

ВАРІАТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАТРИМКИ НА ВСІХ ЛАНКАХ ЛАНЦЮГА ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА

© 2017 ШЕРСТЕННИКОВ Ю. В.

УДК 330.45:334.012.64

Шерстенников Ю. В. Варіативне моделювання параметрів затримки на всіх ланках ланцюга логістичної системи підприємства

Здатність підприємства задовольняти потреби споживача визначається злагодженою роботою всіх ланок ланцюга логістичної системи підприємства: швидкістю обробки замовлень, виробничою потужністю підприємства, швидкістю відвантажень продукції, транспортуванням до кінцевого замовника. Метою статті є розробка загальної схеми моделювання параметрів затримки на всіх ланках ланцюга логістичної системи. Для цього було використано апарат теорії масового обслуговування. Проаналізовано роботу малого підприємства ЧП «Екокомплект». Розроблено метод варіативного моделювання узгодження темпів роботи конкретної ланки із загальними потребами виробництва. Складено математичні програми з чисельного визначення параметрів затримки на підставі теорії масового обслуговування та отримано позитивні економічні результати інтенсифікації темпів обслуговування вимог діяльності МП.

Ключові слова: логістична система, параметри затримки, мале підприємство.

Рис.: 3. **Формул:** 5. **Бібл.:** 9.

Шерстенников Юрій Всеволодович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри економічної кібернетики, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (пр. Гагаріна, 72, Дніпро, 49000, Україна)

E-mail: hm001@ukr.net

УДК 330.45:334.012.64

UDC 330.45:334.012.64

Шерстенников Ю. В. Вариативное моделирование параметров задержки на всех звеньях цепи логистической системы предприятия
Способность предприятия удовлетворять потребности потребителя определяется слаженной работой всех звеньев цепи логистической системы предприятия: скоростью обработки заказов, производственной мощностью предприятия, скоростью отгрузки продукции, транспортировкой к конечному заказчику. Целью статьи является разработка общей схемы моделирования параметров задержки на всех звеньях цепи логистической системы. Для этого был использован аппарат теории массового обслуживания. Проанализирована работа малого предприятия ЧП «Экокомплект». Разработан метод вариативного моделирования согласования темпов работы конкретного звена с общими нуждами производства. Составлены математические программы по численному определению параметров задержки с использованием теории массового обслуживания и получены положительные экономические результаты интенсификации темпов обслуживания требований деятельности МП.

Ключевые слова: логистическая система, параметры задержки, малое предприятие.

Рис.: 3. **Формул:** 5. **Библ.:** 9.

Шерстенников Юрій Всеволодович – кандидат фізико-математических наук, доцент, доцент кафедри економічної кібернетики, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (пр. Гагаріна, 72, Дніпро, 49000, Україна)

E-mail: hm001@ukr.net

Sherstennikov Yu. V. Variative Modeling of the Parameters of Delay throughout all Parts of the Chain of Logistics System of Enterprise

Enterprise's ability to meet the needs of consumer is determined by the efficient work of all parts of the chain of enterprise's logistics system: speed of processing orders, production capacity of enterprise, speed of product shipments, transportation to the end customer. The article is aimed at developing a general scheme of modeling the parameters of delay throughout all parts of the chain of logistics system. To do this, machinery of mass service theory was used. The work of small private enterprise «Ekokomplekt» was analyzed. A method for variative modeling the harmonization of work rate of the specific part of the chain with the common needs of the production has been developed. The mathematical programs for numerical characterization of the parameters of delay have been compiled using the mass service theory, positive economic results related to intensifying the rates of service of requirements to the activities of small enterprise have been obtained.

Keywords: logistic system, parameters of delay, small enterprise.

Fig.: 3. **Formulae:** 5. **Bibl.:** 9.

