

of Fuzzy Systems with MATLAB. Moscow, Russia: Goryachaya liniya – Telekom, 288.**8.** *Yager, R., Filev, D.* (1984). Essentials of Fuzzy Modeling and Control. USA: John Wiley & Sons, 387. **9.** *Bezdek, J. C.* (1981). Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York: Plenum Press, 272. **10.** *Nelles, O.* (2001). Nonlinear System Identification: From Classical Approaches to Neural and Fuzzy Models. Berlin: Springer, 785.**11.** *Rutkovskaya, D., Pilinskiy, M., Rutkovskiy, L.* (2006). Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. Moscow, Russia: Goryachaya liniya – Telekom, 452.**12.** *Ivakhnenko, A. G.* (1975). Long-term forecasting and control of complex systems. Kiev, Ukraine: Tehnika, 312.

*Поступила (received) 26.04.2015*

**УДК 004.724**

**Ю. О. КУЛАКОВ**, д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ;  
**А. М. КОРОНЕНКО**, аспірант, НТУУ «КПІ», Київ

### **СПОСІБ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ З РОЗПОДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ**

Запропонована нова схема розподілення загального пулу каналів між голосовими викликами та даних в стільникових мережах зв'язку. В схемі на першому етапі відбувається балансування каналів, які обслуговують голосові виклики та дані для нових викликів. На другому етапі прогнозується загальна кількість хендвер викликів та використовуючи адаптивний фільтр перерозподіляється кількість зарезервованих каналів.

**Ключові слова:** мобільна мережа, хендвер виклики, трафік, QoS.

**Вступ.** Завдяки механізмам резервування можна гарантувати якість обслуговування впродовж виклику, в той час як всі інші механізми контролю надходження викликів (локальні, основані на вимірах чи розрахунках ресурсів) приймають одноразове рішення перед встановленням виклику на основі інформації про поточний стан мережі. Оскільки довжина черги залежить від кількості зарезервованих складним чином каналів. Для підвищення якості необхідно розрахувати кількість каналів при заданих параметрах довжини черги.

В роботі [1] показано, що відома модель з балансуванням навантаження по необхідних значеннях показників, що пов'язано з мінімізацією коефіцієнта максимального використання каналів мережі, підтвердила, що при зростанні навантаження мережі значення коефіцієнта лінійно збільшується, внаслідок чого в чисельних значеннях основних показників QoS гарантовано відсутні коливання. В роботі [2] було проведено дослідження, де потокова модель з балансуванням навантаження по необхідних значеннях показників максимального використання каналів мережі не в усіх випадках дозволяє максимально покращити показники QoS. В роботах [3, 4] в межах аналітичного виразу пов'язано кілька показників якості з ціллю надання мережею гарантованої якості обслуговування. Аналіз поточкових моделей, в яких передбачено втрати викликів, показав, що ці моделі не придатні для передбачення зони хендвера та резервування каналів для обслуговування хендвер викликів.

**Мета роботи.** Мета роботи полягає в розробці способу балансування каналів в стільникових мережах, що дозволяє вирішити задачу підтримки QoS.

© Ю. О. КУЛАКОВ, А. М. КОРОНЕНКО, 2015

**Методика натуральних експериментів (логістична регресія).** Відомо два підходи до резервування каналів: в першому випадку використовується константа для задання максимального числа каналів, які будуть виділені для роботи мережі, коли кількість викликів буде перевищувати кількість каналів, тоді виклики будуть відкидатися; другий випадок - це використання функціональних рядів, наприклад, усереднення за рік або розкладання усередненого в функціональний (гармонічний) ряд, коли відома статистика на певний проміжок часу і виділення каналів відбувається відповідно до заданих попередніх параметрів. Але такий варіант непридатний для випадків, коли навантаження стає погано прогнозованим, оскільки при цьому необхідно розрізняти короточасні зміни (ефект Доплера), пов'язані з відносно швидким переміщенням мобільних пристроїв та довгочасні зміни, пов'язані з принциповими змінами в мережі зв'язку.

