

УДК 303.094.7: 519.713:656.614.35

Тузенко О. О., Сагіров І. В.

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МОРСЬКОГО ЗЕРНОВОГО  
ТЕРМІНАЛУ**

*В статті розглянуто основні перспективи будівництва морського зернового терміналу на території Державного підприємства «Маріупольський морський торговельний порт», визначено основні етапи та елементи роботи терміналу. Для визначення оптимальних техніко-технологічних параметрів роботи морського зернового терміналу запропоновано два критерію оптимальності та систему функціональних обмежень на значення критеріїв. Цільовою функцією в моделі роботи зернового терміналу визначено час знаходження зерна на терміналі. Розроблено математичну модель роботи зернового терміналу. Зазначено, що кількість прибулих за час  $t$  на термінал транспорту є випадковою величиною, заданої розподілом Пуассона. Інтерактивну імітаційну модель роботи морського зернового терміналу реалізовано з використанням системи AnyLogic.*

**Ключові слова:** Зерновий термінал, морський порт, імітаційна модель, математична модель, транспортування зерна, моделювання, AnyLogic.

**Постановка проблеми.** На теперішній час стало необхідним використання нових інформаційних технологій для моделювання та прогнозування процесу транзиту зерна через морський зерновий термінал Державного підприємства «Маріупольський морський торговельний порт» (ДП «ММТП»). Зробити це необхідно для виявлення оптимального часу проведення операцій, взаємодії елементів терміналу та безперебійного функціонування зернового терміналу, що дозволить зменшити простой та затори транспорту в Маріуполі і в порту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Збільшення можливостей комп'ютерної техніки та 3D проектування відкривають величезні можливості для моделювання та імітації роботи складних систем. Значну роль в світових господарських зв'язках відіграє і фактор часу [1].

За останні п'ять років обсяги перевалки зернових в українських портах збільшилися майже на чверть. А за перше півріччя 2019 року темпи зростання вже перевищили 30% в порівнянні з аналогічним періодом минулого року.

В умовах розвитку України та Маріуполя, економічний розвиток якого значною мірою залежить від Азовського моря, і в умовах глобалізації економічних процесів, інтернаціоналізації роботи транспорту та виробничої міжнародної кооперації більше уваги приділяється розгляду питань збалансованої технології роботи різних видів транспорту і зернового терміналу [2].

Кабінет міністрів 11 січня 2018 року затвердив скоригований проект будівництва спеціалізованого перевалочного комплексу зернових вантажів на території ДП «ММТП». Будівництво терміналу внесено до плану розвитку порту до 2020 року. Проект передбачає будівництво 10 силосів ємністю по 5,7 тис. т., двох оперативних силосів по 500 т., прикордонної галереї, сировинною лабораторії, станції розвантаження автомобільного та залізничного транспорту. Запуск терміналу дозволить стивідору збільшити річний обсяг перевалки зернових на 1 млн т.

Загальна кошторисна вартість проекту станом на жовтень 2017 року становить 467,385 млн грн, в тому числі будівельних робіт – 168,728 млн грн, обладнання – 211 млн

грн, інші витрати – 87,5 млн грн. Термін будівництва комплексу становить 15,5 місяця. Відкриття терміналу забезпечить створення 60 робочих місць.

ДП «ММТП» розпочало реалізацію проекту з будівництва зерноперевалювального комплексу в липні 2018 року. Паралельно здійснюється реконструкція гідротехнічної частини причалу №4 [3].

Зерновий термінал – це система зі складною технічною та організаційною структурою [4, 5], кожен елемент якої безпосередньо впливає на ефективність перевантаження, обробки і зберігання зерна.

В джерелах [6, 7] розглянуті принципи роботи п'яти найбільших портових терміналів світу: Сінгапур, Роттердам (Нідерланди), Нью-Йорк (США), Шанхай (Китай) і Лос-Анджелес (США). В цих роботах зазначені основні інформаційні системи управління та моніторингу портових операцій та системи підтримки рішень. Зазначено, що значною мірою лідерство Сінгапуру в обробки вантажів є постійне вдосконалення системи моніторингу, моделювання ситуацій та реагування на зміни зовнішнього середовища та потреб споживачів.

