

УДК 658.1

О. А. Кравченко, канд. екон. наук, доц., Одес.
нац. политехн. ун-т

МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ “ТОЧНО В СТРОК”

О.А. Кравченко. Моделирование операционной системы производства “Точно в срок”. Проаналізовано особливості організації виробництва за системою “Точно в строк”. Розроблено рекомендації з підготовки до впровадження системи управління матеріальними потоками “Точно в строк” на виробничих підприємствах з використанням методів математичного моделювання.

Ключові слова: операційний менеджмент; управління виробництвом; операційна система виробництва “Точно в строк”.

Е.А. Кравченко. Моделирование операционной системы управления производством “Точно в срок”. Проанализированы особенности организации производства по системе “Точно в срок”. Разработаны рекомендации по подготовке к внедрению системы управления материальными потоками “Точно в срок” на производственных предприятиях с помощью методов математического моделирования.

Ключевые слова: операционный менеджмент; управление производством; операционная система производства “Точно в срок”.

Е.А. Kravchenko. Modeling of an operating system of production management “Just in time”. The features of production organization on the system “Just in time” are analysed. The recommendations on preparation for introduction of materials management system “Just in time” at manufacturing enterprises by the methods of mathematical modeling are developed.

Keywords: operations management; production management; a production operating system “Just in time”.

Система операційного менеджменту “Точно в строк” (Just In Time) — найпоширеніша у світі концепція логістики, що вимагає доставки матеріалів, товарів та послуг саме у той час, коли вони стають потрібні для роботи чи процесу з використанням мінімальних матеріально-товарних запасів. Поширення системи “Точно в строк” почалося з кінця 50-х років ХХ ст., коли японська фірма Toyota Motors, а потім й інші автомобільні підприємства Японії, почали впроваджувати карточну сигнальну систему “Канбан”. У даний час система “Точно в строк” широко використовується в Японії, США і Європі, але в управлінні підприємствами країн пострадянського простору, в тому числі в Україні, практично не зустрічається, хоча у випадку впровадження може надавати підприємствам можливість підвищити ефективність виробництва товарів та послуг за рахунок зниження запасів, гнучкості системи, якості продукту, мотивації працівників. Тому вивчення і адаптування досвіду функціонування системи управління виробництвом “Точно в строк”, розв’язання можливих проблем її впровадження шляхом моделювання операційної системи є актуальним і має практичне значення.

В Україні загальна характеристика системи “Точно в строк” докладно представлена в учбовій літературі всесвітньовідомих зарубіжних вчених [1, 2]. Приходиться констатувати, що інформація щодо опису системи інших авторів [3, 4] є похідною до базової вже відомої інформації, має описовий характер, що потребує додаткових досліджень щодо технології впровадження системи на вітчизняних підприємствах. Використання окремих характеристик системи “Точно в строк” в наукових статтях також не надає достатніх матеріалів для забезпечення можливості застосування наукової інформації на практиці [5, 6].

Пошуки розробок практичного характеру для впровадження системи управління матеріальними потоками “Точно в строк” на конкретних підприємствах не надали задовільного результату, що обумовило необхідність проведення самостійних наукових досліджень шляхом моделювання даної операційної системи.

Ціллю статті є викладення результатів моделювання операційної системи “Точно в строк” на базі існуючих теоретичних матеріалів та надання рекомендацій щодо впровадження системи.

Головною характеристикою операційної системи “Точно в строк” є витягування усіх виробничих процесів виробничого циклу в момент продажу товарної продукції, що виробляється [1...4]. Виробничий процес уповільнюється, чи зовсім зупиняється, якщо уповільнюється чи зупиняється запланований продаж товарної продукції зі складу готової продукції підприємства, що відображує зміну реального попиту (рис. 1).

