

## ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНИХ ПРОЦЕДУР ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ГРАФІКІВ РОБОТИ КАСОВОЇ ЗОНИ

### APPLICATION OF SIMULATION MODELING FOR WORK SCHEDULING IN CASH REGISTER AREA

УДК 330.46:519.86

**Лозовська Л.І.**

к.ф.-м.н., доцент кафедри економічної інформатики

Національна металургійна академія України

**Бандоріна Л.М.**

к.е.н., доцент кафедри економічної інформатики

Національна металургійна академія України

**Лозовський О.С.**

аспірант кафедри економічної інформатики

Національна металургійна академія України

*В роботі досліджуються методичні питання формування графіків роботи касової зони. Обґрунтована об'єктивна необхідність розробки імітаційної моделі для визначення оптимальної кількості працюючих кас, побудовані моделі з використанням імітаційних технологій Arena. Досліджено динамічні характеристики моделей та розроблена система формування графіків. Для встановлення достовірності розробленої моделі використовувались засоби теорії систем масового обслуговування.*

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, Arena, системи масового обслуговування, теорія розкладів.

*В работе исследуются методические вопросы формирования графиков работы кассовой зоны. Обоснована объективная необходимость разработки имитационной модели для определения оптимального количества работающих касс, построены модели с использованием имитационных*

*технологий Arena. Исследованы динамические характеристики моделей и разработана система формирования графиков. Для установки достоверности разработанной модели использовались средства теории систем массового обслуживания.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, Arena, системы массового обслуживания, теория расписания.

*We consider methodical aspects of work scheduling of cash registers. We substantiate the need for construction of a simulation model that can be used to determine the optimal count of active cash registers, and construct multiple models using Arena simulation software. We study dynamics of the models and develop a work scheduling system based on simulation and linear programming. The models are validated using queuing theory.*

**Key words:** simulation modeling, Arena, queuing theory, scheduling theory.

**Постановка проблеми.** Завдяки розвитку комп'ютерних технологій та інформатики стало простіше вирішувати складні завдання, для вирішення яких потрібні великі часові та фінансові витрати. Використовуючи моделювання, можна ефективно розв'язувати такі задачі без значних витрат. Найбільш зручним способом моделювання складних систем є імітаційне комп'ютерне моделювання процесів реального світу [4]. У наш час імітаційне моделювання з успіхом застосовується для дослідження і проектування складних систем масового обслуговування.

Черги в системах масового обслуговування виникають внаслідок того, що потік покупців на обслуговування є випадковим і ним не можна управляти. Якщо кількість пристроїв обслуговування (кас) досить велика, то черги виникають рідко, однак при цьому неминучі довготривалі простой обладнання. З іншого боку, якщо недостатня кількість пристроїв обслуговування, створюються черги і можливі великі втрати внаслідок очікування.

Оскільки процес обслуговування покупців на касі магазину здійснюється під впливом різноманітних факторів, проблема формування графіків роботи касової зони надзвичайно актуальна на сьогодні, тому що організувати цей процес так, щоб можна було уникнути черг та простой обладнання, задача не з легких. За допомогою імітаційного моделювання систем масового обслуговування можна швидко й ефективно створити модель, провести аналіз і програти всі можливі варіанти подій, не витрачаючи при цьому багато часу і грошей. Використання автоматизованої

інформаційної системи формування графіків роботи касової зони, дозволить автоматизувати роботу фахівців, ліквідує розрив в часі між процесом продажу, здобуттям первинної інформації, її обробкою й видачею результатів, що дає можливість активно впливати на процес управління.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В сучасних умовах особливо актуальними стають засоби комп'ютерного моделювання. Необхідність використання таких програмних продуктів гостро проявляється при розв'язанні задач, для яких аналітичний опис та розв'язання задач оптимізації процесів є занадто трудомістким, а часто навіть неможливим, оскільки потребує врахування багатьох випадкових факторів функціонування системи. Розробка таких моделей мало формалізована та вимагає творчого підходу в кожному конкретному випадку. Стрімкий розвиток інформаційних технологій зумовив розробку ряду комп'ютерних інструментів, спрямованих на автоматизацію різних областей діяльності людини. Актуальність використання засобів комп'ютерного моделювання підтверджується наявністю великої кількості наукових робіт, які стосуються зазначеної тематики [1, 2, 5].

