

Олександр М. Олійник, Євгенія В. Маказан, Ольга О. Головань
**НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ АНАЛІТИЧНОГО
ІНСТРУМЕНТАРІЮ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНОЮ
ПІДСИСТЕМОЮ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

У статті запропоновано напрямки вдосконалення аналітичного інструментарію управління логістичною підсистемою машинобудівного підприємства з використанням асимптотичних методів. За умов змінних витрат на постачання та попит отримано модель, що дозволяє вдосконалити логістичну систему машинобудівного підприємства аналітичними засобами. Апробація запропонованої моделі на умовних даних виявила її ефективність та практичну значущість.

Ключові слова: управління логістикою; попит; метод збурень; асимптотичні методи.

Форм. 9. Рис. 1. Табл. 3. Літ. 12.

Александр Н. Олейник, Евгения В. Маказан, Ольга А. Головань
**ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО
ИНСТРУМЕНТАРИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ
ПОДСИСТЕМОЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

В статье предложены направления совершенствования аналитического инструментария управления логистической подсистемой машиностроительного предприятия с использованием асимптотических методов. В условиях переменных затрат на поставку и спроса получена модель, позволяющая усовершенствовать логистическую систему машиностроительного предприятия аналитическими средствами. Апробация предложенной модели на условных данных выявила ее эффективность и практическую значимость.

Ключевые слова: управление логистикой; спрос; метод возмущений; асимптотические методы.

Oleksandr M. Oliynyk¹, Evgeniya V. Makazan², Olga O. Golovan³
**DIRECTIONS OF ANALYTICAL TOOLS IMPROVEMENT
IN MANAGEMENT OF MACHINE-BUILDING
ENTERPRISE'S LOGISTIC SUBSYSTEM**

Directions of analytical tools improvement in management of machine-building enterprise logistic subsystem are proposed here on the basis of asymptotic methods. Under the conditions of variable order costs and changeable demand a model of optimal order is obtained, which enables improving the logistic system of a machine-building company by using analytical tools. Approbation of the proposed model on simulated data has shown its efficiency and practical importance.

Keywords: logistics management; demand; perturbation method; asymptotic methods.

Постановка проблеми. Стан вітчизняної економіки, яка перебуває в умовах зміни векторів розвитку, а також постіндустріалізація, що є провідною характерною рисою сучасної світової економічної системи, спричиняє підвищення конкуренції між виробниками як всередині країни, так і на міжнародних ринках, зменшення життєвих циклів, а також зростання вимог споживачів до якості пропонованих товарів та послуг. Одночасно з цим відбувається зростання нестабільності основних економічних, політичних і соціальних факторів, що призводить до погіршення адаптації вітчизняних компаній зага-

¹ Zaporizhzhya National University, Ukraine.

² Zaporizhzhya National University, Ukraine.

³ Zaporizhzhya National University, Ukraine.

лом, а також в одній з провідних галузей економіки України – машинобудуванні.

Трансформація вітчизняної економіки вимагає від машинобудівних підприємств пошуку шляхів оптимізації управління з метою забезпечення адаптації до функціонування в умовах глобалізації. Світовий досвід свідчить, що досягнення даної мети можливе за рахунок застосування сучасних логістичних методів. Оптимізація логістичної системи машинобудівного підприємства дозволить вдосконалити процеси планування, здійснення та контролю за економічно ефективним переміщенням, складуванням сировини, управлінням запасами, готовими виробами та пов'язаними з цим послугами. Тому для підприємств вітчизняного машинобудування актуалізується питання впровадження в практику їх діяльності сучасного інструментарію управління логістичною підсистемою, а також застосування моделювання логістичних процесів з метою досягнення встановлених цілей.

Існуючий математичний та технічний інструментарій управління логістичною системою потребує постійного вдосконалення аналітичного інструментарію, що вимагає застосування новітніх наукових підходів до формалізованого представлення економіко-математичних моделей управління логістичною підсистемою машинобудівного підприємства.