В даний час розроблений ряд інструментів, що дозволяють автоматизувати роботу як автомобільного так і залізничного транспорту на вантажному терміналі, а також знизити витрати, пов'язані з навантаженням, розвантаженням та управлінням вантажними автомобілями. Це пов'язано зі зростанням ролі логістичного підходу та інформаційних технологій в життєдіяльності сучасного суспільства [8]. Значну долю досліджень складають різні системи моделювання динаміки запасів на хлібоприймальному підприємстві, роботи контейнерних терміналів та інше.

**Мета дослідження.** Виявити послідовність обробки авто та залізничного транспорту, вільних силосів та морських суден, які зайняті у процесі перевалювання зернових. На базі основних даних розробити модель роботи зернового терміналу та сценарій імітаційного моделювання перевалки зерна через морський зерновий термінал ДП «ММТП».

Завдання дослідження полягає в визначенні основних елементів роботи морського зернового терміналу, розробка моделі для дослідження процесів перевалювання зерна, оптимізація елементів системи роботи терміналу, скорочення часу розвантаження транспорту та завантаження суден, зменшення витрат на обробку вантажу.

**Основний матеріал дослідження.** Досліджуючи систему перевезення зерна до Азовського судноремонтного заводу (ТОВ «СРЗ»), в якому працює зерновий термінал, було виявлено, що зерно транспортується залізничним або автомобільним транспортом до входу в морський термінал впродовж значного проміжку часу, а морські судна завантажуються після заповнення силосів на достатній рівень. Той факт, що система перевалки зерна належить до класу імовірнісних поточкових систем, визначає побудову сценарію моделювання у вигляді послідовного опису структурних та функціональних характеристик потоків зерна під час їх проходження через систему. Як метод моделювання частіше використовується метод імовірнісних автоматів [4].

Головним недоліком аналітичних методів є те, що вони дозволяють в якості вихідних параметрів враховувати лише основні імовірнісні розподіли, а результуючими даними є тільки середні величини показників, без урахування можливості оцінки відхилень величин показників із заданою точністю. Однак зерновий термінал є складною системою, характеристики якої адекватно не можуть бути описані тільки імовірнісними розподілами. Наприклад, прибуття судна не є випадковою величиною в широких часових рамках порядку тижні, а визначається досить чітким розкладом. Крім того, випадкові чинники – такі як: відмова обладнання, локальне порушення розкладу прибуття судів (запізнення в рамках тимчасового вікна), погіршення погодних умов та інше - не можуть бути враховані при аналітичному розрахунку. У свою чергу, різні обсяги судових партій і нерівнозначності

інтервалів між прибуттям судів призводять до значних нерівномірних кількостей зерна в силосах, що важливо знати для визначення залежності даної кількості від часу зберігання. При цьому, розрахункові методи визначення необхідної кількості транспортних засобів з урахуванням згаданих факторів, а також необхідності розподілу загальних ресурсів між транспортними операціями відсутні. З усього цього випливає, що дані, отримані в результаті застосування аналітичних методів, не у всіх випадках будуть адекватні. Для більш точного розрахунку доцільним є застосування методу імітаційного моделювання, позбавленого згаданих вище недоліків.

Всю систему роботи зернового терміналу можна розподілити на етапи:

- приймання вантажу;
- попереднє очищення зерна;
- сушка зерна;
- зберігання зерна;
- відвантаження на судна.

Логістика роботи та руху зерна може бути виконана як з автотранспортом або залізничним транспортом, так і з двома спільно використаними маршрутами доставки. При цьому, рух потоків має бути незалежним при різних системах доставки зерна. Основні елементи зернового терміналу прийому та зберігання зерна наведені на рис. 1.