Існуючі універсальні пакети імітаційного моделювання дозволяють будувати моделі, що враховують час виконання функцій. Такі моделі можна «програти» в часі і отримати статистику процесів, що відбуваються так, як це було б в реальності. Зазвичай імітаційні моделі будуються для пошуку оптимального рішення в умовах обмеження ресурсів, коли інші математичні моделі виявляються занадто складними [2, 3, 5].

**Мета роботи** полягає у дослідженні методичних питань щодо формування графіків роботи касової зони, обґрунтуванні об'єктивної необхідності розробки імітаційної моделі з визначенням оптимальної кількості кас, побудові моделей з використанням імітаційних технологій Arena, дослідженні динамічних характеристик моделей та створення власного програмного продукту для формування графіку роботи касирів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- використання апарату теорії систем масового обслуговування для формалізації імітаційних моделей;
- розробка етапи створення графіку роботи касової зони;
- побудова імітаційних моделей практичної задачі;
- проведення серії імітаційних експериментів з моделлю при різних значеннях керованих параметрів;
- обробка та аналіз результатів моделювання, отриманих показників імітаційної моделі обраної практичної задачі;
- створення системи формування графіку роботи касової зони, а також дослідження її практичного застосування на прикладі конкретного підприємства.

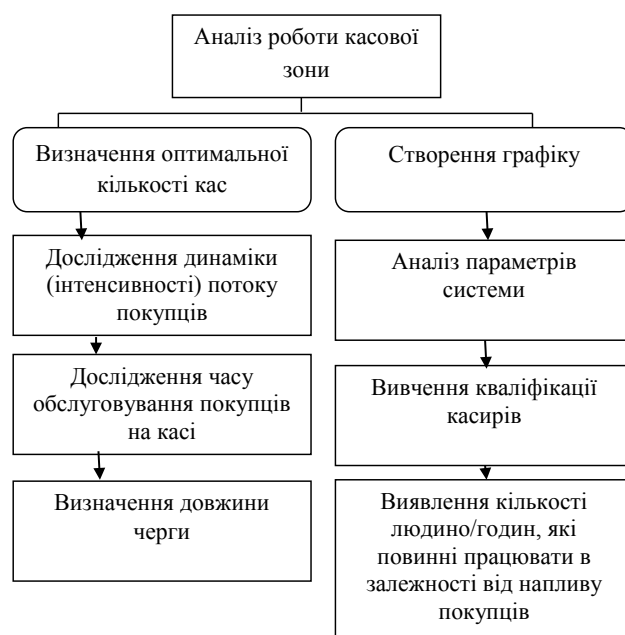
Наукова новизна отриманих результатів полягає у застосуванні нового методологічного підходу до формування графіку роботи касової зони, який базується на створенні власної двох етапної моделі. На першому етапі використовується вже готовий пакет імітаційного моделювання Arena, за допомогою якого будуватиметься власна імітаційна модель та проводиться модельний експеримент, а саме імітаційне моделювання системи масового обслуговування з визначенням оптимальної кількості кас, тобто виявляємо скільки касирів та в який час повинні працювати в залежності від напливу покупців. На другому етапі розв'язується задача про розклад, для чого розроблено власний програмний продукт, який реалізовано за мовою програмування C#, в якості вхідних параметрів передаються дані отримані на попередньому етапі.

**Виклад основного матеріалу.** Для розробки системи формування графіків роботи касової зони необхідно узгодити наступні цілі:

- отримання максимального прибутку за рахунок мінімізації сумарних втрат, які очікуються від несвоєчасного обслуговування, утворення черг;
- досягнення раціонального використання робочого часу (людино/годин);
- максимальне зниження простоїв обладнання (касових апаратів).

Формування графіку роботи касової зони розпочнемо з аналізу роботи касової зони взагалі,

послідовність цілей та завдання цього етапу представлена на рисунку 1.



**Рис. 1. Цілі та завдання формування графіку роботи касової зони**

До критеріїв оптимальності роботи касової зони відносяться такі критерії: інтенсивність потоку покупців, час обслуговування на касі, довжина черги.

До обмежень – обмеження, щодо кількості годин роботи кожного з касирів. Найчастіше критерієм оптимізації роботи касової зони можуть бути наступні показники: максимум обслугованих покупців, мінімум часу обслуговування, мінімум простою обладнання, мінімум черги.