Для зменшення можливості виникнення конфліктних ситуацій ефективними є стратегії доступу, засновані на схемах поділу всього пулу каналів між різнотипними викликами. Для підтримки та підвищення QoS необхідно динамічно змінювати число зарезервованих каналів для голосових викликів і даних.

Більшість відомих алгоритмів, заснованих на гауссівських процесах, не можуть розрізняти день і ніч для трафіка, хоч і мали б включати всю попередню інформацію про регулярність часових рядів і використовувати контекстну інформацію, таку, як наявність свят. На відміну від відомих методів, де не враховується різниця між динамікою голосового трафіка та даних протягом доби, не можна очікувати значного підвищення QoS в ранкові та вечірні години. Статичне резервування каналів для перехідних викликів не дозволить наблизити навантаження каналів до оптимальної й зрівняти QoS для постійних абонентів стільника і для перехідних викликів. До основних недоліків цих методів можна віднести те, що у випадку статичного розподілу максимальна довжина черги у моменти пікових навантажень росте і залишається на високому рівні, поки не знизиться навантаження. Тому використання прогнозу було б виправдано в цьому випадку.

Найбільш популярною моделлю для прогнозування є моделі авторегресії та проінтегрованого ковзного середнього (ARIMA) [5, 6]. Для того, щоб отримати адекватну модель, необхідно виявити параметри, що дозволять зробити прогноз зміни кількості хендвер викликів в стільнику мобільної мережі. Особливістю дослідження є те, що прогнозна модель ARIMA вперше застосована до фрактального трафіка. Найефективніше буде вирішити цю задачу комплексно, розділивши умовно весь пул каналів на типи викликів. Для більш ефективної роботи мережі потрібно використовувати резервування каналів під виклики, тому є сенс виділити їх. Поділ всіх викликів у каналах, які надходять на базову станцію (БС) по категоріях та на типи рис. 1.

Як видно з рисунку, ми маємо поділ каналів всього пулу каналів на такі,

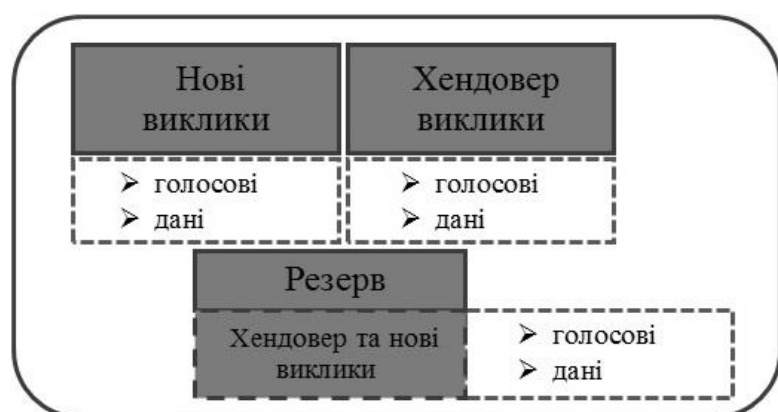


Рис. 1 – Розподіл викликів по каналах

що відведені під нові виклики, під хендовер виклики та резерв, який містить зарезервовані канали, що очікують хендовер викликів і нових викликів. Кожна категорія поділена також на такі типи викликів як голосові виклики та дані.

