We consider the continuous stochastic optimization procedure with impulsive perturbation in semi-Markov environment. Sufficient conditions for convergence were established for the regression function, which depends on the uniform ergodic semi-Markov process, by using properties of extended compensating operator of the Markov renewal of procedure and its asymptotic representation of perturbed Lyapunov function.

Key words: *stochastic optimization procedure, semi-Markov process, compensating operator, impulsive perturbation.*

Отримано: 14.11.2013

УДК 330.51

В. П. Лісовська, канд. фіз.-мат. наук,
Ю. В. Ігнатова, асистент,
Л. В. Іващенко, аспірант

ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана», м. Київ

МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ЗЕРНОПЕРЕРОБНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ З ГІСТЕРЕЗИСНИМ ПЕРЕМИКАННЯМ ІНТЕНСИВНОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

У статі запропоновано модель управління зернопереробним підприємством з використанням апарату систем масового обслуговування. На основі математичної моделі роботи зернопереробного підприємства в динаміці отримано прогноз функціонування підприємства на фазі прийому зернових культур та його основні операційні характеристики.

Ключові слова: *зернопереробне підприємство, системи масового обслуговування, вхідний потік вимог, розв'язки в динаміці, стаціонарний режим.*

Вступ. Зернопродуктовий підкомплекс АПК є важливою складовою економіки України, його розвиток значною мірою визначає рівень забезпечення населення достатньою кількістю вітчизняних продуктів харчування та соціально-економічну ситуацію в країні.

Виробництво зерна як складова частина зернопродуктового підкомплексу за суспільно-економічним значенням було і є пріоритетним напрямом на всіх етапах розвитку сільського господарства України. За рахунок власного виробництва забезпечується потреба держави в зерні продовольчого призначення, в насіннєвому матеріалі, сировині для пивоварної, спиртової, комбікормової галузей. Україна має значні потенціальні можливості для нарощування експорту зерна.

Вивчення комплексу виробничих процесів післязбиральної обробки зерна передбачає системний підхід. «Хлібоприймальне підприємство розглядають як систему, що складається з елементів, кожний з яких складає математичний опис окремого процесу (приймання, відпуску, очищення, сушіння та ін.)» [5, с. 172].

Постановка проблеми. Метою цієї статті є розробка математичної моделі, яка імітує процес функціонування зернопереробного підприємства задля одержання операційних характеристик підприємства. Причому, при побудові адекватної моделі управління зернопереробним підприємством необхідно максимально враховувати технологічні особливості функціонування підприємств зернопереробної підгалузі, а саме переміщення зерна відповідними виробничими маршрутами, які забезпечать завчасну оцінку та подальше корегування діяльності зернопереробного підприємства на кожній виробничій фазі.

Для докладного опису діяльності зернопереробного підприємства, оцінки впливу різних параметрів на його характеристики функціонування, виявлення переваг і недоліків запропонованих змін та прогнозування подальшої ефективної діяльності, доцільно використовувати «один з найбільш потужних і найбільш ефективних методів дослідження процесів та систем різної природи та ступені складності — метод імітаційного моделювання» [4, с. 7]. Методи та моделі управління зернопереробним підприємством, які використовуються на сьогоднішній день і представлені, наприклад у роботі [5], є досить жорсткими та привертають увагу до вивчення проблеми гнучкості в управлінні зернопереробним підприємством. Модель, яка описує діяльність зернопереробного підприємства має легко адаптуватись до виробничого процесу конкретного підприємства, перебудовуватись в залежності від фази обслуговування (приймання, відпуску, очищення, сушіння та ін.).

