

УДК: 004.942:001.57

## ПРОГНОЗУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКУ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

**Бабарикін І. В., Бондаренко І. В.**

Національний Технічний Університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, Київ

*Проведено дослідження залежності величини пасажиропотоку від дати, часу та маршруту перевезення. Досліджено математичну модель пасажиропотоку. Проведено прогнозування очікуваної величини пасажиропотоку в заданий період часу спираючись на статистичні дані та використовуючи властивість періодичності коливань пасажиропотоку, які мають приблизно однакові значення в періоді.*

*В результаті досліджень отримано графічне відображення прогнозованого пасажиропотоку на заданий період часу. Отримані дані можуть бути використані для оптимізації та підвищення ефективності роботи підприємств, що працюють у сфері пасажирських перевезень.*

*Ключові слова: ряд Фур'є, пасажиропотік, база даних, перевезення, прогнозування, математична статистика.*

*Бабарыкин И. В., Бондаренко И. В. Прогнозирование пассажиропотока на основе статистических данных / Национальный Технический Университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина, Киев*

*Проведено исследование зависимости величины пассажиропотока от даты, времени и маршрута перевозки. Исследовано математическую модель пассажиропотока. Проведено прогнозирование ожидаемой величины пассажиропотока в заданный период времени опираясь на статистические данные и используя свойство периодичности колебаний пассажиропотока, которые имеют приблизительно одинаковые значения в периоде.*

*В результате исследований получено графическое отображение прогнозированного пассажиропотока на заданный период времени. Полученные данные могут использоваться для оптимизации и улучшения эффективности работы предприятий, которые работают в сфере пассажирских перевозок.*

*Ключевые слова: ряд Фурье, пассажиропоток, база данных, перевозки, прогнозирование, математическая статистика.*

*Babarykin I. V., Bondarenko I. V. Passenger stream prediction based on statistical data / National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute"*

*Investigated relation between value of passenger stream and date, time and route. Investigated mathematical model of passenger stream. Made a prediction of expected value of passenger stream at specified time period relying on statistics and fluctuation property of passenger stream, which has almost same values in period.*

*As a result of research gained graphical view of expected passenger stream at specified time period. Calculated data can be used for optimization and improving efficiency of enterprises, which are working in passenger transport sphere.*

*Key words: Fourier series, passenger flow, database, shipping, forecasting, mathematical statistics.*

**Вступ.** В умовах хиткого економічного положення та невпинного підвищення вартості на паливо та мастильні матеріали для транспорту виникає потреба у використанні інформаційних технологій (ІТ), спрямованих на оптимізацію роботи підприємств, що працюють в автотранспортній сфері. В даний час характеристики потоку пасажирів не аналізуються при плануванні рухомого складу підприємства-перевізника. Це призводить до погіршення якості сервісу, особливо в моменти максимумів пасажиропотоку, а в моменти мінімумів погіршується продуктивність автотранспортного підприємства. При вирішенні даної задачі постає проблема обробки великої кількості даних, а також своєчасного їх оновлення для отримання більш точного результату.

**Мета.** Метою роботи є розробка програмного додатку, який прогнозує величину пасажиропотоку.

**Постановка задачі.** Розробка програмного додатку, який спираючись на статистичні дані прогнозує величину пасажиропотоку на заданому маршруті у заданий період часу (день/година) потребує вирішення наступних питань:

- Аналіз існуючих рішень розрахунку величини пасажиропотоку;
- Вирішення питання зберігання даних про кількість пасажирів та результатів підрахунку величини пасажиропотоку;
- Вирішення питання підрахунку і збереження даних щодо коливань пасажиропотоку.

При розрахунках, крім часових коливань пасажиропотоку, повинні враховуватися ще й точки початку і кінця маршруту.

**Математичний апарат.** Пасажиропотік характеризує переміщення населення між певними територіями у визначеному напрямку за одиницю часу і описується залежністю:

$$\Phi_{ij} = \frac{dQ_{ij}}{dt}, \quad (1)$$

де  $Q_{ij}$  – об'єм пасажирських перевезень від пункту  $i$  до  $j$ .

