

Ю. К. ДАВИДОВСЬКИЙ, О. А. РЕВА, О. В. МАЛЄЄВА

## МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

**Предметом** дослідження в статті є процес передачі даних в транспортних мережах зв'язку. **Мета роботи** – розробка методу моделювання параметрів мереж передачі даних, який дає змогу формалізовано представити параметри функціонування мережі для моделювання її поведінки з урахуванням динаміки трафіку. В статті вирішуються наступні **завдання**: обґрунтування важливості модернізації мереж передачі даних на прикладі зростання їх використання; визначення необхідності створення саме автоматизованого засобу для моделювання, на відміну від залучення технічних спеціалістів; вибір рівнів абстракції мережі передачі даних для її моделювання; визначення математичного апарату для обчислення параметрів моделі; розробка методу моделювання мережі передачі даних. Використовуються такі **методи**: основи системного аналізу, метод імітаційного моделювання. Отримано наступні **результати**: Надано прогнозований графік зростання обсягів трафіку за категоріями та узагальнена діаграма. Зроблено висновок, що зростання трафіку відбувається у геометричній прогресії. Була оцінена модернізація мережі з урахуванням різних видів витрат. Зроблено висновок про потребу ринку в автоматизованому інструменті проектування та модернізації мережі. Розглянуті різні способи моделювання динамічних систем; визначений спосіб створення моделі транспортної мережі зв'язку. Розглянута семирівнева модель OSI та наведено власну інтерпретацію особливостей її рівнів. Були обрані чотири нижні рівні цієї моделі, у якості рівнів абстракції моделювання, виділені основні характеристики транспортної мережі зв'язку, якими буде оперувати модель. Функціонування нижніх рівнів транспортної мережі зв'язку формалізовано у вигляді окремих математичних моделей та формул, на основі яких описаний метод моделювання функцій транспортної мережі зв'язку. Були визначені способи застосування цього методу для модернізації топології транспортної мережі зв'язку. **Висновки**: Таким чином, створено новий метод моделювання транспортної мережі зв'язку, який удосконалює, та спрощує процес створення, або модернізації мережі, що дає можливість значно зменшити кошти на проектування топології мережі, та підвищити утилізацію її ресурсів.

**Ключові слова**: мережа передачі даних; імітаційне моделювання; системна динаміка; модель OSI; фізичний рівень; каналний рівень; мережевий рівень; транспортний рівень; трафік.

### Вступ

Сьогодення характеризується масштабними змінами у щоденній людській діяльності, насамперед мається на увазі зростання людської активності у мережі Internet, або використання локальних, корпоративних мереж. Це створює величезну потребу в оновленні існуючих мереж як на програмному так і на фізичному рівнях. Будь яка модернізація мережі є складним та коштовним процесом, тому вирішення задачі зменшення вартості модернізації мережі є життєво необхідним для будь якого бізнесу, який бажає оптимізувати свої витрати. Ця праця присвячена одному з варіантів вирішення вказаної задачі.

### Аналіз публікацій та постановка завдання

Для моделювання мереж застосовуються імітаційні моделі, які поділяються на чотири основних типи: дискретно-подійні моделі, моделі системної динаміки, моделювання динамічних систем та агенте моделювання [1, 2].

Системна динаміка є потужним інструментом для дослідження динамічних процесів, який дозволяє моделювати складні системи зі зворотнім зв'язком (на виробництві, в соціумі, тощо). Процеси в такому випадку зображені у вигляді діаграм, складених зі позитивних та негативних зворотніх зв'язків. Особлива увага приділяється саме моделюванню цих зв'язків [3].

При дискретно-подійному моделюванні, на відміну від моделювання системної динаміки, вся увага приділяється або переходам від події до події

(подіє-орієнтована модель), або від одного дискретного проміжку часу до іншого (процес-орієнтована модель). Цей тип імітаційного моделювання застосовується у разі, якщо стан системи змінюється миттєво у відповідні проміжки часу. Така модель може бути зображена у вигляді графу подій [4].

Моделювання динамічних систем дозволяє описати процеси у вигляді алгебраїчних рівнянь, алгоритмів, блок-схем та диференціальних рівнянь [5–7].

Агенте моделювання оперує поняттям "агент" – що є деякою сутністю, яка може проявляти активність, має свою поведінку, може приймати рішення на основі поточного стану системи. Таке моделювання використовують для зображення децентралізованих, інтелектуальних систем для отримання інформації щодо взаємодії її складових [8].

Для симуляції роботи мережі передачі даних найчастіше і з найбільшим успіхом використовуються моделі першого та третього типів - дискретно-подійні та моделі динамічних систем. У нашій праці ми застосуємо модель динамічних систем оскільки це дозволить легше перенести моделі у інформаційну систему для моделювання на обчислювальній техніці [9].