Sherstennikov Yuriy V. – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics, Oles Honchar Dnipro National University (72 Naharina Ave., Dnipro, 49000, Ukraine)

E-mail: hm001@ukr.net

Здатність підприємства задовольняти потреби споживача визначається злагодженою роботою всіх ланок ланцюга логістичної системи підприємства: швидкістю обробки замовлень, виробничою потужністю підприємства, швидкістю відвантажень продукції, транспортуванням до кінцевого замовника. Однією з важливих характеристик всіх цих ланок є запізнювання у здійсненні їхніх технологічних операцій, або іншими словами – пропускна здатність. Запізнювання є найважливішим поняттям при побудові імітаційних моделей збутових виробничих систем [1]. Це питання варто дослідити із залученням теорії систем масового обслуговування.

Системи масового обслуговування широко використовуються в сучасних економічних дослідженнях. Так, у роботі [2] розглянуте питання визначення стаціо-

нарних імовірностей станів системи масового обслуговування з ненадійним приладом, переналагодуванням і профілактикою, що описує функціонування як основного, так і допоміжного матеріального потоку логістичної системи.

У статті [3] розглянуто модель системи масового обслуговування з втратою вимог під час переналагодування приладу, необмеженою чергою, яка дозволяє оцінити основні параметри гнучкої логістичної системи.

Автор [4] досліджує питання визначення стаціонарної ймовірності станів системи масового обслуговування з ненадійним приладом, переналагодуванням і профілактикою, що описує функціонування як основного, так і допоміжного матеріального потоку логістичної системи.

У статті [5] зазначається, що при оцінці ефекту від здійснення заходів з керування матеріальними, інформаційними й фінансовими потоками в логістичних системах підприємств виникає необхідність створення інформаційних систем із використанням аналітичного інструментарію. Імовірнісний характер формування і надходження інформації вимагає в процесі моделювання інформаційних систем використання математичного інструментарію, частіше за все – теорії марківських процесів і апарату теорії масового обслуговування. Побудовано аналітичну модель інформаційної системи на базі локальної мережі «файл-сервер» на основі ототожнення функціонування системи з безперервним марківським процесом. Розроблено методику визначення основних характеристик системи: середнього числа користувачів, що очікують відповіді, і середньої тривалості очікування відповіді на запит користувача.

Стаття [6] присвячена питанню обчислення стаціонарних ймовірностей станів системи масового обслуговування з ненадійним обладнанням, профілактикою та переналадженням на початку виробничого циклу. Описується функціонування як основного, так і допоміжного матеріального потоку логістичної системи. Передбачається, що вхідний потік на обробку замовлень має пуассонівський розподіл, а час виходу обладнання з ладу, час переналадження і час профілактики мають показові закони розподілу. Обслуговування обладнання здійснюють дві бригади: ремонтна та профілактична. Ремонтна бригада відновлює обладнання, що вийшло з ладу, причому замовлення, що знаходяться на приладі, не губляться, а дообслуговуються в часі, що лишився. Друга бригада займається проведенням тільки профілактичних робіт. Розглянуто одну з можливих схем, при якій обладнання після завершення виробничого циклу йде на профілактику. Обмежень на величину черги немає. Знайдено основні характеристики описаної вище системи, а саме: ймовірності того, що прилад знаходиться в неробочому стані, на профілактиці та на переналадці. Знайдені ймовірності станів описаної системи можуть бути використані для оцінки доцільності ремонтного аутсорсингу на промислових підприємствах.

У статті [7] охарактеризовано ключові моменти функціонування Інтернет-магазину. Розглянуто основні кроки діяльності типового Інтернет-магазину та розроблено схему його функціонування. Окремо виділено завдання роботи двох фаз Інтернет-магазину: відділів складу та власної служби доставки. На основі теорії масового обслуговування запропоновано стохастичну модель функціонування зазначених фаз. Розроблена стохастична модель двофазової мережі масового обслуговування з пуассонівським вхідним потоком наведена в динаміці та стаціонарному режимі роботи. За допомогою використання умови збереження потоку виведено аналітичні вирази основних операційних характеристик процесів виконання замовлень Інтернет-магазином як мережі масового обслуговування в стаціонарному режимі роботи. Зокрема, виведено аналітичні вирази для ймовірностей станів системи, частки простоїв мережі та середньої кількості вимог у системі. На основі запропо-

нованої моделі визначено необхідність розроблення керованої системи масового обслуговування в подальших дослідженнях.

