

УДК 621.396

**Олександр Юрійович Пермяков,
Руслан Миколайович Залужний,
Олександр Васильович Лаврінчук**

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО СКЛАДУ СИСТЕМИ НАЗЕМНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДОПОВНЕТЬ ДЛЯ НАВІГАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОКРЕМИХ ГРУП СПОЖИВАЧІВ

Постановка проблеми. Основою наземної інфраструктури систем точного позиціонування за допомогою глобальних навігаційних супутниковых систем (ГНСС) є постійно діючі контрольно-корегуючі станції (ККС) [1], на основі яких створюються наземні функціональні доповнення. За досвідом розвитку навігаційних технологій [2], застосування таких доповнень є більш ефективним, ніж традиційних мереж тріангуляційних та полігонометричних пунктів завдяки тому, що відсутня необхідність прямої видимості між ККС системи, геометрія їх мережі не є настільки критичною, як у випадку традиційних геодезичних мереж, а точність визначення просторових координат споживачів більш стабільна і здійснюється в реальному масштабі часу.

В Україні відповідним навігаційним доповненням ГНСС є система координатно-часового та навігаційного забезпечення (СКЧНЗУ) [3], яка створюється з метою гарантованого отримання якісних координатно-часових та навігаційних послуг споживачами на всій території України, у національному повітряному просторі та в акваторіях прилеглих морів із необхідними характеристиками по точності, надійності, доступності та сумісності з міжнародними системами навігаційного обслуговування. Однак, у зв'язку з перспективою входження до цивільної системи Galileo у відповідності з прийнятою 07.10.2003 року Спільною заявою Україна — ЄС щодо співробітництва в галузі ГНСС Galileo та підписаною 01.12.2005 року Угодою про співробітництво в галузі цивільної ГНСС між Україною та

ЄС і країнами-членами проекту, заздалегідь відомі дані про розташування ККС на території України, що ускладнить функціонування системи щодо надання військовим [4] та іншим силовим споживачам диференціальної корегувальної інформації в особливий період. Тому обґрунтування мінімально необхідної кількості прихованих ККС та оптимального їх розміщення на території України з урахуванням вимог, що пред'являються зазначеними споживачами до якості навігаційних визначень та особливостей їх функціонування за призначеннем, є важливою і актуальною задачею.

На сьогоднішній день не існує визначеної теорії та відповідного інструментарію щодо вирішення задачі розгортання наземної мережі системи навігаційного забезпечення реального масштабу часу на визначеній території. *Метою статті* є вирішення поставленої задачі залежить від способу створення та надання диференціальних поправок кінцевим споживачам [5—7], тобто, при розгортанні мережі прихованих ККС, крім вимог споживачів, необхідно враховувати технічні аспекти реалізації сервісу точного позиціонування, такі як існуючі канали зв'язку та функціональні можливості навігаційної апаратури споживачів в конкретному регіоні. В статті на основі теорії графів пропонується алгоритм вирішення задачі оптимального розміщення ККС та розподілу їх зон обслуговування за багаторівневим алгоритмом визначення найвищішої ланки споживач — ККС на визначеній території.

Викладення основного матеріалу. Розміщення ККС може бути представлена неорієнтованим графом $G = (V, E)$, де $V \subseteq U \subseteq CS$. U — множина споживачів і CS — множина потенційних місць розміщення ККС, E — множина ребер графу. В нашому випадку ребро $edge(u, cs)$ $\in E$ коли $u \in U$ і відстань між u і cs дорівнює $|u - cs| \leq D_{\max}$, де D_{\max} — максимально можлива відстань між споживачем і найближчою ККС за умови гарантованого надання навігаційних послуг згідно вимог споживачів. Приклад відповідного графу представлений на рис. 1.

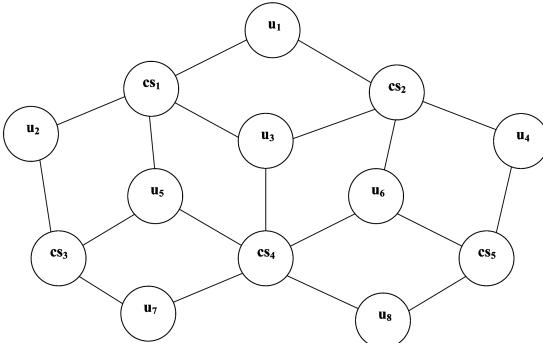


Рис. 1. Граф надання послуг позиціювання

Постановку задачі розміщення ККС можливо сформулювати наступним чином: дано граф $G = (V, E)$, де $V \subseteq U \subseteq CS$, необхідно знайти мінімальну множину ККС $CS_{\min} \subseteq CS$ за умови $u \in U$, $cs \in CS_{\min}$ та $|u - cs| \leq D_{\max}$.

