

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

**ЯЦУК ПЕТРО ПЕТРОВИЧ**

УДК 621.395.74

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ  
ТЕХНОЛОГІЙ НА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Харків – 2015**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор  
**Гайворонська Галина Сергіївна**,  
Одеська національна академія  
харчових технологій,  
завідувач кафедри інформаційно-  
комунікаційних технологій.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Лемешко Олександр Віталійович**,  
Харківський національний  
університет радіоелектроніки,  
професор кафедри телекомунікаційних систем;

кандидат технічних наук  
**Рибка Сергій Володимирович**,  
ПрАТ «Український інститут із проектування і  
розвитку інформаційно-комунікаційної  
інфраструктури «Діпрозв'язок»,  
голова правління.

Захист відбудеться «28» серпня 2015 р. о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14, к. 13.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий «20» липня 2015 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Є.В. Дуравкін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасний етап розвитку людства характеризується створенням інформаційного суспільства, яке передбачає нові форми соціальної і економічної діяльності, що базуються на масовому використанні телекомунікаційних технологій (ТТ). Розвиток телекомунікаційних мереж (ТМ) на сучасному етапі полягає, з одного боку, в розширенні переліку та можливостей інформаційно-комунікаційних послуг (ІКП), що надаються користувачам, з іншого – в удосконаленні ТТ, необхідних для їх надання. Саме тому за останнє десятиріччя велика частина законопроектів в усім світі та у нашій країні направлена на інформатизацію. Результатом цієї діяльності в Україні є формування національної програми інформатизації, головна мета якої – створення необхідних умов для забезпечення суспільства сучасною, достовірною та повною інформацією шляхом широкого використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) в усіх сферах життя.

Науковим дослідженням в сфері розробці та впровадження нових ТТ присвячено багато робіт вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема, А.Д. Харкевича, В.Н. Рогинського, В. Столлінгса, Б.Я. Советова, С.А. Яковлева, Х. Іносе, Б.С. Гольдштейна, Н.А. Соколова, А. Додда, І.Г. Бакланова, В.І. Попова, Дж. Ірвіна, Д. Харля, В.М. Вишневецького, В.В. Поповського, В.М. Безрука, О.В. Лемешко, Д.В. Агеева, Л.Н. Беркман, Г.С. Гайворонської та багатьох інших. Однак результати їх досліджень охоплюють лише окремі аспекти функціонування ТТ і не завжди відображають питання їх розвитку. Одночасно з цим дослідження М.Д. Кондратьєва, І. Шумпетера, С.Ю. Глазьева вказують на взаємозв'язок циклічності розвитку ІКТ і підйомів та спадів у розвитку країн, що вирішальним чином впливає на конкурентоспроможність держави та її місце на світовій арені. Тому необхідно як дослідження законів розвитку ТТ, так і створення апарату, що дозволить виявити закономірності цього розвитку і прогнозувати його характеристики. Дослідження розвитку інформаційного суспільства та технологій, що його реалізують, є складною інженерно-математичною задачею, якій присвячена ця робота.

Аналіз розвитку ТТ проводить Міжнародний союз електров'язку (*International Telecommunication Union, ITU*), в основу досліджень якого покладено розрахунок індексу, що визначає рівень використання інформаційно-комунікаційної інфраструктури в країнах світу. Велика увага питанню оцінки рівня розвитку ТТ приділяється *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)* та окремими компаніям, що займаються розробкою та впровадженням ІКТ. Ці компанії, як правило, не надають відкритого доступу до результатів своєї діяльності, спираючись на принципи комерційної таємниці. Існуючі на сьогоднішній день відкриті дослідження у сфері ІКТ не дозволяють проводити аналіз і прогнозування процесу розвитку ТТ у нашій країні. Тому дослідження розвитку ТТ, яке передбачає підвищення точності прогнозування цього процесу, необхідне для успішного розвитку нашої держави, що доводить його актуальність.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота спрямована на дослідження розвитку ТТ і підвищення точності прогнозування цього процесу та тісно пов'язана з проблемами галузі зв'язку України і основними напрямками розвитку телекомунікацій, які визначено в діючих