Тому метою статті є розробка методу моделювання параметрів мереж передачі даних, який дає змогу формалізовано представити параметри нижніх рівнів функціонування мережі для створення імітаційної моделі її поведінки з урахуванням динаміки трафіку.

В статті вирішуються такі завдання:

1. Обґрунтування важливості модернізації мереж передачі даних на прикладі зростання їх використання;

2. Визначення необхідності створення саме автоматизованого засобу для моделювання, на відміну від залучення технічних спеціалістів;

3. Вибір рівнів абстракції мережі передачі даних для її моделювання;

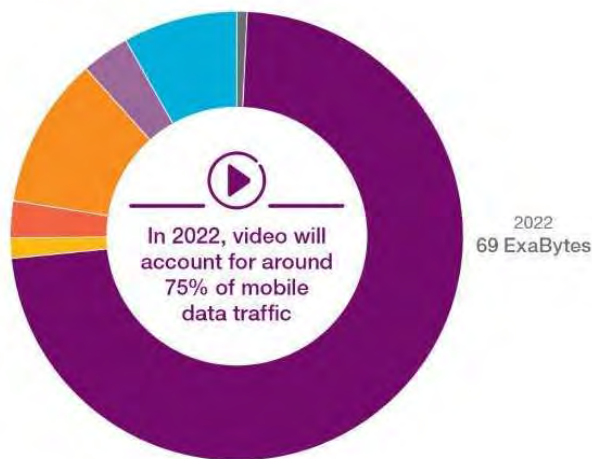
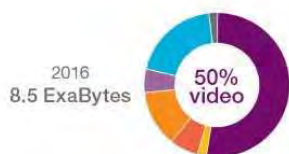
4. Визначення математичного апарату для обчислення параметрів моделі;

5. Розробка методу моделювання мережі передачі даних.

### Обґрунтування важливості зростання обсягу трафіку

Зростання людської активності у мережі Internet можна наявно продемонструвати, опираючись на дані з різних джерел, таких як: Ericsson, Cisco та інші. Звіти цих компаній демонструють теперішнє та прогнозоване навантаження на мережі передачі даних у різних перспективах, в тому числі, із кластеризацією за типами наданих послуг та сервісів. Наприклад наступна гістограма, узятая з доповіді Ericsson, демонструє, що зростання трафіку є нерівномірним та в період з 2016 по 2022 рік планується зростання насамперед відео-, аудіотрафіку, а також трафіку соціальних мереж (рис. 1) [10].

Mobile traffic by application category per month (ExaBytes)



<sup>1</sup> Video is likely to form a major part of file sharing traffic in addition to the identified application type 'video'  
<sup>2</sup> Ericsson ConsumerLab, TV and Media (2016)

Рис. 2. Прогнозований графік зростання обсягів трафіку

Можна зробити висновок, що зростання трафіку відбувається у геометричній прогресії. Однак є ще одна характеристика, яка є ключовою – це кластеризація трафіку не за типом переданих даних, а за розподілом передачі даних на добу, тобто так званий "Busy-hour Internet traffic" [11].

Компанія Cisco прогнозує зростання цього трафіку на третину більше ніж увесь інший трафік. Це зростання присутнє не тільки у повсякденних активностях у мережі Internet, але й у сферах бізнесу, тобто корпоративних мережах. Згідно зі

Mobile traffic by application category  
CAGR 2016-2022 (percent)

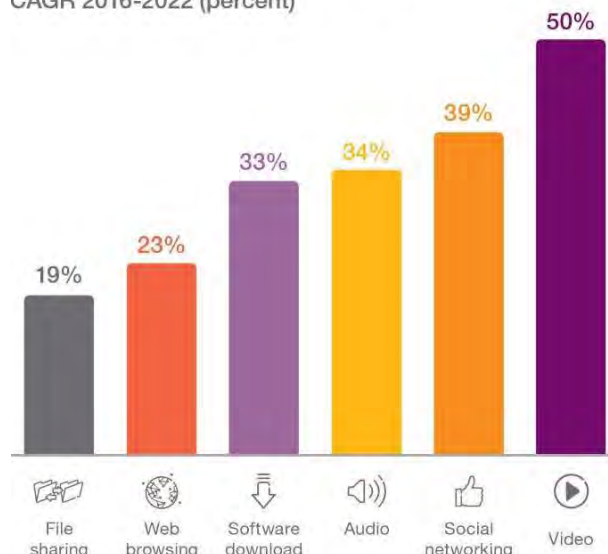


Рис. 1. Прогнозований графік зростання обсягів трафіку за категоріями

Та для більшої повноти розуміння цієї проблеми Ericsson наводить не тільки відносні, але й конкретні цифри прогнозованого зростання навантаження (рис. 2) [10], а саме:

статистичними прогнозами компанії Cisco у період з 2017 по 2021 роки, використання відеоконференцій зумовить потрійне зростання трафіку у корпоративних мережах [12].