У статті [8] розглянуте питання визначення стаціонарної ймовірності станів системи масового обслуговування з ненадійним приладом, переналадженням і профілактикою, що описує функціонування як основного, так і допоміжного матеріального потоку логістичної системи.

Для визначення пропускної здатності логістичної системи (ЛС) підприємства необхідно розробити загальну схему моделювання параметрів затримки на всіх ланках ланцюга логістичної системи. З цією метою застосуємо апарат теорії масового обслуговування.

Для злагодженої роботи усіх ланок ланцюга ЛС темпи усіх потоків (замовлень, сировини, товару і т. ін.) мають бути узгоджені між собою. Не повинно виникати занадто великих затримок на жадному етапі роботи ЛС. Це означає, що всі ланки мають відповідати деякому бажаному ритму роботи. Нашим завданням є розробка методики підстроювання конкретної ланки під бажаний темп роботи всієї ЛС.

Розглянемо пуассонівський потік вимог (повідомлень, заявок, клієнтів, викликів та ін.), що надходить на систему обслуговування (конкретну ланку ЛС). Остання являє собою сукупність s ідентичних обслуговуючих апаратів (приладів або робітників). Кожний апарат одночасно може обслуговувати тільки одну вимогу, причому тривалість обслуговування має експонентний розподіл з параметром $\beta > 0$. Інтенсивність пуассонівського потоку вимог дорівнює α . Якщо при надходженні вимоги хоча б один апарат вільний, то вимога негайно приймається їм на обслуговування. А якщо ні, то воно ставиться в чергу. Із черги вимоги приймаються на обслуговування в порядку їх надходження в моменти закінчення обслуговувань. Обслуговані вимоги залишають систему. Така система називається *ерлангівською системою масового обслуговування з очікуванням*.

Якщо число вимог у системі не перевищує наявної кількості апаратів s , то одночасно обслуговуються все вимоги. Оскільки інтенсивність обслуговування однієї вимоги становить β , то загальна інтенсивність обслуговування складе $j\beta$. Якщо ж число вимог перевищує число апаратів, то обслуговується тільки s вимог, при цьому сумарна інтенсивність обслуговування дорівнює $s\beta$.

Інтенсивність потоку вимог α повинна бути строго менше загальної інтенсивності обслуговування всіма апаратами $s\beta$, тобто пропускної здатності системи. Величина $\rho = \frac{\alpha}{s\beta}$ називається *коефіцієнтом завантаження системи*.

У випадку $\rho = \frac{\alpha}{s\beta} < 1$ для ймовірності того, що в системі немає вимог, маємо ([9, с. 265]):

$$\pi_0 = \left(1 + \sum_{j=1}^{s-1} \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^j \frac{1}{j!} + \frac{1}{s!} \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^s \frac{1}{1-\rho} \right)^{-1}. \quad (1)$$

Найбільший інтерес для практики представляють такі показники ефективності системи обслуговування, як середнє число вимог у системі u й у черзі v , середній час перебування вимоги в системі r і в черзі w .

Середнє число вимог у черзі складе

$$v = \frac{1}{s!} \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^s \frac{\rho}{(1-\rho)^2} \pi_0. \quad (2)$$

Число вимог у системі складається з вимог у черзі плюс вимоги, що перебувають на обслуговуванні. Останніх стільки, скільки апаратів зайняте. Але середнє число зайнятих апаратів дорівнює числу апаратів s , помноженому на коефіцієнт завантаження ρ . Отже, середнє число вимог у системі u знаходиться за формулою:

$$u = v + sp = \frac{1}{s!} \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^s \frac{\rho}{(1-\rho)^2} \pi_0 + \left(\frac{\alpha}{\beta} \right) w = \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^s \frac{1}{s! \alpha} \pi_0 \sum_{i=1}^{\infty} i \rho^i = \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^s \frac{1}{s! \alpha} \frac{\rho}{(1-\rho)^2} \pi_0. \quad (3)$$