Розв'язання поставлених задач буде застосовуватися в два етапи. На першому використовуватимемо вже готовий пакет імітаційного моделювання Arena, за допомогою якого проводимо імітаційне моделювання систем масового обслуговування з визначенням оптимальної кількості кас. На другому етапі переходимо до розв'язання задачі про розклад. В якості параметрів використовуємо дані, отримані на попередньому етапі й формуємо графік роботи касової зони в залежності від різних ситуацій.

Черги виникають внаслідок того, що потік покупців на обслуговування випадковий і ним неможна управляти. Якщо кількість пристроїв обслуговування (кас) достатньо велика, то черги виникають рідше, однак при цьому неминучі простої обладнання. З іншого боку, якщо недостатня кількість пристроїв обслуговування, створюються черги і можливі великі втрати в результаті очікування.

Визначити оптимальну кількість кас будемо за допомогою імітаційного моделювання [5]. Для формалізації імітаційної моделі доцільно використовувати апарат мереж масового обслуговування [3, 6].

Розв'язання задачі визначення оптимальної кількості кас, можна отримати на основі визначення параметра багатоканальної системи масового обслуговування з необмеженим очікуванням. Для того, щоб порахувати параметри цієї системи, ми будемо застосовувати методи оцінювання статистичних гіпотез щодо інтенсивності потоків входу та обслуговування.

Власне графік роботи працівників, буде складатися в залежності від рекомендованої зайнятості (кількості) касових апаратів в кожен період доби. Для того, щоб визначити цей параметр, будемо використовувати вище згадане імітаційне моделювання багатоканальної СМО.

Закон розподілу часу обслуговування визначається з досвіду шляхом статистичних методів аналізу чисельних значень часу обслуговування реальних систем. Оскільки експоненційний закон розподілу цілком прийнятним чином відповідає реальній системі обслуговування, а також у зв'язку з тим, що основні характеристики систем обслуговування залежать, головним чином, не від виду закону розподілу, а від середнього значення часу обслуговування, будемо використовувати припущення про показовість закону розподілу часу обслуговування. Важливо також, що ця гіпотеза дозволяє істотно спростити математичний апарат, застосований для аналізу систем масового обслуговування. Виходячи з цих посилань, перевірку адекватності моделі будемо проводити, припускаючи, що потоки покупців, які прибувають до магазину, описуються експоненційними законами розподілу.

Для проектування експериментальної системи, а саме першого етапу, обрано імітаційне моделювання в середовищі Arena. Необхідну кількість каналів визначатимемо експериментально. Для початку опишемо процес купівлі в магазині, а саме всі можливі варіанти роботи каси.

Коли покупець підходить до каси, у нього з самого початку може вже бути два варіанти розви-

тку подій: він стоїть у черзі або відмовляється від покупки та йде взагалі з магазину, тому потрібно змодельювати, з якою ймовірністю відбудеться та чи інша дія. Якщо покупець все-таки дочекався своєї черги, перше з чим він може зіткнутися, те, що він може потрапити до кваліфікованого спеціаліста або до стажера, у зв'язку з чим швидкість обслуговування може бути зменшеною. Сам процес обслуговування також розгалужений, касир може штрих-код товару ввести вручну або зчитати його за допомогою спеціального пристрою; покупець може не задовольнитися ціною на товар (якщо на ціннику була вказано одна, а в системі інша), і він відмовиться від придбання та піде з магазину, для цього викликають охоронця, щоб він зробив відмову, а це також час, але він може й погодитися і, тим самим, переходить до етапу оплати своєї покупки. Процес оплати також має свої «підводні камені», адже покупець може розрахуватися готівкою або банківською картою: якщо він пішов шляхом оплати через карту, а на карті не виявилось достатньо коштів або відмова операції, покупець може повернутися на крок назад і все ж таки розрахуватися готівкою або відмовитися взагалі, якщо і готівки не достатньо, – покупець або може відмовитися від деякого товару і розплатитися або покинути магазин не обслугованим; якщо на початковому етапі було одразу обрано спосіб оплати готівка, то послідовність розвитку подій ідентична, як і розглядалося вище.