Граф може бути представлений матрицею суміжності $A = [A_{ij}]$, $1 \leq i \leq m$, $1 \leq j \leq n$. $A_{ij} = 1$ за умови $(cs_i, u_j) \in E$. Для прикладу, зображеного на рис. 1, матриця суміжності має наступний вигляд:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{matrix} & \\ \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{matrix} & \\ \begin{matrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} & \\ \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{matrix} & \end{matrix}.$$

На початку алгоритму знаходження мінімальної кількості ККС враховуються усі можливі (потенційні) пункти дислокації ККС. Надалі кількість ККС поступово зменшується за рахунок багаторазового видалення надлишкових ККС у випадку, коли користувачі можуть обслуговуватись двома ККС одночасно за умови $|u - cs| \leq D_{\max}$. Надлишкова ККС cs_i може бути визначена в матричному представленні за допомогою операції перевірки наявності другого ненульового елементу j -му стовпці матриці A . Таким чином, вхідними даними алгоритму є матриця A , вихідними дани-

ми — мінімальний набір ККС, що обслуговують всіх споживачів.

У кожній ітерації алгоритм перевіряє всі ККС, почергово одна за одною, на властивість надлишковості. Якщо ККС cs_i визначається зайденою, то вона видаляється шляхом заміни відповідного i -го рядка матриці A на останній рядок зазначеного матриці з одночасним зменшенням порядку матриці A до $n-1$, яка буде розглядатись при порівнянні на наступній ітерації алгоритму. Процес визначення і скорочення надлишкових ККС повторюється до тих пір, доки зони обслуговування ККС, що залишилися, будуть перекривати одну і ту ж визначену множину споживачів. Вихідні дані та результати розрахунків для варіанту 5-ти ККС, 30-ти споживачів, максимальної відстані споживачів від ККС — 60 км, відстані між ККС від 40 до 130 км, зображені на рис. 2.

За допомогою моделювання випадкових сценаріїв хаотично розподіленої обмеженої множини споживачів в кількості 100, 300 та 500 в прямокутнику 100x100 км досліджувалась система региональних диференціальних корекцій щодо забезпечення дециметрового рівня навігаційних визначень споживачами. При моделюванні D_{\max} обирається в діапазоні від 30 до 140 км з кроком 10 км і для кожного поєднання: $D_{\max} = U$ накопичувалась статистична інформація та розраховувалась мінімально необхідна кількість ККС за зазначеним алгоритмом. На рис. 3 висвітлені результати моделювання, у відповідності з якими мінімально необхідна кількість ККС різко знижується при збільшенні D_{\max} . Крім того, кількість ККС є чутливою до зміни числа споживачів при малих значеннях D_{\max} , а при великих значеннях D_{\max} кількість ККС істотно не змінюється при збільшенні множини споживачів.

Висновки. Розглянутий інструментарій вирішення задачі оптимального розташування ККС на визначеній території (на регіональному рівні) для надання навігаційних послуг обмежений множині споживачів забезпечує зведення до мінімуму загальної кількості ККС без зниження рівня точності вирішення навігаційної задачі. Обробка статистичної інформації, отриманої в результаті досліджень, дозволила виявити залежність необхідної кількості ККС від величини максимальної відстані між ККС та споживачем. Зазначений алгоритм не накладає обмеження як на географічні форми зон обслуговування, так і на кількість споживачів.

Подальшим напрямком розробки вказаної методики є врахування вагових коефіцієнтів ризику зриву функціонування (ймовірності уразливості) ККС та дослі-

дження їх впливу на склад та оптимальне розміщення ККС із застосуванням різнома-

нітних методів формування диференціальних поравок в реальному масштабі часу.