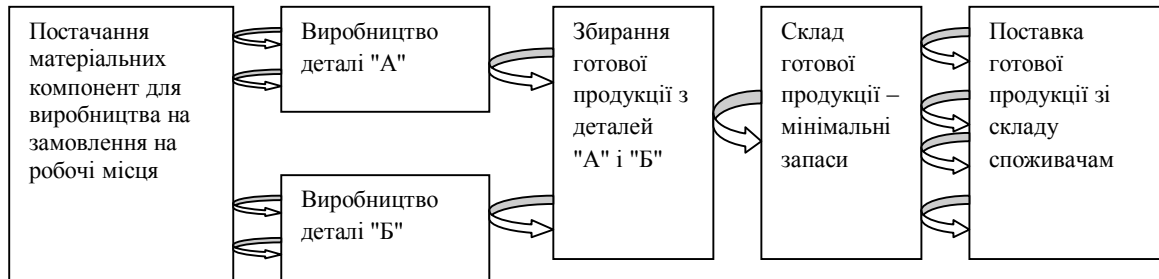


Рис. 1. Витягуюча операційна система виробництва продукції “Точно в строк”

Система “Точно в строк” — витягуюча, тому працює за принципом потокової лінії, в якій потік визначається попитом, в той час, як в традиційних системах організації виробництва матеріальні компоненти проштовхуються системою за планом виробництва через усі стадії виробничого процесу незалежно від інтенсивності продажів на останній стадії виробничого циклу (рис. 2).

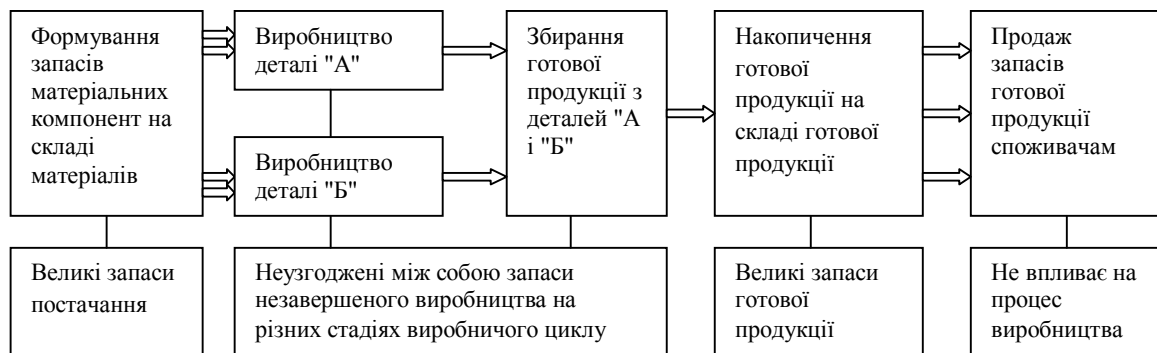


Рис. 2. Виштовхуюча операційна система виробництва продукції

В традиційних для України операційних системах виробництва продукції, запаси постачання матеріальних компонент “на вході” в першу чергу залежать від вимог постачальників, які прагнуть продати свою продукцію більш крупними партіями, тому надають знижки крупним споживачам, і від транспортних витрат, які, знижуються при більш крупних партіях перевезень. Обмеженням для підприємств є нестача вільних обігових коштів, але за умов використання практики відстрочки платежів як на етапі постачання, так і на етапі збуту готової продукції, вважається, що дебіторські і кредиторські заборгованості нібито взаємно поглинаються. Тому матеріальні запаси на складі підприємств за різними складовими доходять до рівня від 2 тижнів до декількох місяців. При цьому не прийнято враховувати альтернативні витрати, що супроводжують зайві запаси. Підприємства не підраховують втрачені можливості отримання додаткових прибутків від виробництва додаткової продукції за рахунок вивільнення обігових коштів. Витрати на збереження запасів матеріалів на складі взагалі не беруть до уваги,

вважаючи, що склади є, амортизація на них нараховується незалежно від кількості матеріальних цінностей, що в них зберігаються, тому, нібито затрати на збереження дорівнюють нулю. Враховувати альтернативні доходи від використання наявних на підприємствах площ та складських приміщень також не прийнято. Працівників комерційного відділу поглинає рутинна поточних розрахунків за номенклатурою поставок, бо більшість підприємств організують поставання без використання сучасних, але дорогих програмних продуктів, типа MRP I і MRP II, що обумовлює для організаторів поставання певну зручність у наявності буферних (страхових) запасів. Усе це призводить до втрати прибутків і зниження ефективності виробництва, але вдосконалити систему можна лише за ініціативою керівництва підприємства, яке має змінити своє ставлення до запасів і методів організації виробничого процесу.

Операційна система “Точно в строк” повністю змінює традиційний підхід до логістики проходження матеріальних і трудових ресурсів у виробничому циклі, змінює філософію виробничого процесу [6]. Величина запасів на “вході” в системі поставання матеріальними компонентами, у незавершеному виробництві в процесі виробництва готової продукції, і на складі готової продукції мінімальна, і залежить виключно від щоденного попиту на готову продукцію і трудомісткості відновлення запасів.