Загальна модель системи обслуговування покупців на касі магазину представлена на рисунку 2. Для того, щоб почати проводити ряд експериментів розіб'ємо загальний час роботи магазину на часові проміжки по 2 години. Перейдемо до серії випробувань імітаційного моделювання на кожному проміжку часу, враховуючи при цьому декілька умов: по-перше, на касі працюють тільки професіональні співробітники, по-друге, тільки стажери, по-третє, обслуговувати покупців можуть

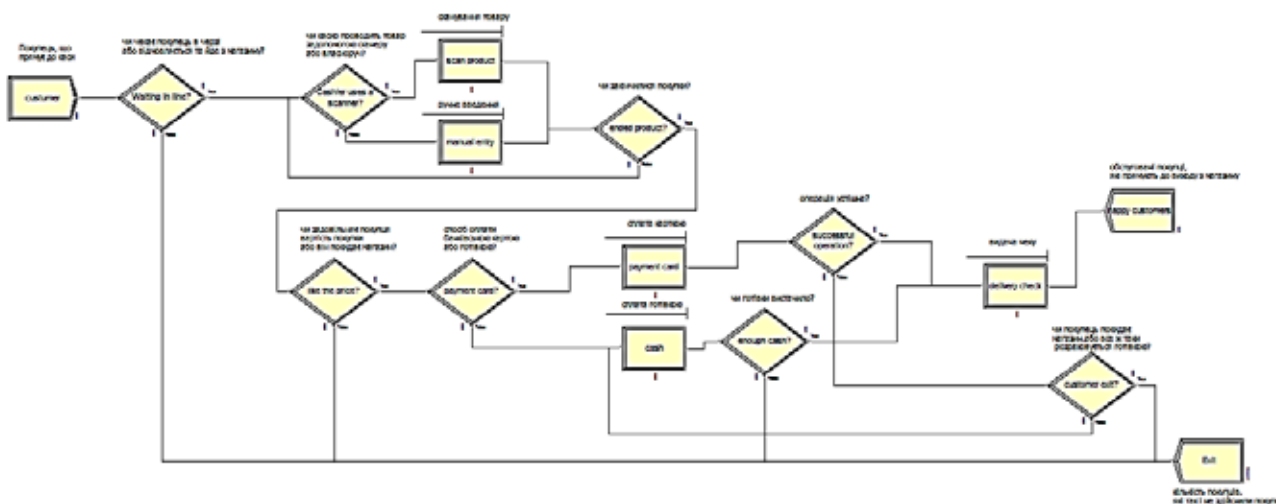


Рис. 2. Загальна модель системи обслуговування покупців на касі магазину

Вхідні дані деталізованої моделі

Назва діяльності	Зайнятий персонал	Параметри, $\mu$ , сек.
Сканування товару	Касир	5
Ручне введення штрих коду товару	– « –	10
Проведення сплати банківською картою	– « –	100
Проведення сплати готівкою	– « –	60
Друк та видача чеку	– « –	10
Назва розгалуження	Тип	Параметри
Чекає покупець в черзі або відмовляється та йде з магазину?	виключне АБО	75% покупців чекають в черзі
Касир проводить товар сканером або власноруч?	виключне АБО	90% товару проводиться за допомогою сканеру
Закінчилися покупки?	виключне АБО	25%, що товар скінчився
Задовольняє покупця вартість покупки чи він покидає магазин?	виключне АБО	75%, що вартість покупки задовольняє
Спосіб оплати банківською картою чи готівкою?	виключне АБО	60%, що обрана сплата банківською картою
Операція успішна з банківською картою?	виключне АБО	70% успішних операцій
Покупець відмовляється від покупки чи розраховується готівкою?	виключне АБО	80% покидають магазин
Готівки вистачило?	виключне АБО	90%, що готівки вистачило

і ті й інші разом. Також необхідно враховувати, щоб черга була якомога меншою, не більше двох покупців.

Перейдемо до серії випробувань імітаційного моделювання на кожному проміжку часу, враховуючи при цьому декілька умов: по-перше, на касі працюють тільки професійні співробітники, по-друге, тільки стажери, по-третє, обслуговувати покупців може і ті й інші разом. Також необхідно враховувати, щоб черга була якомога меншою, не більше 2-х покупців.

Припустимо, що за касовими апаратами розміщено професійних співробітників. Пропишемо, скільки часу займатиме кожна з операцій (параметри діяльності), і яка ймовірність, кожного з можливих варіантів події в середньому (параметри розгалужень) для даної моделі (див. табл. 1).