Через це постає закономірне питання збільшення потужностей комп'ютерних мереж. Але, якщо тренд сьогодні задають такі мережеві технології як GRID обчислення, або хмарні сховища даних, такі очевидні питання як фізична модернізація каналів зв'язку, побудова мереж та інше, вирішується досить дорого та у багатьох випадках надлишково. Ця ситуація

призводить до збільшення вартості використання комп'ютерних мереж [13].

Наведемо цифри, які характеризують втрати компаній при неоптимальному використанні ресурсу комп'ютерних мереж. Приблизні витрати та дохід було оцінено на основі аналізу реально існуючих фірм. Наприклад, у компанії працюють 100 людей, які використовують 80 стаціонарних та 15 портативних робочих місць. Також використовується 3 сервери, які обслуговують просту Ethernet мережу з декількома концентраторами та мостами. Якщо прийняти, що щоденний дохід на одного співробітника дорівнює 300 долларам США, та втрати через простої та перевантаження мережі дорівнюють 2%, розраховуючи робочий період у році рівний 220 дням, можна отримати приблизні фінансові втрати – 132 тис. долларів США. Для збільшення ефективності роботи мережі, власники компанії звернулися до консалтингової фірми з таких питань, та було вирішено перейти на 100 Mb/s комутвану Ethernet мережу. Модернізація мережі була оцінена з урахуванням наступних витрат:

- 1) 2 нових сервера (40 тис. долларів);
- 2) 2 ліцензії на ПЗ (4 тис. долларів);
- 3) 2 джерела безперервного живлення (3 тис. долларів);
- 4) 100 нових мережевих карт 10/100 (5 тис. долларів);
- 5) 1 станція керування (7 тис. долларів);
- 6) 6 комутаторів 10/100 Gigabit Ethernet на 24 порта (18 тис. долларів);
- 7) 1 новий RAS (1 тис. долларів);
- 8) 2 стойки для комутаторів/RAS (5 тис. долларів);

Усього модернізація буде коштувати 83 тис. долларів США, але не були враховані витрати на консалтинг та навчання персоналу, а ці витрати можуть сягати третини усіх витрат, у середньому такий проект коштував би від 40 тис. долларів за проектування, та від 20 тис. долларів за навчання персоналу. Таким чином повернення інвестицій (Return on Investment, ROI) без залучення консалтингової компанії можна очікувати приблизно через:

$$ROI = 83 / 132 \approx 0.63 \text{ року, тобто } 6\text{--}8 \text{ місяців.}$$

Але, якщо залучати консалтингову фірму, можна втратити ще 60 тис. долларів, та отримати ROI рівним 1.1 року, тобто 12–14 місяців.

Таким чином можна наглядно побачити потребу ринку в автоматизованому інструменті проектування та модернізації мережі, який би був простим у використанні, безкоштовним, або недорогим. Вже сьогодні є декілька програмних пакетів, наприклад Cisco Packet Tracer, GNS3, Unetlab, та інші, які дозволяють спростити роботу адміністраторам мережі, не залучаючи консалтингових фірм або інших спеціалістів у цій галузі.

Ці програмні продукти спрямовані на аналіз маршрутизації, розподілу підмереж, вони мають досить розгорнуту базу обладнання, та дозволяють візуалізувати розподіл робочих станцій, комутаторів маршрутизаторів у компанії. Але всі існуючі

програмні пакети не дозволяють у повному обсязі, та з можливістю масштабування, провести навантажене моделювання мережі, особливо в умовах динамічного зростаючого чи спадаючого трафіку. Ця частина ринку мережевого моделювання ще є відкритою та шукає системи, які б дозволили спеціалісту з мінімальною підготовкою спроектувати з нуля, або модернізувати існуючу мережу.

### Метод моделювання характеристик трафіку в мережі передачі даних

Враховуючи специфіку об'єкта дослідження, а саме – транспортної мережі зв'язку, було прийняте рішення скористуватися імітаційним моделюванням, оскільки така модель у подальшому може бути описана у вигляді алгоритмів та використана для експериментів на обчислюваній техніці.

Для побудови моделі мережі потрібно мати формалізований опис самої мережі, та її поведінки, з цією метою нами була обрана семірівнева модель OSI, яка достатньо детально та диференційовано дає опис усьому спектру функцій мережі передачі даних, таких як: маршрутизація, керування трафіком, управління топологіями, та інші.

Для спрощення моделі, та можливості у подальшому збільшити сферу її використання було прийняте рішення використовувати лише чотири нижні рівні моделі OSI. Це дозволить відокремити безпосередньо роботу мережі від особливостей даних, які нею передаються [14].