нормативних документах, зокрема в законі України «Про Національну програму інформатизації» та розпорядженні Кабінету міністрів України «Про схвалення Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні». В розробці змін та доповнень до вищевказаних документів автор безпосередньо брав участь. Напрямок досліджень пов'язано з виконанням науково-дослідних робіт, присвячених питанням впровадження нових ТТ, у реалізації яких брав участь автор.

**Мета роботи** передбачає підвищення точності прогнозування розвитку технологій та ефективності їх використання на телекомунікаційних мережах.

**Об'єкт дослідження** – процес модернізації телекомунікаційних мереж шляхом впровадження нових технологій.

**Предмет дослідження** – методи аналізу та прогнозування розвитку телекомунікаційних технологій.

**Методи дослідження** використовують теорію: телетрафіку, мереж зв'язку, популяційної динаміки, дослідження функцій, диференціального та інтегрального числення, аналізу даних.

Досягнення поставленої мети передбачає розв'язання наступних **задач**:

- аналіз особливостей розвитку ТТ, обґрунтування вибору математичного апарату для його формалізації та розробка аналітичної моделі цього процесу;
- дослідження умов застосування методів аналізу даних та розробка методики аналізу статистичної інформації щодо розвитку ТТ;
- збір та обробка статистичної інформації, що відображає процес використання технологій, та дослідження розвитку ТТ на її основі;
- прогнозування розвитку ТТ;
- оцінка необхідних інвестицій при впровадженні нових технологій на ТМ;
- розробка методу вибору сценарію впровадження ТТ при мінімізації витрат;
- розробка програмного комплексу для дослідження розвитку ТТ та підвищення ефективності проектування ТМ при впровадженні нових ТТ, що забезпечує підвищення технічної і економічної ефективності їх функціонування.

**Наукова новизна результатів дослідження.**

1. Вперше запропоновано комплекс методів та моделей для прогнозування розвитку телекомунікаційних технологій, що забезпечує підвищення точності прогнозу, в порівнянні з окремими методами та моделями прогнозування, розходження прогнозованих та реальних значень при цьому не перевищує 0,71...1,57%.

2. Вперше розроблено метод визначення сценарію модернізації мережі при впровадженні нових телекомунікаційних технологій за рахунок запропонованого аналітичного апарату кривих переваги, який дозволяє вибирати найбільш доцільний спосіб та час їх застосування при мінімізації витрат.

3. Вперше розроблено графічну модель модернізації мережі при впровадженні нових телекомунікаційних технологій, яка дозволяє відобразити компоненти витрат у вигляді площ плоских областей і довжин векторів. Завдяки цьому методом інтегрування отримано аналітичні представлення величин інвестицій та поточних витрат, які за рахунок використання дисконтного коефіцієнту враховують зміну вартості майбутніх грошових потоків на модернізацію телекомунікаційних мереж.

4. Отримано подальший розвиток аналітичного апарату теорії популяційної динаміки у вигляді математичних моделей, що дозволяють описати розвиток та взаємодію технологій в реальних умовах їх існування на телекомунікаційних мережах.

5. Отримано подальший розвиток методів аналізу даних шляхом визначення умов їх використання для оцінки стану та прогнозування розвитку телекомунікаційних технологій, в результаті чого розроблено уніфіковану методику, яка систематизує всю сукупність моделей та методів дослідження статистичної інформації.

#### **Практична цінність результатів дослідження.**

1. Модель дослідження, створена за допомогою методу структурного аналізу і проектування *SADT*, що інтегрує процес моделювання, управління конфігурацією процесу та використання засобів функціонального моделювання, дозволила формалізувати, визначити тенденції та обрати найбільш доцільний метод прогнозування розвитку телекомунікаційних технологій.