У загальному випадку, пасажиропотік  $\Phi_{ij}$  між містами можна виразити гравітаційною залежністю типу:

$$\Phi_{ij} = k_{ij} \cdot \int_{S_i} \rho_i(S_i) dS_i \cdot \int_{S_j} \rho_j(S_j) dS_j \cdot F(t) \cdot r_{ij}^{-2} e^{-c_{ij} r_{ij}}, \quad (2)$$

де  $c_{ij}$  ( $\text{км}^{-1}$ ),  $k_{ij}$  ( $\text{км}^2/(\text{пас.} \cdot \text{год})$ ) – параметри, що характеризують анізотропію пасажиропотоків, причому  $c_{ij}$  є сталим у моделі для пари міст,

$\rho_i, \rho_j$  – густина населення,

$S_i, S_j$  – площі транспортних зон,

$r_{ij}$  – відстань між центрами транспортних зон,

$F(t)$  – коливання пасажиропотоку у часі, що виражають наступною залежністю:

$$F(t) = F_1(t) + F_2(t) + F_3(t), \quad (3)$$

де  $F_1(t)$ ,  $F_2(t)$ ,  $F_3(t)$  – добовий, тижневий та сезонний епіцикли пасажиропотоку відповідно, між якими існує залежність:

$F_3 = 4.28F_2, F_2 = 7F_1$  [1], тобто коливання пасажиропотоку (3) тепер можна визначити наступник чином:

$$F(t) = \left(1 + \frac{1}{3.745}\right) F_2(t). \quad (4)$$

Скориставшись властивостями поверхневого інтегралу першого роду, а саме наступною формулою:

$$\iint_{\Phi} f d\sigma = f(\xi) \iint_{\Phi} d\sigma = f(\xi) \mu(\Phi) \quad [2]$$

та взявши до уваги формули (3) та (4) – маємо можливість спростити формулу пасажиропотоку (2) до наступного виду:

$$\Phi_{ij} = k_{ij} \cdot \rho_i \cdot \rho_j \cdot S_i \cdot S_j \cdot \left(1 + \frac{1}{3.745}\right) \cdot F_2(t) \cdot r_{ij}^{-2} \cdot e^{-c_{ij} r_{ij}}. \quad (5)$$

Спрощення формули (2) до виду поданому у формулі (5) надає змогу зменшити кількість інтегралів, які потрібно обраховувати та зменшити кількість коливань, які через залежність один від одного можна виразити одним коливанням.

Для того, щоб мати можливість доступатися до значень функції  $F_3$  від заданого часового аргументу  $t$  – зберігаємо функцію  $F_3(t)$  у вигляді розкладу в ряд Фур'є:

$$F(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx),$$

де  $a_0$ ,  $a_n$  та  $b_n$  – коефіцієнти розкладу, які розраховуються по наступним формулам:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(t) dx, \quad (6)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(t) \cos(nt) dt, \quad (7)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(t) \sin(nt) dt. [3] \quad (8)$$

Зберігати у базі даних будемо якраз коефіцієнти розкладу в ряд Фур'є для кожного можливого аргументу  $t - a_0, a_n, b_n$ . Аргумент часу  $t$  – буде відображенням реального, який буде стиснуто, відповідно до обраних рамок, до періоду в  $2\pi$ .

Для підрахунку інтеграла, що використовується при підрахунку коефіцієнтів в формулах (6)-(8) було обрано використовувати метод трапецій.

Суть методу трапецій полягає в підрахунку інтегралу через поділ його на дискретні проміжки та підрахунку площі трапеції кожного дискретного проміжку [4], що детально зображено на рис. 1.