Таблиця 2

Показники системи на проміжку 8.00-10.00

Показник системи	Кількість касирів
	1
Кількість покупців в системі ( $L_s$ ), осіб	0,5999
Тривалість перебування покупців в системі ( $W_s$ ), сек.	93,45
Кількість покупців у черзі ( $L_q$ ), осіб	0,0020
Тривалість перебування покупців у черзі ( $W_q$ ), сек.	0,5882

Проведемо експеримент, змінюючи кількість касирів для проміжку 8.00-10.00 годин, інтенсивність підходу покупців до каси буде складати  $t_{пр} = 140$  с. Результати експерименту занесені до таблиці 2 та свідчать, що одного касира достатньо

для виконання умови прийнятності, а збільшення їх кількості не має сенсу, бо ця дія не викличе значних змін у показниках системи.

Перейдемо до експерименту, змінюючи кількість касирів для проміжку 10.00-12.00 годин, інтенсивність підходу покупців буде складати  $t_{пр} = 90$  с. Результати експерименту занесені до таблиці 3. З аналізу показників системи випливає, що є невеличка черга, але її можна вважати прийнятною, одного касира буде достатньо для обслуговування покупців на даному проміжку часу, а збільшення їх кількості є нераціональним.

Таблиця 3

Показники системи на проміжку 10.00-12.00

Показник системи	Кількість касирів
	1
Кількість покупців в системі ( $L_s$ ), осіб	2,4147
Тривалість перебування покупців в системі ( $W_s$ ), сек.	199,84
Кількість покупців у черзі ( $L_q$ ), осіб	1,0742
Тривалість перебування покупців в черзі ( $W_q$ ), сек.	49,5803

Рухаємось далі, проведемо експерименти, змінюючи та підбираючи оптимальну кількість касирів для проміжків 12.00-14.00, 14.00-16.00, 16.00-19.00, 19.00-21.00 годин, інтенсивність підходу покупців до каси буде складати  $t_{пр} = 60$  с, 95 с, 40 с, 95 с відповідно. Результати експериментів занесені до таблиць 4-6.

Дані таблиці 4 свідчать, що для виконання умови прийнятності при обслуговуванні потоку покупців для даного проміжку часу, буде раціо-

нально та ефективно додати ще одного касира, що значно впливає на зміну показників системи.

Таблиця 4

**Показники системи на проміжку 12.00-14.00**

Показник системи	Кількість касирів	
	1	2
Кількість покупців в системі ( $L_s$ ), осіб	4,3423	1,0108
Тривалість перебування покупців в системі ( $W_s$ ), сек.	214,61	62,7377
Кількість покупців у черзі ( $L_q$ ), осіб	2,2702	0,05589
Тривалість перебування покупців в черзі ( $W_q$ ), сек.	60,7925	1,6700

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 5, можна зробити висновок, що одного касира достатньо для виконання умови прийнятності. Дані результати аналогічні і на проміжку 19.00-21.00 годин.

Таблиця 5

**Показники системи на проміжку 14.00-16.00**

Показник системи	Кількість касирів
	1
Кількість покупців в системі ( $L_s$ ), осіб	1,4954
Тривалість перебування покупців в системі ( $W_s$ ), сек.	131,39
Кількість покупців у черзі ( $L_q$ ), осіб	0,6553
Тривалість перебування покупців в черзі ( $W_q$ ), сек.	24,4459

Як видно з результатів, представлених у таблиці 6, для виконання умови прийнятності при обслуговуванні потоку з високою інтенсивністю необхідно як мінімум два касира, щоб не утворювалась черга, але щоб зменшити тривалість перебування покупців в черзі пропонується збільшити кількість працівників до трьох.

Таблиця 6

**Показники системи на проміжку 16.00-19.00**

Показник системи	Кількість касирів		
	1	2	3
Кількість покупців в системі ( $L_s$ ), осіб	34,2510	2,1453	1,5826
Тривалість перебування покупців в системі ( $W_s$ ), сек.	1225,02	82,1032	64,9891
Кількість покупців у черзі ( $L_q$ ), осіб	22,0771	0,5804	0,1198
Тривалість перебування покупців в черзі ( $W_q$ ), сек.	503,97	9,7937	1,9748

Отже, у випадку низької інтенсивності потоку покупців, для виконання умови прийнятності, необхідний один працівник-касир для обслуговування покупців. Коли потік покупців має високу інтенсивність, необхідна кількість працівників збільшується на деяких проміжках часу до двох, а

інколи до трьох касирів професіоналів, що дозволяє збільшити швидкість обслуговування приблизно на 79,88%.

