

## МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ ДАНИМИ У СИСТЕМІ КООРДИНАЦІЇ РУХУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Обґрунтовано застосування технології GSM для організації інформаційного обміну даними у системі координації руху транспортних засобів. Зазначена актуальність процесу оцінювання якості послуги передачі даних каналами GPRS. Розглянута технологія інформаційного обміну даними у системі координації руху транспортних засобів, описані основні характеристики компонентів системи передачі даних. Поставлена задача оцінювання пропускної здатності мережі GPRS на основі математичного апарату систем масового обслуговування. Розроблена імітаційна модель збору навігаційних даних.

**Ключові слова:** передача даних, інформаційний обмін, пропускна здатність, координація руху, імітаційна модель.

**Вступ.** Транспортна система України, зокрема залізничний транспорт, є важливою ланкою економіки країни. Тому забезпечення безпеки руху, своєчасності виконання перевезень є достатньо актуальним завданням управління. Тому метою роботи є розроблення підсистеми зв'язку та передачі даних в системі диспетчерського управління залізничним транспортом.

Основою розроблюваної системи є стандарт зв'язку, що задовольняє необхідні вимоги для функціонування системи в цілому. Після розгляду всіх можливих варіантів для розв'язання поставленої задачі як стандарт мобільного зв'язку був обраний стандарт GSM. Застосування технології GSM забезпечує інформаційну підтримку локомотивної бригади за допомогою передачі мови, а також передачі керуючих повідомлень за допомогою технології GPRS.

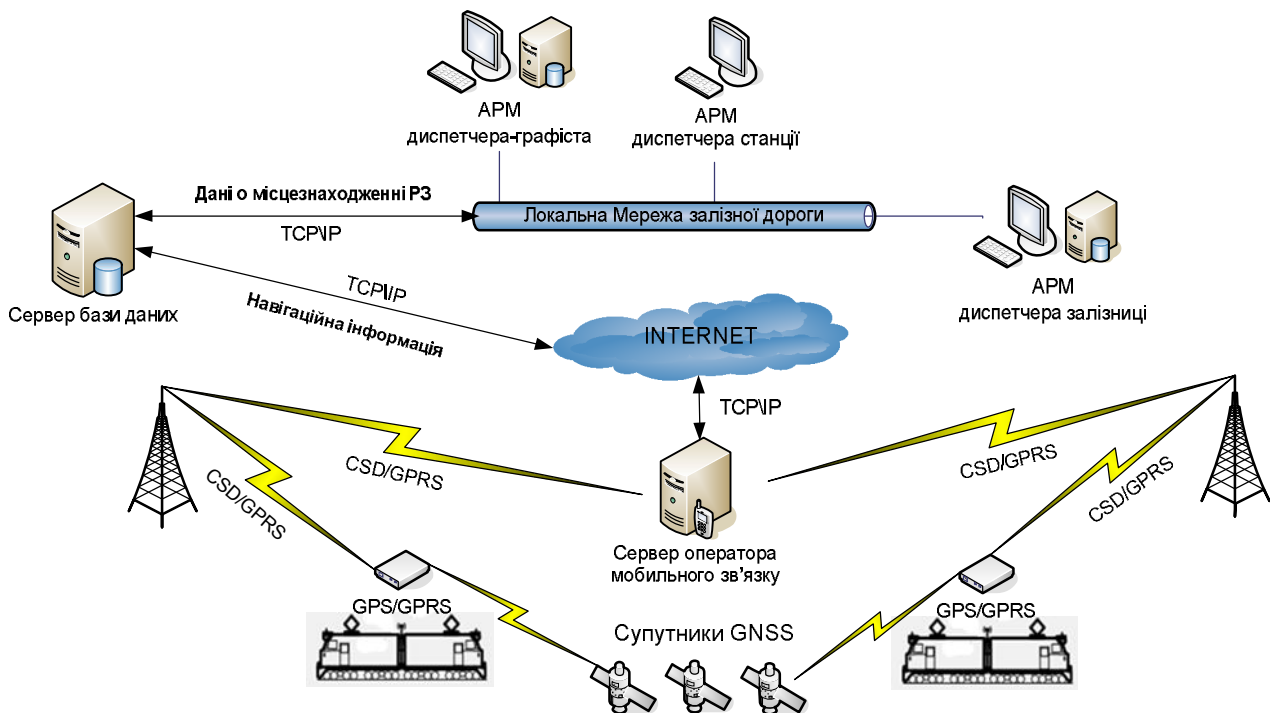
Оптимізація існуючої мережі GSM, а також побудова мереж третього покоління, тісно пов'язані із проблемою забезпечення радіопокриття, достатнього для надання послуг високошвидкісної передачі даних необхідної якості [1]. Відповідне збільшення мережевого навантаження, робота в обмеженому спектрі виділених частот обумовлюють потребу в розробленні нових, більш ефективних методів керування каналними ресурсами. Виникає також проблема оцінювання якості спільної передачі мовних повідомлень і пакетів даних.