2. Розроблена аналітична модель дослідження розвитку телекомунікаційних технологій реалізована в програмному комплексі, який дає можливість зменшити витрати часу на проектування телекомунікаційної мережі на 40%, порівняно з кращими з відомих засобів автоматизованого проектування.

3. В результаті застосування запропонованого апарату кривих переваги отримано простий і зручний метод визначення найбільш доцільного сценарію впровадження нових технологій на телекомунікаційних мережах, що забезпечує мінімізацію витрат.

4. Імітаційне моделювання, засноване на розробленій графічній формалізації процесу модернізації телекомунікаційної мережі при введенні нових технологій, дає можливість отримати оцінки поточних витрат і необхідних інвестицій як для мережі в цілому, так і для окремих напрямків зв'язку.

**Реалізація результатів роботи.** Результати дисертації використано у діяльності державних підприємств «Український науково-дослідний інститут зв'язку» (акт впровадження від 18.02.2014 р.), «Науково-технічний центр «Енергозв'язок» (акт впровадження від 24.04.2014 р.) та в навчальному процесі факультету інформаційних технологій та кібербезпеки Одеської державної академії харчових технологій (акт впровадження від 06.11.2014 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційне дослідження є самостійно виконаною роботою, в якій відображено особистий авторський підхід та персонально отримані теоретичні та прикладні результати, що відносяться до дослідження розвитку та прогнозування впровадження технологій на ТМ. В роботах, що відображають основний зміст дисертації та опубліковані у співавторстві, автору дисертації належать: дослідження розвитку ТТ за допомогою апарату теорії популяційної динаміки [1]; дослідження взаємодії декількох ТТ [2]; визначення окремих параметрів аналітичної моделі для оцінки витрат при впровадженні нових ТТ [3]; розробка методу вибору найбільш доцільного сценарію впровадження нових ТТ при мінімізації витрат [4]; участь у створенні аналітичної моделі дослідження впровадження ТТ на реальних мережах [5]; аналіз результатів класифікації країн за рівнем розвитку ТТ [6]; статистичний аналіз розвитку ТТ широкосмугового доступу [7]; оцінка життєвого циклу деяких ТТ [8]; визначення рівня розвитку окремих ТТ в Україні [9]; визначення особливостей функціонування сучасних ТТ [10], аналіз різномірних ТМ [11].

**Публікації за темою дисертації.** Основні результати опубліковано в статтях науково-технічних журналів та працях міжнародних НТК. Усього за темою дисертації опубліковано 15 робіт: 7 статей у виданнях, що включені до затвердженого переліку фахових видань України; 7 статей у виданнях іноземних держав або у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз; 5 – на англійській мові.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи докладались і обговорювались на 9 міжнародних і національних науково-технічних конференціях:

- IV Міжнародна конференція «*Natural Information Technologies*», Іспанія, Мадрид, *Universidad Politécnica de Madrid*, 2013 р.;
- *International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering (ISEEE 2014)*, Sapporo City, Hokkaido, Japan, 2014 р.;
- IV Міжнародна конференція «*Theoretical Foundations of Informational Modeling*», Болгарія, Варна, *The Institute for Information Theories and Applications*, 2014 р.;
- VII Міжнародна конференція «*Classification, Forecasting, Data Mining*», Болгарія, Варна, *The Institute for Information Theories and Applications*, 2015 р.;
- XII МНТК «*Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*», TCSET<sup>2014</sup>, Львів, Львівська політехніка, 2014 р.;
- Міжнародна науково-методична конференція «Информатизация инженерного образования», Москва, Національний дослідницький університет «МЭИ», 2014 р.;
- I Міжнародна науково-практична конференція «Проблемы инфокоммуникаций. Наука и технологии (PIC&T<sup>2013</sup>)», Харків, ХНУРЕ, 2013 р.;
- VII Міжнародна школа-семінар «Теорія прийняття рішень», Ужгород, УжНУ, 2014 р.;
- V Міжнародний науково-технічний симпозиум «Нові технології в телекомунікаціях», Вишків, ДУІКТ, ПАТ «Укртелеком», 2012 р.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу та чотирьох розділів. Загальний обсяг роботи становить 142 сторінки, у тому числі 126 сторінок основного тексту, 69 рисунків та 33 таблиці усього на 33 сторінках. Список використаних джерел містить 81 найменування, які викладено на 8 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** дана загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність теми; визначено: мету, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження; вказано: наукову новизну та практичну цінність результатів дисертації; зв'язок з науковими програмами, планами і темами; відомості, що стосуються достовірності й обґрунтованості та реалізації й апробації результатів, публікацій за темою дисертації та особистого внеску здобувача.

