

**К.В. Молодецька, к.т.н.***Житомирський національний агроекологічний університет***О.С. Приймак, студ.***Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова Державного університету телекомунікацій***І.І. Сугоняк, к.т.н.***Житомирський державний технологічний університет*

## **МОДЕЛЬ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЛОГІСТИЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

*Запропоновано модель системи моніторингу руху транспортних засобів логістичного підприємства, яка дозволяє оптимізувати та відслідковувати маршрут транспортування вантажу з пункту відправки в пункт призначення. Для планування оптимального маршруту руху транспортування вантажу використано один з найбільш ефективних алгоритмів розв'язання задачі про найкоротший шлях – алгоритм Дейкстри. Розроблено структурну схему супутникової системи моніторингу транспортних засобів, яка складається із супутників, рухомого об'єкта, на якому розміщені датчики та модулі, мережі GSM та Internet, сервера обробки інформації та клієнтського програмного забезпечення. Отримання інформації про стан контрольованих об'єктів здійснюється за допомогою ГЛОНАСС/GPS/GSM/GPRS-терміналів. На основі розробленої моделі реалізовано програмний комплекс системи, що здійснює візуалізацію результатів дослідження та керування функціонуванням системи. Дана система орієнтована на малі та середні логістичні підприємства, реалізовує всі основні функції популярних на ринку аналогів.*

**Ключові слова:** геоінформаційна система; алгоритм Дейкстри; транспортна логістика; супутникова система моніторингу транспорту; програмне забезпечення багатоланкових додатків.

**Постановка проблеми.** У даний час в усьому світі відбувається значне зростання інтересу до контролю за переміщенням транспортних засобів (ТЗ). Завдяки вдосконаленню технологій і зниженню їх вартості, автоматизовані системи моніторингу ТЗ стали доступні й економічно ефективні для використання в різних галузях. В сучасних умовах є необхідним теоретичне обґрунтування створення геоінформаційних систем (ГІС), які спрямовані на підготовку керуючих рішень в різноманітних транспортних системах [1–3]. На сучасному етапі в кожному випадку розробляється нова структура і нові програмно-апаратні засоби. Тому доцільною є розробка узагальненого підходу до моніторингу ТЗ логістичного підприємства та забезпечення одержання необхідного обсягу даних для підготовки керуючих рішень, інформування учасників руху про їхні координати, стан транспортних засобів та про відповідну транспортну комунікацію.

**Аналіз останніх досліджень та постановка завдання.** Проблеми маршрутизації на транспорті викладені в роботах Є.М. Воевудського, М.О. Конєвцевої, Г.С. Махуренко, І.П. Тарасової [3–5]. У даних роботах мало уваги приділено спостереженню за місцезположенням ТЗ, тому актуальним завданням є розробка такої системи, яка в комплексі дозволить здійснювати планування маршруту та моніторинг місцезположення ТЗ.

Завданнями даної роботи є: проектування структури системи; формалізація процесу планування маршруту та його оптимізації; розробка концептуальної та об'єктно-орієнтованої моделей системи; реалізація програмного комплексу системи.

**Об'єкти та методика досліджень.** Об'єктом дослідження є процес проектування ГІС моніторингу руху транспортних засобів підприємства. Предметом дослідження є застосування методів і технологій моніторингу ТЗ логістичного підприємства та методів оптимізації маршрутів транспортних перевезень на графах. У процесі роботи використовувалися монографічні, аналітичні, математичні, графічні методи, методи оптимізації та об'єктно-орієнтованого проектування та програмування.

**Метою** даної статті є розробка моделі та програмного комплексу ГІС моніторингу руху ТЗ під час транспортування вантажу.

**Результати досліджень.** ГІС є системою контролю за об'єктом за допомогою віддаленого управління діями на основі систем супутникової навігації. За допомогою систем супутникового спостереження можна в режимі реального часу стежити за місцезнаходженням і переміщенням ТЗ, прокладати маршрут, оцінювати стан технічних параметрів, визначати витрати паливно-мастильних матеріалів, контролювати безпеку вантажу під час відповідальних перевезень, передавати отримані дані за допомогою каналів супутникового і стільникового зв'язку. На рисунку 1 наведено розроблену структурну схему супутникової системи моніторингу ТЗ, яка складається зі супутників, рухомого

об'єкта, на якому розміщені датчики та модулі, мережі GSM та Internet, сервера обробки інформації, який працює з базою даних та клієнтського робочого місця з відповідним програмним забезпеченням [2].