Для повноцінного функціонування автоматизованої системи диспетчерського управління необхідне використання навігаційного обладнання та бортових інтелектуальних комплексів [1], які встановлено на рухомих засобах (РЗ). Вони забезпечують передачу інформації про місцезнаходження РЗ, а також прийняття управлінських рішень. Збільшення кількості обладнаних поїздів і, як наслідок, збільшення мережевого навантаження вимагає використання більш широких смуг частот порівнянні з тими, які зазвичай використовуються в мобільних системах зв'язку. Це призводить до потреби використання більш ефективних методів керування каналними ресурсами, що обумовлює необхідність вирішення завдань оцінювання існуючої системи GPRS для забезпечення підсистеми зв'язку та передачі даних для потреб залізничного транспорту. У системі, яка моделюється, передбачається режим однакового доступу кожного з рухомих засобів до кожного з наданих каналів. Кожний абонент системи має можливість передавати пакети даних або мовні виклики. Передбачається, що обслуговування голосового трафіка буде переривати обслуговування пакетів GPRS відповідно до більш високого пріоритету. У системі також може використовуватися буфер (нагромаджувач) для обслуговування тільки пакетів GPRS. Інтенсивність надходження пакетів визначається як суперпозиція тих, що знову надійшли, і тих, що повторно передані з буфера пакетів даних.

Метою цієї роботи є:

- 1) формалізація завдання передачі навігаційних даних для системи координації руху рухомих засобів [2] з урахуванням оптимізації використання ресурсів мережі GPRS;
- 2) оцінка місткості й можливостей наявної мережі GPRS для забезпечення необхідної якості послуги й швидкості передачі даних.

**Технологія інформаційного обміну системи координації руху.** У загальному вигляді інформаційний обмін системи координації руху рухомих засобів можна подати схемою, яка наведена на рис. 1. Навігаційні сигнали супутників GNSS приймаються за допомогою спеціальних GPS/GSM приймачів, які обробляють їх, і одержують навігаційні дані в координатній системі WGS-84 (широта, довгота, час та ін.). У цій системі застосовуються приймачі із частотою відновлення інформації як мінімум 5 разів за секунду (5 Гц), оскільки вони забезпечують необхідну точність при обчисленні місця розташування об'єкта на карті. Приймаються навігаційні сигнали на частоті 1227,6 МГц при використанні GNSS Navstar/GPS і 1200 МГц при використанні ГЛОНАСС. Для одержання даних про місце розташування (місце-визначення) поїзда приймач повинен «побачити» не менш 4 супутників (інакше похибка може бути значною).



*Рис. 1. Схема інформаційного обміну системи координації руху*

Використання технології GPRS зумовлене істотним збільшенням пропускної здатності каналу передачі даних (максимальна швидкість передачі, за умови використання 8 тайм-слотів становить 171,2 кбіт/с), а також використанням комутації пакетів, на відміну від комутації каналів в CSD/HSCSD, що дало змогу більш ефективно використовувати ресурси на базових станціях. Але в водночас для реалізації цієї технології необхідне внесення в структуру мережі додаткових елементів – SGSN, GGSN [3].

У випадку можливості використання технології EDGE [3], яка практично нічим не відрізняється від GPRS, також може бути реалізована на вже наявній мережі. Зміни при впровадженні EDGE стосуються зміни схем кодування на радіоінтерфейсі, а також зміни програмного забезпечення на мережевих елементах. Максимальна швидкість, яку може надати EDGE, становить 473,6 кбіт/з (8 тайм-слотів по 59,2 кбіт).

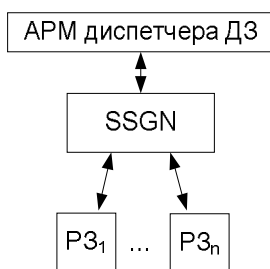
За допомогою спеціальної матриці отримані координати перераховуються в координатну систему навігаційних карт, створених для роботи із системою координації руху рухомих засобів. Вихідні координати передаються на сервер оператора мобільного зв'язку з використанням технології CSD/GPRS, а координати, які були розраховані, використовуються для відображення місця розташування рухомого складу на бортових комп'ютерах рухомих засобів. Оператор мобільного зв'язку повинен забезпечувати швидкість передачі інформації за допомогою каналу GPRS не менш 50 кбіт/с і вільну від загального трафіка APN [3].