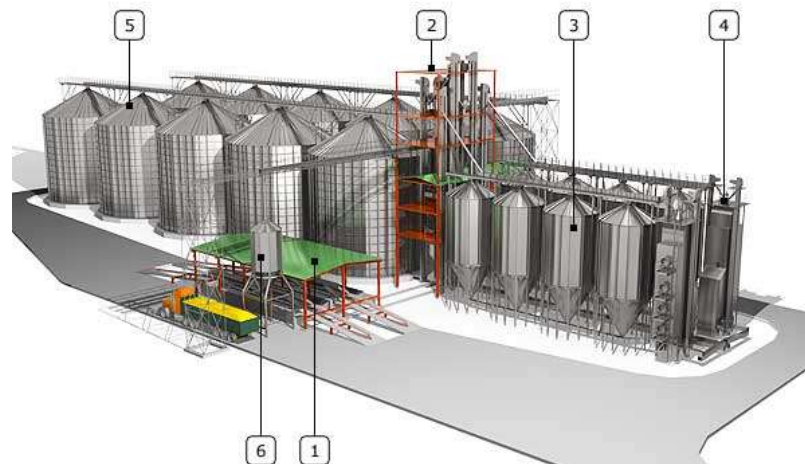


Рис. 1. Основні елементи зернового терміналу прийому та зберігання зерна.

- 1 – Завальні ями.
- 2 – Робоча вежа з бункерами відходів.
- 3 – Блок буферних силосів.
- 4 – Зерносушарки.
- 5 – Силосний корпус в складі силосів з плоским дном.
- 6 – Експедиторський силос.

Кожен з етапів виконується послідовно, або за скороченою схемою, та мають свої терміни часу. Відвантаження зерна на судна здійснюється з генеральних силосів після проведення очищення та сушки зерна.

Для визначення оптимальних техніко-технологічних параметрів роботи морського зернового терміналу, що включає два критерію оптимальності – переробну спроможність терміналу  $\phi_1$  і коефіцієнт використання терміналу по часу протягом доби  $\phi_2$  розроблено математичну модель. Дані критерії враховують всі найважливіші технічні параметри і впливають на тимчасові технологічні показники.

Завдання моделювання полягає в тому, щоб при заданих значеннях некерованих параметрів (технічні параметри обладнання, рухомого складу, вартісні показники, економічні нормативи і інше), в області допустимих значень варійованих (оптимізуються) параметрів – час роботи зернового терміналу, кількість вантажно-розвантажувальних машин, систем та інші, знайти такі значення, при яких досягається оптимальне поєднання значень критеріїв оптимальності. При цьому система функціональних обмежень на значення критеріїв оптимальності має наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &\geq P_{cy} \\ \varphi_1 &\geq Q_{cym} \cdot K_n \cdot K_{en} \cdot K_k \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де,  $P_{cy}$  – переробна здатність системи, т.;

$Q_{cym}$  – середньодобовий потік зерна, т/доб.;

$K_n \cdot K_{en} \cdot K_k$  – коефіцієнти, які характеризують середньодобову та тижневу нерівномірність, а також загушення потоку або накопичення необроблених авто.

Для вирішення даного завдання найбільш обґрунтованим можна вважати підхід, при якому знаходиться рішення, найкращим чином наближається в просторі критеріїв до безлічі несумісних оптимумів приватних критеріїв (метод ідеальної точки). Як компромісною точки  $A_k$  доцільно прийняти рішення, яке мінімізує суму квадратів відносних відхилень:

$$A_k = \left\{ \min \sum_{v=1}^K \left( \frac{\varphi_v(A_i) - \varphi_v}{\varphi} \right)^2 \right\}, \quad (2)$$

де,  $A_i$  – множина допустимих значень параметрів що оптимізують;

$i=1, \dots, n$  – кількість параметрів що оптимізують;

$v=1, \dots, K$  – кількість критеріїв оптимальності;

$\varphi_v(A_i)$  – можливі значення критеріїв оптимальності;

$\varphi_v$  – індивідуальні оптимальні значення критеріїв.

В моделі організації перевалки зерна, в умовах морської термінальної технології, цільовою функцією приймається час знаходження зерна на терміналі, яке є найважливішим показником якості роботи логістичної транспортної ланцюга зернового терміналу.

На основі методів теорії масового обслуговування розроблено математичну модель для реалізації перевалки зерна.