Динамічне резервування каналів підвищує QoS. Для того, щоб це робити, необхідно використовувати динамічні методи, такі як, наприклад, нейронні мережі або методи адаптивної фільтрації. На сьогоднішній день найбільшого поширення набули статичні методи виділення каналів, коли їхня кількість, що обрана на основі статистики за певний звітний період, виділяється один раз при налаштуванні БС в мережі. Недоліком таких методів [8] є те, що не враховуються такі зміни навантаження мережі, як експоненціальне зростання трафіка під час свят, великого скупчення МП, роумінг і т. д. Тому ці методи не підходять під тип мобільних мереж. Наступний метод - це розкладання в гармонічний ряд. Це більш складний метод, який відповідно до часу доби або тижня, як вказано, виділяє певну кількість каналів (також середнє значення за певний звітний період). Недоліком цього методу є неможливість динамічно враховувати значне коливання навантаження в певний період, що призводить до меншої ефективності всієї мережі. Отже, методом, який враховуватиме недоліки статичних методів та додатково даватиме можливість прогнозувати навантаження, було обрано метод адаптивної фільтрації. За основу буде взято гармонічний ряд (існуючу статистику або базову модель) та порівнюватиметься з наявним навантаженням, якщо воно змінюватиметься в напрямку зростання або спадання, то відбуватиметься відповідна корекція.

Стрімке зростання обчислювальних можливостей для складних високопродуктивних мереж дало можливість для використання адаптивних алгоритмів.

Для вирішення нашої задачі взято адаптивний алгоритм, який лежить в основі фільтрації на основі найменших квадратів (оптимального фільтра Вінера). Оскільки параметри фільтра автоматично підлаштовуються під проаналізовані статистичні властивості мережі, це дозволяє успішно функціонувати мережі, коли наперед невідомі статистичні властивості. Це дозволяє в режимі реального часу резервувати канали під хендовер виклики, більш ефективним ніж існуючі способом. Отже, для підтримки заданої QoS необхідно використовувати підлаштування параметрів мережі. Недолік адаптивної фільтрації у тому, що передбачається те, що стан мережі буде незмінним певний час, який необхідний для порівняння з базовою моделлю. Сумісне використання моделі для прогнозування зміни кількості викликів разом з адаптивним фільтром дозволяє передбачувати зміни стану мережі та адаптуватись до реальних змін. На рис. 2 наведено спосіб організації розподілення трафіка в мобільних мережах.



Рис. 2 – Умовна схема розподілу каналів

**Обговорення отриманих результатів.** Було запропоновано спосіб розподілення каналів, на рис.3 представлена блок-схема способу розподілення каналів в стільниковій мережі. Як видно з рисунку на першому етапі відбувається перевірка на те чи новий виклик надійшов, якщо «так», то відбувається наступна перевірка на те чи достатня кількість вільних каналів, якщо «так», то ці канали займаються. Якщо на при перевірці на достатню кількість вільних каналів отримано негативну відповідь, то займаються всі вільні канали і відбувається перехід до резервних каналів. Наступною перевіркою є перевірка на достатню кількість резервних каналів, якщо «так», то займаємо канали. Якщо «ні», то займаємо всі вільні канали і переходимо до резервних каналів, що відносяться до хендовер викликів. Остання перевірка на цьому етапі, це перевірка на те чи достатня кількість резервних каналів, що відносяться до хендовер викликів, якщо «так», то канали займаються. Якщо «ні», то займаються канали, а надлишкові виклики, відкидаються.

Якщо на першому етапі перевірки було виявлено, що надійшов не новий виклик, а хендовер виклик. то переходимо до другого етапу розподілу каналів, перевіряємо ймовірність блокування хендовер викликів. Якщо при перевірці на те чи може бути оброблений виклик відповідь «так», то займаємо канали. Якщо ні, то відбувається балансування каналів та корегується прогноз числа викликів.