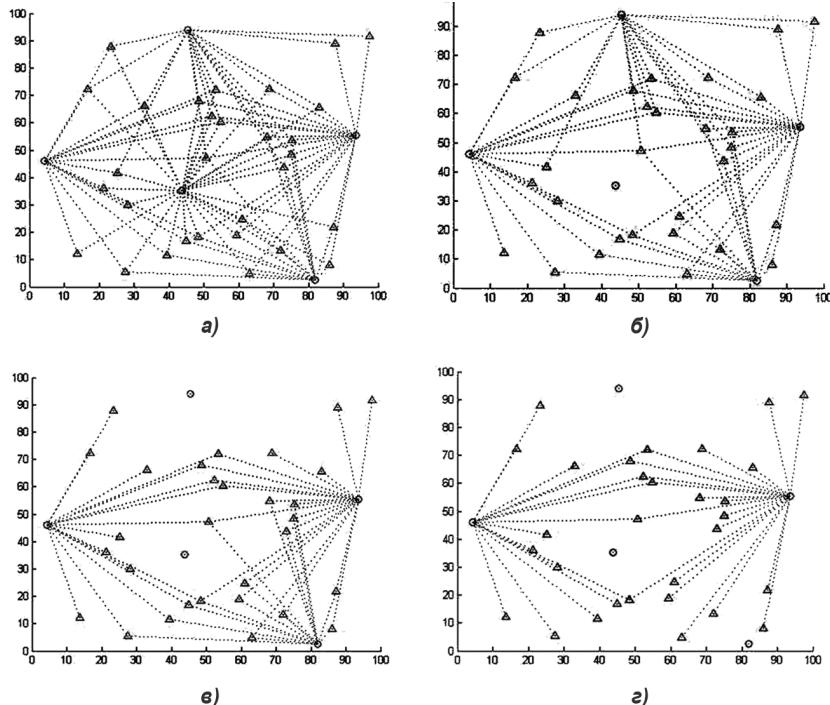


Рис. 2. Приклад вирішення задачі розміщення ККС: а) вихідне положення зв'язків 5-ти потенційних місць розміщення ККС (позначені колами) та 30-ти споживачів (позначені трикутниками); б) видалення першої надлишкової ККС; в) видалення другої надлишкової ККС; г) остаточне розміщення ККС.

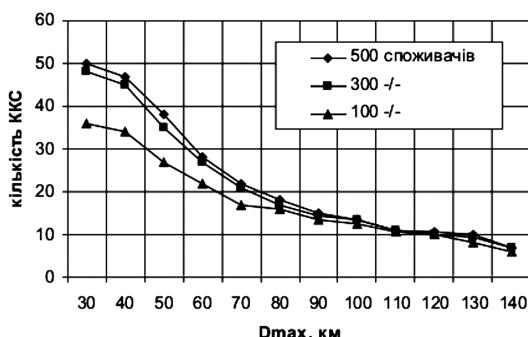


Рис. 3. Результати моделювання

Література

- Шебшаевич В. С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В. С. Шебшаевич, П. П. Дмитриев, Н. В. Иванцевич и др. — М. : Радио и

На основе теории графов, особенностей функционирования и пространственного анализа взаимно расположения наземных функциональных дополнений в статье представлена методика определения необходимого состава системы региональных дифференциальных коррекций.

Ключевые слова: наземное функциональное дополнение, контрольно-корректирующая станция, реальный масштаб времени, навигационные определения.

связь, 1993. — 408 с. 2. Евстафьев О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования / О. В. Евстафьев // Геопрофи. — 2008. — № 2. — С. 24—28. 3. Концепція створення та експлуатації системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України з застосуванням глобальних навігаційних супутникових систем на 2006—2011 роки. — Національне космічне агентство України, 2006. — 31 с. 4. Концепція створення системи навігаційного забезпечення ЗСУ. — К. : ГШ ЗС України, 2003. — 8 с. 5. Евстафьев О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования / О. В. Евстафьев // Геопрофи. — 2008. — № 5. — С. 43—48. 6. Wubbena G., Bagge A., Schmitz M. (2001) Network Based Techniques for RTK Applications / Proc. GPS JIN 2001, GPS Sotie, Japan Institute of Navigation, Nov. 2001, Tokyo, Japan. 7. Ashkenazi V., Chao C., Chen W., et al. High precision wide area DGPS // Proc. of the 5th Internanional Conference on Differential Satellite Navigational System; St. Peterburg, Russia, May 20—24, 1996. — St. Peterburg, 1996. — Vol. 1. — P. № 8.

On the basis of graphs theory, features of functioning and spatial analysis mutually of disposition of groundbased functional subsystems the method of definition of necessary composition of the regional differential corrections system is presented in the article.

Key words: groundbased functional subsystem, control correction station, real time, navigation definitions.