

УДК 65.012.8: 338.246

С. П. Лобов,
к. е. н., доцент кафедри обліку, аналізу, аудиту і адміністрування підприємств
гірничо-металургійного комплексу ДВНЗ "Криворізький національний університет"

МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ РИЗИКІВ У ПРОЦЕСІ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОГО ПОСТАЧАННЯ НА ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТАХ

S. Lobov,
PhD in Economics, Associate professor of the Department of accounting, analysis, auditing and administration of the enterprises of a mining and metallurgical complex, SHEI "Kryvyi Rih National University"

MODELING OF ECONOMIC RISKS IN THE PROCESS OF LOGISTICS FOR ORE MINING AND PROCESSING ENTERPRISES

Розроблено мережеву модель Петрі процесу матеріально-технічного постачання (МТП) дизельного палива на гірничо-збагачувальному комбінаті. Обґрунтовано, що в процесі моделювання рівнів інтенсивностей потоків замовлень і потоків їх виконання необхідно виходити з того, щоб мережа Петрі, якою моделюється даний процес, не обов'язково була безпечною, але обов'язково обмеженою. Встановлено, що в ході моделювання задач процесу управління МТП необхідно здійснювати моніторинг цих властивостей за допомогою використання дерева досяжності. Визначено вхідну, вихідну матриці і матрицю змін для діагностики ритмічності процесу МТП. Побудовано граф мережевої моделі масового обслуговування для процесу МТП. Визначено граничні ймовірності станів мережевої моделі, а також ймовірність відмови (ризик) у МТП для забезпечення виробничих програм. Побудовано графік розподілу ризиків у процесі МТП для підсистеми "Склад – Виробництво".

Developed network model Petri for process logistics (MTS) of diesel fuel for ore mining and processing enterprise. It is proved that in the process of modeling levels of intensity of flows of orders and flows of their execution must proceed from the fact that the Petri net in which simulated this process was not necessarily safe, but necessarily limited. It is established that during the modeling task management process of the MTS needs to monitor these properties using the reachability tree. The input, output matrix and the matrix changes for the diagnosis of the rhythm of the process MTS. A graph network model queueing for the process MTS are built. Defined the marginal probabilities of states of the network model, and the probability of failure (risk) in the MTS to ensure production programs. We plot the distribution of risks in the process of the MTS for the subsystem "Warehouse – Production".

Ключові слова: економічний ризик, матеріально-технічне постачання, матриця змін, мережа Петрі, мережева модель масового обслуговування, граничні ймовірності станів.

Key words: economic risk, logistics, matrix changes, Petri nets, network queueing model, the marginal probability of states.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Процес матеріально-технічного постачання (МТП) займає важливе місце у виробничо-господарській діяльності будь-якого підприємства. Від ефективної роботи в межах всього ланцюга МТП: формування замовлень, закупівлі матеріально-технічних ресурсів та їх доставки, розподілу і зберігання на складах підприємства залежить як успішне виконання його виробничих програм, так і ефективність діяльності підприємства в цілому. У цьому зв'язку слід зазначити, що в структурі витрат підприємства витрати, пов'язані з

рухом матеріальних потоків, досягають близько 50%. Оперативний контроль цих статей витрат є для суб'єкта господарювання одним з головних важелів впливу на вартість кінцевої продукції.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Протягом останніх років більшість великих підприємств України, в процесі реорганізації та структурних перетворень всередині організації, зіткнулися з проблемою відсутності

універсальної комплексної інформаційної системи реального контролю над процесом МТП та прозорості руху фінансових і матеріальних потоків [1; 2; 3; 4]. Таким чином, у той час як завдання, пов'язані з управлінням процесами виробництва, отримали значний розвиток в попередні десятиліття, сфера матеріально-технічного постачання продовжує залишатися найбільш ресурсомісткою, рутинною і малоефективною сферою господарської діяльності підприємств.