У **першому** розділі визначено тенденції розвитку ТТ та виконано аналіз досліджень в галузі прогнозування цього процесу. Мережним операторам та виробникам телекомунікаційного обладнання важливо знати перспективи розвитку ТТ (РТТ) і мати достовірну оцінку ефективності їх використання для прийняття рішення про необхідність та терміни впровадження цих технологій. Для цього необхідно прогнозування майбутнього рівня РТТ через щільність користувачів технології, або кількість точок підключення (ТП), реалізованих з її використанням. Внесок в дослідження процесу прогнозування ТТ відображено в роботах таких авторів як

Бокс Дж., Дженкінс Г., Тихонов Е.Є., Добров Г.М., Ллойд Е., Льюїс К., Саркісян С.А., Говард Р., Чой Х., Веріан Х., Оліфер В.Г., Гайворонська Г.С., Ганницький І.В., Храмовцев П.Б., Кузнєцов С.Д. та ін. Визначення загальної картини розвитку ТТ з метою отримання прогнозу цього процесу можливе лише при комплексному підході, що включає поєднання математичного та статистичного аналізу.

Світовий лідер з дослідження ІКТ компанія *Gartner* для оцінки стану технологій в процесі їх розвитку запровадила поняття *Hype cycle*, яке засновано на тому, що ІКТ проходять під час свого існування однакові етапи, які відображають їх життєвий цикл. Криву, що ілюструє ці етапи, наведено на рис. 1,а. Для прийняття рішення про впровадження нової або розвиток існуючої ТТ необхідна оцінка здатності постачальників надати необхідні обсяги відповідного обладнання та проаналізувати інформацію щодо основних гравців телекомунікаційного ринку. Для цього компанія *Gartner* розробила підхід, названий «Магічний квадрант» (рис. 1,б), в основу якого покладено єдиний набір критеріїв для виробників технологій і постачальників обладнання.