Найкращою ілюстрацією області використання імітаційного моделювання, за оцінкою [3], є системи та мережі масового обслуговування (СМО та ММО), в термінах яких на сьогоднішній день описується багато реальних систем: обчислювальні системи, вузли мереж зв'язку, магазини, виробничі процеси — будь-які системи, де можливі черги та відмови в обслуговуванні. На відміну від існуючих методів управління зернопереробним підприємством, СМО є дуже гнучкими та легко адаптуються під будь-яку фазу обслуговування: «СМО та ММО відрізняються високою наочністю відображення об'єктів, що моделюються і внаслідок цього порівняною простотою переходу від реальних об'єктів до математичного моделювання» [2, с. 7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями управління сільськогосподарськими підприємствами в галузі зберігання та переробки зерна і близьких галузей були присвячені праці таких вчених як: С. П. Пункова, А. І. Стародубцевої, І. П. Богомолової та ін. Ці автори приділяють увагу лише економічній складовій діяльності зернопереробного підприємства, а не сукупності технологічної та економічної складових.

З неупереджоного і критичного погляду на праці останнього часу, наприклад [1], та літературних джерел у ньому, зроблено висновок, що управління виробництвом за сукупністю технологічних та економічних показників для зернопереробної підгалузі є переважнішим за управління виробництвом на основі лише економічних показників.

Виклад основних результатів дослідження. Робота елеватора вдало описується моделями теорії масового обслуговування (ТМО). Так, наприклад, будь-яке зернопереробне підприємство можна представити у вигляді системи масового обслуговування. Представимо елеватор, як однофазову систему масового обслуговування, до якої надходить пуассонівський потік вимог на обробку зернових культур (прийом зернових) із параметром λ т/год. Обслуговування вимог може проходити в двох режимах, інтенсивність обслуговування в кожному з яких є величиною, яка має експоненціальний закон розподілу ймовірностей із параметрами μ_1 та μ_2. Обслуговування вимог з інтенсивністю μ_1 т/год. (основний режим) відбувається з того моменту, коли прибуває перша вимога до того часу коли число вимог не перевищить заданого порогового числа k ($0 \le K \le 8$). Перемикання на обслуговування з інтенсивністю μ_2 т/год. (післяпороговий режим) з імовірністю p відбувається в той момент, коли число вимог у системі стає рівним $k+1$. Повернення до основного режиму обслуговування з імовірністю q відбувається в той момент, коли число вимог у системі зменшується до $k_1 = 4$. Докладніше роботу елеватора представлено на рис. 1.

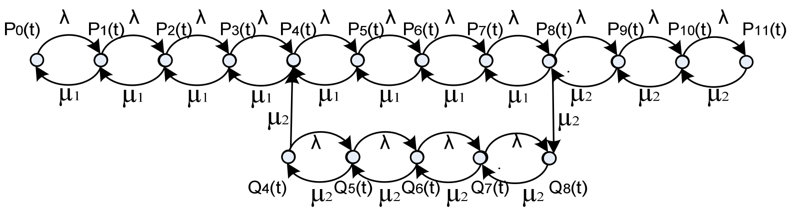

Рис. 1. *Узагальнена схема прийому зернових культур на елеваторі*

Схема представлена на рис. 1 має один канал обслуговування і при цьому кількість вимог в черзі обмежується розміром каналу обслуговування.

Стохастична модель роботи елеватора в динаміці представлена системою однорідних лінійних диференційних рівнянь

