

Khavruk V. O. Statistical imitating modelling in storekeeping. Visnyk National Transport University. Series «Economic sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2017. – Issue 2 (38).

In article it is considered the method of statistical imitating modelling of storekeeping, the algorithm of a finding of time numbers which display process of movement of stocks («receipt», «expense», «rest») is resulted.

Object of research – control system of stocks.

Purpose of the study – to conduct research of a method of statistical imitating modelling of storekeeping and definition of laws of distribution of such random variables as: demand (expense), time interval between orders and term of performance of the order.

Method of the study – the analysis and formalization: indicators of a control system of stocks, techniques of definition of laws of distribution of random variables of an expense of stocks, time interval between orders and term of performance of the order.

It is established that at the initial stage of statistical imitating modelling carrying out of the analysis of the information on process of movement of stocks on which basis average values and root-mean-square deviations of values of modelled parameters are defined is necessary. The method of expert estimations is one of methods of their definition.

It is found out that as organic laws of distribution of random variables act: normal, gamma distribution, weibullized distribution, exponential. The choice of the law of distribution is carried out on the basis of variation factor.

Examples of definition of laws of distribution of an expense of stocks, time interval between orders and term of performance of the order are resulted; to process of receipt and an expense of stocks at application of strategy of storekeeping when orders are carried out through equal time intervals. It is underlined necessities of representation of results of modelling of processes of an expense-replenishment of stocks in tabular and in a graphic kind.

Application of computer programs, in particular MathCAD, as the generator of random numbers is proved.

Results of article can be used for working out and introduction of a control system by stocks by any subjects of enterprise activity, in a case when there is a problem of low overall performance of departments of supply.

Forecast assumptions about the object of study – the working out and specifications of methods of definition of indicators and application of other laws of distribution of casual parameters with use of computer software products and their introduction in practical activities of the enterprises.

KEYWORDS: RANDOM NUMBER, THE EXPENSE, THE DISTRIBUTION LAW, THE ORDER, STOCK, INTENSITY, INTERVAL, VARIATION FACTOR, PARAMETER, AVERAGE VALUE, ROOT-MEAN-SQUARE DEVIATION, TERM.

#### РЕФЕРАТ

Хаврук В. А. Статистическое имитационное моделирование в управлении запасами / В. А. Хаврук // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Экономические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2017. – Вып. 2 (38).

В статье рассматривается метод статистического имитационного моделирования управления запасами, приведён алгоритм нахождения временных рядов, которые отображают процесс движения запасов («поступление», «затрата», «остаток»).

Объект исследования – система управления запасами.

Цель работы – провести исследование метода статистического имитационного моделирования управления запасами и определения законов распределения таких случайных величин как: спрос (затрата), интервал времени между заказами и срока выполнения заказа.

Метод исследования – анализ и формализация: показателей системы управления запасами, методики определения законов распределения случайных величин затраты запасов, интервала времени между заказами и срока выполнения заказа.

Установлено, что на начальном этапе статистического имитационного моделирования необходимо проведение анализа информации о процессе движения запасов, на основе которого определяются средние значения и среднеквадратичные отклонения значений моделируемых параметров. Одним из методов их определения есть метод экспертных оценок.

Выяснено, что в качестве основных законов распределения случайных величин выступают: нормальный, гамма-распределение, распределение Вейбулла, экспоненциальный. Выбор закона распределения осуществляется на основе коэффициента вариации.

Приводятся примеры определения законов распределения затраты запасов, интервала времени между заказами и срока выполнения заказа; процессу поступления и затраты запасов при применении стратегии управления запасами, когда заказы осуществляются через ровные промежутки времени.

Указывается на необходимости представления результатов моделирования процессов затраты-пополнения запасов в табличном и в графическом виде.

Обосновано применение компьютерных программ, в частности MathCAD, в качестве генератора случайных чисел.

Результаты статьи могут быть использованы для разработки и внедрения системы управления запасами любыми субъектами предпринимательской деятельности, в случае, когда возникает проблема низкой эффективности работы отделов снабжения.

Прогнозные предположения относительно развития объекта исследования – разработка и уточнения методов определения показателей и применения других законов распределения случайных параметров с использованием компьютерных программных продуктов и их внедрение в практическую деятельность предприятий.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** СЛУЧАЙНОЕ ЧИСЛО, РАСХОД, ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ, ЗАКАЗ, ЗАПАС, ИНТЕНСИВНОСТЬ, ИНТЕРВАЛ, КОЭФФИЦИЕНТ ВАРИАЦИИ, ПАРАМЕТР, СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ, СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ, СРОК.

#### **АВТОР**

Хаврук Володимир Олександрович, Національний транспортний університет, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: khavruk@gmail.com, тел.+380950187190, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.410.

#### **AUTHOR**

Khavruk Volodymir, National Transport University, assistant to chair of technical operation of cars and autoservice, e-mail: khavruk@gmail.com, tel.+380950187190, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 410.

#### **АВТОР**

Хаврук Владимир Александрович, Национальный транспортный университет, ассистент кафедры технической эксплуатации автомобилей и автосервиса, e-mail: khavruk@gmail.com, тел.+380950187190, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.410.

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Брегіда Федір Миколайович, кандидат технічних наук, ДП «ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ», завідувач Відділу дослідження та нормативно-правового забезпечення у сфері технічної експлуатації дорожніх транспортних засобів, e-mail: [to@insat.org.ua](mailto:to@insat.org.ua), тел.+380442010806, Україна, 03113, м. Київ, пр. Перемоги 57, к.714.

Посвятенко Едуард Карпович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, тел.+380442809805, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.102.

#### **REVIEWER:**

Bregida Fedir, Candidate of Science (Engineering), DP «DERGAUTOTRANSNDIPROJECT», Head of Department of research and is standard-legal maintenance in sphere of technical operation of road vehicles, e-mail: [to@insat.org.ua](mailto:to@insat.org.ua), tel.+380442010806, Ukraine, 03113, Kyiv, pr. Peremogy 57, of. 714.

Posviatenko Eduard, Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, department of manufactures, repair and materials technology, Kyiv, tel.+380442010806, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

#### **РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Брегиди Фёдор Николаевич, кандидат технических наук, ГП «ГОСАВТОТРАНСНДИПРОЭКТ», заведующий Отделом исследования и нормативно-правового обеспечения в сфере технической эксплуатации дорожных транспортных средств, e-mail: [to@insat.org.ua](mailto:to@insat.org.ua), тел.+380442010806, Украина, 03113, г. Киев, пр. Победы, 57, к. 714.

Посвятенко Эдуард Карпович, доктор технических наук, Национальный транспортный университет, профессор кафедры производства, ремонта и материаловедения, тел.+380442809805, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.102.