Існуючі в Україні літературні джерела не надають повної інформації для організації операційної системи “Точно в строк” на підприємствах. Проте визначається, що для організації системи “Точно в строк” доцільно відмовитися від технологічного принципу обробки, коли вироби переміщуються з однієї спеціалізованої дільниці на іншу (токарна, фрезерувальна ...). Рекомендується організувати процес виробництва за предметним принципом, що отримало в Японії і Америці назву “ланка групової технології”, “робочий центр” коли всі операції, які необхідно здійснювати для вироблення окремої деталі об’єднують в мережу і послідовно групують обладнання відповідно до технології оброблення виробу в одному місці. Це спрощує і скорочує маршрути пересування деталей за операціями оброблення, зменшує міжопераційні перериви, пов’язані з транспортуванням і чергами. Пропонується спрощувати закінчені виробничі цикли шляхом розподілу складної продукції на складові частини і організації окремих дільниць по виробленню цих складових, чи окремих невеликих спеціалізованих заводів замість завеликих вертикально інтегрованих виробничих конгломератів [1, 2]. Вважається, що дільниці і заводи, що спроектовані з однією конкретною ціллю, більш економічні при будівництві і при експлуатації.

Система “Точно в строк” передбачає виробництво того, що необхідно, коли необхідно, і не більше того, що необхідно. Усе, що більше мінімально розрахованої кількості, розглядається як втрати, тому, що труд і матеріали, витрачені на те, що не є необхідним і не може бути використане в даний час.

Для регулювання виробничих потоків операційної системи “Точно в строк” використовують сигнальні знаки, наприклад, картку-завдання, порожній контейнер, порожнє місце для зберігання, світловий чи звуковий сигнал, різнокольорові шари та ін.. Система знаків для дозволу обробляти вироби, поставляти їх на наступні операції була розроблена в Японії, тому отримала японську назву “Канбан”, що в перекладі означає знак.

На кожній операції функціонує дві картки: картка-відбору заданої передатної партії виробу з попередньої операції, що супроводжує кожну передавальну виробничу партію виробу, і картка-замовлення на виконання обробки партії виробів для наступної операції. Картка-замовлення на оброблення передавальної партії виробу завжди знаходиться на робочих місцях кожної операції, нікуди не передається, але приймається для виконання робочими лише в момент відправлення з даної операції обробленої партії в супроводі картки відбору.

Коли на останній стадії виробничого циклу зі складу готової продукції відпущено споживачу готову продукцію, картка відбору в пустому контейнері для продукції повертається на попередню стадію виробництва. Правильно організована система “Точно в строк” передбачає, що в момент отримання картки-відбору з наступної операції, на попередній операції є в наявності повний контейнер раніше оброблених на операції виробів, що дозволяє

передати їх миттєво на наступну операцію разом з отриманою карткою відбору. В момент отримання картки-відбору з наступної операції, робочий виймає з готового для відправлення повного контейнера картку-замовлення і свою картку-відбору для попередньої операції. Пустий контейнер з карткою-відбору, що витягнув робочий з повного контейнера, відправляється на попередню операцію для отримання виробів чи матеріальних компонент зі складу для подальшої обробки згідно активованої картки-замовлення.

Карткова система “Канбан” забезпечує сигнальний дозвіл на здійснення певних операцій на попередніх стадіях виробничого циклу, навидь до здійснення постачання ззовні, і одночасно використовується для визначення міжопераційних матеріальних запасів, які мінімізуються пропорційно до щоденного попиту на виріб, але без яких система “Точно в строк” не функціонує.

Система “Точно в строк” і “Канбан” широко використовується на підприємствах Японії, Америки, Європи впродовж останніх 50-ті років. Тому незрозуміло, чому в існуючій учбовій літературі України, Росії і навидь Англії не надається достатнього матеріалу для здійснення розрахунку матеріальних запасів між операціями, виклад матеріалу обмежуються загальним описом системи, принципів побудови, переваг та недоліків впровадження [2, 3, 4, 6]. Можливо, це пояснюється принципами освіти, які не передбачають достатніх знань для рівня освіти бакалаврів. Можливо, це визначається деякою заангожованістю матеріалів, незацікавленістю легкого розповсюдження сучасних технологій менеджменту в умовах конкурентної боротьби.