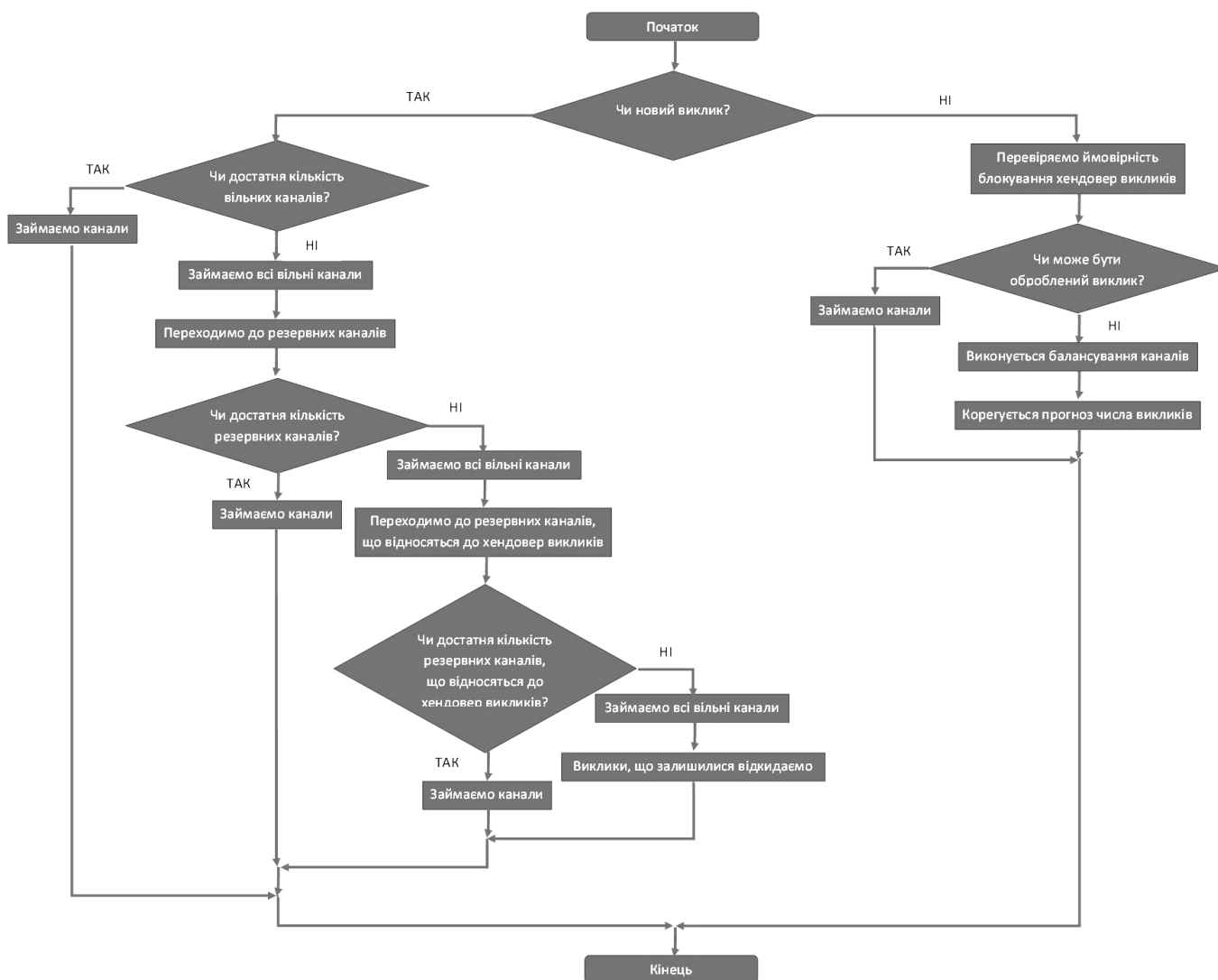


Рис. 3 – Блок схема розподілу каналів

Отже спосіб балансування каналів передбачає два етапи, які відображені на рис. 4, 5.



Рис. 4 – Метод балансування черги по типу викликів



Рис. 5 – Спосіб балансування каналів, що відведення для хендовер викликів

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання:

1. Проведений аналіз останніх методів розподілу та резервування каналів показав, що основними проблемами при розподіленні каналів є незбалансованість каналів.

2. Було запропоновано та обгрунтовано спосіб, що, враховуючи фрактальність та зону хендовера, дає більш глибокий прогноз динаміки по викликах та більш чіткі правила розподілення пулу каналу.