$$\begin{cases}
P_0'(t) = -\lambda P_0(t) + \mu_1 P_1(t), \\
P_1'(t) = -(\lambda + \mu_1) P_1(t) + \lambda P_0(t) + \mu_1 P_2(t), \\
P_2'(t) = -\left(\lambda + \mu_1\right) P_2(t) + \lambda P_1(t) + \mu_1 P_3(t), \\
P_3'(t) = -\left(\lambda + \mu_1\right) P_3(t) + \lambda P_2(t) + \mu_1 P_4(t), \\
P_4'(t) = -\left(\lambda + \mu_1\right) P_4(t) + \lambda P_3(t) + \mu_1 P_5(t) + \mu q Q_4(t), \\
P_5'(t) = -\left(\lambda + \mu_1\right) P_5(t) + \lambda P_4(t) + \mu_1 P_6(t), \\
P_6'(t) = -\left(\lambda + \mu_1\right) P_6(t) + \lambda P_5(t) + \mu_1 P_7(t), \\
P_7'(t) = -\left(\lambda + \mu_1\right) P_7(t) + \lambda P_6(t) + \mu_1 P_8(t), \\
P_8'(t) = -\left(\lambda + \mu_1\right) P_8(t) + \lambda P_7(t) + \mu_1 P_9(t), \\
P_9'(t) = -\left(\lambda + \mu_2 q\right) P_9(t) + \lambda P_8(t) + \mu_1 P_{10}(t), \\
P_{10}'(t) = -\left(\lambda + \mu_2 p\right) P_{10}(t) + \lambda P_9(t) + \mu_1 P_{11}(t), \\
P_{11}'(t) = -\mu_2 p P_{11}(t) + \lambda P_{10}(t), \\
Q_8'(t) = -\left(\lambda + \mu_2 q\right) Q_8(t) + \lambda Q_7(t) + \mu_2 q P_9(t), \\
Q_7'(t) = -\left(\lambda + \mu_2 q\right) Q_7(t) + \lambda Q_6(t) + \mu_2 q Q_8(t), \\
Q_6'(t) = -\left(\lambda + \mu_2 q\right) Q_6(t) + \lambda Q_5(t) + \mu_2 q Q_7(t), \\
Q_5'(t) = -\left(\lambda + \mu_2 q\right) Q_5(t) + \lambda Q_4(t) + \mu_2 q Q_6(t), \\
Q_4'(t) = -\left(\lambda + \mu_2 q\right) Q_4(t) + \mu_2 q Q_4(t),
\end{cases} \tag{1}$$

де $P_k\left(t\right)$ — стан системи при обслуговуванні $0 \le k \le 11$ вимог; $Q_m\left(t\right)$ — стан системи при обслуговуванні $4 \le m \le 8$ вимог.

Переставимо систему (1) в векторно-матричній формі

$$\frac{d\vec{P}\left(t\right)}{dt} = A \cdot \vec{P}\left(t\right),$$

де

$$\vec{P}(t) = \begin{pmatrix} P_0\ (t) \\ P_1\ (t) \\ P_2\ (t) \\ \vdots \\ Q_6\left(t\right) \\ Q_5\left(t\right) \\ Q_4\left(t\right) \end{pmatrix}$$

вектор ймовірностей станів підприємства в момент часу t; A — квадратна матриця вигляду

$$A=\begin{pmatrix} -\lambda & \mu_1 & 0 & \dots & 0 \\ \lambda & -(\lambda+\mu_1) & \mu_1 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda & -(\lambda+\mu_1) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -(\lambda+\mu_2) \end{pmatrix}.$$

Якщо, $\vec{P}(t)=T\cdot\vec{y}(t)$, то

$$T\frac{d\vec{y}(t)}{dt}=AT\vec{y}(t)\to\frac{d\vec{y}(t)}{dt}=T^{-1}AT\vec{y}(t)=D\vec{y}(t). \qquad (2)$$

Отже, матриця А приведено до діагонального вигляду, в якій елементи головної діагоналі є характеристичні корені β_n системи (1), а решта дорівнюють 0.

Розв'язуючи рівняння (2), одержимо:

$$\begin{pmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_n(t) \end{pmatrix}=\left(y_1(0),y_2(0)\dots,y_n(0)\right)\begin{pmatrix} e^{\beta_1 t} \\ e^{\beta_2 t} \\ \vdots \\ e^{\beta_n t} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} y_1(0)e^{\beta_1 t} \\ y_2(0)e^{\beta_2 t} \\ \\ y_n(0)e^{\beta_n t} \end{pmatrix},$$

де компоненту $y_n(0)$ знаходимо як $\vec{y}(0)=T^{-1}\vec{P}(0)$.

Визначивши вектор $\vec{y}(t)$, одержимо розв'язки системи (1):

$$\vec{P}(t)=T\cdot\vec{y}(t). \qquad (3)$$

Встановимо такі початкові умови: нехай інтенсивність надходження зернових складає 5 т/год., інтенсивність обслуговування в основному режимі складає 10 т/год., в після граничному 20 т/год. Імовірність функціонування в основному режимі обслуговування складає 0,5, в після граничному — 0,5. Тоді, $\lambda=\frac{5}{60}$, $\mu_1=\frac{10}{60}$, $\mu_2=\frac{20}{60}$, $p=0,5$, $q=0,5$.