Аналіз останніх публікацій. Аналізу сучасного стану машинобудівної галузі присвячено праці О.О. Безручко [7], Н.П. Карачина [4], О.І. Маслака [7], В.А. Міщенко [11], І.В. Мовчана [7], І.В. Тютюнника [11] та інших. Особливості застосування логістичних підходів у системі управління машинобудівним підприємством висвітлено такими авторами, як І.А. Кабанець [3], О.О. Нечай [10] та іншими. Моделювання логістичних систем досліджували А.О. Коломицева [5], Ю.М. Кулик [6], В.С. Лукинський [8], Ю.А. Харченко [12] та інші. Ці та інші праці присвячено вивченню моделювання логістичних підсистем підприємств з використанням традиційних економіко-математичних моделей, що передбачає обмежене застосування сучасного математичного інструментарію. Врахування змін вхідних параметрів логістичної системи в процесі моделювання «збуреної» системи вимагає використання асимптотичних методів у випадку, коли цей параметр є малою величиною. Асимптотичним теоріям присвячено праці таких провідних вчених, як І. Андріанов [1], В. Гришак [2], Л. Маневич [1], А. Найфе [9] та ін.

Метою дослідження є визначення напрямків удосконалення аналітичного інструментарію управління логістичною підсистемою машинобудівного підприємства з використанням асимптотичних методів.

Основні результати дослідження. Найбільш вживаною на практиці моделю логістичних бізнес-процесів, що застосовується підприємствами машинобудівної галузі, є модель оптимального розміру замовлення, визначення якого здійснюється на основі мінімізації загальних витрат, пов'язаних з доставкою та зберіганням продукції:

$$C_{\Sigma} = C_{\text{Доставка}} + C_{\text{Зберігання}} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Величина оптимального розміру замовлення розраховується за формулою Уільсона [8]:

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{2C_0S}{C_{Збер}}}, \quad (2)$$

де q_{opt} – величина замовлення; C_0 – витрати на виконання одного замовлення; S – потреба в замовленні продукту протягом даного періоду; $C_{Збер}$ – витрати на зберігання одиниці продукції на складі за певний період.

Використання моделі (1)–(2) обмежується багатьма припущеннями, зокрема, умовою постійності витрат на виконання замовлення і зберігання продукції та умовою незмінності інтенсивності попиту (потреби) на продукцію протягом визначеного періоду. Оскільки зазначені умови на практиці, як правило, не виконуються, дослідника цікавитиме питання масштабу та характеру впливу варіації вхідних параметрів моделі на кінцевий результат.

Основною складовою витрат на виконання замовлення C_0 підприємств машинобудування, які є ресурсоемними, є транспортні витрати, що внаслідок інфляції, зростання цін на паливно-мастильні матеріали постійно збільшуються. Якщо припустити, що за певний період часу витрати на виконання замовлення збільшуються на $i\%$, то через n періодів вони сягатимуть

$C_0 \times \left(1 + \frac{i\%}{100\%}\right)^n$. Якщо прийняти за малий параметр збурення відношення

$\varepsilon = \frac{i\%}{100\%}$ ($\varepsilon \ll 1$), то залежність витрат на виконання замовлення набуватиме вигляду $C_0 \times (1 + \varepsilon)^n$.

На практиці потреба (попит) S на продукцію від періоду до періоду також зазнає незначних коливань. Періодичність коливань попиту можна представити у вигляді залежності $S \times \left(1 - \beta \sin \frac{\pi n}{2}\right)$, де $\beta \ll 1$ – малий параметр.

Унаслідок малості параметрів ε та β можна вважати, що відхилення від початкових значень C_0 та S є незначними, і обмеження, що мають місце в моделі (1)–(2), значною мірою не порушуються.

За цих умов модифікована формула для визначення оптимального розміру замовлення набуває вигляду:

$$q^*_{opt} = \sqrt{\frac{2C_0 \times S}{C_{Збер}}} \times \sqrt{(1 + \varepsilon)^n \times \left(1 - \beta \sin \frac{\pi n}{2}\right)}, \quad (3)$$

де ε і β – параметри збурення.

Формула (3) не є зручною для використання на практиці через те, що ускладнює обчислення оптимального розміру замовлення при збільшенні кількості періодів n і не дозволяє чітко виявити різницю між «збуреним» q^*_{opt} та «незбуреним» (2) значеннями.