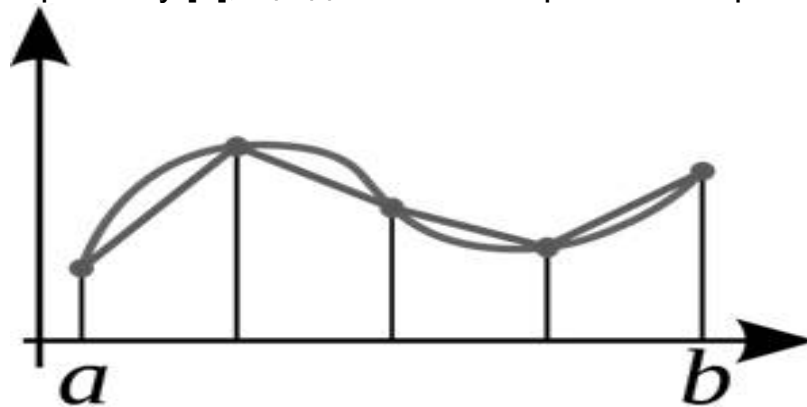
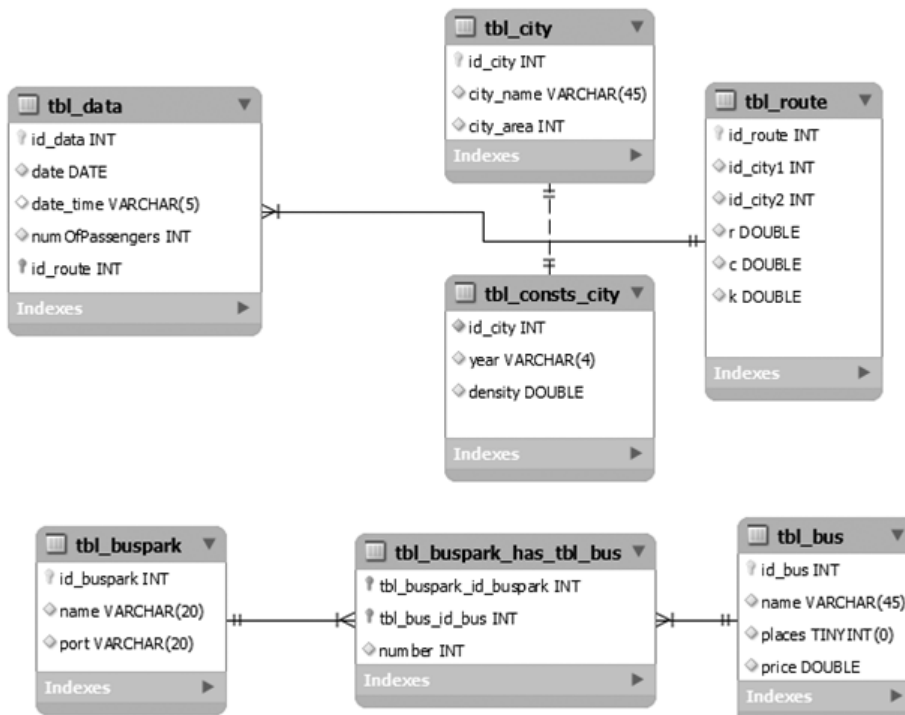


Рис. 1. Інтеграл методом трапецій

**Програмний апарат.** Для зберігання даних було обрано використати реляційну базу даних MySQL.



## Рис. 2. Структура бази даних

Програмний додаток було розроблено на мові програмування Java, з використанням створених анотацій та JDBC драйверу для роботи з базою даних [5]. Для відображення даних користувачу та отримання даних від користувача було побудовано простий у користуванні інтерфейс, вигляд якого показано на рис. 3 та рис. 4.

Для зберігання даних було розроблено наступну структуру бази даних (рис. 2), яку було об'єктно відображено в програмі за допомогою класів-сутностей.

База даних була розроблена з можливістю подальшої реалізації вибору кількості та типів машин у парку відносно прогнозованого пасажиропотоку.

Програмний додаток дозволяє користувачу отримати прогноз для величини пасажиропотоку для введених дати, відрізка часу та маршруту (рис. 3).