Нижче ми наведемо власну інтерпретацію особливостей цих рівнів:

- фізичний рівень та каналний – відповідають за інструментальні засоби, які використовуються в мережі: сітвові адаптери, комутатори, репітери, оптоволокло, коаксіальні кабелі тощо, а також за їх розташування у структурі мережі – топологію;

- сітвовий рівень – виконує побудову маршрутів передачі даних від відправника до отримувача, пошук найліпших маршрутів, перевантажень у мережі;

- транспортний рівень – відповідає за розподіл обсягів трафіку, який буде переданий за різними маршрутами, впираючись на ту інформацію, яку можна отримати з сітвового рівня.

Варто особливо зазначити спосіб представлення вхідних даних для моделі, а саме, було використано гістограму вхідного трафіку на протязі деякого часу (години/дні/тижні). Приклад такої гістограми приведений на рис. 3.



Рис. 3. Гістограма розподілу трафіку на протязі доби

Зазначений вище розподіл функцій моделі, дозволить спростити уявлення про реальну мережу та провести симуляцію її роботи. Тепер спробуємо більш детально розглянути кожен із цих рівнів функціонування моделі.

Фізичний та каналний рівні представлені у вигляді бінарного (неорієнтованого) графу, який зображений на рис. 4.

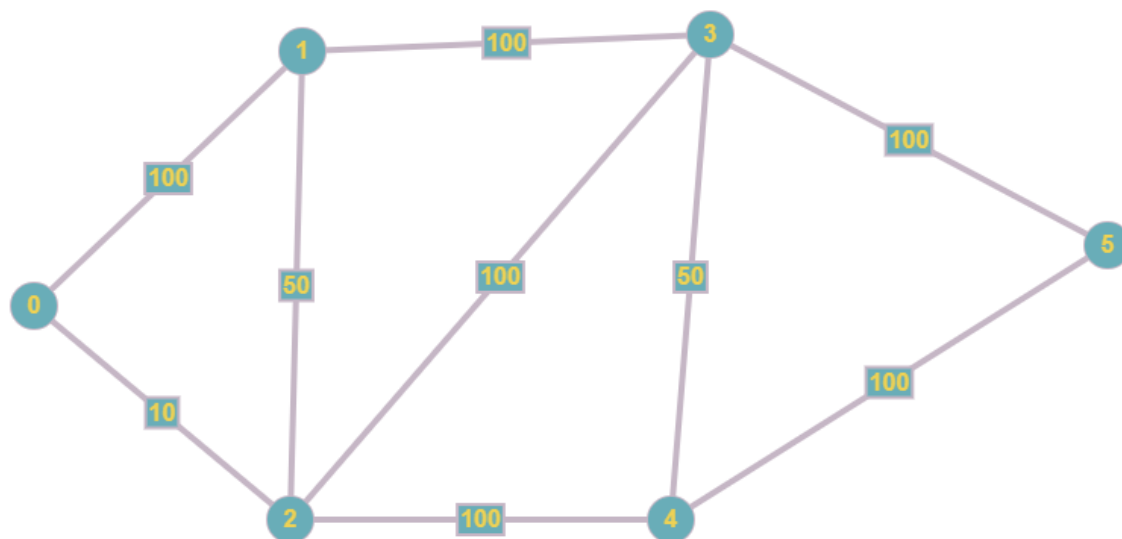


Рис. 4. Неорієнтований граф, який зображає транспортну мережу

У якості вершин узяті фізичні пристрої мережі, такі як: комутатори, маршрутизатори, або комп'ютери. А ребра графу є каналами зв'язку мережі, вага ребра позначає його пропускну здатність. Рівень абстракції може бути будь-яким, починаючи з корпоративної мережі компанії, де у якості вузлів будуть комп'ютери, закінчуючи великими регіональними мережами де вузлом є регіональний або районний комутатор.

Для симуляції із застосуванням засобів програмування такий граф може бути зображений у вигляді матриці пропускних здатностей, де стовпці та строки є вузлами, а на перетині зображено пропускну здатність каналу зв'язку між цими вузлами. Модель дозволяє симулювати як дуплексну так і напівдуплексну передачу.

Таблиця 1 зображає матрицю пропускних здатностей для мережі із  $n$  вузлів [15].

Таблиця 1. Матриця пропускних здатностей

	1	2	3	4	5	...	n
1	*	100	1000	100	-		-
2	100	*	100	-	2400		-
3	1000	100	*	-	100		-
4	100	-	-	*	-		-
5	-	2400	100	-	*		-
...						*	-
n	-	-	-	-	-	-	*

Для симуляції роботи сітьового рівня, тобто знаходження найшвидших та найменш завантажених маршрутів використовується реалізація покращеного алгоритму Дейкстри.