Представимо q^*_{opt} у вигляді асимптотичного розвинення за степенями двох малих параметрів ε і β , нехтуючи членами порядку ε^3 , $\varepsilon^2\beta$ і вище:

$$q^*_{opt} = (q_0 + \beta \times q_1) + (\tilde{q}_0 + \beta \times \tilde{q}_1) \times \varepsilon + q_2 \times \varepsilon^2 + \dots \quad (4)$$

Розклавши в ряд Тейлора функцію $(1 + \varepsilon)^n$, підставимо розвинення (4) у співвідношення (3) і, прирівнюючи коефіцієнти при однакових ступенях

малих параметрів ε і β , маємо систему рівнянь для визначення невідомих функцій q_0 , q_1 , \tilde{q}_0 , \tilde{q}_1 і q_2 :

$$\varepsilon^0: (q_0 + \beta \times q_1)^2 = \frac{2C_0S}{C_{36ep}} \left(1 - \beta \sin \frac{\pi n}{2}\right); \quad (5)$$

$$\varepsilon^1: 2(q_0 + \beta \times q_1) \times (\tilde{q}_0 + \beta \times \tilde{q}_1) = \frac{2C_0S}{C_{36ep}} \times n \times \left(1 - \beta \sin \frac{\pi n}{2}\right); \quad (6)$$

$$\varepsilon^2: (\tilde{q}_0 + \beta \times \tilde{q}_1)^2 + 2(q_0 + \beta \times q_1) \times q_2 = \frac{2C_0S}{C_{36ep}} \times \frac{n \times (n-1)}{2} \left(1 - \beta \sin \frac{\pi n}{2}\right). \quad (7)$$

Розв'язуючи рівняння (5)–(7) і підставляючи значення функцій q_0 , q_1 , \tilde{q}_0 , \tilde{q}_1 і q_2 у розвинення (4), одержуємо асимптотичне представлення за двома параметрами ε і β формули (3) для визначення оптимального розміру замовлення у вигляді (8) або (9):

$$q^*_{opt} = \sqrt{\frac{2C_0S}{C_{36ep}}} \times \left(\left(1 + \frac{n}{2} \times \varepsilon\right) \times \left(1 - \frac{1}{2} \beta \sin \frac{\pi n}{2}\right) + \frac{n \times (n-2)}{8} \times \varepsilon^2 \right); \quad (8)$$

$$q^*_{opt} = q_{opt} \times \left(1 + \frac{n}{2} \times \varepsilon - \frac{1}{2} \beta \sin \frac{\pi n}{2} - \frac{n}{4} \varepsilon \times \beta \sin \frac{\pi n}{2} + \frac{n \times (n-2)}{8} \times \varepsilon^2\right). \quad (9)$$

Згідно з методикою асимптотичного методу, в якості модельних даних для розрахунку надамо значення параметрів збудження витрат на постачання в 1% та 2%, а зміну параметра попиту – в 20% та 25%. Як можна бачити з табл. 1, де наведено результати розрахунку за формулою (3) та її асимптотичними розвиненнями (8)–(9) при різних значеннях ε , β та n , асимптотичний розв'язок майже не відрізняється від точного, навіть за достатньо великих значень параметрів збурень ε і β , проте є більш зручним для використання на практиці.

Для аналізу чутливості величини замовлення до коливань попиту було здійснено розрахунки відносних показників зміни розміру замовлення по відношенню до «незбуреної» величини при різних значеннях параметру β , які наведено у табл. 2. При цьому значення параметру, що відповідає за збудження витрат на виконання замовлення, залишимо фіксованим в розмірі 1%.

Як видно з табл. 2, при фіксованому значенні параметра $\varepsilon = 0,01$ у непарні періоди часу ($n = 1, 3, 5, \dots$), коли спостерігається коливання попиту на продукцію, збільшення амплітуди коливання призводить до суттєвої зміни оптимального розміру замовлення. Так, при $n = 3$, коли спостерігається збільшення попиту на 1% ($\beta = 0,01$), відносний показник зміни оптимального розміру замовлення дорівнює +2,01%, у той час як при збільшенні попиту на 20% ($\beta = 0,2$) та 25% ($\beta = 0,25$) цей показник збільшується на 9,64% та 12,18%, сягаючи відповідно 11,65% та 14,19%. Отже, чим більшим є відхилення попиту від стандартного розподілу, тим більшими є зміни в розмірі замовлення, які повинні бути враховані службою логістики машинобудівного підприємства.