Серверна частина програмного забезпечення розташована на комп'ютері з постійним підключенням до мережі Internet і IP-адресою. Завдання серверної частини: одержання даних з мобільного обладнання про місце розташування РЗ; забезпечення безпеки з'єднання, кодування й декодування даних; зберігання отриманих даних. Це забезпечує надійність передачі та збереження даних про маршрут і параметри РЗ, що необхідно для розв'язання задачі координації руху. Враховуючи можливість втрати зв'язку між мобільним обладнанням і сервером, передбачені спеціальні функції, які дають змогу передати на сервер усі дані, які було накопичено за період часу, коли об'єкт не був в зоні покриття GSM.

Клієнтська частина (диспетчерське робоче місце) є програмою, яка працює на звичайному комп'ютері, що має доступ до мережі Internet та одержує інформацію як у реальному часі, так і історію із серверної бази даних, у якій зберігаються дані GPS-спостереження про РЗ. Дані із бази даних відображаються на електронній карті місцевості, де перебуває об'єкт. Така побудова системи диспетчеризації і координації руху РЗ на основі GPS-навігації дає змогу диспетчеру оперативно приймати рішення, необхідні для усунення конфліктних ситуацій на перегонах.

Особливе місце серед інформаційних територіально розподілених систем займають системи передачі даних для важкодоступних об'єктів – наприклад, система координації руху РЗ. Особливістю таких систем передачі даних є, насамперед, використання бездротових каналів зв'язку – радіоканалу, супутникових і мобільних каналів зв'язку. У зв'язку із цими умовами особливого значення набуває задача оптимізації системи зв'язку з такими параметрами, як час, вартість або надійність доставки повідомлення.

Розглянута система (рис. 2) має ієрархічну структуру, елементами якої є РЗ, АРМ диспетчерів залізниць, АРМ диспетчера Укрзалізниці, центри комутації повідомлень (SSGN) і канали зв'язку. На верхньому рівні ієрархії перебуває АРМ диспетчера відповідної диспетчерської зони (ДЗ), а нижній рівень ієрархії представлений рухомими об'єктами залізниць.



**Рис. 2.** Структура системи збору навігаційних даних

Основний потік даних – результати прийому навігаційної інформації іде від РЗ до верхніх рівнів. Крім цього, у системі можлива передача іншої інформації, наприклад управляючі впливи у випадку виникнення конфліктних ситуацій.

Особливістю системи координації руху рухомих засобів є прив'язка до часу і заданий час актуальності даних. На рис. 3 показано порядок щодо збору даних з РЗ:  $\Delta t_1$  – період збору даних,  $\Delta t_2$  – період обробки даних,  $\Delta t_3$  – період відправлення керуючого повідомлення,  $T$  – час, протягом якого, дані вважаються актуальними, тобто це час, якого достатньо для прийняття рішення щодо координації руху.

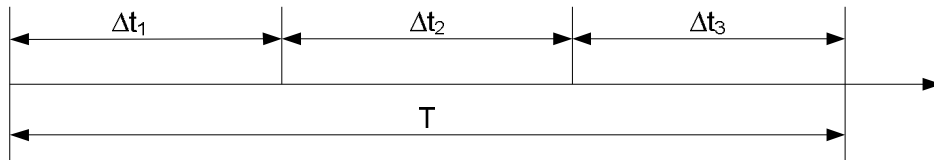


Рис. 2. Прив'язка процесу збору навігаційних даних до часу

Оптимізація системи здійснюється за одним з таких критеріїв:

1. оптимізація за часом доставки повідомлення, яка припускає найшвидшу доставку повідомлень або передачу максимуму інформації за одиницю часу для даної сукупності каналів зв'язку;
2. оптимізація за вартістю доставки повідомлення, яка передбачає, що вартість передачі повідомлення буде мінімально можливою для даної сукупності каналів зв'язку;
3. оптимізація по надійності, яка передбачає, що ймовірність помилки має бути зведена до мінімуму.