Тільки Р. Чейз, Б. Еквілайн, Н.Дж. Якобс крім докладного опису систем “Точно в строк” і “Канбан” надають конкретну інформацію про організацію операційної системи, в тому числі формулу розрахунку необхідної кількості карток “Канбан” [1]. Скільки карток “Канбан”, стільки контейнерів з виробами, які циркулюють між дільницями постачання і споживання. Ємність кожного контейнера визначає мінімальний розмір виробничого заділу (запасу). Тому кількість і місткість контейнерів однозначно відображає обсяг матеріальних запасів, що знаходяться у виробництві між усіма операціями виробничого циклу. Проте незрозуміло, чому окремі автори [2] в учбовій літературі, слово в слово повторюючи текст стверджують, що в системі “Точно в строк” застосовуються безупинні потокові процеси без міжопераційних заділів. По-перше, хоча розташування робочих місць за операціями згідно принципу предметної обробки схоже на потокову лінію, але ж остання розрахована на безупинні виштовхуючі системи виробництва з заданим тактом чи ритмом, незалежно від наявного в даний час попиту на виріб. Операційна система “Точно в строк” миттєво зупиняється, якщо зупиняються прогнозовані продажі товарної продукції. А контейнери між абсолютно всіма операціями виробничого циклу дозволяють одночасно відтворитися виробничому руху в момент відвантаження чергового запасу виробів зі складу готової продукції. На складі готової продукції також завжди є запас контейнерів для продажу виробів. Цей запас відновлюється за рахунок витягування запасів контейнерів з попередніх операцій в момент продажу виробу.

Кількість контейнерів розраховується, виходячи з терміну виконання замовлення. Термін виконання замовлення — це функція від терміну процесу виготовлення всієї кількості комплектуючих, можливого терміну очікування впродовж виробничого процесу і терміну, який необхідний для транспортування матеріалів до споживача. Достатнім є кількість карток, яких достатньо для покриття попиту очікуваного попиту впродовж терміну виконання замовлення, плюс додаткова резервна кількість. Кількість карток, згідно [1] в оригінальному вигляді, визначається за формулою (1):

$$k = \frac{\text{Попит} + \text{Резервний запас}}{\text{Розмір контейнеру}} = \frac{D \cdot L \cdot (1 + S)}{C}, \quad (1)$$

де D L — попит, що очікується в період виконання замовлення;

k — кількість карток “Канбан”;

D — середня кількість деталей, що споживається наступною дільницею в одиницю часу;

L — термін виконання замовлення (виражене у відповідних одиницях);

S — страховий запас, виражений в процентах відносно попиту за період виконання замовлення;

C — ємність контейнеру.

Нами була проаналізована ця формула. На жаль, автори не надали чіткого тлумачення її складових та недостатньо виразили одиниці виміру, що ускладнює застосування формули.

По-перше, слід звернути увагу, що кількість карток “Канбан” і відповідно до неї кількість контейнерів розраховується між усіма операціями виробничого циклу, починаючи з кінця, а саме з моменту продажу виробу зі складу готової продукції, і закінчуючи витягуванням ззовні підприємства матеріальних компонент, необхідних для виробництва.

По-друге, при визначенні літер формули (1) були неузгоджені поняття “замовлення”, “одиниця часу для виміру розміру споживання наступної дільниці”, “термін виконання замовлення”, що при невірному тлумаченні не дозволяє логічно сприйняти і коректно використати на практиці формули.

В результаті аналізу структури формули (1), було зроблено наступні висновки.

Середня кількість деталей, що споживається наступною дільницею в одиницю часу (D) — це попит в натуральному вираженні, який можна оцінювати чи прогнозувати в разі використання формули (1) за будь-якій зручний термін, наприклад робочий день, час. Зовнішній попит на виріб між кінцевими споживачами товарної продукції і підприємством залежить від ринку збуту. Внутрішній попит на операції обробки деталей і комплектуючих залежить, як від зовнішнього попиту, бо є похідним від кількості конкретних продаж, так і від структури виробу відповідно до так званого “дерева виробу”.

Проте якщо попит на деталь (D), що відображує кількість деталей, що прогнозується продавати за робочий день (8 годин робочого часу, чи — зміну), чи за час (60 мін), то термін виконання замовлення (L) має бути узгодженим з терміном визначення попиту на деталь шляхом вираження в тих самих одиницях часу, на які розраховувався попит на деталі (як вказане в оригіналі, — виражене у відповідних одиницях!).