Характер залежності зміни розміру оптимальної партії замовлення за періодами в умовах поступового підвищення витрат на виконання замовлення та коливання попиту на продукцію представлено на рис. 1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз результатів розрахунку за точною та асимптотичною формулами, авторська розробка

Кількість періодів, n	$\varepsilon = 0,01, \beta = 0,2$		$\varepsilon = 0,02, \beta = 0,25$	
	γ $q_{opt}^* = q_{opt} \times \gamma$ формула (3)	$\tilde{\gamma}$ $q_{opt}^* = q_{opt} \times \tilde{\gamma}$ асимптотична формула (9)	γ $q_{opt}^* = q_{opt} \times \gamma$ формула (3)	$\tilde{\gamma}$ $q_{opt}^* = q_{opt} \times \tilde{\gamma}$ асимптотична формула (9)
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
1	0,8989	0,9045	0,8746	0,8837
2	1,0100	1,0100	1,0200	1,0200
3	1,1119	1,1165	1,1517	1,1589
4	1,0201	1,0201	1,0404	1,0404
5	0,9170	0,9227	0,9100	0,9195
6	1,0303	1,0303	1,0612	1,0612
7	1,1343	1,1389	1,1983	1,2055
8	1,0406	1,0406	1,0824	1,0824
9	0,9354	0,9413	0,9467	0,9569
10	1,0510	1,0510	1,1041	1,1040
11	1,1571	1,1617	1,2467	1,2537
12	1,0615	1,0615	1,1262	1,1260

Таблиця 2. Відносні показники зміни оптимального розміру замовлення при коливанні попиту на продукцію ($\varepsilon = 0,01$), авторська розробка

Кількість періодів, n	$\beta = 0,01$		$\beta = 0,2$		$\beta = 0,25$	
	q_{opt}^* / q_{opt}	%	q_{opt}^* / q_{opt}	%	q_{opt}^* / q_{opt}	%
0	1,0000	0,00	1,0000	0,00	1,0000	0,00
1	1,0000	0,00	0,9045	0,00	0,8794	0,00
2	1,0100	+1,00	1,0100	+1,00	1,0100	+1,00
3	1,0201	+2,01	1,1165	+11,65	1,1419	+14,19
4	1,0201	+2,01	1,0201	+2,01	1,0201	+2,01
5	1,0201	+2,01	0,9227	-7,73	0,8971	-10,29
6	1,0303	+3,03	1,0303	+3,03	1,0303	+3,03
7	1,0406	+4,06	1,1389	+13,89	1,1648	+16,48
8	1,0406	+4,06	1,0406	+4,06	1,0406	+4,06
9	1,0406	+4,06	0,9413	-5,87	0,9152	-8,48
10	1,0510	+5,10	1,0510	+5,10	1,0510	+5,10
11	1,0615	+6,15	1,1617	+16,17	1,1881	+18,81
12	1,0615	+6,15	1,0615	+6,15	1,0615	+6,15

Отже, машинобудівне підприємство може оптимізувати логістичні витрати закупівлі матеріалів з урахуванням коливань попиту на продукцію, пропоновану компанією, що виникає внаслідок різних причин. Попит на використовувані ресурси є похідним від попиту на готову продукцію. Він, своєю чергою, може характеризуватися рухливістю, наприклад, коливатися залежно від сезону, зміни переваг споживачів, їх купівельної спроможності та інших причин. Пропонована модель дозволяє врахувати ці зміни.

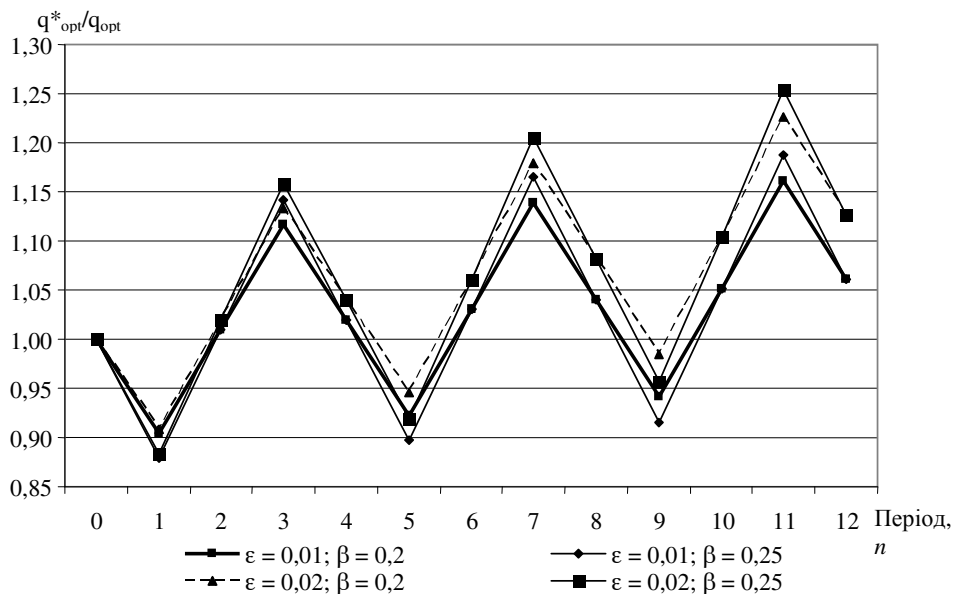


Рис. 1. Залежність зміни розміру оптимальної партії від значень параметрів ϵ , β та n , авторська розробка