3. Було висунуто наступні гіпотези:

- Що динамічне розподілення каналів дозволить підвищити QoS.
- Прогноз числа хендовер викликів дозволить більш ефективно виділяти канали під хендовер виклики.
- Використання адаптивного фільтру дозволить передбачувати зміни стану мережі та адаптуватись до реальних змін.

Були проведені експерименти, що підтверджують наші гіпотези, в основу вхідних даних лягла окремо знята статистика з двох організацій, що спеціалізуються на мобільних мережах.

Перший експеримент відбувався з метою прогнозування зміни кількості хендовер викликів в стільнику мобільної мережі. Дата експерименту: 8 грудня 2014 року на БС, що розміщена в м. Києві по бул. І. Кудрі, дані надано ТОВ «ТРИМОБ», дослідження тривали протягом доби, всього було отримано 96 спостережень.

Зауваження №1: у зв'язку з технічними обмеженнями, під час експерименту, не було можливості розділити тривалість викликів в статистиці рівня радіомережі

на вхідні/вихідні, тому тривалість викликів в кожному інтервалі заміру була представлена одним числом.

Зауваження №2: статистика по хендоверу містить кількість спроб хендовера з розбивкою по напрямку. В кожному інтервалі заміру приведено всі можливі напрямки в стільнику як по вхідних, так і по вихідних хендоверах.

Зауваження №3: мінімально доступні інтервали заміру на обладнанні, що використовувалось – 15 хвилин.

Для наступного експерименту на мережі оператора мобільного зв'язку PEOPLE.net досліджувався характер усього навантаження, що обслуговується протягом квітня 2014 року; статистика знімалась безперервно щодня кожні 5 хвилин. Вказане дослідження проводилося в м. Києві на вулицях Берковецькій та Підгірній. На момент проведення дослідження проводилися масові заходи, при проведенні яких кількість абонентів перевищувала пропускну здатність стільника. Проведення вимірів навантаження здійснювалося шляхом зняття облікової інформації, що надійшла.

Зауваження №4. Ці дані відображають тільки ту частину викликів, які обслуговуються оператором. Однак у випадках, коли абонент зайнятий або він не відповідає, тобто коли виклик не завершений тарифікованою розмовою абонентів, ця частина викликів залишається неврахованою. Таким чином, якщо порівняти враховане, тобто навантаження, що було опрацьоване, то воно виявиться менше того, що реально надійшло. При можливості локального перевантаження мережі найбільш ймовірні випадки отримання відмови в обслуговуванні, коли мережа зайнята через відсутність вільних каналів (тобто зайняті всі або зарезервовані для хендоверних абонентів канали). В цьому випадку виклик, що надійшов, взагалі залишиться незафіксованим навіть за допомогою програмного забезпечення.

Для третього експерименту, що підтверджує, що зі зростанням навантаження ймовірність блокування кожної категорії викликів (нових та хендовер викликів) спадає, що означає, що в цьому діапазоні навантаження для кожної категорії викликів буде достатньо ресурсів. Дослідження проводилось для двох БС в м. Києві по вул. Берковецька та вул. Синьоозерна.

Зауваження №5. У зоні хендовера рух мобільного пристрою (МП) в напрямку сусіднього стільника супроводжується погіршенням якості зв'язку. МП може провести в зоні хендовера деякий час, що залежить від таких параметрів системи, як розмір стільника, швидкість і напрямок руху абонента. За час перебування МП в зоні хендовера відбувається пошук вільного радіоканалу на БС сусіднього стільника.

Будемо вважати, що, потрапивши в зону хендовера, МП не може змінити напрямок руху так, щоб повернутися на територію стільника, через БС якої підтримується поточне з'єднання. Тоді можливі три варіанти:

- передача обслуговування поточного з'єднання на один з вільних каналів БС сусіднього стільника;

- успішне завершення обслуговування поточного з'єднання з причини закінчення розмови абонентом під час перебування в зоні хендовера;

- вимушений розрив поточного з'єднання на території сусіднього стільника – блокування хендовера, яке відбудеться, якщо в момент перетину абонентом меж зони хендовера передача обслуговування від поточного з'єднання БС до сусіднього стільника неможлива.

