

О.Ф. Кузькін, к.т.н., доц.  
О.А. Лашених, к.т.н., доц.  
А.В. Якимов, асист.

Запорізький національний технічний університет

## УПРАВЛІННЯ ПРОСТОРОВИМ ТРАНСПОРТНИМ ПРОЦЕСОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОСТАТИСТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ

*Проведено аналіз просторової стаціонарності транспортних зв'язків.  
Запропоновано процедуру побудови матриці транспортних зв'язків.*

**Вступ.** Надійні і сталі транспортні зв'язки можна забезпечити за наявності основної властивості процесу вантажоутворення в транспортній системі – просторової неперервності. Ця властивість характеризується тим, що взаємна залежність (кореляція) значень обсягів вантажообігу в пунктах, розташованих на близькій відстані один від одного, виявляється більшою мірою, ніж для пунктів, роз'єднаних великими відстанями. У зв'язку з цим виникає необхідність у визначенні просторової неперервності вантажообігу на транспортній мережі, яка певним чином впливає на ефективність функціонування транспортної системи [1, 3].

**Викладення основного матеріалу.** Для правильного і коректного вибору транспортних зв'язків при плануванні перевезень дуже важливим є завдання встановлення на транспортній мережі ділянок зі стаціонарною функцією розподілу величини вантажопотоку [2, 4]. У геостатистиці вважається, що змінна величина вантажопотоку  $q$  є стаціонарною, якщо її розподіл інваріантний до розташування у просторі, тобто не залежить від координат  $x$  і  $y$ . В цьому випадку є якась функція  $q = f(x, y)$ , яка достатньо точно (достовірно) описує випадкову змінну  $q$  в межах даної зони або області.

На рисунку 1 наведена діаграма, що характеризує обсяги перевезень товарного бетону на різні відстані в межах міста.

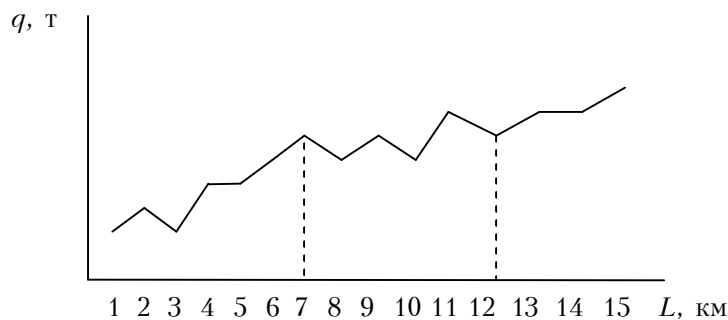


Рис. 1. Діаграма обсягів перевезень товарного бетону на різні відстані

З діаграми можна бачити, що на відстані всіх 15 км обсяг перевезень бетону очевидно нестационарний – в цілому спостерігається збільшення обсягів перевезень зі збільшенням відстані; в межах невеликих ділянок (наприклад,  $l = 7-12$  км) змінна обсягів перевезень може розглядатися як локально стаціонарна, тобто випадкові коливання переважають над трендом. Тому ефективність перевізного процесу значною мірою визначатиметься обґрунтованим вибором масштабу транспортних зв'язків з позиції стаціонарності функції розподілу вантажообігу. Самі по собі дані обсягів попиту і споживання не містять інформації про стаціонарність, отже стаціонарність є вибором і нічим більше. Проблема побудови матриці транспортних зв'язків, тобто моделювання вантажообігу в будь-якому пункті транспортної мережі, пов'язана з обґрунтуванням правомірності гіпотези стаціонарності вантажопотоків у межах даного полігону. Від коректного вирішення цієї проблеми залежить вибір підходу до побудови транспортних зв'язків. При цьому керуються ступенем випадковості транспортного району. За цим принципом виокремлюють дві групи ділянок вантажообігу [2, 4, 5].

1. Сформовані та оконтурені транспортними зв'язками ділянки транспортного полігону вивчені достатньо детально. У їх межах є відносно щільна мережа вантажоутворюючих і вантажопоглинаючих пунктів з відомими координатами  $x$  і  $y$  та невеликими відстанями між ними.

2. Заплановані до включення в матрицю транспортних зв'язків ділянки транспортної мережі вивчені значно гірше і мають відносно рідку мережу пунктів вантажообігу зі значними відстанями між ними.