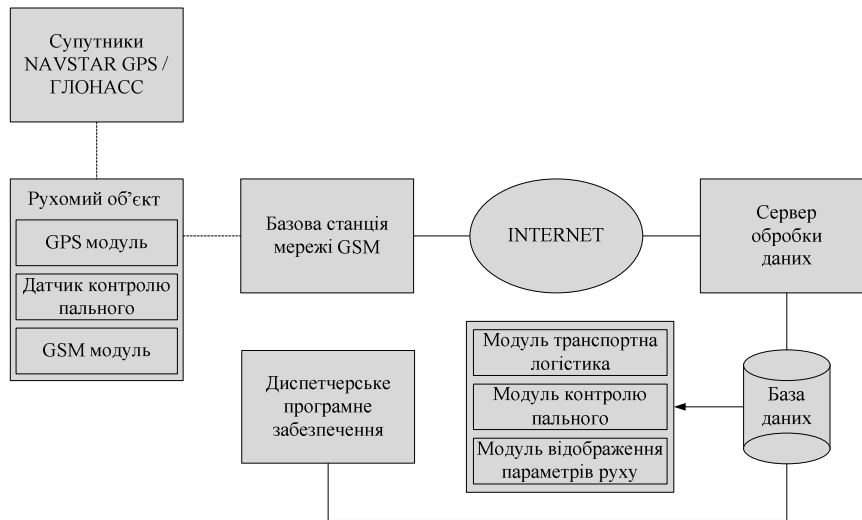


Рис. 1. Структурна схема роботи системи ГЛОНАСС/GPS моніторингу руху транспорту

Отримання інформації про стан контрольованих об'єктів здійснюється за допомогою ГЛОНАСС/GPS/GSM/GPRS-терміналів. Термінали встановлюються на об'єкті і збирають інформацію з GPS датчиків та рівня палива. За рахунок взаємодії зі супутниками ГЛОНАСС і/або GPS термінали отримують інформацію про місце розташування, швидкість і напрям руху ТЗ та рівень пального. Уся отримана інформація з терміналу потрапляє за допомогою GPRS спочатку в мережу оператора стільникового зв'язку, а потім через мережу Internet відправляється на сервер обробки, обробляється і передається на клієнтський додаток замовника. Звіти від датчика стеження за ТЗ надається в цифровому виді, зручному для наступного аналізу і обробки [1, 6]. Таким чином, моніторинг ТЗ дає можливість відповідальним особам приймати ефективні та обґрунтовані управлінські рішення на основі достовірної інформації.

Перед тим як здійснювати відслідковування місцеположення ТЗ потрібно спланувати найкращий маршрут за деяким критерієм мінімальної відстані між пунктом призначення і відправки. Для планування оптимального маршруту руху транспортування вантажу використовуємо один з найбільш ефективних алгоритмів розв'язання задачі про найкоротший шлях – алгоритм Дейкстри [6]. У загальному випадку цей метод заснований на приписуванні вершинам часових позначок, причому позначка вершини дає верхню межу довжини шляху від деякої початкової вершини до аналізованої вершини. Ці позначки поступово зменшуються за допомогою деякої ітераційної процедури, і на кожному кроці ітерації тільки одна з тимчасових позначок стає постійною. Розглянемо докладніше цей алгоритм на прикладі графа ( $G$ ) на рисунку 2, який відповідає автомобільним дорогам України.

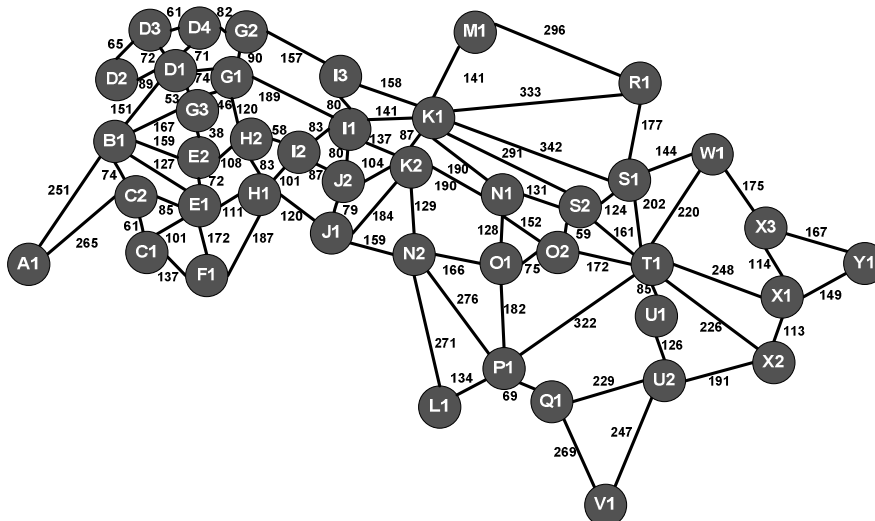


Рис. 2. Граф автомобільних доріг України

На ньому кожне ребро розглядається як пара протилежно напрямлених дуг однакової ваги. Потрібно знайти всі найкоротші шляхи від вершини  $I1$  (м. Житомир) до всіх інших вершин.