Одним з провідних представників машинобудівної галузі України є ПАТ «Мотор Січ», що спеціалізується на виробництві двигунів для авіації, а також виробляє товари народного споживання. Номенклатура продукції народного споживання виробництва ПАТ «Мотор Січ» включає: мотоблоки, агротехніку, сепаратори для молока, бензо- та електропили, нагрівальні прилади, двигуни для човнів, ендопротези тощо.

Застосуємо запропоновану модель оптимізації обсягів замовлення двигунів ДК 110-60 для сепараторів СЦМ-100-80. Попит на дану модель сепаратора становить близько 2500 од. на квартал, проте цей показник коливається в залежності від сезону (взимку попит знижується, а навесні – зростає) та купівельної спроможності селян (восени під час зростання доходів сільських домогосподарств зростають обсяги капіталовкладень в потрібне обладнання). Основний постачальник двигунів ДК 110-60 для компанії ПАТ «Мотор Січ» знаходиться в м. Дніпропетровську, вартість виконання замовлення – 380 грн. Витрати на зберігання цього виду ресурсу складають 5% від вартості продукції, тобто $0,05 \times 350 \text{ грн} = 17,5 \text{ грн}$ за одиницю.

Згідно з класичною методикою, застосовуючи формулу (2), отримуємо оптимальний обсяг замовлення двигунів ДК 110-60 для компанії ПАТ «Мотор Січ», що становить 329 одиниць. Запропонована методика дає результати оптимізації розміру замовлення двигунів ДК 110-60 для компанії ПАТ «Мотор Січ» з урахуванням коливань попиту та зростання витрат на виконання замовлення, що наведені в табл. 3.

Таким чином, за 12 кварталів (3 роки) оптимальна партія двигунів ДК 110-60 для компанії ПАТ «Мотор Січ» збільшиться під впливом коливань попиту та зміни витрат на виконання замовлення до 349 од., або на 6%.

Таблиця 3. Зміни оптимального розміру замовлення двигунів ($\varepsilon = 0,01$), авторська розробка

Кількість періодів, n	$\beta = 0,01$	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,25$
	q^*_{opt}	q^*_{opt}	q^*_{opt}
0	329	329	329
1	329	298	289
2	332	332	332
3	336	367	376
4	336	336	336
5	336	304	295
6	339	339	339
7	342	375	383
8	342	342	342
9	342	310	301
10	346	346	346
11	349	382	391
12	349	349	349

Висновки. У даному дослідженні запропоновано напрямки вдосконалення аналітичного інструментарію управління логістичною підсистемою підприємства машинобудівної галузі з використанням асимптотичного методу збурень. При цьому, основним напрямком оптимізації є вдосконалення системи, що відповідає за ефективність визначення обсягу партії замовлення в умовах змінних витрат на постачання та змінний попит на комплектуючі для машинобудівного підприємства.

При зміні витрат на виконання замовлення та коливанні попиту на продукцію обсяг замовлення теж зазнає коливань, причому із збільшенням значень параметрів ε та β відхилення від «незбуреного» значення розміру замовлення стає більш відчутним. В роботі визначено, що наприкінці 3-ого періоду при збільшенні витрат на виконання замовлення на 2% ($\varepsilon = 0,02$), а попиту на 20% ($\beta = 0,2$) обсяг замовлення збільшиться на 13%. Моделюючи характер змін у попиті та витратах за допомогою асимптотичної формули (9), підприємства машинобудівної галузі мають змогу вносити своєчасні корективи до організації закупівель у системі логістики.

Перспективи подальшого дослідження пов'язані з вивченням ефективності адаптованих асимптотичних моделей закупівельної логістики до сучасних умов змін векторів розвитку вітчизняної економіки.

1. Андрианов И.В., Маневич Л.И. Асимптотология: идеи, методы, результаты. – М.: Аслан, 1994. – 160 с.

Andrianov I.V., Manevich L.I. Asimptologiya: idei, metody, rezultaty. – M.: Aslan, 1994. – 160 s.

2. Грицак В.З. Гібридні асимптотичні методи та техніка їх застосування: Монографія. – Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2009. – 226 с.