Запропонована версія алгоритму конвертує матрицю пропускних здатностей у матрицю затримок на каналах мережі у зворотній пропорції за формулою:

$$d_c = \frac{1}{c - df_c}, \quad (1)$$

де  $d_c$  – затримка на каналі  $c$ ;  $c_c$  – пропускну здатність каналу  $c$ ;  $df_c$  – потік даних на каналі  $c$ .

Таким чином, прийнявши затримку на каналі зв'язку за вагу ребра графу, ми застосуємо алгоритм Дейкстри для знаходження найкоротшого (з мінімальною затримкою) маршруту для передачі даних. Однак однією з найважливіших функцій цього рівня є не тільки побудова маршруту передачі даних, але й розділення інформації на декілька потоків даних, які будуть незалежно передані різними маршрутами.

Тобто деяка кількість інформації буде поділена між  $k$  маршрутами у пропорції відповідній до важливості маршруту, яка в свою чергу залежить від кількості знаходжень цього маршруту під час їх пошуку. Тоді можна обчислити коефіцієнт використання маршруту  $k$

$$K_{U_k} = \frac{n_k}{i}, \quad (2)$$

де  $n_k$  – кількість знаходжень маршруту  $k$  під час пошуку маршрутів;  $i$  – кількість проведених ітерацій симуляції.

Виходячи з цього модель сітьового рівня розподіляє кількість інформації між знайденими маршрутами за наступною формулою:

$$df_{j,k} = K_{U_k} R_j, \quad (3)$$

де  $df_{j,k}$  – кількість даних, яка має бути передана по маршруту  $k$  у межах  $j$  вимоги на передачу даних;  $R_j$  – вимога на передачу даних;  $K_{U_k}$  – коефіцієнт використання маршруту  $k$ .

Симуляція роботи транспортного рівня дозволяє передавати частину потоку даних у залежності від навантаження мережі в цілому. Тобто, якщо мережа перевантажена, деяка кількість даних буде відкладена на наступну ітерацію симуляції, доки мережа не перейде в стабільний стан. Саме інтерпретація функцій транспортного рівня і є новизною запропонованого методу.

Функціонування мережі, а саме розподілу даних у ній, може бути представлено за допомогою різницевого рівнянь:

$$df_{j,i+1}^* = df_{j,i+1}^{**} + df_{j,i+1}, \quad (4)$$

де  $df_{j,i+1}^*$  – це потік даних, який не був переданий за потреби  $j$ , за  $i$  ітерацію симуляції;  $df_{j,i+1}^{**}$  – це потік даних, який не був переданий за потреби  $j$ , за  $i$  ітерацію симуляції, та був перенесений на наступну ітерацію.

Обсяг даних, які мають бути перенесені на наступну ітерацію розраховується на основі затримки на каналі зв'язку із формули (1).

Тобто у разі перевантаження на каналі зв'язку вираховується коефіцієнт перевантаження, цей коефіцієнт дозволяє оцінити ступінь перевантаження каналу зв'язку.

$$K_{O_c} = 1 - K_l \frac{TP_c}{df_c}, \quad (5)$$

де  $K_{O_c}$  – перевантаження на каналі  $c$ ;  $TP_c$  – максимальна пропускна здатність каналу  $c$ ;  $K_l$  – коефіцієнт максимального навантаження, який задається перед початком симуляції, він визначає максимально допустиму завантаженість каналів мережі;  $df_c$  – це потік даних, який має бути переданий по каналу  $c$ .

Оскільки сесії передачі даних поділяють ресурси мережі між собою нерівномірно – наступним етапом є отримання коефіцієнту утилізації ресурсів каналу конкретною вимогою на передачу даних.

$$K_{U_j} = \frac{df_j}{df_c}, \quad (6)$$

де  $K_{U_j}$  – відносна величина використання каналу для вимоги  $j$ ;  $df_j$  – потік даних які передає сесія  $j$ ;  $df_c$  – увесь потік даних на каналі  $c$ .

Для визначення валідного обсягу даних, які можуть бути передані вимогою  $j$  на  $i$  ітерації, використовуються наступні обчислення:

$$df_j' = df_j - K_{O_c} df_{j,k}, \quad (7)$$

де  $df_j'$  – це скоректований потік даних для вимоги  $j$ , один с маршрутів якої перевантажував один з каналів зв'язку мережі;  $df_j$  – потік даних, який має бути переданий за потребою  $j$ ;  $df_{j,k}$  – за формулою (3), це потік даних по маршруту  $k$  вимоги  $j$ , який перевантажує канал зв'язку  $c$ ;  $K_{O_c}$  – за формулою (5), це коефіцієнт перевантаження каналу зв'язку  $c$ .