Як відмічається в роботі [5], ефективність виробничо-економічної діяльності будь-якого підприємства, особливо в сучасних умовах господарювання, багато в чому залежить від належного управління забезпеченням матеріально-технічного постачання виробничих процесів. Важливу роль при цьому відіграє вдосконалення методичних підходів щодо способів управління та відповідного інструментарію системи підтримки прийняття рішень стосовно управління запасами підприємства на підґрунті інформаційного моделювання з урахуванням ризику.

МЕТА СТАТТІ

Метою статті є моделювання економічних ризиків в процесі матеріально-технічного постачання на гірничо-збагачувальних комбінатах

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У процесі побудови інформаційної моделі раціонального управління матеріально-технічним постачанням певних ресурсів підприємства, на нашу думку, доцільно застосувати правила-продукції, сформовані на основі мереж Петрі. Зокрема при визначенні інтенсивностей потоків замовлень і потоків їх виконання можна використати певні властивості дискретної мережі Петрі. Перш за все, такими властивостями є "безпека" і "обмеженість" мережі та "досяжності", як основного інструменту аналізу мереж Петрі, який може бути достатньо ефективним при вирішенні багатьох аспектів управлінських задач оперативного менеджменту стосовно контролю протікання та завершення окремих етапів чи операцій щодо раціонального управління забезпеченням, розподілом і перерозподілом певних матеріальних ресурсів у процесі функціонування виробничо-економічної системи підприємства.

У процесі моделювання рівнів інтенсивностей потоків замовлень і потоків їх виконання необхідно виходити з того, щоб мережа Петрі, якою моделюється даний процес, не обов'язково була безпечною, але обов'язково обмеженою. Тобто повинно існувати таке ціле число k , яке не перевищить певну кількість одиниць ресурсів у будь-якому фіксованому стані процесу матеріально-технічного постачання та виробництва продукції, представленого мережевою моделлю Петрі. При цьому, в ході моделювання задач процесу управління матеріально-технічним постачанням певних ресурсів підприємства, згідно, дискретних характеристик протікання процесу, необхідно здійснювати моніторинг цих властивостей за допомогою використання дерева досяжності.

Аналіз графа дерева досяжності здійснюється шляхом простого перебору і перевірки кінцевої множини всіх можливих досяжних маркірувань мережі Петрі та надає відповіді на питання щодо результату виконання та ритмічності операцій стосовно забезпечення, розподілу та перерозподілу окремих матеріальних ресурсів у виробничому процесі підприємства. Дослідження рівня ритмічності зазначених операцій засобами мереж Петрі є зручним інструментом для визначення інтенсивностей потоків замовлень та можливостей їх виконання, що дає змогу, застосувавши підходи теорії масового обслуговування — визначити граничні ймовірності станів процесу МТП і трактувати їх, як основні параметри ризику системи МТП підприємства.

Як зазначалося нами у роботі [6], традиційно мережу Петрі представляють як сукупність:

$$C = \{P, T, I, O\} \quad (1)$$

де P — кінцева множина позицій; T — кінцева множина переходів; I — вхідна функція; O — вихідна функція.

Іншим підходом до аналізу мереж Петрі є підхід, заснований на матричному представленні мереж Петрі. При даному підході визначаються дві матриці D^- і D^+ , що представляють вхідну і вихідну функції. Кожна матриця має m рядків (по одному на перехід) і n стовпчиків (по одному на позицію). Матрична форма визначення мережі Петрі (P, T, D^-, D^+) еквівалентна стандартній формі, але дозволяє дати визначення в термінах векторів і матриць.

Нехай $e(j)$ — m -вектор, який має всі нульові компоненти, за винятком j -ї компоненти. Перехід t_j представляється m -вектором $e(j)$.

Перехід t_j у маркіруванні μ дозволений, якщо $\mu \geq e(j)D^-$, а результат запуску переходу t_j в маркіруванні μ , записується як

$$\delta(\mu, t_j) = \mu - e(j)D^- + e(j)D^+ = \mu + e(j)(-D^- + D^+) = \mu + e(j)D \quad (2)$$

де $D = D^+ - D^-$ — складова матриця змін.

