

УДК 519.872:681.5

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ У РОБОТІ СКЛАДУ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ

О. В. Матус

студентка 3 курсу, група ПМ-31, навчально-науковий інститут автоматики, кібернетики та обчислювальної техніки

Науковий керівник – к.т.н., доцент С. К. Матус

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

Статтю присвячено дослідженню роботи складу Інтернет-магазину, проведено порівняння існуючої системи з комп'ютерно-інтегрованою системою управління шляхом застосування методів теорії масового обслуговування, а саме: розглянуто алгоритм розрахунку показників якості функціонування багатоканальної системи для забезпечення безперебійної роботи і мінімізації витрат на складі.

Ключові слова: теорія масового обслуговування, Інтернет-магазин, склад, комп'ютерно-інтегрована система.

Статья посвящена исследованию работы склада Интернет-магазина, проведено сравнение существующей системы с компьютерно-интегрированной системой управления путем применения методов теории массового обслуживания, а именно: рассмотрен алгоритм расчета показателей качества функционирования многоканальной системы для обеспечения бесперебойной работы и минимизации затрат на складе.

Ключевые слова: теория массового обслуживания, Интернет-магазин, склад, компьютерно-интегрированная система.

The article is devoted to research the work of the online store by comparing the existing control system with the computer-integrated system using methods of mass service theory, namely, the algorithm for calculating the quality performance indicators of the multichannel system is considered, ensuring uninterrupted operation and minimization of costs in the warehouse.

Keywords: mass service theory, online store, warehouse, computer-integrated system.

Сучасний ринок Інтернет-магазинів розвивається надзвичайно швидкими темпами. Інтернет-магазин є однією з найпоширеніших комерційних моделей електронної торгівлі у сфері B2C (Business-to-Consumer) – торгівля між компаніями й споживачами або форма електронної торгівлі, метою якої є прямі продажі споживачам [1]. Проте важкою і затратною є задача організації роботи самого складського приміщення. Вибравши товар, клікнувши кнопку «Придбати», замовлення передається в саме серце магазину – на його склад. Працівники, отримавши дані нового замовлення, повинні зорієнтуватися, де знаходиться необхідний товар і як найшвидше його відвантажити.

Найбільш ефективна робота складу Інтернет-магазину досягається головним чином за рахунок зменшення часу обробки замовлень та підвищення рівня організації праці шляхом впровадження комп'ютерно-інтегрованої системи управління [2], із використанням автоматичних транспортних засобів (роботів), розробки систем управління ними, пов'язаних з базою даних Інтернет-магазину (рис. 1).



Рис. 1. Структура комп'ютерно-інтегрованої системи управління складу Інтернет-магазину

Яскравим прикладом впровадження комп'ютерно-інтегрованої системи управління є складу Інтернет-магазину Amazon.com (станом на 2018 рік вважається найдорожчим брендом у світі – 150 млрд доларів), який охоплює величезну кількість груп товарів. Із збільшенням попиту на товари працівники складу Інтернет-магазину були не спроможні опрацювати величезну кількість замовлень, тому в 2012 році корпорація купила компанію Kiva Systems (в даний час – [Amazon Robotics](#)), виробника складських роботів, призначених для переміщення та відвантаження товарів. За оцінкою аналітиків [Уолл-Стріт](#), використання роботів для автоматизації складських операцій дозволить Amazon скоротити витрати на підготовку замовлень на 40% [3].

Розглядаючи питання підвищення ефективності роботи складу Інтернет-магазину за рахунок впровадження комп'ютерно-інтегрованої системи управління виникає необхідність проаналізувати його роботу використовуючи для цього науково-обґрунтований математичний інструмент на основі теорії масового обслуговування (ТМО) [4-7].

Термін «теорія масового обслуговування» або ж «теорія черг» (*theory of queues*) запропоновано математиком А.Я. Хінчином [7]. Дана теорія є розділом теорії ймовірності, а метою її досліджень є раціональний вибір структури системи та процесу обслуговування, тобто ТМО вивчає процеси з опрацюванням часто повторюваних однорідних подій, які з'являються у системах виробництва, обслуговування та управління. Таким чином, системи масового обслуговування (СМО) – це системи, до яких в різні моменти часу надходять масові запити (вимоги) на обслуговування (виконання деяких видів послуг). Із СМО ми зустрічаємось повсякчас, наприклад, практично кожному з нас доводилось чекати обслуговування в черзі.