**Оцінювання пропускної здатності транспортної мережі в GPRS.** Система GPRS, як і будь-яка мережа зв'язку, моделюється системою масового обслуговування (СМО), і при розрахунках пропускної здатності використовуються формули, відповідні до обраної моделі. Оскільки система GPRS використовує режим комутації пакетів, то для моделювання такої системи застосовуються системи із чергами [4].

Використовуючи статистичні дані про характер потоків у транспортній мережі GPRS і прийнявши цілком розумні припущення про розмір пам'яті у вузлах системи GPRS, пропонується використовувати для моделювання в загальному вигляді комутатора GPRS систему M/G/1 (пуассонівський потік на вході, загальний вид розподілу, часу обслуговування, один обслуговуючий прилад, нескінченний розмір буфера).

Середня затримка протокольного блоку (ПБ) в цьому випадку може бути розрахована за формулою Хінчина-Полячека [5]:

$$\bar{t}_q = \frac{\bar{q}}{\lambda} = \bar{t}_s \times \left( 1 + \rho \frac{1 + C_s^2}{2(1 - \rho)} \right), \quad (1)$$

де  $\bar{q}$  – середня довжина черги в розглянутій системі;

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$  – інтенсивність навантаження системи M/G/1;

$\lambda, \mu$  – значення інтенсивності надходження й обслуговування пакетів у системі, відповідно;

$\bar{t}_s$  – середній час обслуговування у системі;

$C_s^2 = \frac{D(t_s)}{(\bar{t}_s)^2}$  – квадратичний коефіцієнт варіації часу обслуговування.

При розрахунках максимально можливої пропускної здатності системи передачі даних необхідно враховувати той факт, що кількість обладнаних РЗ буде збільшуватися. Відповідно значення  $\lambda$  буде рости, що обумовлює необхідність постійного контролю значення  $\bar{t}_q$  та при необхідності введення нових APN для передачі даних по каналах GPRS.

Для розрахунків затримок пакетів треба знати швидкість передачі даних на виході вузла GPRS, яка визначає інтенсивність обслуговування як  $\mu = \frac{1}{\tau}$ , де  $\tau$  – середня довжина ПБ.

Оскільки вузол GPRS обслуговує пакети, його можна моделювати системою з постійним часом обслуговування типу M/D/1. Тоді рівняння (1) матиме такий вигляд:

$$\bar{t}_q = \bar{t}_s \times \left( 1 + \frac{\rho}{2(1-\rho)} \right). \quad (2)$$

Для повного розрахунку швидкості передачі з рівняння (1), крім інтенсивності  $\lambda$  (у числі протокольних блоків в одиницю часу) і середньої довжини протокольного блоку (у бітах на блок), необхідно знати величину квадратичного коефіцієнта з розподілу довжин блоків, а також норми середньої затримки.

Розрахунок пропускної здатності транспортної мережі GPRS визначається вимогами до показників якості обслуговування, зокрема, до величини затримки [6].

**Моделювання передачі навігаційних даних по каналу GPRS.** Розглянемо процес моделювання каналу GPRS як СМО з одним обслуговуючим каналом (рис. 4).



*Рис. 4. Модель каналу GPRS*

Позначимо через  $\tau$  час обслуговування заявки в системі. Нехай  $\tau$  має закон розподілу  $f(\tau)$  і є стаціонарною випадковою величиною. Заявки обслуговуються в порядку надходження, тобто маємо чергу, в якій заявки можуть знаходитися не більше часу  $\tau^{oc}$ . Величина  $\tau^{oc}$  має закон розподілу  $\varphi(\tau^{oc})$ . Припустимо, що  $\tau^{oc}$  — незалежна величина для різних заявок.

В результаті моделювання потрібно визначити долю заявок, які було обслужені, долю заявок, які отримали відмову, середній час очікування в черзі. Будемо розглядати процес функціонування СМО в інтервалі часу  $[0, T]$ , а заявки поза цим інтервалом у цій СМО не розглядаються, навіть якщо заявка почала обслуговуватися в інтервалі  $[0, T]$ , а закінчення обслуговування виходить за межі цього інтервалу. Такі заявки вважаються не обслуженими. Тобто заявка отримує відмову в обслуговуванні, якщо час початку обслуговування  $t^n < T$ , а час його закінчення  $t^k > T$ . Імітаційний алгоритм роботи каналу GPRS (рис. 5) по кроках може бути представлений таким чином.

Крок 1. Формування випадкових значень моментів  $t_j$  надходження заявок у систему.

Крок 2. Перевірка умови потрапляння заявки, що з'явилася в момент часу  $t_j$ , в інтервал  $[0, T]$ . Якщо умова не виконується, то перехід до кроку 18.