Доведемо, що система (1) є стійкою. Приведемо її характеристичні корені:

Таблиця 1

Характеристичні корені системи однорідних лінійних диференційних рівнянь (1)

Корінь	**Значення**
β_1	– 0.4729 + 0.0083 I
β_2	– 0.4729 – 0.0083 I
β_3	– 0.4305

Продовження таблиці 1

β_4	– 0.4153
β_5	– 0.3947
β_6	– 0.3496
β_7	– 0.2995
β_8	– 0.2682
β_9	– 0.25
β_{10}	– 0.1646 + 0.0179 I
β_{11}	– 0.1646 - 0.0179 I
β_{12}	– 0.1158
β_{13}	– 0.0834
β_{14}	– 0.0467 + 0.0092 I
β_{15}	– 0.0467 – 0.0092 I
β_{16}	– 0.0206
β_{17}	0

Оскільки дійсна частина всіх характеристичних коренів є від'ємною, то за теоремою Ляпунова [6, с. 67]: «Лінійна однорідна система із сталими коефіцієнтами стійка по Ляпунову тоді і тільки тоді, коли серед характеристичних чисел матриці коефіцієнтів немає таких дійсних частин, які є додатними, а уявні та нульові характеристичні числа є або простими або мають тільки прості елементарні дільники; лінійна однорідна система із сталими коефіцієнтами асимптотично стійка тоді і тільки тоді, коли всі власні характеристичні числа матриці коефіцієнтів мають від'ємні дійсні частини, можна стверджувати, що система є стійкою». Так, за допомогою пакету Wolfram Mathematica, отримаємо матрицю власних векторів T моделі (1):

$$\begin{pmatrix}
0.1965+0.0137I & 0.1965-0.0137I & -0.3254 & \ldots & -0.7202 & -0.8689 & -0.8678 \\
-0.4596-0.0222I & -0.4596+0.0222 & 0.6771 & \ldots & -0.1566 & -0.3245 & -0.4313 \\
0.5169 & 0.5169 & -0.5701 & \ldots & 0.1695+0.0568I & -0.0139 & -0.2144 \\
-0.4616+0.0367I & -0.4616-0.0367I & 0.2797 & \ldots & 0.2873+0.0402I & 0.1423 & -0.1065 \\
0.3575-0.0719I & 0.3575+0.0719I & -0.0189 & \ldots & 0.2677+0.0049I & 0.2023 & -0.0529 \\
-0.2433+0.012I & -0.2433-0.012I & -0.0136 & \ldots & 0.2543+0.0049O & 0.1241 & -0.0255 \\
0.1465+0.0076I & 0.1465-0.007I & 0.0241 & \ldots & 0.1833+0.1341I & 0.0699 & -0.0118 \\
-0.075-0.0089I & -0.075+0.0089I & -0.0193 & \ldots & 0.1042+0.0917I & 0.0343 & -0.005 \\
0.0278+0.0043I & 0.0278-0.0043I & 0.0089 & \ldots & 0.0408+0.0393I & 0.0124 & -0.0017 \\
-0.0252-0.0416I & -0.0252+0.0416 & -0.0245 & \ldots & -0.0206+0.0183 & 0.0627 & -0.0016 \\
0.0107+0.0199I & 0.0107-0.0199I & 0.0158 & \ldots & -0.022+0.0127I & 0.0388 & -0.0008 \\
-0.0027-0.0055I & -0.0027+0.0055 & -0.005 & \ldots & -0.0158+0.0076 & 0.0221 & -0.0004 \\
0.0228+0.0652I & 0.0228-0.0652I & 0.0129 & \ldots & -0.0449-0.0179I & 0.0827 & -0.0016 \\
-0.0174-0.0897I & -0.0174+0.0897 & 0.0211 & \ldots & -0.0705-0.0754I & 0.1022 & -0.0016 \\
0.01+0.109I & 0.01-0.109I & -0.0719 & \ldots & -0.0904-0.1406I & 0.1158 & -0.0015 \\
-0.0029-0.1124I & -0.0029+0.1124 & 0.1144 & \ldots & -0.095-0.1822I & 0.1145 & -0.0013 \\
-0.0009+0.0837I & -0.0009-0.0837I & -0.1053 & \ldots & -0.0711-0.1528I & 0.0833 & -0.0008
\end{pmatrix}$$