Постійні позначки будемо позначати знаком  $+$ . Позначимо позначку вершини  $I1$  знаком  $+$ . Позначимо позначку вершини  $I1$   $L(I1)$ , і присвоїмо їй  $L(I1) = 0+$ , всім іншим вершинам  $L(\text{Вершина}) = \infty$ . За поточну вершину з постійною позначкою візьмемо вершину  $p$  і положимо в неї  $p = I1$ . Знаходимо пряме відображення для поточної вершини:  $L(I1) = \{G1, I2, I3, J2, K1, K2\}$ . Всі вершини, які входять в пряме відображення мають тимчасові позначки, перерахуємо їх.

$$L(G1) = \min\{L(G1), L(I1) + G(I1, G1)\} = \min\{\infty, 0 + 189\} = 189;$$

$$L(I2) = \min\{L(I2), L(I1) + G(I1, I2)\} = \min\{\infty, 0 + 83\} = 83;$$

$$L(I3) = \min\{L(I3), L(I1) + G(I1, I3)\} = \min\{\infty, 0 + 80\} = 80;$$

$$L(J2) = \min\{L(J2), L(I1) + G(I1, J2)\} = \min\{\infty, 0 + 80\} = 80;$$

$$L(K1) = \min\{L(K1), L(I1) + G(I1, K1)\} = \min\{\infty, 0 + 141\} = 141;$$

$$L(K2) = \min\{L(K2), L(I1) + G(I1, K2)\} = \min\{\infty, 0 + 137\} = 137.$$

На даному кроці ітерації маємо такі тимчасові позначки вершин:

$$L(G1) = 189, L(I2) = 83, L(I3) = 80, L(J2) = 80, L(K1) = 141, L(K2) = 137.$$

Всі інші нерозглянуті вершини мають значення  $L(\text{Вершина}) = \infty$ . Очевидно, що мінімальну позначку мають вершини  $I3$  та  $J2$ , обираємо будь-яку, наприклад  $J2$ . За наступну поточну позначку приймаємо вершину  $J2$ ,  $p = J2$ , а її позначка стає постійною  $L(J2) = 80+$ . Оскільки не всі вершини графа мають постійні позначки, переходимо до попередніх кроків.

Знаходимо пряме відображення для поточної вершини  $L(J2) = \{I1, I2, J1, K2\}$ . Позначки більшості вершин тимчасові, послідовно перерахуємо їх значення:

$$L(J2) = \min\{L(J2), L(J2) + G(J2, I2)\} = \min\{83, 80 + 87\} = 83;$$

$$L(J1) = \min\{L(J1), L(J2) + G(J2, J1)\} = \min\{\infty, 80 + 79\} = 159;$$

$$L(K2) = \min\{L(K2), L(J2) + G(J2, K1)\} = \min\{137, 80 + 104\} = 137.$$

На даному кроці ітерації маємо такі тимчасові позначки вершин:

$$L(G1) = 189, L(I2) = 83, L(I3) = 80, L(J1) = 159, L(K1) = 141, L(K2) = 137.$$

Всі інші не розглянуті вершини мають значення  $L(\text{Вершина}) = \infty$ . Очевидно, що мінімальну позначку має вершина  $I3$  зі значенням  $L(I3) = 80$ . За наступну поточну позначку приймаємо вершину  $I3$ ,  $p = I3$ , а її позначка стає постійною  $L(I3) = 80+$ . Оскільки не всі вершини графа мають постійні позначки, переходимо до попередніх кроків.