Останнім етапом функціонування транспортного рівня є розрахунок кількості інформації, яка має бути відкладена на наступну ітерацію:

$$df_j'' = df_j - df_j', \quad (8)$$

де  $df_j''$  – кількість даних, які не змогли передатися по маршруту  $k$  вимоги  $j$  через перевантаження каналу зв'язку  $c$ ;  $df_j'$  – скоректований потік даних по маршруту  $k$  вимоги  $j$ , який перевантажував один з каналів зв'язку  $c$ ;  $df_j$  – за формулою (3), це потік даних по маршруту  $k$  вимоги  $j$ , який перевантажує один з каналів зв'язку  $c$ .

Отже увесь процес моделювання можна описати наступним чином: експерт надає інформації щодо прогнозованого навантаження на проектувану мережу впродовж деякого часу, користувач системи моделює деяку топологію мережі за допомогою візуального інструменту та починає процес симуляції за допомогою вищезазначеного методу. Математична модель, яка може бути реалізована у вигляді автоматизованої інформаційної системи, поетапно проводить обчислення та надає користувачу інформацію про стан мережі на кожній ітерації, а саме, кількість переданих даних, затримки на каналах зв'язку, навантаження на мережу, тощо. Після закінчення роботи симуляції, користувач може прийняти рішення про затвердження поточного проекту мережі або про перепроєктування топології. Перепроєктування може бути викликане тим що поточний проект топології транспортної мережі зв'язку не здатен обробити надану кількість запитів, або навпаки не оптимально використовує ресурси мережі, що призводить до надлишковості, та збитковості такого проекту.

## Висновки

У своїй праці ми запропонували метод імітаційного моделювання мережі передачі даних, який, на базі спостережень, та алгоритмів роботи нижніх рівнів моделі OSI, дозволяє дати відповіді на наступні питання: чи буде структура мережі стабільною та увесь спектр обладнання буде використовуватися з максимальним навантаженням,

та замовник не втратить прибуток. Метод дозволяє формально представити характеристики фізичного, каналного, мережевого та частково транспортного рівнів моделі OSI, де у якості вхідних даних використовується динаміка навантаження на мережу упродовж часу.

Із застосуванням запропонованого методу можна створити інформаційно-моделюючу систему, яка б дозволила провести симуляцію передачі даних у мережі на протязі певного відрізка часу. Із формалізованих вище функцій видно, що мережа описана лише декількома характеристиками та ігнорує такі фактори, як помилки на рівні додатків, або

формат самих даних, які мають бути передані тощо, це в свою чергою є водночас як проблемою даної моделі так і її перевагою, оскільки дозволяє більш гнучко масштабувати мережу та навіть використовувати цю модель для симуляції інших транспортних задач. Наступним етапом розробки цієї технології стане підтвердження адекватності моделі реальній поведінці мережі передачі даних.

Запропонований метод, а також його подальша реалізація у вигляді програмного комплексу дозволить суттєво зменшити вартість та спростити процес модернізації комп'ютерної мережі.

### Список літератури

1. Неруш В. Б., Курдеча В. В. Імітаційне моделювання систем та процесів. К. : НН ІТС НТУУ "КПІ", 2012. 115 с.
2. Невлюдов І. Ш., Цимбал О., Бронніков А. Інтелектуальні засоби в системі керування виробничим агентом. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2018. № 1 (3), С. 33–47. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.033>.
3. Аверин Г. В. Системодинамика. Донецьк : Донбасс, 2014. 403 с.
4. The AnyLogic Company. Дискретно-событийное имитационное моделирование, URL : <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/discrete-event-simulation/>.
5. Ducard G., "Modeling and Analysis of Dynamic Systems", URL : [https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/dynamic-systems-n-control/idsc-dam/Lectures/System-Modeling/Slides\\_HS17/SysMod2017\\_Lect1.pdf](https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/dynamic-systems-n-control/idsc-dam/Lectures/System-Modeling/Slides_HS17/SysMod2017_Lect1.pdf).
6. Коваленко А., Кучук Г., Рубан И. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей. *Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности*. 2018. № 2 (4), С. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>.
7. Kosenko V., Persiyanova E., Belotsky O., Maleyeva O. Methods of managing traffic distribution in information and communication networks of critical infrastructure systems. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2017. No. 2 (2), P. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.048>.
8. Wilensky U., William R. An Introduction to Agent-Based Modeling, MIT Press, 2015. 504 с.
9. Minigraph Talking Pages. Computer Network Models, URL : <https://www.minigranth.com/computer-networks-tutorial/computer-network-models/>.
10. Mobile technology trends: traffic by application category, URL : <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/mobile-traffic-by-application-category>.
11. Cisco VNI, "Traffic Analysis", URL : [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions\\_docs/voip\\_solutions/TA\\_ISD.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/voip_solutions/TA_ISD.html).
12. Cisco VNI, Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022, URL : <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>.
13. Kosenko V., Maleyeva O., Persiyanova E., Rogovyi A. Analysis of information-telecommunication network risk based on cognitive maps and cause-effect diagram. *Advanced Information Systems*. 2017. Vol. 1, No. 1. P. 49–56. DOI: 10.20998/2522-9052.2017.1.09.
14. Shaw K. The OSI model explained: How to understand (and remember) the 7 layer network model, URL : <https://www.networkworld.com/article/3239677/lan-wan/the-osi-model-explained-how-to-understand-and-remember-the-7-layer-network-model.html>.
15. Рева О. А., Давидовський Ю. К. Розробка методики модернізації топології мережі для отримання квазіоднорідної структури. *Радіоелектронні та комп'ютерні системи*. 2018. № 2. С. 43–51. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2018.2>.