Знайдемо $\vec{y}(0)$ при заданому векторі початкового стану перебування системи: $\vec{P}(0)=\begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\\0\\\vdots\\0\\0\\0\\0\end{pmatrix}$, який показує, що в початковий момент часу система перебувала в стані простою. Тоді,

$$\vec{y}(0)=\begin{pmatrix}y_1(0)\\y_2(0)\\y_3(0)\\y_4(0)\\y_5(0)\\y_6(0)\\y_7(0)\\y_8(0)\\y_9(0)\\y_{10}(0)\\y_{11}(0)\\y_{12}(0)\\y_{13}(0)\\y_{14}(0)\\y_{15}(0)\\y_{16}(0)\\y_{17}(0)\end{pmatrix}=T^{-1}\cdot\vec{P}=T^{-1}\cdot\begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\\0\\0\\0\\0\\0\\0\\0\\0\\0\\0\\0\\0\\0\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0,0071+0,0061i\\0,0071-0,0061i\\-0,1209\\-0,1374\\-0,1319\\-0,0126\\-0,1681\\-0,2409\\0,278\\0,0593+0,0091i\\0,0593-0,0091i\\0,0773\\-0,1047\\-0,0495+0,0225i\\-0,0495-0,0225i\\-0,0439\\-0,5792\end{pmatrix}$$

А отже,

$$\begin{pmatrix} \dfrac{dy_2(t)}{dt} \\ \dfrac{dy_3(t)}{dt} \\ \vdots \\ \dfrac{dy_{24}(t)}{dt} \\ \dfrac{dy_{25}(t)}{dt} \\ \dfrac{dy_{26}(t)}{dt} \end{pmatrix} = D \cdot \begin{pmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ \vdots \\ y_{24}(t) \\ y_{25}(t) \\ y_{26}(t) \end{pmatrix} \to \begin{pmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ \vdots \\ y_{24}(t) \\ y_{25}(t) \\ y_{26}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (0,0071+0,0061i)e^{(-0,4729+0,0083i)t} \\ (0,0071-0,0061i)e^{(-0,04729-0,0083i)t} \\ -0,1209e^{-0,4305t} \\ \vdots \\ (-0,0495-0,0225i)e^{(-0,0467-0,0092i)t} \\ -0,0439e^{-0,0206t} \\ -0,5792 \end{pmatrix}$$

Значить,

$$\begin{pmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \\ \vdots \\ Q_6(t) \\ Q_5(t) \\ Q_4(t) \end{pmatrix} = T \cdot \begin{pmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ \vdots \\ y_{15}(t) \\ y_{16}(t) \\ y_{17}(t) \end{pmatrix} = T \cdot \begin{pmatrix} (0,0071+0,0061i)e^{(-0,4729+0,0083i)t} \\ (0,0071-0,0061i)e^{(-0,04729-0,0083i)t} \\ -0,1209e^{-0,4305t} \\ \vdots \\ (-0,0495-0,0225i)e^{(-0,0467-0,0092i)t} \\ -0,0439e^{-0,0206t} \\ -0,5792 \end{pmatrix}.$$

Результати розв'язку системи (1) приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Імовірнісний прогноз функціонування підприємства на фазі прийому двох потоків зернових культур в залежності від часу t, хв.