В результаті, якщо знайти всім вершинам постійні позначки, отримаємо такі значення для кожної з вершин:  $A1 - 645$ ;  $B1 - 402$ ;  $C1 - 396$ ;  $C2 - 380$ ;  $D1 - 263$ ;  $D2 - 352$ ;  $D3 - 335$ ;  $D4 - 319$ ;  $E1 - 295$ ;  $E2 - 249$ ;  $F1 - 371$ ;  $G1 - 189$ ;  $G2 - 237$ ;  $G3 - 235$ ;  $H1 - 184$ ;  $H2 - 141$ ;  $I1 - 0$ ;  $I2 - 83$ ;  $I3 - 80$ ;  $J1 - 159$ ;  $J2 - 80$ ;  $K1 - 141$ ;  $K2 - 137$ ;  $L1 - 537$ ;  $M1 - 282$ ;  $N1 - 327$ ;  $N2 - 266$ ;  $O1 - 432$ ;  $O2 - 479$ ;  $P1 - 542$ ;  $Q1 - 611$ ;  $R1 - 474$ ;  $S1 - 483$ ;  $S2 - 432$ ;  $T1 - 593$ ;  $U1 - 678$ ;  $U2 - 763$ ;  $V1 - 880$ ;  $W1 - 627$ ;  $X1 - 841$ ;  $X2 - 819$ ;  $X3 - 802$ ;  $Y1 - 969$ .

Як тільки довжини найкоротших шляхів від початкової вершини будуть знайдені, самі шляхи можна отримати за допомогою рекурсивної процедури. Для будь-якої поточної вершини відповідну передуючу вершину можна знайти як одну з решти вершин, для якої [7]:

$$L(\hat{a}\hat{a}\hat{d}\hat{p}\hat{e}\hat{i}\hat{a} \_ \hat{i}\hat{i}\hat{a}\hat{d}\hat{a}\hat{i}\hat{i}\hat{y}) + G(\hat{a}\hat{a}\hat{d}\hat{p}\hat{e}\hat{i}\hat{a} \_ \hat{i}\hat{i}\hat{a}\hat{d}\hat{a}\hat{i}\hat{i}\hat{y}, \hat{a}\hat{a}\hat{d}\hat{p}\hat{e}\hat{i}\hat{a} \_ \hat{i}\hat{i}\hat{d}\hat{i}\hat{a}) = \\ = L(\hat{a}\hat{a}\hat{d}\hat{p}\hat{e}\hat{i}\hat{a} \_ \hat{i}\hat{i}\hat{d}\hat{i}\hat{a}).$$

Розглянемо алгоритм знаходження оптимального шляху ТЗ для випадку перевезення вантажу з м. Житомир (вершина  $I1$ ) в м. Черкаси (вершина  $N1$ ). Для знаходження найкоротшого шляху між вершинами:

$$L(K2) + G(K2, N1) = L(N1) : 137 + 190 = 327;$$

$$L(K1) + G(K1, N1) = L(N1) : 141 + 190 \neq 327;$$

$$L(O1) + G(O1, N1) = L(N1) : 432 + 128 \neq 327; \quad (1)$$

$$L(O2) + G(O2, N1) = L(N1) : 479 + 152 \neq 327;$$

$$L(O1) + G(O1, N1) = L(N1) : 432 + 128 \neq 327;$$

$$L(S2) + G(S2, N1) = L(N1) : 432 + 131 \neq 327.$$

Єдиною такою вершиною, яка задовольняє умову, виявилася вершина К2. Далі використаємо вираз (1):

$$L(I1) + G(I1, K1) = L(K1) : 0 + 141 = 141;$$

$$L(I3) + G(I3, K1) = L(K1) : 80 + 127 \neq 141;$$

$$L(K2) + G(K2, K1) = L(K1) : 137 + 87 \neq 141;$$

$$L(M1) + G(M1, K1) = L(K1) : 282 + 141 \neq 141;$$

$$L(N1) + G(N1, K1) = L(K1) : 327 + 291 \neq 141;$$

$$L(S1) + G(S1, K1) = L(K1) : 483 + 342 \neq 141;$$

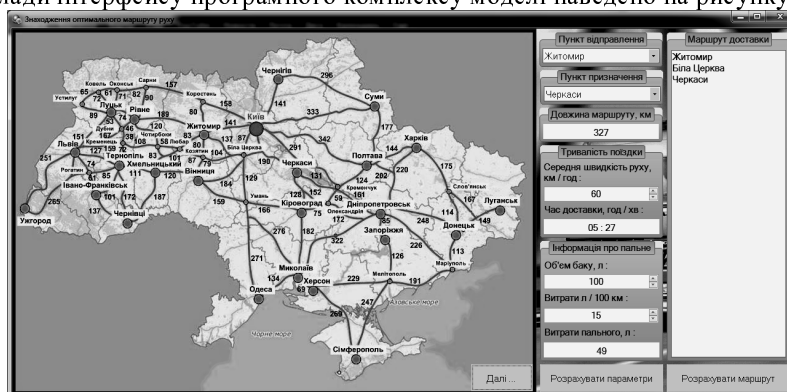
$$L(S2) + G(S2, K1) = L(K1) : 432 + 291 \neq 141;$$