Тоді для послідовності запусків переходів $\sigma = t_{j_1}, t_{j_2}, \dots, t_{j_k}$ маємо:

$$\begin{aligned} \delta(\mu, \sigma) &= \delta(\mu, t_{j_1}, t_{j_2}, \dots, t_{j_k}) = \\ &= \mu + e(j_1)D + e(j_2)D + \dots + e(j_k)D = \\ &= \mu + (e(j_1) + e(j_2) + \dots + e(j_k))D = \mu + f(\sigma)D \end{aligned} \quad (3)$$

Вектор $f(\sigma) = e(j_1) + e(j_2) + \dots + e(j_k)$ називається вектором запусків послідовності переходів $t_{j_1}, t_{j_2}, \dots, t_{j_k}$.

Розвита матрична теорія мереж Петрі є інструментом для вирішення проблеми досяжності. Припустимо, що маркірування μ' досягне з маркірування μ . Тоді існує послідовність (можливо, порожня) запуску переходів σ , що призводить із μ до μ' . Це означає, що $f(\sigma)$ є невід'ємним цілим розв'язком такого матричного рівняння для x :

$$\mu' = \mu + xD \quad (4)$$

Отже, якщо μ' досяжна з μ , тоді розв'язком рівняння (4) є невід'ємні цілі. Якщо рівняння (4) не має розв'язку, тоді μ' недосяжна з μ .

З метою вдосконалення методичних підходів моніторингу рівня ризику системи МТП підприємства розглянемо ланцюг процесу постачання дизельним паливом ПАТ "Інгулецький ГЗК" (ІнГЗК): формування замовлень, закупівля матеріального ресурсу "дизельне паливо", доставка, зберігання на складах ПАТ "ІнГЗК", розподіл, виконання виробничої програми та представимо його мережевою моделлю Петрі (рис. 1).

Станами процесу МТП дизельного палива на ПАТ "ІнГЗК" представленого мережевою моделлю Петрі на рисунку 1 є:

p_1 — здатність виконання постачальником замовлення на дизельне паливо сформоване ПАТ "ІнГЗК" у межах його можливостей;

p_2 — наявність оплаченого ресурсу "дизельне паливо" на складах постачальника до відвантаження споживачу — ПАТ "ІнГЗК";

p_3 — наявність ресурсу "дизельне паливо" на складах ПАТ "ІнГЗК";

p_4 — потреба виробничих процесів у ресурсі "дизельне паливо";

p_5 — стан забезпечення ресурсом "дизельне паливо" виробничих програм ПАТ "Інгулецький ГЗК";

p_6 — буфер накопичення інформації про використаний ресурс "дизельне паливо" у процесі реалізації виробничих програм ПАТ "ІнГЗК";

p_7 — наявна потреба ПАТ "ІнГЗК" у споживанні ресурсу "дизельне паливо".

Операціями мережевої моделі представленої на рисунку 1 є:

t_1 — прийняття постачальником рішення щодо виконання замовлення на дизельне паливо сформоване ПАТ "ІнГЗК" у межах його можливостей;

t_2 — купівля-продаж матеріального ресурсу "дизельне паливо";

t_3 — доставка на склади ПАТ "ІнГЗК" для зберігання та розподілу ресурсу "дизельне паливо" за виробничими процесами;

t_4 — забезпечення виробничих процесів ресурсом "дизельне паливо";

t_5 — використання ресурсу "дизельне паливо" у процесі реалізації виробничих програм ПАТ "ІнГЗК";

t_6 — контроль використання ресурсу "дизельне паливо" у процесі реалізації виробничих програм ПАТ "ІнГЗК";

t_7 — прийняття рішення службою МТП ПАТ "ІнГЗК" щодо залучення інших постачальників ресурсу "дизельне паливо".

Початковою умовою функціонування мережевої моделі Петрі системи МТП є наступне:

$$p_3 = p_4 = p_7. \quad (5).$$

Вхідна, вихідна і складова матриця змін для першого етапу діагностики ритмічності процесу МТП мають вигляд:

$$D^- = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; D^+ = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; D = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (6).$$

Відповідно наведених матриць таблиці інструментарію інформаційного моделювання перебігу процесу МТП мають наступний вигляд (табл. 1, 2, 3).