Стан	**Початковий вектор** $\vec{P}$	$t=0$	$t=10$	$t=20$	$t=30$	$t=50$	$t=80$	$t=100$	$t=100$	$t\to\infty$
P_0	1	1	0.6578	0.5823	0.5513	0.5253	0.5119	0.5082	0.5029	0.5029
P_1	0	0	0.2505	0.2629	0.2611	0.2565	0.2529	0.2518	0.2499	0.2499
P_2	0	0	0.0721	0.1044	0.1153	0.1218	0.1238	0.1241	0.1242	0.1242
P_3	0	0	0.0161	0.036	0.0467	0.0557	0.0597	0.0606	0.0617	0.0617
P_4	0	0	0.0029	0.0107	0.0172	0.0243	0.0282	0.0293	0.0306	0.0306
P_5	0	0	0.0005	0.0028	0.0058	0.0101	0.013	0.0138	0.0147	0.0147
P_6	0	0	0	0.0006	0.0018	0.0039	0.0057	0.0062	0.0068	0.0068
P_7	0	0	0	0.0001	0.0005	0.0014	0.0023	0.0026	0.0029	0.0029
P_8	0	0	0	0	0.0001	0.0004	0.0008	0.0009	0.001	0.001

Продовження таблиці 2

P_9	0	0	0	0	0	0.0002	0.0004	0.0006	0.0009	0.0009
P_{10}	0	0	0	0	0	0	0.0002	0.0003	0.0005	0.0005
P_{11}	0	0	0	0	0	0	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
Q_8	0	0	0	0	0	0.0001	0.0004	0.0005	0.0009	0.0009
Q_7	0	0	0	0	0	0.0001	0.0003	0.0005	0.0009	0.0009
Q_6	0	0	0	0	0	0.0001	0.0002	0.0004	0.0008	0.0008
Q_5	0	0	0	0	0	0.0001	0.0002	0.0003	0.0007	0.0007
Q_4	0	0	0	0	0	0	0.0001	0.0001	0.0004	0.0004

Як видно з таблиці 2, найбільше змінюються в часі імовірність стану P_0, в той час як інші імовірності змінюються незначно і є близькими до нуля.

У тому випадку, якщо система буде функціонувати в стаціонарному режимі, тобто незалежно від часу t система (1) набуде вигляду:

$$\begin{cases} -\lambda P_0 + \mu_1 P_1 = 0, \\ -(\lambda + \mu_1)P_0 + \lambda P_0 + \mu_1 P_2 = 0, \\ -(\lambda + \mu_1)P_2 + \lambda P_1 + \mu_1 P_3 = 0, \\ -(\lambda + \mu_1)P_0 + \lambda P_0 + \mu_1 P_2 = 0, \\ -(\lambda + \mu_1)P_4 + \lambda P_3 + \mu_1 P_5 + \mu_2 q Q_4 = 0, \\ -(\lambda + \mu_1)P_5 + \lambda P_4 + \mu_1 P_6 = 0, \\ -(\lambda + \mu_1)P_6 + \lambda P_5 + \mu_1 P_7 = 0, \\ -(\lambda + \mu_1)P_7 + \lambda P_6 + \mu_1 P_8 = 0, \\ -(\lambda + \mu_1)P_8 + \lambda P_7 + \mu_1 P_9 = 0, \\ -(\lambda + \mu_2 q)P_9 + \lambda P_8 + \mu_1 P_{10} = 0, \\ -(\lambda + \mu_2 p)P_{10} + \lambda P_9 + \mu_1 P_{11} = 0, \\ -\mu_2 p P_{11} + \lambda P_{10} = 0, \\ -(\lambda + \mu_2 q)Q_8 + \lambda Q_7 + \mu_2 q P_9 = 0, \\ -(\lambda + \mu_2 q)Q_7 + \lambda Q_6 + \mu_2 q Q_8 = 0, \\ -(\lambda + \mu_2 q)Q_6 + \lambda Q_5 + \mu_2 q Q_7 = 0, \\ Q_5^{/} = -(\lambda + \mu_2 q)Q_5 + \lambda Q_4 + \mu_2 q Q_6 = 0, \\ -(\lambda + \mu_2 q)Q_4 + \mu_2 q Q = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Додамо до системи (4) умову нормування $\sum_{n=0}^{n_1} \sum_{m=0}^{m_1} \left(P_{n,m} + Q_{n,m} \right) = 1$ і замінюючи нею будь-яку ймовірність в системі (4) отримаємо систему вигляду

$$A \cdot \vec{P} = \vec{B}, \tag{5}$$

де $\vec{B}$ — вектор вільних членів вигляду $\vec{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$; матриця A має вигляд коефіцієнтів при невідомих системи (5), тобто у останньому рядку використано умову нормування.