$$L(R1) + G(R1, K1) = L(K1) : 474 + 333 \neq 141.$$

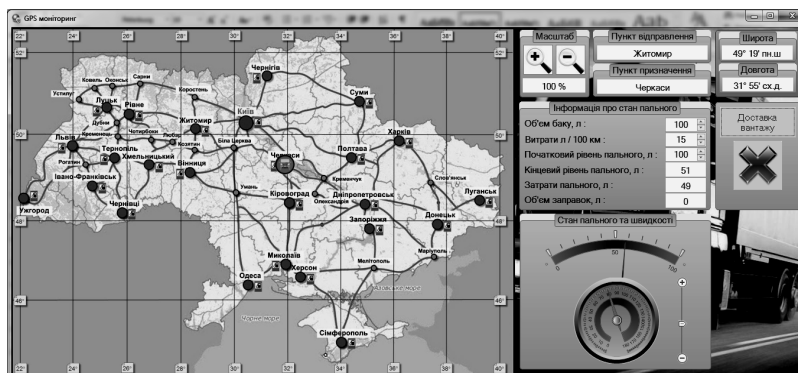
Єдиною вершиною, яка задовольняє умову (1), є вершина І1. Найкоротшим шляхом від вершини І1 до N1 є шлях І1–К1–N1, що дорівнює 327.

За результатами проведених досліджень було розроблено програмний комплекс «Monitoring of the transport» із використанням засобів інтегрованого середовища розробки Visual Studio з можливістю генерації звітності у додатки MS Excel.

Відмова від використання Web-орієнтованих технологій представлення даних була обумовлена обмеженою кількістю користувачів даної системи та обчислювальною складністю запропонованих алгоритмів. Приклади інтерфейсу програмного комплексу моделі наведено на рисунку 3.



a)



b)

Рис. 3. Екранні форми програмного комплексу:  
а) вікно для оптимізації маршруту перевезення; б) вікно відображення ТЗ на карті

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Результати, отримані в процесі дослідження, дозволяють здійснити проектування складної системи планування маршруту та моніторингу руху ТЗ на логістичному підприємстві. Така система може здійснювати не лише відслідковування поточного положення транспорту, а й реалізує пошук оптимального маршруту перевезення вантажу із використанням алгоритму Дейкстри.

Дана система орієнтована на малі та середні логістичні підприємства, реалізовує всі основні функції популярних на ринку аналогів, таких як російські ГІС «ОПТИМУМ», ГІС «TopLogistic» та української web-орієнтованої ГІС «DeliveryUa.Net». Перевагою даної системи є її доступність та використання алгоритму Дейкстри для оптимізації планування транспортних маршрутів.

Напрямом подальших досліджень є уточнення попереджуючого прокладання маршрутів транспортних перевезень із урахуванням пропускнуої здатності автомобільних доріг та врахуванням зміни ситуації на дорогах.

#### Список використаної літератури:

1. ГЛОНАСС/GPS моніторинг транспорту [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.arkan.ru/MonitoringServices/>.
2. Система моніторингу транспорту [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.allcars.net.ua/sistema-monitoringa-transporta.html>.
3. *Eksioglu B.* The vehicle routing problem: A taxonomic review / *B.Eksioglu, A.V. Vural, and A.Reisman* // *Computers & Industrial Engineering*. – Vol. 57, № 4. – 2009. – Рр. 1472–1483.
4. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом / *Е.Н. Воеводский, Н.А. Коневцева, Г.С. Махуренко и др.* – М. : Транспорт, 1988. – 381 с.
5. *Тарасова И.П.* Введение в исследование операций в транспортных системах / *И.П. Тарасова.* – Одесса : ОГМУ, 2000. – 58 с.
6. Військова топографія / *Т.М. Гребенюк, П.І. Волчко, В.Ю. Жидков та ін.* – Л. : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2008. – 384 с.
7. *Князьков В.С.* Алгоритм Дейкстры поиска кратчайших путей в графе / *В.С. Князьков, Т.В. Волченская* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.intuit.ru/department/algorithms/ingrth/9>.

МОЛОДЕЦЬКА Катерина Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій та моделювання систем Житомирського національного агроекологічного університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання систем;
- геоінформаційні технології.

ПРИЙМАК Олександр Сергійович – студент факультету інформаційних та телекомунікаційних систем Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Державного університету телекомунікацій.

Наукові інтереси:

- проектування програмно-технічних комплексів;
- геомоніторинг.

СУГОНЯК Інна Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- системний аналіз та моделювання складних систем;
- проектування СППР.

Стаття надійшла до редакції 02.10.2014