Знайдемо тепер середній час очікування вимогою початку обслуговування w . Вимога очікує, якщо при її надходженні в систему всі апарати виявляються зайнятими. Якщо всі обслуговуючі апарати працюють, то загальна інтенсивність обслуговування становить $s\beta$. Отже, середній час до закінчення чергового обслуговування становить $1/s\beta$. Середній час очікування вимогою початку обслуговування w складе:

$$w = \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^s \frac{1}{s! \alpha} \pi_0 \sum_{i=1}^{\infty} i \rho^i = \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^s \frac{1}{s! \alpha} \frac{\rho}{(1-\rho)^2} \pi_0. \quad (4)$$

Нарешті, середній час перебування вимоги в системі r складається із часу очікування й часу обслуговування $1/\beta$, так що

$$r = w + \frac{1}{\beta} = \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^s \frac{1}{s! \alpha} \frac{\rho}{(1-\rho)^2} \pi_0 + \frac{1}{\beta}, \quad (5)$$

Аналогічним чином можуть бути знайдені й інші характеристики довжини черги (дисперсія, середнє квадратичне відхилення), а також розподіл часу очікування початку обслуговування й т. п. Відзначимо, що процеси масового обслуговування є найбільш уживаними ймовірнісними моделями при описі різних економічних систем.

Перш за все проблему становлять ті ланцюги ЛС, які мають найбільшу затримку в обслуговуванні. Розглянемо шляхи зменшення цієї затримки. По-перше, якщо є можливість збільшення параметра β , що означає збільшення інтенсивності обслуговування одним апаратом на проблемній ланці, а отже, й усією ланкою в цілому, то цю можливість треба використовувати в першу чергу. По-друге, якщо на практиці перша можливість не може бути реалізована, тоді залишається збільшувати кількість обслуговуючих апаратів.

Розглянемо перший шлях. На *рис. 1* показано вибір β – параметра експонентного розподілу тривалості часу обслуговування однієї вимоги при різних значеннях параметра α у випадку кількості обслуговуючих апаратів $s = 4$, якщо до тривалості повного обслуговування поставлена вимога $r \leq 2,4$.

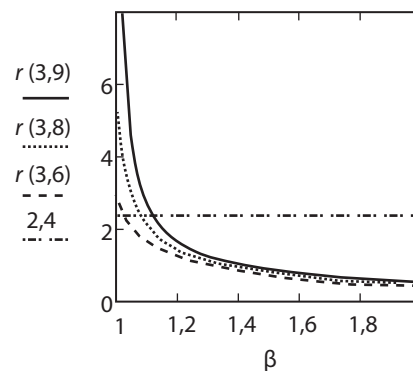


Рис. 1. Залежність повного часу обслуговування r від параметра експонентного розподілу тривалості часу обслуговування однієї вимоги β при різних інтенсивності потоку вимог α

З *рис. 1* видно, що для того, аби зменшити час повного обслуговування (при фіксованій інтенсивності потоку вимог, яка дорівнює α), треба збільшувати параметр β . Розрахунки доводять, що при $\alpha = 3,9$ $\beta_{\min} = 1,102$; при $\alpha = 3,8$ $\beta_{\min} = 1,078$; при $\alpha = 3,6$ $\beta_{\min} = 1,029$. Збільшення параметра β означає збільшення інтенсивності обслуговування одним апаратом. Це можливо лише при заміні обладнання на більш ефективне, або взагалі для цього потрібно змінювати технологію на даній ланці ЛС.

Може виявитися, що економічно більш вигідним буде другий шлях, який передбачає замість збільшення інтенсивності обслуговування одним апаратом збільшити кількості цих апаратів на даному ланцюгу ЛС.

Другий шлях розглянемо на конкретному прикладі. Мале підприємство ЧП «Екокомплект» є офіційним дилером компанії Grimco Trade Holand. Компанія Grimco Trade Holand була створена у 2003 р. Офіси компанії розташовані в Нідерландах (м. Еншеде) і в Україні (м. Київ). Основні види діяльності: організація імпорту/експорту між Нідерландами та країнами СНД. Спеціалізація: продукти харчування, напої, столові прилади, корпоративний одяг і обладнання для харчової промисловості.