Істотна нерівномірність вантажопотоків в даній зоні транспортного району накладає певні обмеження на вибір методу визначення координат (геометричних) розташування пунктів, що належать матриці транспортних зв'язків. Якщо використовувати стаціонарні підходи, то, очевидно, що при віддаленні від меж діючого полігону вантажообігу функція  $q = f(x, y)$ , що наближається в точки з великими похибками, даватиме у визначенні оцінок все більші відхилення. В цьому випадку необхідно яким-небудь чином оцінювати їх величину і штучно обмежувати область обхвату транспортними зв'язками за допустимим рівнем похибок. Тим самим визначається зона, в якій виконується умова стаціонарності. По суті ця область буде ділянкою достовірного прогнозування величини вантажообігу в напрямі з недостатньо вивченими характеристиками вантажопотоку.

Зона вірогідного відтворення траєкторії вантажопотоку визначається виходячи з внутрішньої стаціонарності (intrinsic stationarity) функції  $q = f(x, y)$ . Сутність внутрішньої стаціонарності полягає у тому, що розглядається стаціонарність не самої функції, а її приростів  $[Q(x) - Q(x+h)]$ . Функція  $Q(x)$  має внутрішню стаціонарність за таких умов:

– математичне очікування приростів дорівнює:

$$\mathbf{M}[Q(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Q(\mathbf{x})] = 0; \quad \forall \mathbf{x}, \mathbf{h}; \quad (1)$$

– дисперсія приростів залежить тільки від  $\mathbf{h}$ :

$$\mathbf{D}[Q(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Q(\mathbf{x})] = 2\gamma(\mathbf{h}). \quad (2)$$

Функція  $\gamma(\mathbf{h})$  зветься напівваріограмою (або просто варіограмою). Вона є основним інструментом для структурної інтерпретації просторового явища, а також для оцінки просторової випадковості функції.

Залежність (2) можна представити у вигляді:

$$\mathbf{D}[Q(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Q(\mathbf{x})] = \mathbf{M}\{Q(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Q(\mathbf{x}) - \mathbf{M}[Q(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Q(\mathbf{x})]\}^2. \quad (3)$$

Оскільки  $\mathbf{M}[Q(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Q(\mathbf{x})] = 0$ , то:

$$\mathbf{D}[Q(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Q(\mathbf{x})] = \mathbf{M}[Q(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Q(\mathbf{x})]^2. \quad (4)$$

Якщо випадкова функція є стаціонарною у широкому змісті, то вона задовольняє стаціонарності приростів та її варіограма визначається співвідношенням:

$$\mathbf{D}[Q(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Q(\mathbf{x})] = \mathbf{D}[Q(\mathbf{x} + \mathbf{h})] + \mathbf{D}[Q(\mathbf{x})] - 2\text{cov}[Q(\mathbf{x} + \mathbf{h}) \cdot Q(\mathbf{x})]. \quad (5)$$

Розв'язок задачі зводиться до наступного. Величина потоку, що визначає транспортну мережу апроксимується поліномами. Тип полінома встановлюється шляхом підбору на основі мінімізації середнього відхилення похибок апроксимації в даних пунктах. Умова стаціонарності визначається адекватністю функції  $q_t = f(x, x+h)$ . Процедура управління транспортним процесом виконується у такій послідовності [2, 4, 6]:

1. На транспортній мережі довільно виділяються прийняті для аналізу зони  $Z_k$  (рис. 2).

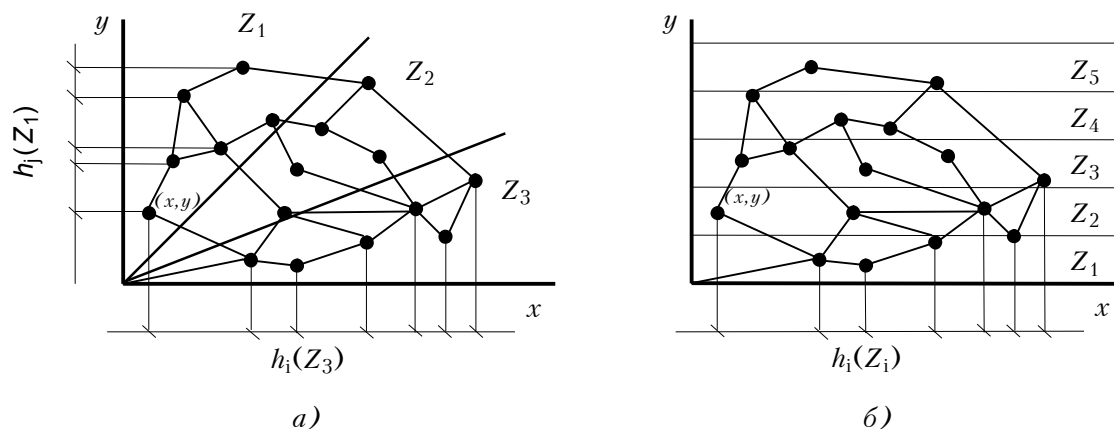


Рис. 2. Зонування транспортної мережі:  
а – секторне; б – паралельне з відліком  $h_i$  по осі  $x$

2. Для першої зони  $Z_1$  обирається тип і параметри функції зміни вантажопотоку  $q_1 = f(x, y)$ .