Крім того, потрібно враховувати, що під “замовленням” мається на увазі здійснення повного обсягу робіт, згідно технології обробки всіх деталей, що за проектом будуть розміщуватися в одному контейнері. Тоді термін виконання замовлення щодо заповнення одного контейнера (L) залежить від трудомісткості обробки деталі й кількості деталей у контейнері, що можна виразити формулою (2):

$$L = t_{\text{шт}} \cdot C, \quad (2)$$

де $t_{\text{шт}}$ — нормативна трудомісткість обробки однієї деталі контейнеру (хв., год., роб. день);

C — ємність контейнеру, шт.

Підставимо у формулу (1) формулу (2). Отримуємо формулу визначення кількості карток “Канбан” (3), в якій бачимо повну залежність кількості карток від трудомісткості здійснення операції та повну відсутність впливу ємності контейнеру (C) на кількість потрібних карток “Канбан” між двома операціями:

$$k = \frac{\text{Попит} + \text{Резервний запас}}{\text{Размір контейнеру}} = \frac{D \cdot t_{\text{шт}} \cdot C \cdot (1 + S)}{C} = D \cdot t_{\text{шт}} \cdot (1 + S). \quad (3)$$

Приклад. За прогнозом відділу маркетингу планується кожен робочий день продавати 100 виробів “А”. Трудомісткість виготовлення одного виробу 0,2 нормо-год. Робочий день триває 8 год. Тоді кількість карток “Канбан” чи кількість контейнерів між даними двома операціями, в разі місткості контейнерів 10 шт. складе:

$$k = \frac{L \cdot D}{C} = \frac{0,2 \cdot 10 \cdot (100 : 8)}{10} = 0,2 \cdot 12,5 = 2,5 \approx 3 \text{ (картки “Канбан”) чи}$$

$$k = \frac{L \cdot D}{C} = \frac{(0,2 : 8) \cdot 10 \cdot 100}{10} = 0,2 : 8 \cdot 100 = 2,5 \approx 3 \text{ (картки “Канбан”).}$$

Як бачимо, при здійсненні простих арифметичних дій щодо узгодження вимірів часу, немає значення за який час прогнозувався попит на деталі.

Округлення потреби в картках до цілого числа можна розглядати як страховий запас виробів для згладжування можливих коливань погодинного попиту на вироби.

Хоча при будь-якій ємності контейнерів (C) кількість карток “Канбан” (k) і відповідно кількість контейнерів не змінюється, збільшення ємності контейнеру (C) веде, як до збільшення міжопераційних запасів (Z), так, і до збільшення терміну виконання замовлення щодо заповнення одного контейнера (L). Міжопераційний запас (Z) розраховується за формулою (4):

$$Z = k \cdot C \quad (4)$$

Приклад. Нехай $k = 3$ картки “Канбан”, $t_{\text{штк}} = 0,2$ нормо-години на одну шт. виробу.

При збільшенні C з 10 до 100 шт., міжопераційний запас відповідно збільшиться з 30 до 300 шт. ($Z = 3 \cdot 10 = 30$; $Z = 3 \cdot 100 = 300$), термін виконання замовлення щодо заповнення одного контейнера збільшиться відповідно з 2 до 20 годин робочого часу ($L = 0,2 \cdot 10 = 2$; $L = 0,2 \cdot 100 = 20$).

Потрібно враховувати, що при збільшенні ємності контейнеру, не тільки збільшуються запаси і термін заповнення одного контейнера, а також знижується ризик коливання попиту, що є запобіжним заходом зупинки виробництва у разі відсутності попиту в окремі години робочої зміни, що є дуже важливим чинником вибору оптимальної ємності контейнеру. Так, збільшення терміну заповнення контейнеру з 2 до 20 годин відіграє роль згладжування попиту, практично гарантує безупинну роботу операційної систем, особливо, якщо налагодити її функціонування на занижений згідно ринкового рівень прогнозного попиту. Тоді за виробом з боку споживачів завжди буде спостерігатися невелика черга, а система “Точно в строк” буде безперервно працювати, як потокова лінія, яка готова до зупинки в разі зникнення попиту.