ЧП «Екокомплект» зокрема займається продажем голландського засобу Dutrion по всій Україні. Dutrion – це продукт для одержання водяного розчину діоксиду хлору безпосередньо на місці застосування. Стрімко прогресуючий розвиток у технології одержання діоксиду хлору робить Dutrion більш вигідним і безпечним у порівнянні з іншими дезінфікуючими засобами.

Проблема полягає в підлаштуванні темпів поставок дрібним оптом кінцевим споживачам з оптового складу (м. Київ) до темпу порівняно великих імпортних поставок на оптовий склад. Якщо імпортні поставки представити як пуассонівський потік, то інтенсивність цього потоку має бути $\alpha = 3,3$ (од./год.); інтенсивність обслуговування одним каналом транспортування (одним «апаратом») кінцевим споживачам не перевищує $\beta = 2,1$ (од./год.). Вимоги до повного часу обслуговування однієї партії імпорту такі: цей час не може перевершувати 1,5 год., бо в іншому разі посередник (ЧП «Екокомплект») обкладається великими штрафними санкціями. Треба визначити необхідну кількість транспортних каналів для того, аби уникнути штрафних санкцій.

Одного каналу транспортування буде явно недостатньо, оскільки в цьому разі інтенсивність вхідного потоку α буде перевищувати інтенсивність обслуговування β . На рис. 2 показано розраховану за системою рівнянь (1) – (5) залежність повного часу r обслуговування однієї партії на ланці дрібного опту від кількості s апаратів на цій ланці при $\alpha = 3,3$ і $\beta = 2,1$.

З рис. 2 видно, що двох каналів для дрібного опту буде в цьому разі достатньо. Розрахунки показують, що кількості каналів транспортування $s = 2$ буде достатньою в разі, якщо інтенсивність імпортного потоку α не буде перевершувати 3,47.

На рис. 3 видно, що при $\alpha > 3,47$ кількість каналів $s = 2$ стає недостатньою. Але якщо збільшити кількість каналів до $s = 3$, то виникає великий запас щодо можливого зростання імпортного потоку.

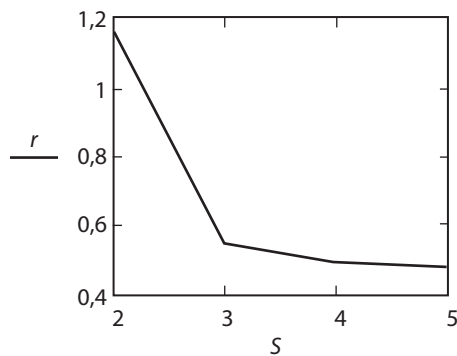


Рис. 2. Залежність повного часу обслуговування r однієї партії на ланці дрібного опту від кількості s каналів транспортування

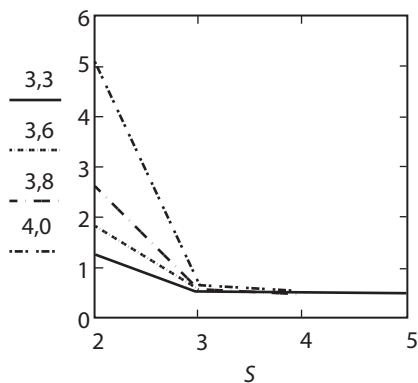


Рис. 3. Залежність повного часу обслуговування r однієї партії на ланці дрібного опту від кількості s каналів транспортування при різній інтенсивності імпортного потоку