Вхідна, вихідна і складова матриця змін для другого етапу діагностики ритмічності процесу МТП мають вигляд:

$$D^- = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; D^+ = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; D = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (7).$$

Відповідно наведених матриць складова таблиця інструментарію інформаційного моделювання перебігу процесу МТП мають вигляд (табл. 4).

На всіх етапах діагностики ритмічності процесу МТП розв'язання матричних рівнянь відносно мережевої моделі Петрі (рис. 1) потребує упорядкованого застосування послідовності векторів операцій x_i :

$$\begin{aligned} \mu_{01} &= (1, 0, y_3, y_4, 0), x_1 = (t_1, t_2, 0, 0, 0); \\ \mu_{02} &= (\mu_{01} + x_1 D_1), x_2 = (0, 0, t_3, 0, 0); \\ \mu_{03} &= (\mu_{02} + x_2 D_2), x_3 = (0, 0, 0, t_4, 0); \\ \mu_{04} &= (\mu_{03} + x_3 D_1), x_4 = (0, 0, 0, 0, t_5); \\ \mu_{05} &= (\mu_{04} + x_4 D_1) \end{aligned} \quad (8)$$

де μ_{0k} — характеристики станів процесу МТП.

Після визначення інтенсивностей потоків замовлень та їх виконання формується мережева модель марківського процесу (рис. 2).

Математична модель системи масового обслуговування (СМО) для мережевої моделі процесу МТП, граф

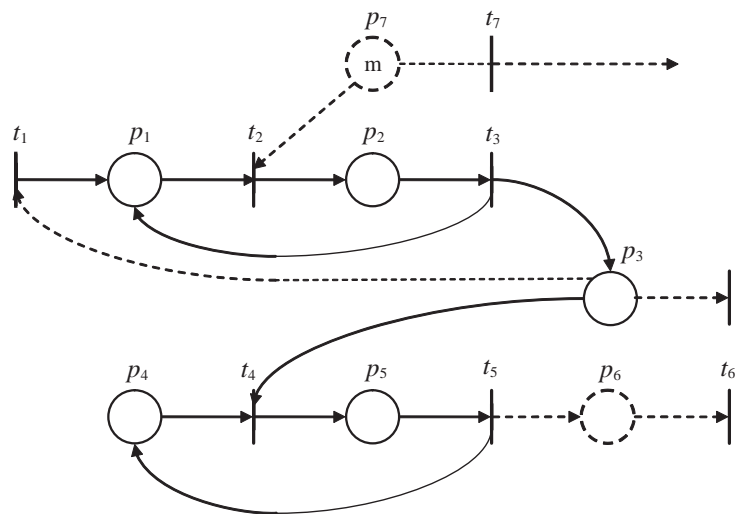


Рис. 1. Мережева модель Петрі процесу МТП дизельного палива на ПАТ "ІнГЗК"

Таблиця 1. Таблиця входів мережевої моделі Петрі D^-

Код операції	Стан процесу МТП				
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
t_1	0	0	1	0	0
t_2	1	0	0	0	0
t_3	0	1	0	0	0
t_4	0	0	1	1	0
t_5	0	0	0	0	1

Таблиця 2. Таблиця виходів мережевої моделі Петрі D^+

Код операції	Стан процесу МТП				
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
t_1	1	0	0	0	0
t_2	0	1	0	0	0
t_3	1	0	1	0	0
t_4	0	0	0	0	1
t_5	0	0	0	1	0

Таблиця 3. Складова таблиця змін мережевої моделі Петрі D_1

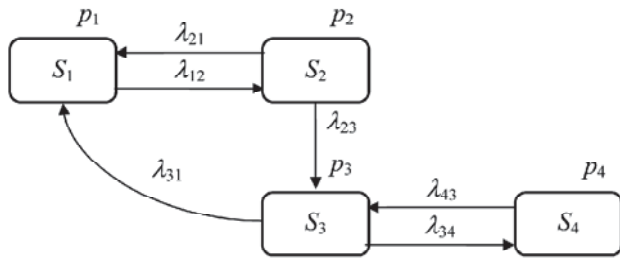
Код операції	Стан процесу МТП				
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
t_1	1	0	-1	0	0
t_2	-1	1	0	0	0
t_3	1	-1	1	0	0
t_4	0	0	-1	-1	1
t_5	0	0	0	1	-1