Модель зернового терміналу (як об'єкту) можна уявити за допомогою наступних параметрів: приймемо що  $\lambda$  дорівнює середній кількості транспорту із зерном (вагонів або авто), які прибувають на термінал за одиницю часу;  $t_{cp}$  – дорівнює середньому часу обробки однієї ємності з зерном;  $\sigma_T$  – стандартне відхилення часу обробки ємності. Введемо величини:

$$\mu = \frac{1}{t_{cp}}; \rho = \frac{\lambda}{\mu}; \nu_T = \frac{\sigma_T}{t_{cp}} \quad (3)$$

Приймаємо, що кількість прибулих за час  $t$  на термінал транспорту є випадковою величиною, заданої розподілом Пуассона з параметром  $\lambda t$ . Процес функціонування системи розглядається як послідовна зміна її станів  $P_0, P_1, P_2 \dots P_n$ , де за досить короткий час  $\Delta t$  задана система зі стану  $P_i$ , з точністю до  $\Theta(t)$  перейде з ймовірністю  $\lambda \Delta t + \Theta(t)$  в стан  $P_{i+1}$  (при  $i \neq 0$ ); з ймовірністю  $\mu \Delta t + \Theta(t)$  в стан  $P_{i-1}$ ; з ймовірністю  $1 - \lambda \Delta t - \mu \Delta t + \Theta(t)$  система залишиться в колишньому стані.

Для нормального функціонування терміналу необхідно дотримання нерівності  $\rho < 1$ , в іншому випадку відбувається необмежене збільшення черги з необроблених вагонів або авто. Система з показовим розподілом часу обробки залізничних вагонів, або автотранспорту, з урахування (3) характеризується наступними показниками:

1. Середня кількість транспорту (вагонів та автотранспорту) на терміналі які оброблюються, так і що знаходяться в очікуванні:

$$n_c = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu-\lambda} \quad (4)$$

2. Середня кількість транспорту в очікуванні:

$$n_o = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (5)$$

3. Середній час знаходження транспорту в стані очікування:

$$t_{ож} = \frac{\rho^2}{\lambda(1-\rho)} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (6)$$

Система з довільним розподілом часу обробки характеризується наступними показниками:

$$n_c = \frac{\rho^2(1+v_T^2)}{2(1-\rho)} + \rho$$

$$n_o = \frac{\rho^2(1+v_T^2)}{2(1-\rho)}$$

$$t_{ож} = \frac{\rho^2(1+v_T^2)}{2\lambda(1-\rho)} + \rho$$

Для розробки моделі використано систему AnyLogic та мову програмування Java. Модель розроблено за проектом терміналу який знаходиться в стані будівництва на території ДП «ММТП». Результатом є програмний комплекс для імітації роботи морського зернового терміналу. В програмному комплексі та моделі доставка вантажу здійснюється залізницею та/або автотранспортом (рис.2). На термінал залізничні состави надходять вже відсортовані і розвантажуються на розвантажувальних станціях. Вантаж, що надходить автотранспортом проходить процедуру зважування і відбору проби на якість. Якщо вага і якість вантажу відповідає заявленому, тоді автомашина відправляється на авторозвантажувальну станцію. Якщо якість або вага не збігається з документами, автомашина їде з терміналу за спеціальним маршрутом. Після розвантаження в залізничній або авто станції, вантаж потрапляє очищення та на систему конвеєрів і норій, які відправляють його в силос для сушіння. Розподіл вантажу в силосах відбувається відповідно до виду вантажу.