Крок 3. Перевірка умови  $t_j < t_{j-1}^e$ , де  $t_{j-1}^e$  — момент звільнення каналу від обслуговування попередньої заявки. Якщо умова не виконується, то перехід до кроку 8.

Крок 4. Формування випадкових значень довжини очікування в черзі відповідно до закону розподілення  $\varphi(\tau^{oc})$ .

Крок 5. Розрахунок верхньої межі  $t_j^{oc}$  інтервалу  $[t_j, t_j^{oc}]$  очікування заявки в черзі.

Крок 6. Перевірка умови  $t_j^{oc} < t_{j-1}^e$ . Якщо умова виконується, то перехід до кроку 14.

Крок 7. Формування моменту початку обслуговування  $j$ -ї заявки  $t_j^n = t_{j-1}^e$  та перехід до кроку 9.

Крок 8. Формування моменту початку обслуговування  $j$ -ї заявки  $t_j^n = t_j$ .

Крок 9. Формування часу зайнятості каналу  $\tau$  відповідно до розподілу  $f(\tau)$ .

Крок 10. Розрахунок моменту  $t_j^e$  закінчення обслуговування  $j$ -ї заявки (момент звільнення каналу).

Крок 11. Перевірка умови  $t_j^e \leq T$ . Якщо умова не виконується, то перехід до кроку 14.