Звідси, розв'язок системи (1) буде: $\vec{P} = A^{-1}\vec{B}$. Отримаємо:

Таблиця 3

Імовірнісний прогноз функціонування підприємства на фазі прийому двох потоків зернових культур в стаціонарному режимі роботи

Стан	**Ймовірність**	**Стан**	**Ймовірність**	**Стан**	**Ймовірність**	**Стан**	**Ймовірність**
P_0	0.5029	P_5	0.0147	P_{10}	0.0005	Q_5	0.0007
P_1	0.2499	P_6	0.0068	P_{11}	0.0002	Q_4	0.0004
P_2	0.1242	P_7	0.0029	Q_8	0.0009		
P_3	0.0617	P_8	0.001	Q_7	0.0009		
P_4	0.0306	P_9	0.0009	Q_6	0.0008		

А отже, розв'язки системи (1) в динаміці при виході системи в стаціонар збігаються з розв'язками системи (4).

Висновки. На підґрунті прийнятого концептуального положення щодо доцільності та ефективності використання СМО для моделювання діяльності зернопереробного підприємства, запропонована математична модель (ММ) функціонування елеватора на фазі прийому зернових культур з гістерезісним перемиканням інтенсивності обслуговування.

Отримані в праці вирази для залежних змінних ММ дозволяють отримати ймовірності перебування підприємства в тому чи іншому стані роботи. Оскільки оцінки ймовірностей залежать від часу *t*, то можна говорити про опис діяльності підприємства в динаміці. Також доведено, що незалежно від стану початкового вектора $\vec{P}$ підприємство входить в стаціонарний режим роботи з однією і тією ж імовірністю, за один і той же час.

Наведена модель управління зернопереробним підприємством дозволяє спрогнозувати поведінку підприємства на фазі прийому зернових, визначити основні обсяги надходження зерна, а отже і прибутку від здійснення даної операції за відповідний час. Також, легко визначити час перебування партій зернових в черзі, що в свою чергу дозволяє спрогнозувати виникнення штрафів за простої автомобілів та відповідно їх скорегувати. Причому використання даної моделі є досить гнучким, оскільки дозволяє налаштуватися на будь-яку фазу обслуговування (прийом, відпуск, очищення, сушіння та ін.), корегуючи відповідно параметри λ та μ, і отримати прогноз діяльності підприємства, як в динаміці, так і в стаціонарному режимі.

Список використаних джерел:

1. Жлуктенко В. І. Стохастичні моделі в економіці : монографія / В. І. Жлуктенко, А. В. Бєгун. — К. : КНЕУ, 2005. — 352 с.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок ; пер. с англ. И. И. Грушко ; ред. В. И. Нейман. — М. : Машиностроение, 1979. — 432 с.
3. Саати Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т. Л. Саати. — М. : Советское радио, 1965. — 510 с.
4. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука / Р. Шеннон. — М. : Мир, 1978. — 418 с.
5. Пунков С. П. Элеваторно-складская промышленность / С. П. Пунков, А. И. Стародубцева. — М. : Колос, 1980. — 256 с.
6. Чезари Л. Асимптотическое поведение и устойчивость решений обыкновенных диференциальных уравнений / Л. Чезари. — М. : Мир, 1964. — 477 с.
7. Жерновый Ю. В. Стационарные характеристики систем $M^X / M / 1$ с гистерезисным переключением интенсивности обслуживания / Ю. В. Жерновый // Информационные процесы. — 2012. — Т. 12, №4. — С. 331-352.

The article suggested model of grain processing enterprises with the use of queuing systems. Based on the mathematical model of grain-processing enterprises in dynamic prediction function obtained on admission phase grains and its main operational characteristics.

Key words: *grain processing enterprise queuing system, the input flow requirements, solutions in the dynamics, steady mode.*

Отримано: 28.11.2013