Припустимо, що за касовими апаратами працюють не високо кваліфіковані співробітники, а стажери. Проведені експерименти, у яких змінювалась кількість касирів, дозволяють зробити висновок, що у випадку, коли за касовими апаратами розмішено стажерів та за низької інтенсивності потоку покупців, для виконання умови прийнятності необхідно від одного до двох працівників-касирів. Коли потік покупців має високу інтенсивність, необхідна кількість працівників збільшується на проміжках часу до двох, а в піковій зоні – до чотирьох касирів стажерів.

Зіставляючи отримані дані з даними по працівникам-професіоналам, можна зробити висновок, що якщо у зміні будуть працювати тільки стажери, ця ситуація згубно вплине на організаційну роботу магазину в цілому, це по-перше, і, по-друге, керівництву не ефективно наймати більшу кількість працівників. Потрібно розглянути ситуацію, коли в зміні можуть і працюють стажери і професіонали та виявити кількість працюючих обох категорій на кожному проміжку часу.

Для проведення наступних експериментів видозмінимо загальну модель системи обслуговування покупців на касі магазину, при цьому одночасно працюватимуть як досвідчені касири, так і стажери. Завантаженість касової зони на кожному проміжку часу представлено в підсумковій таблиці, згідно з часткою зайнятості працівників та результатів всіх експериментів (див. табл. 7).

Таблиця 7

**Рекомендаційна кількість каналів обслуговування в кожен період доби**

Проміжок часу	Потреба в касирах
8.00-10.00	потрібен один працівник-касир, це може бути як і професіонал, так і стажер, обидва варіанти задовольняють висунутим вимогам
10.00-16.00	1 професіонал та 1 стажер
16.00-20.00	2 професіонала та 2 стажера
20.00-24.00	1 професіонал та 1 стажер

Визначена в результаті експериментів кількість кас, на кожному проміжку часу, необхідна для ефективного обслуговування покупців в різні дні тижня, зведена в таблицю 8.

Розроблено програмний продукт, що складається з трьох модулів. Користувач обирає необхідний модуль та починає роботу з ним. Необхідно внести початкові дані. Користувач повинен натиснути на пункт операційного меню «Файл» та обрати підпункт «Ввести дані».

Далі здійснюється перехід до модулю «Аналіз підсумкових даних», у якому є можливість аналізу введеної інформації у вигляді діаграм (див.рис. 3).

Таблиця 8

Потреба в касирах

Години роботи	8-12	12-16	16-20	20-24
Пн	2	4	4	3
Вт	2	3	3	1
Ср	2	3	4	3
Чт	2	4	4	3
Пт	2	3	3	1
Сб	3	4	4	1
Нд	3	4	5	3

Далі слід завантажити можливі графіки роботи. Для переходу власне до побудови оптимального графіку роботи касової зони слід натиснути на кнопку «Побудувати оптимальний графік» (рис. 4).

Зовнішній дизайн, що розроблений для системи «AIS:Scheduler», є досить простим у застосуванні та доступним для користувачів.

**Висновки.** Процес обслуговування покупців на касі магазину здійснюється під впливом різноманітних факторів. Проблема формування графіків роботи касової зони актуальна на сьогодні, тому що організувати цей процес так, щоб можна було уникнути черг та простоїв обладнання, – задача не з легких. З метою зниження простоїв обладнання та втрат внаслідок утворення черг було розроблено імітаційну модель роботи касової зони, визначено оптимальну кількість кас, досліджено динамічні характеристики моделі. Розроблено програмний продукт, який в якості вхідних даних

