

## РОЗРОБКА МАРКІВСЬКОЇ МОДЕЛІ СТАНІВ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТНО КЕРОВАНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ

**В. А. Вайсман**, *д-р техн. наук, доцент,  
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса*

*Показано, що система управління організації може бути представлена за допомогою однорідних марківських ланцюгів з дискретними станами і часом. Розроблена марківська модель враховує топологію системи і особливості процесів верстатобудівного виробництва.*

**Ключові слова:** *марківська модель, управління, проекти, виробництво.*

*Показано, что система управления организации может быть представлена с помощью однородных марковских цепей с дискретными состояниями и временем. Разработанная марковская модель учитывает топологию системы и особенности процессов станкостроительного производства.*

**Ключевые слова:** *марковская модель, управление, проекты, производство.*

Глобальні тренди щодо проектизації бізнесу спричинені ускладненням технологій та кінцевих продуктів проектів, а також очікуваннями щодо скорочення циклу виробництва і зниження вартості продуктів. Рівень ринкової конкуренції для машинобудівних підприємств визначається елементами середовища, основними з яких є: технології, ресурси, персонал, менеджмент, ринок і проекти. Доступність і потенційні можливості впливу на ці елементи, окрім менеджменту, майже однакові в межах окремої предметної галузі. Вдосконалення менеджменту на засадах проактивних підходів та нової філософії управління проектно керованими організаціями (ПКО) надає потенційні можливості поліпшення результативності проектів у разі [1]. Тому трансформація організацій у напрямку проактивного управління проектами та програмами є пріоритетним напрямом сталого розвитку підприємств.

Істотним недоліком відомих проектноорієнтованих організацій є акцентування основної уваги на перші фази життєвого циклу (ЖЦ) проектів – проектування і впровадження. Подальша фаза ЖЦ – операційна діяльність, яка безпосередньо пов'язана із завданнями ефективності організацій, як правило, не розглядається. Відсутність в рамках ПКО інформаційних технологій і методів постійного вдосконалення, що враховують взаємозв'язок елементів системи і зміни турбулентного оточення, призводить до відчутних ресурсних витрат на подальший розвиток системи управління [2].

ПКО включає мережу процесів, що рекомендовані стандартом ISO 9001 для створення продукту (рис. 1). Кожен процес відповідає певному стану ПКО. У цьому випадку загальний час  $T$  виготовлення продукту є сумою часу перебування проекту продукту (верстата) у кожному з процесів:

$$T = \sum_{s=1}^n t_s,$$

де  $t_s$  - час перебування проекту в процесі  $s$ ,  $s = 1, 2, \dots, n$ ;

$n$  – число процесів.

У кожному з процесів система перебуває певний час при виробництві продукту. Відношення  $p_s = \frac{t_s}{T}$  має сенс ймовірності (частоти)

перебування проекту в деякому процесі  $s$ . Сума ймовірностей перебування системи в кожному з множини станів  $n$  дорівнює одиниці:

$$\sum_{s=1}^n p_s = \sum_{s=1}^n \frac{t_s}{T} = \frac{1}{T} \sum_{s=1}^n t_s = 1.$$

Позначимо через  $S = \{S_1 \dots S_n\}$  можливі стани системи [3]. Ці стани утворюють несумісну групу подій. У розміченому графі станів ПКО над дугами зазначені ідентифікатори умовних ймовірностей переходів системи з одного стану в інший (рис. 1). На графі відображені лише такі переходи, для яких перехідні ймовірності не дорівнюють нулю. «Ймовірність затримки»  $P_{ii}$  не показана, оскільки кожна з них доповнює до одиниці суму ймовірностей, що відповідають усім переходам із цього стану.

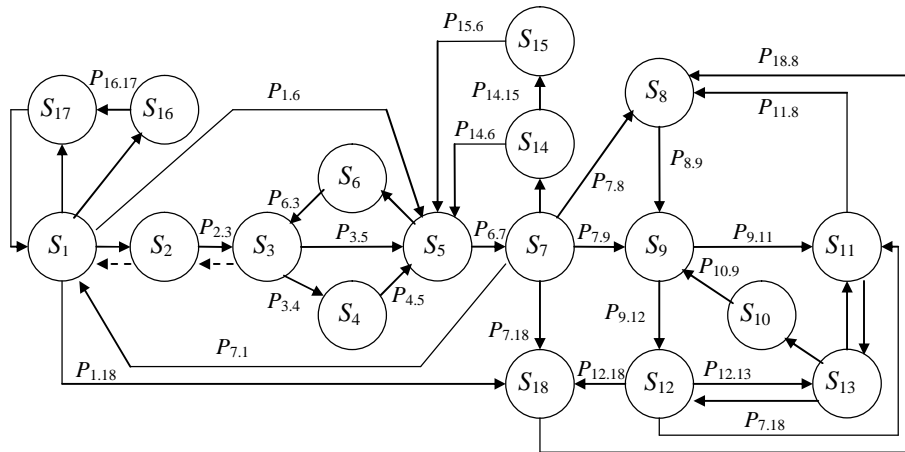


Рисунок 1 – Розмічений граф станів системи:

- |                                 |                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1 – адміністративне управління; | 10 – контроль постачань;          |
| 2 – система менеджменту якості; | 11 – виробництво продукту;        |
| 3 – управління персоналом;      | 12 – контроль і випробування;     |
| 4 – компетентність персоналу;   | 13 – управління ЗВТ;              |
| 5 – створення продукту;         | 14 – управління документацією;    |
| 6 – план навчання;              | 15 – управління інфраструктурою;  |
| 7 – взаємодія із споживачем;    | 16 – внутрішній аудит СМК;        |
| 8 – проектування продукту;      | 17 – безперервна модернізація ;   |
| 9 – закупівлі;                  | 18 – оцінка задоволення споживача |

Обґрунтуємо можливість опису ПКО за допомогою марківських ланцюгів.

Під випадковим процесом розуміють процес випадкової зміни станів якої-небудь фізичної або технічної системи у часі або залежно від іншого аргументу [3]. Така зміна станів у часі притаманна реальним проектам ПКО, які мають множини процесів, кожний з яких відображає певний етап створення продукту. Ці етапи і є станами системи, що можна обґрунтувати такими властивостями системи управління.

По-перше, всі стани системи прив'язані до продукту. Тобто проект продукту проходить всі стани від „задуму” – віртуальної моделі – до

матеріального втілення. При цьому унаслідок випадкових впливів оточення проекту траєкторія переходів між станами також є випадковою.

По-друге, переходи з кожного стану строго визначені посадовими інструкціями виконавців. Більш того, ці переходи нормовані, оскільки всі технологічні операції під час виробництва продукту виконуються відповідно до затверджених нормативів трудомісткості, які визначаються на основі виробничого досвіду. Таким чином, ймовірності переходів із деякого стану в інші за один крок можна визначити виходячи з виробничих даних щодо часу взаємодії операцій цього стану з наступними станами (етапами).

Схема процесів ПКО, що відображає випадковий процес з дискретними станами і часом, формує випадкову послідовність, яка володіє марківською властивістю (рис. 1). Марківська властивість виражається за відсутності післядії. Тобто переходи в інші стани не залежать від того яким чином система опинилась у цьому стані. З огляду на те що переходи з кожного стану ПКО визначені посадовими інструкціями і нормовані за часом відповідно до затверджених нормативів трудомісткості, можна вважати марківський ланцюг, що описує ПКО, однорідним, оскільки перехідні ймовірності з деякого стану в інші залишаються постійними в ході процесу. Слід наголосити на тому, що унаслідок проектного управління і удосконалення виробничих процесів можна змінювати перехідні ймовірності. Під час зміни перехідних ймовірностей буде здійснено перехід до однорідного марківського ланцюга з іншими параметрами переходів.

Таким чином, ймовірнісна сутність ПКО повною мірою відображається однорідним марківським ланцюгом з дискретними станами. Конкретне проходження процесу залежить від ряду випадкових, наперед не передбачених чинників, таких, як кваліфікація персоналу, технічний рівень і стан устаткування, управлінські рішення, мотивація персоналу та ін.

Опишемо марківський ланцюг за допомогою методу ймовірності станів [3]. Розглядаємо випадковий однорідний марківський процес з дискретними станами. Дискретні стани системи показані на розміченому графі (рис. 1). В однорідному марківському ланцюзі перехідна ймовірність не змінюється у часі. Дискретність означає, що стани системи змінюються в деякі моменти часу стрибкоподібно. Для відображення результатів опису систем за допомогою марківських ланцюгів замість координати часу використовують номери кроку, пов'язаного з впливом на систему. У моменти дії на систему відбувається її зміна, яка виражається в зміні ймовірності станів. При цьому у будь-який момент часу (після будь-якого  $k$ -го кроку) система  $S$  може бути в одному зі станів:  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ , тобто здійсниться одна з повної групи несумісних подій  $S_1^{(k)}, S_2^{(k)}, \dots, S_n^{(k)}$ .