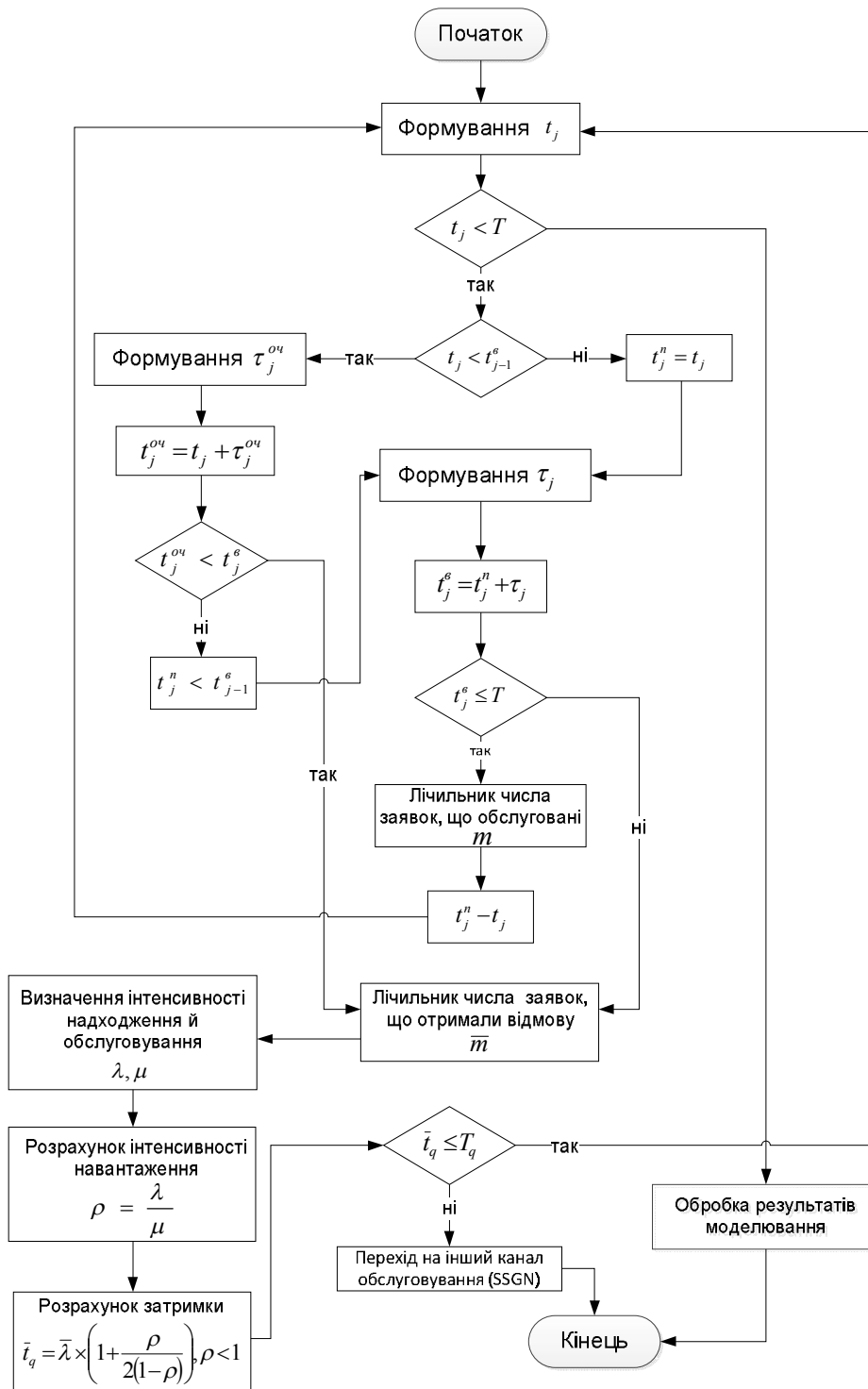


Рис. 5. Моделюючий алгоритм каналу GPRS

- Крок 12. Збільшення значення лічильника числа обслугованих заявок.  
 Крок 13. Розрахунок часу  $(t_j^n - t_j)$  очікування обслуговування  $j$ -ї заявки.  
 Крок 14. Збільшення значення лічильника числа заявок  $\bar{m}$ , що отримали відмову.  
 Крок 15. Розрахунок інтенсивності надходження пакетів і їх обслуговування.  
 Крок 16. Розрахунок затримки  $\bar{t}_q$ .

Крок 17. Перевірка умови  $\bar{t}_q \leq T_q$ , де  $T_q$  – розмір максимальної затримки в каналі GPRS. У випадку переповнення каналу необхідно здійснити перехід на інший канал обслуговування (SSGN).

Крок 18. Обробка результатів моделювання.

**Висновки.** Таким чином, в роботі на основі аналізу стану бездротових технологій передачі даних та їх можливостей з точки зору інформаційного обміну та вимог, що висуває система координації руху РЗ, отримано такі результати.

1. Наведено опис технології інформаційного обміну автоматизованої системи координації руху на основі використання мобільного зв'язку, зокрема технології передачі даних GPRS.

2. Розроблена структура системи збору навігаційних даних з урахуванням вимог актуальності даних.

3. Розроблена імітаційна модель передачі навігаційних даними каналами GPRS.

### Список літератури:

1. **Аркатов Д. Б.** Постановка задачи «Разработка системы связи и передачи данных автоматизированной системы «Навигация и управление для железнодорожного транспорта Украины» / **Д. Б. Аркатов** // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2012 – № 29. – С. 75–83.

2. **Аркатов Д. Б.** Синтез моделей координации движения подвижных средств железнодорожного транспорта Украины / **Д. Б. Аркатов** // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2012.–№ 4/3 (58). – С. 58–60.

3. **Бертсекас Д.** Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. – М. : Мир, 1989. – 544 с.

4. **Бусленко Н. П.** Моделирование сложных систем / **Н. П. Бусленко**. – М. : Наука, 1978. – 400с.

5. **Гольдштейн Б. С.** Сети связи / Б. С. Гольдштейн, Н. А. Соколов. – СПб : БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.

6. **Лагутин В. С.** Сети связи: проблемы эффективности использования ресурсов цифровых линий / **В. С. Лагутин**. – М. : Радио и связь, 1999. – 229 с.

*Д. Б. Аркатов*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СИСТЕМЕ КООРДИНАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В статье обосновано применение технологии GSM для организации информационного обмена системы координации движения подвижных средств. Описана актуальность оценки качества услуги передачи данных по каналам GPRS. Рассмотрена технология информационного обмена системы координации движения подвижных средств, описаны основные характеристики компонентов системы передачи данных. Поставлена задача оценки пропускной способности сети GPRS на основе математического аппарата систем массового обслуживания. Разработана имитационная модель сбора навигационных данных.

**Ключевые слова:** передача данных, информационный обмен, пропускная способность, координация движения, имитационная модель.

**INFORMATION EXCHANGE MODELING IN THE COORDINATION MOVEMENTS  
SYSTEM ON RAILWAY**

In article the use of GSM technology for information exchange system to coordinate movement of mobile assets is justified. The urgency of assessing the quality of data services via GPRS is indicated. The technology of information exchange system to coordinate movement of mobile assets, the basic characteristics of the components of the data transfer system are examined. The task of assessing the GPRS network capacity based on the mathematical apparatus of queuing systems is put. A simulation model for the collection of navigation data is developed.

**Key words:** communication, information exchange, capacity, coordination, simulation model