**Висновки.** В статті запропоновано спосіб розподілення каналів, який, враховуючи фрактальні властивості мережі, підвищує якість прогнозування та дозволяє отримати більш чіткі правила для розрахунку кількості каналів мультимедійного трафіка. Для підвищення ефективності балансування черги пропонується використовувати адаптивні алгоритми та прогнозування. Використання найпростіших методів адаптивної фільтрації дозволяє врахувати характеристики мобільної мережі та організувати підлаштування фільтра для ефективної корекції в режимі реального часу резервування каналів під хендовер виклики за допомогою мінімізації помилки відтворення базової моделі. Для вирішення задачі найбільше підходить застосування методів прогнозування моделі ARIMA, адаптивного фільтру Вінера, розроблених методів балансування черги [9].

**Список літератури:** 1. *Mérindol, P.* Improving Load Balancing with Multipath Routing [Text] / *Mérindol, P., Pansiot, J., Cateloin, S.* // Proc. of the 17th International Conference on Computer Communications and Networks, IEEE ICCCN. – 2008. – P.54–61. 2. *Лемешко, А. В.* Усовершенствование потоковой модели многопутевой маршрутизации на основе балансировки нагрузки [Электронный ресурс] / *А. В., Лемешко, Т. В., Вавенко* // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 1 (6). – С. 12–29. – Режим доступа: [http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121\\_lemeshko\\_multipath.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121_lemeshko_multipath.pdf). 3. *Mantar, H. A.* A scalable model for interbandwidth broker resource reservation and provisioning [Text] / *H. A., Mantar, J., Hwang, I. T., Okumus [and other]* // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2004. – Vol. 22, Issue 10. – P. 2019–2034. 4. *Aukia, P.* RATES: a server for MPLS traffic engineering [Text] / *P., Aukia, M., Kodialam, P. V. N. Koppol [and other]* // IEEE Network. – 2000. – Vol. 14, Issue 2. – P. 34 – 41. 5. *Гребенников, А. В.* Моделирование сетевого трафика и прогнозирование с помощью модели ARIMA [Текст] / *А. В., Гребенников, Ю. А., Крюков, Д. В., Чернягин* // Системный анализ в науке и образовании. – 2011. – №1. – С. 1-11. 6. *Крюков, Ю. А.* ARIMA – модель прогнозирования значений трафика [Текст] / *Ю. А., Крюков, Д. В., Чернягин* // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2011. – №2. – С.41-49. 7. *Кулаков, Ю. О.* Аналіз методів прогнозування та розрахунків прогнозу зміни числа хендовера в стільнику мультисервісної мобільної мережі [Текст] / *Ю. О., Кулаков, А. М., Короненко* // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2015. – № 62. 8. *Zaragoza, D.* Experimental validation of the ON–OFF packet-level model for IP traffic [Електронний ресурс] / *D., Zaragoza, C., Belo* // Computer Communications. – 2007. – Volume 30, Issue 5. – P. 975–989. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366406003379>. 9. *Короненко, А. М.* Метод ефективного динамічного розподілення каналів між голосовими викликами та даними [Текст] / *А. М., Короненко* // Electronics and Communications – 2014. – 4(81) – С. 83-89. 10. *Айвазян, С.А.* Прикладная статистика. Основы эконометрики. Том 2. [Текст] / *С. А., Айвазян* – М. : Юнити-Дана, 2001. – 432 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Mérindol, P.*(2008). Improving Load Balancing with Multipath Routing. Proc. of the 17th International Conference on Computer Communications and Networks, IEEE ICCCN, 54–61. 2. *Лемешко, А. В.* (2012). Усовершенствование потоковой модели многопутевой маршрутизации на основе балансировки нагрузки. Проблемы телекоммуникаций, № 1 (6), 12–29. [http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121\\_lemeshko\\_multipath.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121_lemeshko_multipath.pdf). 3. *Mantar, H. A.* (2004). A scalable model for interbandwidth broker resource reservation and provisioning. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 22, Issue 10, 2019–2034. 4. *Aukia, P.* (2000). RATES: a server for MPLS traffic engineering. IEEE Network, Vol. 14, Issue 2, 34 – 41. 5. *Гребенников, А. В.* (2011). Моделирование сетевого трафика и прогнозирование с помощью модели ARIMA. Системный анализ в науке и образовании, №1, 1-11. 6. *Крюков, Ю. А.* (2011). ARIMA – модель прогнозирования значений трафика. Информационные технологии и вычислительные системы, №2, 41–49. 7. *Кулаков, Ю. О., Короненко, А. М.* (2015). Аналіз методів прогнозування та розрахунків прогнозу зміни числа хендовера в стільнику мультисервісної мобільної мережі. Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка, № 62. 8. *Zaragoza, D.* (2007). Experimental