Hryshchak V.Z. Hibrydni asymptotychni metody ta tekhnika yikh zastosuvannia: Monohrafiia. – Zaporizhzhia: Zaporizkyi natsionalnyi universytet, 2009. – 226 s.

3. Кабанець І.А. Визначення основних логістичних підходів до управління інноваційними процесами машинобудівним підприємством // www.economy.nayka.com.ua.

Kabanets I.A. Vyznachennia osnovnykh lohistychnykh pidkhodiv do upravlinnia innovatsiinymy protsesamy mashynobudivnym pidpriemstvom // www.economy.nayka.com.ua.

4. *Карачина Н.П.* Машинобудування України: сучасний стан, тенденції та перспективи розвитку за умов економічної кризи // *ena.lp.edu.ua*.

Karachyna N.P. Mashynobuduvannya Ukrainy: suchasnyi stan, tendentsii ta perspektyvy rozvytku za umov ekonomichnoi kryzy // *ena.lp.edu.ua*.

5. *Коломицева А.О., Яковенко В.С.* Моделювання процесів оптимального управління логістичними розподільчими системами // *Бізнес-Інформ.*— 2012.— №7. — С. 18–21.

Kolomytseva A.O., Yakovenko V.S. Modeliuvannya protsesiv optimalnoho upravlinnia lohystychnymu rozpodilchymu systemamy // *Biznes-Inform.*— 2012.— №7. — С. 18–21.

6. *Кулик Ю.М.* Методика оцінки надійності логістичних систем машинобудівних підприємств // *Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі: проблеми теорії та практики.*— 2014.— №1. — С. 93–102.

Kulyk Yu.M. Metodyka otsinky nadiinosti lohystychnykh system mashynobudivnykh pidpriemstv // *Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvamy mashynobudivnoi haluzi: problemy teorii ta praktyky.*— 2014.— №1. — С. 93–102.

7. *Маслак О.І., Безручко О.О., Мовчан І.В.* Сучасний стан ринку машинобудівної промисловості в Полтавському регіоні // *Ефективна економіка: Електронне наук. фахове видання* // *www.economy.nayka.com.ua*.

Maslak O.I., Bezruchko O.O., Movchan I.V. Suchasnyi stan rynku mashynobudivnoi promyslovosti v Poltavskomu rehioni // *Efektivna ekonomika: Elektronne nauk. fakhove vydannia* // *www.economy.nayka.com.ua*.

8. *Модели и методы теории логистики: Учеб. пособие / Под ред. В.С. Лукинского.* — СПб.: Питер, 2007. — 448 с.

Modeli i metody teorii logistiki: Ucheb. posobie / Pod red. V.S. Lukinskogo. — SPb.: Piter, 2007. — 448 s.

9. *Найфэ А.Х.* Введение в методы возмущений / Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 536 с.

Naife A.Kh. Vvedenie v metody vozmushchenii / Per. s angl. — M.: Mir, 1984. — 536 s.

10. *Нечай О.О.* Механізм впровадження інформаційної системи логістичного управління на машинобудівному підприємстві // *Інвестиції: практика та досвід.*— 2012.— №4. — С. 47–52.

Nechai O.O. Mekhanizm vprovadzhennia informatsiinoi systemy lohystychnoho upravlinnia na mashynobudivnomu pidpriemstvi // *Investytsii: praktyka ta dosvid.*— 2012.— №4. — С. 47–52.

11. *Тютюнник І.В., Мищенко В.А.* Аналіз сучасного стану машинобудівної галузі України // *Вісник НТУ «ХПІ».*— 2015.— №28. — С. 109–113.

Tiutynnyk I.V., Mishchenko V.A. Analiz suchasnogo stanu mashynobudivnoi haluzi Ukrainy // *Visnyk NTU «KhPI».*— 2015.— №28. — С. 109–113.

12. *Харченко Ю.А.* Оцінка надійності виробничих планів машинобудівних підприємств за умов невизначеності логістичних параметрів // *Збірник наук. праць ПолтНТУ.*— Серія: Галузеве машинобудування, будівництво.— 2015.— Вип. 1. — С. 140–146.

Kharchenko Yu.A. Otsinka nadiinosti vyrobnychykh planiv mashynobudivnykh pidpriemstv za umov nevyznachenosti lohystychnykh parametriv // *Zbirnyk nauk. prats PoltNTU.*— Serii: Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo.— 2015.— Vyp. 1. — С. 140–146.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2016.