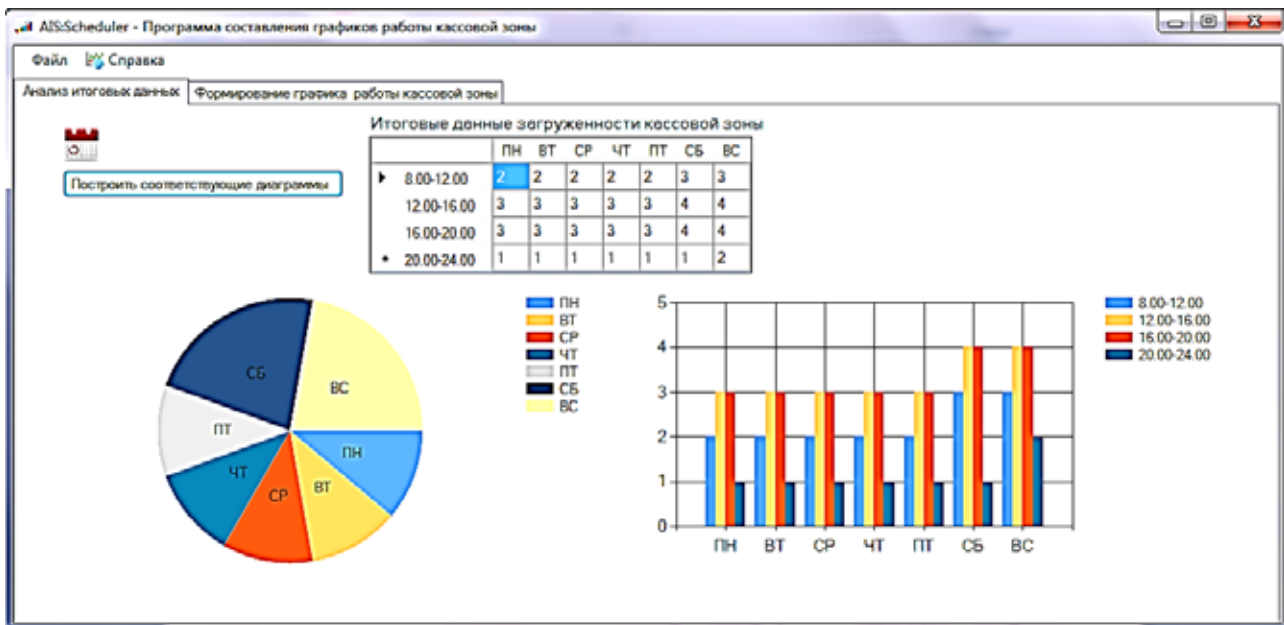


Рис. 3. Необхідна завантаженість кас у періоди роботи магазину

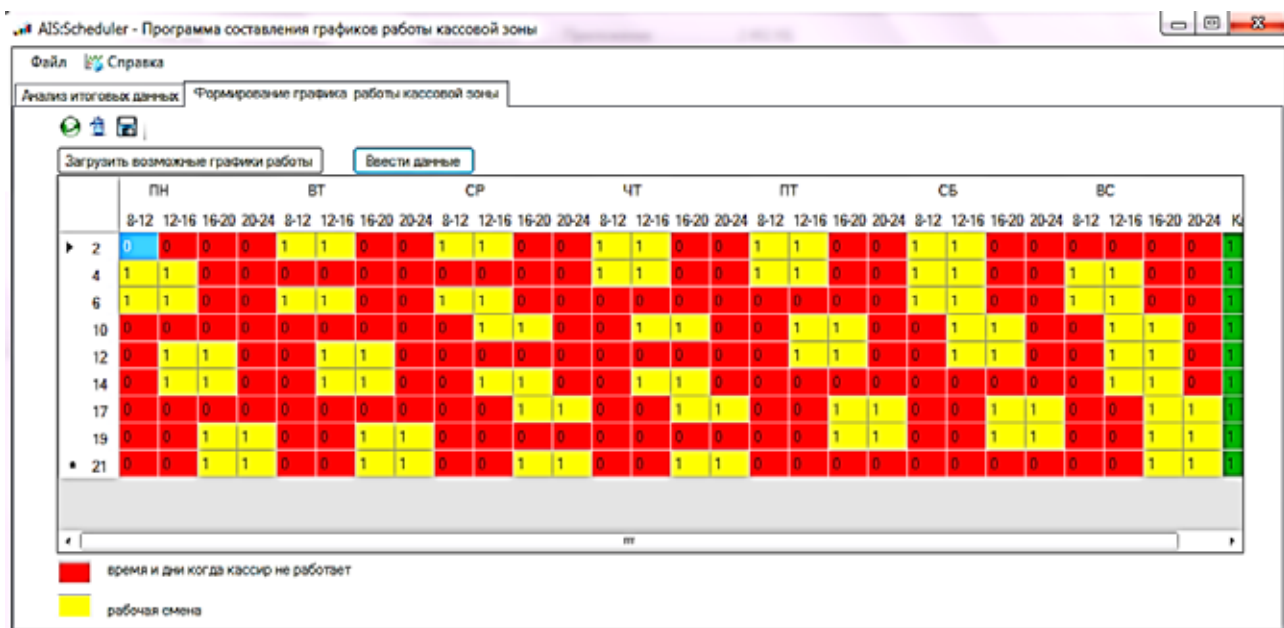


Рис. 4. Оптимальні варіанти графіків роботи касирів

використовує результати імітаційного моделювання, та складається з трьох модулів: введення даних, аналіз підсумкових даних та головний модуль, який призначений власне для формування оптимального графіку роботи касової зони. Програмний продукт було реалізовано мовою C# у середовищі Microsoft Visual Studio 2010. Було проведено модельний експеримент та тестування програмного продукту. Підтверджено коректність роботи програмного продукту.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Бандоріна Л.М. Використання імітаційних процедур для дослідження динамічних характеристик процесу обслуговування пасажирів аеропорту // Л.М. Бандоріна О.С. Лозовський / Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: економіка і менеджмент. Збірник наукових праць. Випуск 11. – Одеса: Міжнародний гуманітарний університет, 2015. – С. 306-309.
2. 10.Імітаційне моделювання з Arena [Електронний ресурс] // Матеріали сайту «Імітаційне моделювання систем» – 2009. – Квітень – Режим доступу: <http://simulation.in.ua/2009/04/page/2/> – Заголовок з екрану.
3. Кельтон, В. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб: Питер, 2004. – 848 с.
4. Комп'ютерне моделювання систем. Методи обчислень. Частина 1: навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О. Ю., Шушура О.М.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193с.
5. Лычкина, Н. Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах и системах

поддержки принятия решений. / Н. Н. Лычкина. – М.: ИММОД, 2005. – 345 с.