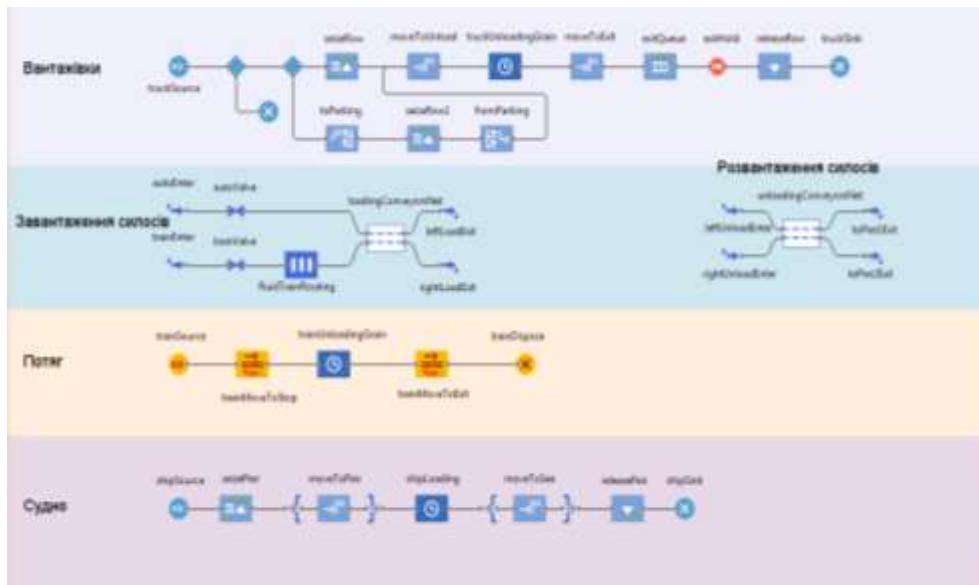


Рис. 2. Загальна логістична схема імітаційної моделі терміналу.

Програма дозволяє змінювати такі параметри, як: довжину складу, інтенсивність заходу складів, швидкість розвантаження вагонів, інтенсивність прибуття машин, відсоток бракованих машин, швидкість розвантаження машин, пропорційний розподіл типу вантажу в залізничних і автомашинах, а також графік заходу суден. Можна аналізувати як роботу всього терміналу в цілому, так і окремих його вузлів, таких як, авто- і залізничних розвантажувальні станції, конвеєрні стрічки, судозавантажувальні машини та ін., що дозволяє визначати вузькі місця в роботі терміналу.

## ВИСНОВКИ

1. В моделі роботи зернового терміналу цільовою функцією приймається час знаходження зерна на терміналі. Час є найважливішим показником якості роботи логістичної транспортної ланцюга зернового терміналу.
2. Розроблено математичну модель роботи зернового терміналу. Зазначено, що кількість прибулих за час  $t$  на термінал транспорту є випадковою величиною, заданої розподілом Пуассона.
3. Інтерактивна імітаційна модель роботи морського зернового терміналу реалізовано з використанням системи AnyLogic.

### Список використаних джерел

1. Утвержден проект реконструкции причала № 4 морского порта Мариуполь для будущего зернового терминала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uspa.gov.ua/ru/press-tsentr/novosti/novosti-ampu/15907-utverzhdjen-proekt-rekonstruktsii-prichala-4-morskogo-porta-mariupol-dlya-budushchego-zernovogo-terminala>.
2. В Мариупольском порту полным ходом идут работы по строительству зернового терминала. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.marport.net/>.

3. На зерновом термінале в Мариупольском порту установили шесть силосов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ports.com.ua/news/na-zernovom-terminale-v-mariupolskom-portu-ustanovili-shest-silosov> .

4. *Бабурин В.А., Бабурин Н.В.* Управление грузовыми перевозками на водном транспорте: учебное пособие / В.А. Бабурин. – СПб: Издательский дом «Мирь», 2007. – 304 с.

5. *Балалаев, А.С.* Методология транспортно-логистического взаимодействия при мультимодальных перевозках: автореф. дис. д-ра. тех.наук: 05.22.01 / Балалаев Александр Сергеевич. – Хабаровск, 2010. – 48 с.

6. *Веремеенко Е.Г.* Применение инновационных технологий в работе крупнейших портов мира // «Научное обозрение», 2013, №9. – С. 365-367.

7. *Belenguer J. M., Martinez M. C., Mota E.* A lower bound for the split delivery vehicle routing problem // Oper. Res. – 2000. – 48.– P. 801 -810.

8. *Голенков В.А., Новиков А.Н., Катунин А.А., Баранов Ю.Н., Матназаров Д.Д.* Оптимизация организации движения на основе имитационного моделирования // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2015. № 3 (73). – С. 5-7.