Інтернет-магазин є типовою системою масового обслуговування. Отже, **розглянемо алгоритм розрахунку показників якості функціонування багатоканальної СМО** з необмеженою чергою на прикладі роботи типового Інтернет-магазину компанії, яка займається продажем одягу, взуття та аксесуарів, на складі якого працюють 18 операторів з обробки замовлень, у дві зміни по 6 годин, графік роботи магазину з 9:00 до 21:00, 7 днів на тиждень, кожен працівник за годину може відбирати до 10 замовлених товарів, щогодини магазин отримує в середньому 135 замовлень, площа складу складає 800 м². Всі замовлення обробляються вручну, кожен товар спочатку кладеться в кошик, при його заповненні відправляється на сортування, пакування та відправлення кінцевому споживачу.

Основними характеристиками СМО є:

- λ – інтенсивність потоку замовлень, яка виражається числом замовлень, що надходять за одиницю часу;

- μ – інтенсивність обслуговування, яка є оберненою величиною часу обслуговування $t_{\text{обсл}}$, тобто інтенсивність обслуговування одного продавця;
- n – кількість працівників складу;
- $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ – середнє число замовлень, що надходить за час обслуговування одного замовлення;
- $Q = 1$ – відносна пропускна здатність – ймовірність того, що будь-яка заявка може бути обслужена;
- $A = Q \cdot \lambda$ – абсолютна пропускна здатність СМО;
- $p_0 = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^{n-1}}{(n-1)!} + \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{1}{n-\rho} \right)^{-1}$ – ймовірність того, що у операторів відсутні замовлення;
- $p_{\text{уч}} = \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \cdot p_0$ – ймовірність утворення черги;
- $\bar{k}_3 = \frac{A}{\mu}$ – середнє число зайнятих операторів;
- $L_q = \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n! \left(1 - \frac{\rho}{n} \right)^2} \cdot p_0$ – середня довжина черги;
- $T_q = \frac{L_q}{\lambda}$ – середній час очікування в черзі;
- $L_{\text{сист}} = L_q + \rho$ – середнє число заявок в системі;
- $T_{\text{сист}} = \frac{L_{\text{сист}}}{\lambda}$ – середній час перебування заявки в СМО.

З метою спрощення розрахунків було написано програму мовою C# у середовищі Microsoft Visual Studio, фрагмент коду якої подано на рис. 2.

```

static void Main(string[] args)
{
    while (true)
    {
        int n = 0; //кількість людей, що працюють в магазині, 18 - first case, 2 - second case
        double[] l = new double[] { 43, 80, 212, 310, 340, 160, 140, 256, 330, 410, 374, 210, 60}; //інтенсивність потоку замовлень,
        //яка виражається числом замовлень, що надходять за одиницю часу
        double m = 0; //інтенсивність обслуговування, яка є оберненою величиною часу обслуговування: 10 - first case, 110 - second case
        double[] r = new double[13]; //середнє число замовлень, що надходить за час обслуговування одного замовлення
        double Q = 1; //Відносна пропускна здатність - ймовірність того, будь-яка заявка може бути обслужена
        double[] A = new double[13]; //абсолютна пропускна здатність
        double[] pq = new double[13]; //Ймовірність утворення черги
        double[] k_busy = new double[13]; //Середнє число зайнятих операторів
        double[] Tq = new double[13]; //Середній час очікування в черзі
        double[] L_system = new double[13]; //Середнє число заявок в системі
        double[] T_system = new double[13]; //Середній час перебування заявки в СМО
        double[] Lq = new double[13]; //Середня довжина черги
        Console.WriteLine("Number of persons in the service: ");
        n = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
        Console.WriteLine("Input the intensity of service, which is the inverse of the time of service: ");
        m = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
        for (int i = 0; i <= 12; i++)
        {
            Console.WriteLine("Lambda is " + l[i]);
            r[i] = l[i] / m;
            Console.WriteLine("Ro is " + r[i]);
            A[i] = Q * l[i];
            Console.WriteLine("A is " + A[i]);
            Console.WriteLine("Queue that there are no requests " + Probability(r[i], n));
            pq[i] = (Math.Pow(r[i], n + 1) * Probability(r[i], n)) / (Factorial(n) * (n - r[i]));
            Console.WriteLine("Queue probability is " + pq[i]);
            k_busy[i] = A[i] / m;
            Console.WriteLine("Average number of busy operators " + k_busy[i]);
            Lq[i] = Math.Abs((Math.Pow(r[i], n + 1) * Probability(r[i], n)) / n * Factorial(n) * (Math.Pow((1 - (r[i] / n)), 2)));
            Console.WriteLine("Average queue length " + Lq[i]);
            Tq[i] = Lq[i] / l[i];
        }
    }
}

```

Рис. 2. Фрагмент програми обрахунку основних характеристик СМО

За допомогою даної програми можна розраховувати показники ефективності багатоканальної системи масового обслуговування в залежності від часу доби. На основі отриманих даних є можливість проводити статистичні дослідження роботи складу Інтернет-магазину (див. рис. 3 і рис. 4.).