3. Із загальної бази даних виключаються опорні точки (вершини мережі), розташовані в цій зоні.

4. Процедура за пунктом 2 виконується для опорних точок, розташованих у зоні  $Z_2$  і обирається функція  $q_2 = f(x, y)$ .

5. Отримані зони порівнюються за допомогою похибки апроксимації. Якщо її величина не більше допустимої, отримуємо висновок про адекватність функції.

6. З бази даних виключаються опорні точки з двох розглянутих, зона і описана процедура за пунктом 2 виконується для наступної зони і т. д.

Процес повторюється до моменту, коли похибки не перевищуватимуть допустиму величину. Відповідно до цього визначаються розміри зони достовірного відтворення траєкторій вантажопотоку, яку в першому наближенні можна трактувати як область стаціонарності функції  $q_{cm} = f(x, y)$ .

При виборі нестационарного підходу задача принципово не змінюється. Проте при цьому використовується підібрана певним чином внутрішня випадкова функція зміни вантажопотоку  $q^* = f(x, y)$ , яка також повинна бути стійкою за межами сформованих і детально вивчених ділянок вантажообігу.

Такий підхід можна застосувати і для оцінки пасажиропотоків.

#### **Висновки:**

1. Просторова структура вантажо- і пасажиропотоків має нестационарний характер, визначений просторовими координатами.

2. Оптимізація просторової структури вантажо- і пасажиропотоків базується на їхній внутрішній стаціонарності.

3. Для оцінки внутрішньої стаціонарності найбільш прийнятним є метод на основі приростів випадкової функції.

#### **Список використаної літератури:**

1. *Armstrong M.* Basic Linear Geostatistics / *M.Armstrong.* – Berlin : Springer-Verlag, 1998. – 152 p.
2. *Матерон Ж.* Основы прикладной геостатистики / *Ж.Матерон* : пер. с франц. ; под ред. *Д.Я. Суражского, А.М. Марголина.* – М. : Мир, 1968. – 408 с.
3. *Демьянов В.* Геостатистика. Теория и практика / *В.Демьянов, Е.Савельева.* – М. : Наука, 2010. – 327 с.
4. *Капустин Ю.Е.* Геостатистика в горно-геологической промышленности / *Ю.Е. Капустин, А.И. Чижов, С.Хенли.* – Апатиты : Кольский научный центр РАН, 1995. – 191 с.
5. Основные понятия и элементы геостатистики. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов / *М.Ф. Каневский, В.В. Демьянов, Е.А. Савельева и др.* // ВИНТИ. – 1999. – № 11. – С. 26–33.
6. *Дойч К.* Геостатистическое моделирование коллекторов / *К.Дойч.* – М. : Изд-во Института компьютерных технологий, 2011. – 400 с.

КУЗЬКІН Олексій Феліксович – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій Запорізького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– міські транспортні системи пасажирських перевезень.

Тел.: (067) 686–52–88.

E-mail: [tf301@ukr.net](mailto:tf301@ukr.net)

ЛАЩЕНИХ Олександр Андрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій Запорізького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– дослідження динаміки транспортних процесів.

Тел.: (061) 280–11–85.

E-mail: [tf301@ukr.net](mailto:tf301@ukr.net)

ЯКИМОВ Андрій Володимирович – асистент кафедри транспортних технологій  
Запорізького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– міські пасажирські перевезення.

Тел.: (063) 431–11–48.

E-mail: [anden\\_jak@mail.ru](mailto:anden_jak@mail.ru)

Стаття надійшла до редакції 15.06.2012

**Кузькін О.Ф., Лашеніх О.А., Якимов А.В.** Управління просторовим транспортним процесом з використанням геостатистичних методів

**Кузькин А.Ф., Лашеньх А.А., Якимов А.В.** Управление пространственным транспортным процессом с использованием геостатистических методов

**Kuzkin O.F., Laschenykh O.A., Yakimov A.V.** Operating of the spatial transport process with geostatistic methods usage

УДК 550.8.053:656.025.4

**Управление пространственным транспортным процессом с использованием геостатистических методов / А.Ф. Кузькин, А.А. Лашеньх, А.В. Якимов**

Проведен анализ пространственной стационарности транспортных связей. Предложена процедура построения матрицы транспортных связей.

УДК 550.8.053:656.025.4

**Operating of the spatial transport process with geostatistic methods usage / O.F. Kuzkin, O.A. Laschenykh, A.V. Yakimov**

The analysis of transport connections spatial stationarity is considered. The construction procedure of transport connections matrix is offered.