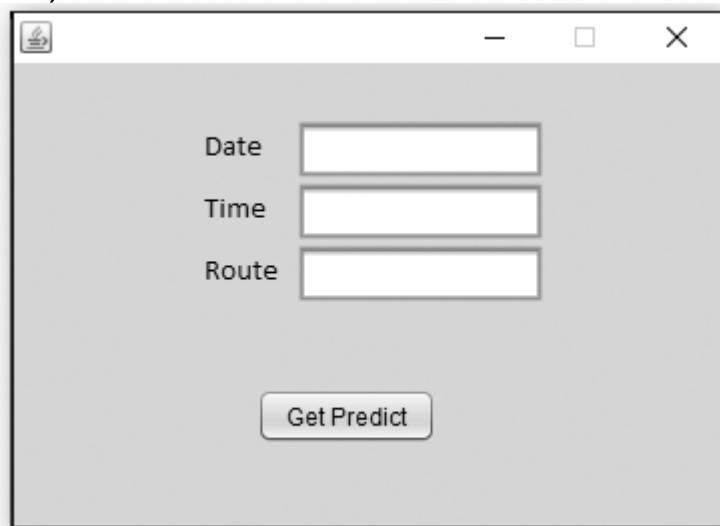
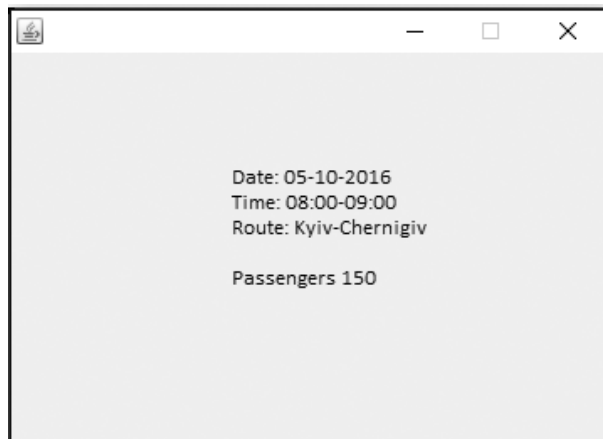
The image shows a screenshot of a web application window. The window has a standard title bar with a minimize button, a maximize button, and a close button. The main content area is light gray and contains three input fields stacked vertically. The first field is labeled 'Date', the second 'Time', and the third 'Route'. Below these fields is a button labeled 'Get Predict'.

Рис. 3. Форма інтерактиву з користувачем

Після натиснення кнопки «Get predict» відбуваються підрахунки та робота з базою даних, в результаті котрих користувач отримує вікно з результатами прогнозу по заданим даті, часі та маршруті (рис. 4).



**Рис. 4. Вікно результату**

**Висновки.** Було розроблено автоматизовану систему побудови прогнозів пасажиропотоків на основі зібраних статистичних даних для оптимального розподілу транспорту пасажирських автоперевезень. Дані, отримані з допомогою розробленого продукту сприяють збільшенню ефективності роботи підприємства-перевізника та покращенню сервісу для клієнтів, особливо в пікові години.

#### **Література:**

1. Олещенко Л. М. *Інформаційні технології організації міжміських пасажирських перевезень у регіоні* / Любов Михайлівна Олещенко – Автореферат, 2014.
2. Ильин, В. А. *Основы математического анализа* / В. А. Ильин, Э. Г. Позняк – Т.2 – Глава 5. *Поверхностные интегралы* – (Курс высшей математики и математической физики) (Основы математического анализа).
3. Пискунов Н. С. *Дифференциальное и интегральное исчисления для ВТУЗов* / Н. С. Пискунов – М.: «Наука», 1964 – Т.2.
4. Демидович Б. П. *Основы вычислительной математики* / Б. П. Демидович, И. А. Марон – Физ-Мат. Лит., 1963 – с. 659.
5. Полубояров В. В. *Использование MS SQL Server 2008 Analysis Services для построения хранилищ данных* / В. В. Полубояров – М.: «ННТУ», 2010.

#### **References:**

1. Oleshchenko L. M. *Informaciyni tehnologii organizacii mizhmiskih pasazhirskih perevezen u regioni* / Lybov Mihailivna Oleshchenko – Avtoreferat, 2014.
2. Iljin, V. A. *Osnovi matematicheskogo analiza* / V. A. Iljin, E. G. Poznyak – Т.2 – Glava 5. *Poverhnostnye integrali* – (Kurs Visshei matematiki i matematicheskoi fiziki) (Osnovi matematicheskogo analiza).
3. Piskunov N. S. *Differencialnoe i integralnoe ischisleniya dlya VTUZov* / N. S. Piskunov – М.: «Nauka», 1964 – Т.2.

4. Demidovych B. P. *Osnovi vichislitelnoi matematiki* / B. P. Demidovych, I. A. Maron – Fiz-Mat. Lit., 1963 – s. 659.
5. Poluboyarov V. V. *Ispolzovaniye MS SQL Server 2008 Analysis Services dlya postroyeniya hranilishch danih* / V. V. Poluboyarov – «NNTU», 2010.