Таблиця 4. Складова таблиця змін мережевої моделі Петрі D_2

Код операції	Стан процесу МТП				
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
t_1	1	0	-1	0	0
t_2	-1	1	0	0	0
t_3	0	-1	1	0	0
t_4	0	0	-1	-1	1
t_5	0	0	0	1	-1

якої наведено на рисунку 2 записується у вигляді диференціальних рівнянь Колмогорова:

$$\begin{cases} p_1' = -\lambda_{12} \cdot p_1 + \lambda_{21} \cdot p_2 + \lambda_{31} \cdot p_3 \\ p_2' = \lambda_{12} \cdot p_1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23}) \cdot p_2 \\ p_3' = \lambda_{23} \cdot p_2 - (\lambda_{31} + \lambda_{34}) \cdot p_3 + \lambda_{43} \cdot p_4 \\ p_4' = \lambda_{34} \cdot p_3 - \lambda_{43} \cdot p_4 \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1 \end{cases} \quad (9).$$



*) S_i — стани марківського процесу МТП; S_1 — ресурс у виробництві постачальника; S_2 — ресурс на складі постачальника; S_3 — ресурс на складі ПАТ "ІнГЗК"; S_4 — ресурс у виробництві ПАТ "ІнГЗК"; p_i — граничні ймовірності станів марківського процесу МТП; λ_{ij} — інтенсивності потоків замовлень та їх виконання.

Рис. 2. Граф мережевої моделі масового обслуговування для процесу матеріально-технічного постачання

На підґрунті статистичних даних визначено ймовірні середні значення інтенсивностей потоків замовлень та їх виконання, з урахуванням яких модель (9) має наступний вигляд:

$$\begin{cases} p_1' = -0,8 \cdot p_1 + 1,0 \cdot p_2 + 1,0 \cdot p_3 \\ p_2' = 0,8 \cdot p_1 - 1,8 \cdot p_2 \\ p_3' = 0,8 \cdot p_2 - 1,8 \cdot p_3 + 1,0 \cdot p_4 \\ p_4' = 0,8 \cdot p_3 - 1,0 \cdot p_4 \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1 \end{cases} \quad (10).$$

У результаті розв'язання системи лінійних рівнянь (10) отримуємо граничні ймовірності станів S_3 і S_4 мережевої моделі (рис. 2): $p_3^{(cp)} = 0,171$; $p_4^{(cp)} = 0,136$.

Для аналізу розподілу ризиків в процесі МТП для підсистеми "Склад ПАТ "ІнГЗК" — Виробництво ПАТ "ІнГЗК" можна використати наступні показники:

— ймовірність відмови (ризик) у забезпеченні МТП виробничих програм ПАТ "ІнГЗК":

$$p_{від.з.}^{(3)} = |p_3^{(cp)} - p_3^{(cp-N)}| = 0,029;$$

$$p_{від.з.}^{(4)} = |p_4^{(cp)} - p_4^{(cp-N)}| = 0,064,$$

$$\text{де } p_3^{(cp-N)} = p_4^{(cp-N)} = 0,2;$$

— відносна пропускну здатність системи МТП:

$$q_3 = 1 - p_{від.з.}^{(3)} = 0,971;$$

$$q_4 = 1 - p_{від.з.}^{(4)} = 0,936.$$

Розподіл ризиків ($p_{від.з.}^{(3)}$, $p_{від.з.}^{(4)}$) у процесі МТП для підсистеми "Склад ПАТ "ІнГЗК" — Виробництво ПАТ "ІнГЗК" у межах інтенсивностей потоків виконання замовлень $\lambda = 0,7 \div 1$ наведено на рисунку 3.