### References

1. Nerush, V. B., Kurdecha, V. V. (2012), *Simulation of systems and processes [Imitatsiyne modelyuvannya system ta protsesiv]*, National Technical University of Ukraine "KPI", 115 p. [in Ukrainian].
2. Nevliudov, I., Tsymbal, O., & Bronnikov, A. (2018), "Intelligent means in the system of managing manufacturing agent", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (3), P. 33–47. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.033>.
3. Averyn, G. V. (2014), *Systemdynamics [Sistemodinamika]*, Donetsk: Donbass, 403 p. [in Russian].
4. The AnyLogic Company. *Discrete Event Simulation Modeling [Diskretno-sobytiynoye imitatsionnoye modelirovaniye]*, available at: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/discrete-event-simulation/> (last accessed 03.12.2018).
5. Ducard, G. *Modeling and Analysis of Dynamic Systems*, available at: [https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/dynamic-systems-n-control/idsc-dam/Lectures/System-Modeling/Slides\\_HS17/SysMod2017\\_Lect1.pdf](https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/dynamic-systems-n-control/idsc-dam/Lectures/System-Modeling/Slides_HS17/SysMod2017_Lect1.pdf) (last accessed 03.12.2018).
6. Kovalenko, A., Kuchuk, H., & Ruban, I. (2018), "Using time scales while approximation the length of computer networks" ["Ispolzovanie vremennyh shkal pri approksimacii dliny ocheredej v kompjuternyh setjah"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (4), P. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>. [in Russian].
7. Kosenko, V., Persiyanova, E., Belotsky, O., Maleyeva, O. (2017), "Methods of managing traffic distribution in information and communication networks of critical infrastructure systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.048>.
8. Wilensky, U., William, R. (2015), *An Introduction to Agent-Based Modeling*, MIT Press, 504 p.

9. Minigraph Talking Pages, *Computer Network Models*, available at: <https://www.minigranth.com/computer-networks-tutorial/computer-network-models/> (last accessed 03.12.2018).
10. *Mobile technology trends: traffic by application category*, available at: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/mobile-traffic-by-application-category> (last accessed 03.12.2018).
11. Cisco, V. N. I. "Traffic Analysis", available at: [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions\\_docs/voip\\_solutions/TA\\_ISD.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/voip_solutions/TA_ISD.html) (last accessed at 03.12.2018).
12. Cisco, V. N. I. "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022", available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html> (last accessed at 03.12.2018).
13. Kosenko, V., Maleyeva, O., Persyanova, E., Rogovyi, A. (2017), "Analysis of information-telecommunication network risk based on cognitive maps and cause-effect diagram", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 1., P. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.1.09> [in English].
14. Shaw, K "The OSI model explained: How to understand (and remember) the 7 layer network model", available at: <https://www.networkworld.com/article/3239677/lan-wan/the-osi-model-explained-how-to-understand-and-remember-the-7-layer-network-model.html> (last accessed at 03.12.2018).
15. Reva, O. A., Davydovskiy, Y. K. (2018), "Method of the network topology transformation to quasihomogeneous structure" ["Rozrobka metody modernizatsiyi topolohiyi merezhi dlya otrymannya kvaziodnorodnoyi struktury"], *Radioelectronic and computer systems*, No. 2, P. 43–51. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2018.2> [in Ukrainian].

Надійшла (Received) 22.11.2018

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Давидовський Юрій Костянтинівич** – Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", аспірант кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна; e-mail: [davidovskiy2350@gmail.com](mailto:davidovskiy2350@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2813-4169>.

**Давыдовский Юрий Константинович** – Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "Харківський авіаційний інститут", аспірант кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна.

**Davydovskiy Yurii** – National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Graduate Student at the Department of Informational Control Systems, Kharkov, Ukraine.

**Рева Олександр Анатолійович** – кандидат технічних наук, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", доцент кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна; e-mail: [o.reva@khai.edu](mailto:o.reva@khai.edu); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1933-1064>.