Позначимо ймовірності цих подій:

$p_1(1) = \mathcal{P}(S_1^{(1)}); p_2(1) = \mathcal{P}(S_2^{(1)}); \dots; p_n(1) = \mathcal{P}(S_n^{(1)})$  – ймовірності після першого кроку;

$p_1(2) = \mathcal{P}(S_1^{(2)}); p_2(2) = \mathcal{P}(S_2^{(2)}); \dots; p_n(2) = \mathcal{P}(S_n^{(2)})$  – ймовірності після другого і наступних кроків;

$p_1(k) = \mathcal{P}(S_1^{(k)}); p_2(k) = \mathcal{P}(S_2^{(k)}); \dots; p_n(k) = \mathcal{P}(S_n^{(k)})$  – ймовірності  $k$ -го кроку.

Приведені вище залежності дозволяють виконати моделювання станів ПКО, яка функціонує за певною структурою інформаційних зв'язків.

Для будь-якого кроку  $k$  (моменту часу  $t_1, t_2, \dots, t_k$ ) існує ймовірність переходу системи з деякого стану в будь-який інший, а також

ймовірність затримки системи у цьому стані, що є марківською властивістю системи. Оскільки з деякого стану  $S_i^{(k-1)}$  можливий перехід за один крок у будь-який стан з множини  $S_1^{(k)}, S_2^{(k)}, \dots, S_i^{(k)}, \dots, S_n^{(k)}$ , де  $n$ -число вершин у графі, то ці події несумісні й утворюють повну групу. Тому можна записати

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1.$$

Матриця, що включає всі можливі перехідні ймовірності марківського ланцюга, поданого на рис. 1, має вигляд

$$\|P_{ij}\| = \begin{pmatrix} P_{1.1} & P_{1.2} & P_{1.3} & \cdot & \cdot & P_{1.17} & P_{1.18} \\ P_{2.1} & P_{2.2} & P_{2.3} & \cdot & \cdot & P_{2.17} & P_{2.18} \\ P_{3.1} & P_{3.2} & P_{3.3} & \cdot & \cdot & P_{3.17} & P_{3.18} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{17.1} & P_{17.2} & P_{17.3} & \cdot & \cdot & P_{17.17} & P_{17.18} \\ P_{18.1} & P_{18.2} & P_{18.3} & \cdot & \cdot & P_{18.17} & P_{18.18} \end{pmatrix}.$$

На основі матриці перехідних ймовірностей станів, за умови, що початковий стан системи відомий, можна знайти ймовірність станів  $p_1(k), p_2(k), \dots, p_n(k)$  після будь-якого  $k$ -го кроку.

Загальна рекурентна формула для визначення ймовірностей станів після другого і далі  $k$ -го кроку [3]:

$$p_i(k) = \sum_{j=1}^n [p_j(k-1) \cdot P_{ji}] \Big|_{n=N}; \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Отримані ймовірності всіх станів системи на кожному кроці дозволяють прогнозувати розвиток системи управління ПКО й оцінювати її ефективність.

Для початкових даних (табл. 1), що відповідають деякому рівню досконалості системи управління на основі моделі ПКО (рис. 1) як ланцюга випадкових марківських процесів, отримані результати, що адекватно відображають тенденції розвитку ПКО. На початковому етапі розроблення і впровадження ПКО основними процесами є розроблення політики і мети організації, адміністративне управління (рис. 2, крива 1), створення і впровадження «Керівництва за управлінням» (крива 2), підготовка персоналу до роботи в нових умовах (криві 3, 4, 5, 6) і взаємодія зі споживачами (крива 7). Після 10 циклу ймовірності зазначених вище процесів монотонно зменшуються до значень, відповідно 0,1-3 % часу виконання проекту на 30-му кроці.

Основним завданням виробничих систем є, власне, виробництво продукту. Зміна ймовірності перебування проекту в цьому стані відображається кривою 11. На 26 кроці цей параметр дорівнює  $p_{11}(26) = 0,3$ . На подальших кроках йде незначне збільшення  $p_{11}(k)$ .

Процеси забезпечення виробництва продукту (криві 8, 9, 10, 12, 13) встановлюються в межах ймовірностей станів 0,08-0,15. Показово, що оцінка задоволення споживача на завершальному етапі впровадження ПКО стає одним з процесів, якому слід приділяти увагу ( $p_{18}(30) = 0,13$ ).