6. Теорія масового обслуговування: [Електронний ресурс]. – Режим доступу:[http://pidruchniki.com/14821111/ekonomika/teoriya\\_masovogo\\_obsługovuvannya](http://pidruchniki.com/14821111/ekonomika/teoriya_masovogo_obsługovuvannya) – Заголовок з екрану.

#### REFERENCES:

1. Bandorina L.M. Vykorystannia imitatsiinykh protsedur dlia doslidzhennia dynamichnykh kharakterystyk protsesu obsługovuvannia pasazhyriv aeroportu // L.M. Bandorina O.S. Lozovskyi / Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Serii: ekonomika i menedzhment. Zbirnyk naukovykh prats. Vypusk 11. – Odesa: Mizhnarodnyi humanitarnyi universytet, 2015. – S. 306-309.
2. 10.Imitatsiine modeliuvannia z Arena [Elektronnyi resurs] // Materialy сайту «Imitatsiine modeliuvannia system» – 2009. – Kvitень – Rezhym dostupu : <http://simulation.in.ua/2009/04/page/2/> – Zaholovok z ekranu.
3. Kelton, V. Ymytatsyonnoe modelyrovanye / V. Kelton, A. Lou. – SPb : Pyter, 2004. – 848 s.
4. Komputerne modeliuvannia system. Metody obchyslen. Chastyna 1: navchalnyi posibnyk / Kvietnyi R. N., Bohach I. V., Boiko O. R., Sofyna O. Yu., Shushura O.M.; za zah. red. R.N. Kvietnoho. – Vinnytsia: VNTU, 2012. – 193s.
5. Лычкина, Н. Н. Современные технологии ymytatsyonnoho modelyrovanyia y ykh prymerenye v ynformatsyonnykh byznes-systemakh y systemakh podderzhky pryniatyia reshenyi. / N. N. Лычкина. – М.: YMMOD, 2005. – 345 s.
6. Teoriia masovoho obsługovuvannia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: [http://pidruchniki.com/14821111/ekonomika/teoriya\\_masovogo\\_obsługovuvannya](http://pidruchniki.com/14821111/ekonomika/teoriya_masovogo_obsługovuvannya) – Zaholovok z ekranu.