**Рева Александр Анатольевич** – кандидат технических наук, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", доцент кафедры информационных управляющих систем, Харьков, Украина.

**Reva Oleksandr** – PhD (Engineering Sciences), National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Associate Professor at the Department of Informational Control Systems, Kharkov, Ukraine.

**Малеєва Ольга Володимирівна** – доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", професор кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна; e-mail: [o.maleyeva@khai.edu](mailto:o.maleyeva@khai.edu); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9336-4182>.

**Малеєва Ольга Владимировна** – доктор технических наук, профессор, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "Харківський авіаційний інститут", профессор кафедры информационных управляющих систем, Харьков, Украина.

**Maleyeva Olga** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Professor at the Department of Information Control System, Kharkiv, Ukraine.

## МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ЕЁ МОДЕРНИЗАЦИИ

**Предметом** исследования в статье является процесс передачи данных в транспортных сетях связи. **Цель работы** – разработка метода моделирования параметров сетей передачи данных, который дает возможность формализовано представить параметры функционирования сети для моделирования её поведения с учетом динамики трафика. В статье решаются следующие **задачи**: обоснование важности модернизации сетей передачи данных на примере роста их использования; определение необходимости создания именно автоматизированного средства для моделирования в отличие от привлечения технических специалистов; выбор уровней абстракции сети передачи данных для её моделирования; определение математического аппарата для вычисления параметров модели; разработка метода моделирования сети передачи данных. Используются такие **методы**: основы системного анализа, метод имитационного моделирования. Получены следующие **результаты**: Предоставлено прогнозированный график роста объемов трафика по категориям и обобщенная диаграмма. Сделан вывод, что рост трафика происходит в геометрической прогрессии. Была оценена модернизация сети с учетом разных видов затрат. Сделан вывод про потребность рынка в автоматизированном инструменте проектирования и модернизации сети. Рассмотрены различные способы моделирования динамических систем; определен способ создания модели транспортной сети связи. Рассмотрена семиуровневая модель OSI и приведена собственная интерпретация особенностей её уровней. Были выбраны четыре нижних уровня этой модели, в качестве уровней абстракции моделирования, выделены основные характеристики транспортной сети связи, которыми будет оперировать модель.

Функционирование нижних уровней транспортной сети связи формализовано в виде отдельных математических моделей и формул, на основе которых описан метод моделирования функций транспортной сети связи. Были определены способы применения этого метода для модернизации топологии транспортной сети связи. **Выводы:** Таким образом, создан новый метод моделирования транспортной сети связи, который усовершенствует и упрощает процесс создания или модернизации сети, что дает возможность значительно снизить затраты на проектирование топологии сети, а также повысить утилизацию её ресурсов.

**Ключевые слова:** сеть передачи данных; имитационное моделирование; системная динамика; модель OSI; физический уровень; каналный уровень; сетевой уровень; транспортный уровень; трафик.

## METHOD OF MODELLING THE PARAMETERS OF DATA COMMUNICATION NETWORK FOR ITS UPGRADING

The **subject matter** of the article is data communication in a transport network. The **goal** is to develop the method of modelling the parameters of a data communication network, which enables formalizing network parameters to simulate its behaviour taking into consideration dynamically changing traffic. The following **tasks** were solved in the article: the significance of upgrading data communication nets was substantiated using their increasing growth as an example; the need to create an automated tool for modelling, in contrast to the involvement of technical specialists, was determined; the abstraction levels of the data communication net were selected for its modelling; a mathematical apparatus was determined for calculating model parameters; a method for modelling data communication net was developed. The following **methods** were used – the basics of system analysis, the simulation method. The following **results** were obtained: The predicted graph of the traffic growth by categories as well as the generalized chart was presented. The conclusion was made that traffic grows exponentially. The upgrade of the network was assessed taking into account various types of costs. The conclusion was made that the market demands an automated tool for net designing and upgrading. Various methods for modelling dynamic systems were considered; a method for creating a model of transport network was selected. The seven-level OSI model was considered and the authors' interpretation of the features of its levels was given. Four lower levels of this model were chosen as the abstraction levels of modelling, the main characteristics of the transport network for using by the model were singled out. The operation of the lower levels of the transport network was formalized in the form of separate mathematical models and formulas, which formed the basis for describing the method of modelling the transport network functions. The ways of applying this method to upgrade the topology of the transport network were specified. **Conclusions.** Thus, the new method of transport network modelling was developed; this method improves and simplifies the net development or upgrade, which, in turn, enables reducing the costs for designing the net topology and improving the recycling of network resources.

**Keywords:** data communication net; simulation modelling; system dynamics; OSI model; physical layer; channel layer; network layer; transport layer; traffic.

---