**Тузенко О.А., Сагиров И.В.**

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МОРСКОГО ЗЕРНОВОГО ТЕРМИНАЛА

*В статье рассматриваются основные перспективы строительства морского зернового терминала на территории Государственного предприятия «Мариупольский морской торговый порт», определяются основные этапы и элементы терминала. Рассмотрены основные подходы к проектированию морских зерновых терминалов. Проведен анализ существующих систем автоматизации работы морских терминалов. Основные типы операций и их последовательность анализируются на примере действующего морского зернового терминала. Выявлена система взаимодействия прибывающего транспорта и элементов зернового комплекса. Для определения оптимальных технических и технологических параметров работы морского зернового терминала предложены два критерия оптимальности и система функциональных ограничений на значения критериев. Целевой функцией в модели работы зернового терминала является время нахождения зерна в терминале. На основе методов теории массового обслуживания разработана математическая модель для осуществления перевалки зерна в условиях эксплуатации морского зернового терминала. Отмечено, что число прибытий в момент времени  $t$  на транспортный терминал является случайной величиной, определяемой распределением Пуассона. Задача моделирования состояла в том, чтобы найти при заданных значениях неконтролируемых параметров в диапазоне допустимых значений различных параметров те значения, при которых достигается оптимальное сочетание значений критериев оптимальности. Интерактивная имитационная модель работы морского зернового терминала была реализована с использованием системы AnyLogic. Функциональность программного обеспечения позволяет использовать элементы событий и агентов для моделирования объектов. Программирование выполняется на Java. Система предоставляет возможность устанавливать различные входные параметры и моделировать в режиме реального времени или ускорения процессов долгосрочные операции.*

**Ключевые слова:** Зерновой терминал, морской порт, имитационная модель, математическая модель, транспортировки зерна, моделирование, AnyLogic.

**Tuzenko O. A., Sagirov I.V.****SIMULATION MODELING OF THE WORK OF THE MARINE GRAIN TERMINAL**

*The article considers the main prospects for the construction of a maritime grain terminal in the territory of the State Enterprise "Mariupol Sea Commercial Port", identifies the main stages and elements of the terminal. Basic approaches to the design of offshore grain terminals are considered. The analysis of existing systems of automation of work of marine terminals is carried out. The main types of operations and their sequence are analyzed using the example of an operating maritime grain terminal. The system of interacting arriving transport and elements of the grain complex is revealed. In order to determine the optimal technical and technological parameters of the operation of the maritime grain terminal, two optimality criteria and a system of functional constraints on the criteria values are proposed. The target function in the model of operation of the grain terminal is the time of finding the grain at the terminal. On the basis of methods of queuing theory, a mathematical model for the realization of grain transshipment under the conditions of operation of a sea grain terminal has been developed. It is noted that the number of arrivals at time  $t$  per transport terminal is a random variable given by the Poisson distribution. The modeling task was to find, at given values of uncontrolled parameters, in the range of permissible values of varied parameters, those values at which the optimal combination of optimality criteria values is achieved. An interactive simulation model of the operation of the maritime grain terminal was implemented using AnyLogic system. The functionality of the software allows you to use event and agent elements for object modeling. The programming is done in Java. The system provides the ability to set various input parameters and simulation in real time or accelerating processes, which allows for modeling long-term operations.*

**Keywords:** Grain terminal, seaport, simulation, mathematical model, grains transportation, AnyLogic.

Принято

Рекомендовано

**УДК. 004.67****Тузенко О. О., Тілінін С. В., Кличков В. О.****РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОЇ СИСТЕМИ БРОНЮВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВЕДЕННЯ МАЛОГО І СЕРЕДНЬОГО БІЗНЕСУ**

*В даний час, будь-який бізнес рухається в бік автоматизації своєї діяльності, що дозволяє оптимізувати витрати часу і витрати людських ресурсів. Якщо розглянути підприємця, який займається розвитком свого бізнесу в сфері обслуговування або вчиненні послуг, то простежується одна єдина задача, яка може бути автоматизована, а саме - можливість бронювання послуги. Частіше за все, цю операцію віддають на виконання менеджеру, сфера діяльності якого не покриває виконання даного завдання. Вихід з даної ситуації - наймання додаткової робочої сили, яка займалася б тільки завданням надання послуг бронювання в реальному часі, якщо обсяг заявок досить великий або поставити це завдання на виконання менеджеру, однак наймання додаткової робочої сили може спричинити негативні наслідки для бізнесу, а може бути і зовсім недоступним. Щоб знайти вихід з даної ситуації, компанії почали займатися наданням послуг онлайн бронювання, що досить зручно, але не кожна компанія може собі дозволити розробку подібної системи під*