В результаті проведених досліджень особливостей побудови операційної системи “Точно в строк” з використанням математичної моделі розрахунку карток “Канбан” було зроблено висновки щодо відсутності впливу ємності контейнерів на кількість карток при повній залежності кількості карток від трудомісткості обробки виробу на операції. Для розрахунку немає значення за який час прогнозувався попит на деталі. Головне здійснити узгодженість виміру термінів часу при здійсненні розрахунку карток “Канбан”. Незначні зайві запаси між операціями при визначенні потреби в картках “Канбан” шляхом округлення до більшого значення, також при збільшенні ємності контейнерів відіграє роль страхового запасу для згладжування різких коливань попиту.

В той же час потребує додаткових досліджень питання оперативного управління операційною системою “Точно в строк” шляхом моделювання графіків Ганта у різних імовірних ситуаціях коливання зовнішнього постачання і збуту.

Література

1. Чейз, Р. Производственный и операционный менеджмент, 8—е изд.: Пер. с англ. / Ричард Б. Чейз, Николас Дж. Эквилайн, Роберт Ф. Якобс. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. — 704 с.
2. Гэлловей, Л. Операционный менеджмент: Пер. с англ. / Л. Гэлловей. — СПб: Питер, 2002. — 320 с.
3. Василенко, В.О. Виробничий (операційний) менеджмент: Навч. посібн. / В.О. Василенко, Т.І. Ткаченко. — Київ: ЦУЛ, 2003. — 532 с.
4. Пивоваров, С.Э. Операционный менеджмент: Учебник для вузов. Стандарт третьего поколения / С.Э. Пивоваров, И.А. Максимцев и др. — СПб: Питер, 2011. — 544 с.
5. Непогодина, Н.И. Актуальные вопросы внедрения зарубежного опыта учёта затрат при определении себестоимости продукции / Н.И. Непогодина, М.С. Цуркан // Вісник СевНТУ: Зб. наук. пр. Вип. 109 / 2010. Серія: Економіка і фінанси. — Севастополь, 2010. — С. 103 — 107.
6. Васюк, І.В. Зарубіжний досвід впровадження маркетингових логістичних концепцій на підприємстві / І.В. Васюк // ПВНЗ "Буковинський університет": Зб. наук. праць "Економічні науки". Вип. 7 / 2011. — Чернівці, 2011. — С. 163 — 173.

References

1. Cheyz, R. *Proizvodstvennyy i operatsionnyy menedzhment*, 8-e izd.: Per. s angl. [Production and Operations Management, 8th ed.: Transl. from English] / Richard B. Cheyz, Nikolas Dzh. Ekvilayn, Robert F. Yakobs. — Moscow, 2001. — 704 pp.
2. Gellovey, L. *Operatsionnyy menedzhment: Per. s angl.* [Operations Management: Transl. from English] / L. Gellovey. — St.-Petersburg, 2002. — 320 pp.
3. Vasylenko, V.O. *Vyrobnychiy (operatsiyniy) menedzhment: Navch. posibn.* [Production (Operational) Management: Teach. Manual] / V.O. Vasylenko, T.I. Tkachenko. — Kyiv, 2003. — 532 pp.
4. Pivovarov, S.E. *Operatsionnyy menedzhment: Uchebnik dlya vuzov. Standart tret'ego pokoleniya* [Operational Management: A Textbook for high schools. The standard of the third generation] / S.E. Pivovarov, I.A. Maksimtsev and others — St.-Petersburg, 2011. — 544 pp.
5. Nepogodina, N.I. *Aktual'nye voprosy vnedreniya zarubezhnogo opyta ucheta zatrat pri opredelenii sebestoimosti produktsii* [Topical Issues of Implementation of Foreign Experience of Cost Accounting in Determining the Cost of Production] / N.I. Nepogodina, M.S. Tsurkan // Herald of SevNTU: Coll. Sci. Pap., Iss. 109/2010. Series: Economics and Finance. — Sevastopol', 2010. — pp. 103 — 107.
6. Vasiuk, I.V. *Zarubizhnyi dosvid vprovadzhennia marketynhovykh lohistychnykh kontseptsii na pidpriemstvi* [Foreign Experience of Marketing Logistics Concepts at Enterprises] / I.V. Vasiuk // PVNZ Bukovynskiy University: Coll. Sci. Pap. "Economic Sciences". Iss. 7/2011. — Chernivtsi, 2011. — pp. 163 — 173.

Рецензент д-р екон. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-та Філіппова С.В.

Надійшла до редакції 5 жовтня 2011 р.