validation of the ON–OFF packet-level model for IP traffic. Computer Communications, Volume 30, Issue 5, 975–989. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366406003379>. 9. Короненко, А. М. (2014). Метод ефективного динамічного розподілення каналів між голосовими викликами та даними, Electronics and Communications, 4(81), 83-89. 10. Айвазян, С.А. (2001). Прикладная статистика. Основы эконометрики. Том 2. М. : Юнити-Дана, 432.

Надійшла (received) 27.04.2015

УДК 533:519.6:621.64.029

**В. Ф. ЧЕКУРІН**, д-р фіз.-мат. наук, проф., зав. від., Інститут прикладних проблем механіки і математики НАН України, Львів;  
**О. М. ХИМКО**, канд. техн. наук, доц., НУ «Львівська політехніка»

## ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПОТОКАМИ ГАЗУ В ДОВГОМУ ТРУБОПРОВОДІ

В рамках моделі газової динаміки сформульовані задачі оптимального керування стаціонарними режимами транспортування газу в довгому газопроводі. Запропоновані алгоритми чисельного розв'язування сформульованих задач. Розглянута можливість застосування розробленого математичного апарату для управління магістральними газопроводами.

**Ключові слова:** газова динаміка, магістральні газопроводи, оптимальне керування

**Вступ.** Магістральний газопровід можна розглядати як систему довгих трубопроводів (сегментів), послідовно з'єднаних через компресорні станції. Режим транспортування газу в такій системі визначається роботою компресорних станцій і супроводжується затратами енергії та зниженням ресурсу обладнання. Тож будь-якому режимові транспортування газу можна поставити певні енергетичні та амортизаційні витрати. У зв'язку із цим постає проблема вибору режимів, за яких ці витрати задовольнятимуть певні критерії.

**Мета роботи.** Метою статті є формулювання задач оптимізації керування режимами транспортування газу в магістральних газопроводах та розроблення алгоритму їхнього розв'язування.

**Рівняння динаміки газу довгому трубопроводі.** Для опису транспортування газу застосуємо модель газової динаміки, яка описує нестационарний рух газу в циліндричній трубі сталого діаметру [1-3]. Обмежимося тут ізотермічним випадком, вважаючи температуру  $T$  газу незалежною від часу  $t$  та координати  $x$  уздовж осі труби. Вихідними диференціальними рівняннями для кожного сегмента у цьому випадку є рівняння балансу маси

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial J}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

та рівняння балансу імпульсу

$$\frac{\partial J}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial \rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{J^2}{\rho} \right) + \frac{\lambda}{2D} \frac{|J|J}{\rho} + g \frac{dH}{dx} \rho = 0. \quad (2)$$

Тут  $P$  та  $\rho$  — тиск та густина маси газу,  $V$  — осереднена в перерізі труби осьова компонента його швидкості руху,  $g$  — прискорення земного тяжіння,