Таблиця 1 – Умовні ймовірності переходів марківського ланцюга

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	0,36	0,4			0,1											0,05	0,07	0,02	
2	0,01	0,39	0,6																
3		0,09	0,21	0,2	0,5														
4				0,60	0,40														
5					0,40	0,20	0,40												
6			0,20			0,80													
7							0,35	0,40	0,15					0,07				0,03	
8								0,40	0,60										
9									0,25		0,70	0,05							
10									0,60	0,40									
11								0,10			0,60	0,20	0,10						
12												0,50	0,40					0,10	
13										0,15	0,55	0,10	0,20						
14					0,15									0,75	0,10				
15					0,10										0,90				
16																0,60	0,40		
17	0,50																	0,50	
18								0,10											0,90

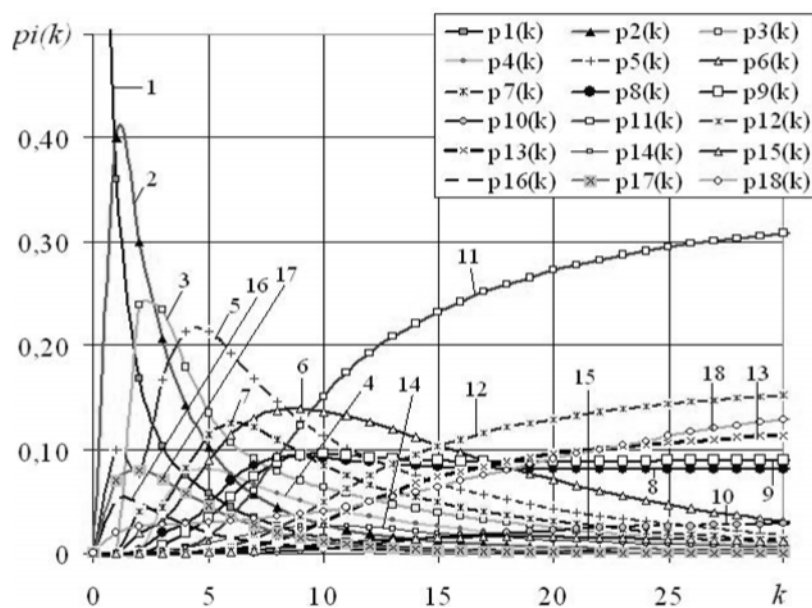


Рисунок 2 – Зміна ймовірностей станів системи процесів ПКО

Виконаємо ранжування ймовірності станів для процесів, ймовірність яких перевищує величину  $p_i(30) = 0,05$ , що відповідає частці 5 % часу виконання проекту. В порядку убутання ймовірності станів такі:  $p_{11}(30) = 0,31$ ;  $p_{12}(30) = 0,15$ ;  $p_{18}(30) = 0,13$ ;

$p_{13}(30) = 0,11$ ;  $p_9(30) = 0,09$ ;  $p_8(30) = 0,08$ . Решта всіх процесів ПКО має тривалість не більше ніж 13 % часу проекту, що втім не заперечує необхідності їх здійснення, а лише відображає рівень досконалості управління, залежний від значень перехідних ймовірностей, записаних у матриці (табл. 1). Розв'язання задач удосконалення управління проектами повинне бути спрямоване на збільшення  $p_{11}(k)$  за умови якісного виконання решти всіх процесів.

#### ВИСНОВКИ

Показано, що модель станів ПКО володіє марківською властивістю і може бути подана за допомогою однорідних марківських ланцюгів з дискретними станами. Розроблена марківська модель враховує топологію системи і особливості процесів верстатобудівного виробництва.

#### SUMMARY

##### DESIGN MARKOV MODEL STATES OF THE SYSTEM OF DESIGN DRIVEN ORGANIZATION

*V.A. Waysman*

*Shown that the control system may be represented by homogeneous Markov chains with discrete states and time. A Markov model takes into account the topology of system features and processes Machine-tool production.*

**Keywords:** *Markov model, management, projects, production.*

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тернер, Дж. Родни. Руководство по проектно-ориентированному управлению / пер. с англ.; под общ. ред. В. И. Воропаева. – М.: Изд. дом Гребенникова, 2007. – 552 с.
2. Вайсман В. О. Моделі, методи та механізми створення і функціонування проектно-керованої організації [Текст] : Монографія / В. О. Вайсман. – К.: Наук. світ, 2009. – 146 с.
3. Вентцель Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.

*Надійшла до редакції 14 жовтня 2011 р.*