ВИСНОВКИ

Таким чином, у роботі запропоновано метод варіативного моделювання узгодження темпів роботи конкретної ланки із загальними потребами виробництва та складено математичні програми з чисельного визначення параметрів затримки на підставі теорії масового обслуговування, що показали позитивні економічні результати інтенсифікації темпів обслуговування вимог діяльності малого підприємства. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика)/пер. с англ. под ред. Д. М. Гвишиани. М.: Прогресс, 1971. 340 с.
2. Румянцев М. В., Медведєва М. І. Дослідження системи обслуговування з ненадійним приладом і переналагодженням на початку періоду зайнятості. *Бізнес Інформ*. 2011. № 7. С. 10–13.
3. Румянцев М. В. Гнучкі логістичні системи з переналагодженням на початку періоду зайнятості й втратою вимог. *Бізнес Інформ*. 2012. № 4. С. 25–27.
4. Медведєва М. І. Модель оцінки стратегії ремонтних робіт промислового устаткування. *Бізнес Інформ*. 2012. № 5. С. 62–65.
5. Кабаненко Ю. В. Математична модель інформаційного потоку. *Бізнес Інформ*. 2013. № 8. С. 135–138.
6. Медведєва М. І. Проблеми аутсорсингу при ремонті та обслуговуванні технологічного обладнання. *Бізнес Інформ*. 2013. № 11. С. 91–95.
7. Скіцько В. І., Ігнатова Ю. В. Моделювання логістичних процесів виконання замовлень Інтернет-магазином як мережі масового обслуговування. *Бізнес Інформ*. 2015. № 8. С. 70–76.
8. Медведєва М. І. Гнучка виробнича система з переналагодженням, ненадійним устаткуванням, відновленням і профілактикою. *Проблеми економіки*. 2012. № 2. С. 54–58.
9. Андронов А. М., Копытов Е. А., Гринглаз Л. Я. Теория вероятностей и математическая статика: учебник для вузов. СПб.: Питер, 2004. 461 с.

REFERENCES

- Andronov, A. M., Kopytov, E. A., and Gringlaz, L. Ya. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statika* [Probability theory and mathematical statistics]. St. Petersburg: Piter, 2004.
- Forrester, Dzh. *Osnovy kibernetiki predpriyatiya (Industrialnaya dinamika)* [Fundamentals of Cybernetics of the enterprise (Industrial dynamics)]. Moscow: Progress, 1971.
- Kabanenko, Yu. V. "Matematychna model informatsiinoho potoku" [Mathematical model of information flow]. *Biznes Inform*, no. 8 (2013): 135-138.
- Medvedieva, M. I. "Model otsinky stratehii remontnykh robit promyslovoho ustatkuvannia" [The model of estimation of strategy of repair works of industrial equipment]. *Biznes Inform*, no. 5 (2012): 62-65.
- Medvedieva, M. I. "Problemy outsorsynhu pry remonti ta obsluhovuvanni tekhnolohichnoho obladnannia" [The problems of outsourcing when repairing and servicing of technological equipment]. *Biznes Inform*, no. 11 (2013): 91-95.
- Medvedieva, M. I. "Hnuchka vyrobnycha systema z perenalahodzhenniam, nenadiinym ustatkuvanniam, vidnovlenniam i profilyaktykoiu" [Flexible manufacturing system with changeover, unreliable device, vacation and prophylaxis]. *Problemy ekonomiky*, no. 2 (2012): 54-58.
- Rumiantsev, M. V. "Hnuchki lohistrychni systemy z perenalahodzhenniam na pochatku periodu zainiatosti i vtratoi vymoh" [Flexible logistic systems with reconfiguration at the beginning of the period of employment and loss of requirements]. *Biznes Inform*, no. 4 (2012): 25-27.
- Rumiantsev, M. V., and Medvedieva, M. I. "Doslidzhennia systemy obsluhovuvannia z nenadiinym prykladom i perenalahodzhenniam na pochatku periodu zainiatosti" [A study of the service system with unreliable apparatus and readjustment at the beginning of the period of employment]. *Biznes Inform*, no. 7 (2011): 10-13.
- Skitsko, V. I., and Ihnatova, Yu. V. "Modeliuvannia lohistrychnykh protsesiv vykonannia zamovlen Internet-mahazynom yak merezhi masovoho obsluhovuvannia" [Modeling of logistics processes order fulfillment online shop as a queueing network]. *Biznes Inform*, no. 8 (2015): 70-76.