ВИСНОВКИ

Отже, в процесі побудови інформаційної моделі раціонального управління матеріально-технічним постачанням певних ресурсів підприємства доцільно застосувати правила-продукції, сформовані на основі мереж Петрі. Зокрема при визначенні інтенсивностей потоків замовлень і потоків їх виконання можна використати властивості дискретної мережі Петрі. Дослідження рівня ритмічності процесу МТП засобами мереж Петрі є зручним інструментом для визначення інтенсивностей потоків замовлень та можливостей їх виконання, що дає змогу, застосувавши підходи теорії масового обслуговування — визначати граничні ймовірності станів процесу МТП і трак-

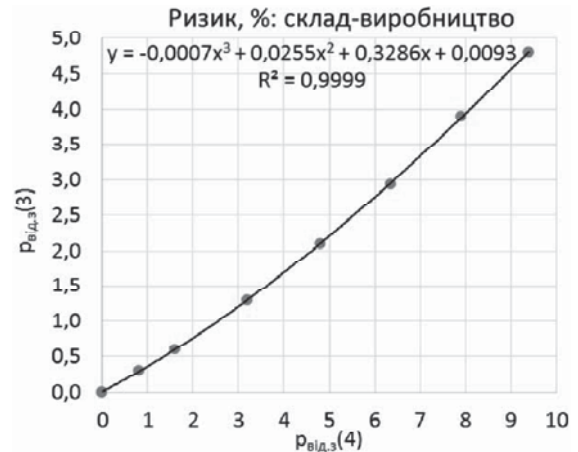


Рис. 3. Розподіл ризиків в процесі МТП для підсистеми "Склад ПАТ "ІнГЗК" — Виробництво ПАТ "ІнГЗК"

тувати їх, як основні параметри ризику системи МТП підприємства.

Література:

1. Соловьев Д.Е. Концепция оптимизации системы материально-технического обеспечения предприятия. — М.: Издательство Московского гуманитарного университета, 2004. — С. 10—15.
2. Кравчуновська Т.С. Організація матеріально-технічного постачання на підприємствах будівельного комплексу / Т.С. Кравчуновська // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. — Д.: ПДАБА, 2013. — № 5. — С. 4—7.
3. Бутрин А. Критерии управления взаимосвязанными потоковыми процессами / А. Бутрин // Логистика. — 2001. — № 4. — С. 29—31.
4. Богацька Н.М. Аналіз матеріально-технічного забезпечення підприємства / М.Н. Богацька // Економічні науки: економіка підприємства, 2010. — № 10. — С. 48.
5. Болдирева Л.М. Управління системою матеріально-технічного забезпечення підприємства / Л.М. Болдирева, І.О. Городницька // Економіка Крима. — № 3 (44). — 2013. — С. 258—262.
6. Лобов С.П. Використання теорії регулярних мереж при плануванні діяльності підприємств / С.П. Лобов // Економіка та держава. — 2014. — № 12. — С. 21—29.

References:

1. Solov'ev, D.E. (2004), *Konceptija optimizacii sistemy material'no-tehnicheskogo obespechenija predpriyatija* [Concept of optimization of system of material support of the enterprise], Izdatel'stvo Moskovskogo gumanitarnogo universiteta, Moscow, Russia.
2. Kravchunovs'ka, T.S. (2013), "Organization of logistics in construction companies". *Visnyk Prydniprov's'koi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, vol. 5, pp. 4—7.
3. Butrin, A. (2001), "Criteria control of the associated flow processes". *Logistika*, vol. 4, pp. 29—31.
4. Bohats'ka, N.M. (2010), "Analysis of logistics enterprises". *Ekonomichni nauky: ekonomika pidpriemstva*, vol. 10, p. 48.
5. Boldireva, L.M. Gorodnic'ka, I.O. (2013), "The management system of logistics enterprises". — *Ekonomika Kryma*, vol. 3 (44), pp. 258—262.
6. Lobov, S.P. (2014), "Using the theory of regular networks when planning activities of enterprises". *Ekonomika ta derzhava*, vol. 12, pp. 21—29.

Стаття надійшла до редакції 13.12.2014 р.