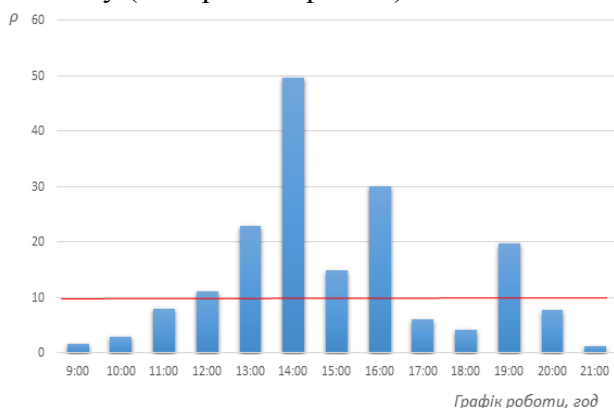


Рис. 3. Діаграма стабільності роботи типового складу Інтернет-магазину

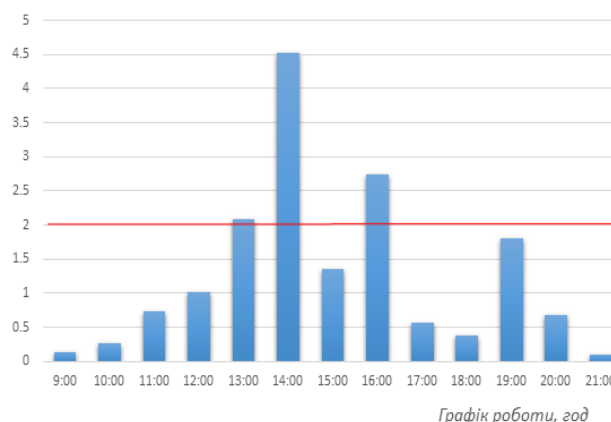


Рис. 4. Діаграма стабільності роботи складу Інтернет-магазину за рахунок впровадження КІСУ

Починаючи з 12 до 16 години та у 19 годині система виходить за межі стійкості (рис. 3). Середній час очікування замовлення у черзі T_q складає 41 хвилину, а число заявок збільшується, тим самим збільшуючи їх середній час перебування в системі, що приводить до затримки обробки та відправлення товару замовнику.

Метою наших розрахунків та пропозицій щодо використання методів теорії масового обслуговування є зменшення часу обробки замовлень та відправлення товару за рахунок підвищення рівня організації праці завдяки впровадженню КІСУ із використанням автоматичних транспортних засобів (роботів), розробки систем управління ними, пов'язаних з базою даних Інтернет-магазину (рис. 4). В такому випадку кожен оператор оперативно зможе брати новий товар не відходячи від робочого місця, адже автоматичні транспортні засоби, згідно програми, ідентифікують місце знаходження товару. Тобто, система управління працює наступним чином: на території складу розміщуються полицки з можливістю їх переміщення, вони заповнюються товарами, коли в базі даних замовлень з'являється новий запис, автоматичний транспортний засіб, без участі людини, підвозить необхідний стелаж до оператора, оператор бере необхідний товар, а робот відвозить полицку на своє місце та чекає нових замовлень. При цьому середній час очікування замовлення у черзі T_q не перевищує 12 хвилин.

Отже, **на основі запропонованого механізму** застосування методів теорії масового обслуговування нами проаналізоване питання підвищення ефективності роботи складу Інтернет-магазину за рахунок впровадження комп'ютерно-інтегрованої системи управління, що дозволить забезпечити безперебійну роботу і мінімізацію витрат на складі.

Список використаних джерел:

1. Василюк А. Інтелектуальна система «Інтернет-магазин музичного обладнання». *Вісник НУ «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології*: зб. наук. праць. Львів: Видавництво Львівської політехніки. Вип. № 751, 2013. С. 373–381.
2. Пупена О. М., Ельперін І. В., Ладанюк А. П. Особливості проектування комп'ютерно-інтегрованих систем управління. *Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи*. 2005. № 2. С. 142–151. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks_2005_2_26/ (дата звернення: 12.10.2018).
3. URL: <https://rb.ru/story/amazon-robots-workers/>. (дата звернення: 12.10.2018).
4. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Теорія_масового_обслуговування (дата звернення: 12.10.2018).
5. Кеніг Д., Штойян Д. Методи теорії масового обслуговування. / пер. з нім.; за ред. Г. П. Клімова. М., 1981.
6. Сааті Т. Л. Елементи теорії масового обслуговування і її застосування. / пер. з англ.; під ред. І. М. Коваленко. М., 1971.
7. Хинчин А. Я. Математические методы теории массового обслуживания. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 122 с.