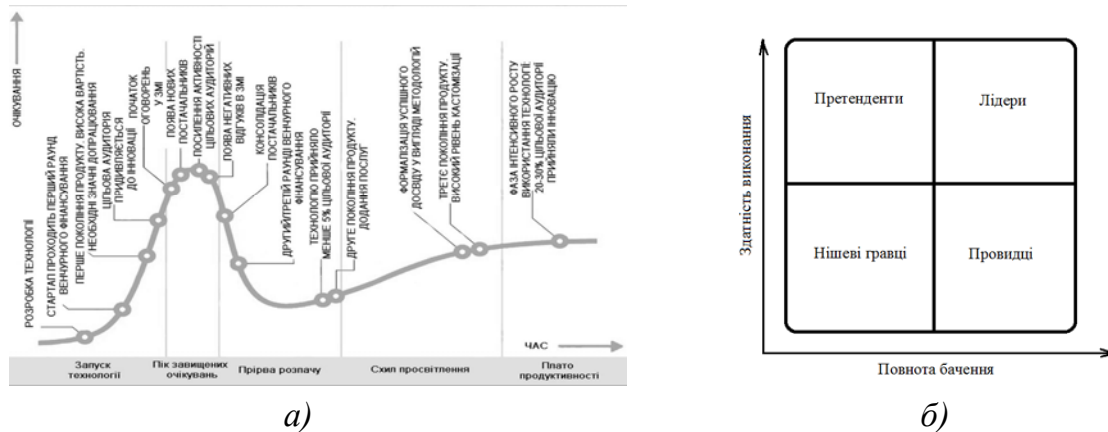


Рис. 1. Життєвий цикл ІКТ та магічний квадрант *Gartner*

Аналіз та визначення закономірностей розвитку ТТ є предметом дослідження й таких впливових світових організацій, як *Google* та *Cisco*, причому щороку цим дослідженням приділяється все більше уваги – це свідчить про важливість аналізу РТТ, однак методи визначення стану РТТ та його прогнозування, що застосовуються цими організаціями, становлять комерційну таємницю, тому розробка методики дослідження розвитку ТТ набуває ще більшої актуальності.

Крім цього у першому розділі оцінено доцільність використання методів математичної статистики для дослідження розвитку ТТ та проаналізовано методи, які можуть бути використані для його прогнозування

У **другому** розділі виконано порівнювальний аналіз технічних характеристик ТТ, вибір математичного апарату для формалізованого опису їх розвитку, функціональний аналіз кінетичної кривої, що його описує, та розроблено модель прогнозування РТТ. Кожна ТТ призначена для надання певного виду ІКП, наприклад зв'язку з рухомими об'єктами, який часто називають просто мобільним зв'язком. При цьому ми абстрагуємося від того, які саме протоколи використовуються для забезпечення цього зв'язку, оскільки вони виконують одну й ту ж задачу, тому в цій роботі всі вони представляють одну і ту ж технологію надання мобільного зв'язку. Таким чином, ми виділяємо технологію, наприклад, для забезпечення

фіксованого телефонного зв'язку (ФТЗ), надання послуг кабельного телебачення або широкосмугового проводового доступу, відокремлюючи його від широкосмугового безпроводового доступу або послуг мобільної телефонії. Тобто під технологією розуміється спосіб обробки та передачі інформації для реалізації певної телеінформаційної служби (ТІС) при наданні конкретного переліку ІКП. Поняття «розвиток технологій» в цій роботі визначає збільшення кількості каналів, реалізованих з використанням ТТ, та користувачів, які отримують ІКП за їх допомогою, забезпечення введення сучасних ІКП за рахунок впровадження нових ТТ, поліпшення якості функціонування та ефективності ТМ, на якій використовується технологія.

В результаті аналізу різноманітних процесів розвитку встановлено, що, незважаючи на різну якісну природу явищ, які вони описують, закони їх росту та еволюції є досить загальними. Тому для дослідження РТТ використано математичний апарат теорії популяційної динаміки (ТПД), класичні дослідження якої пов'язані з працями В. Вольтерра і П. Ферхюльста. Математичний розвиток апарат ТПД одержав у роботах Г. Різниченко, А. Рубіна і А. Базикіна. Розвиток різноманітних процесів зручно описувати математичною моделлю ТПД, відомою як рівняння росту Ферхюльста:  $dY/dt = qY(1 - Y/K)$ , де  $Y = Y(t)$  – функція, що описує рівень розвитку;  $q$  – швидкість зростання розвитку. При  $t \rightarrow \infty$  спостерігається прагнення до певної постійної межі  $K = \lim_{t \rightarrow \infty} Y(t)$ , яка у випадку дослідження відповідає максимально можливій ємності ТТ. Це ж рівняння можна записати у вигляді  $dY/dt = qY - \delta^2 Y^2$ , де  $\delta = \sqrt{q/K}$ , його розв'язком є

$$Y(t) = \frac{Y_0 \cdot K \cdot e^{q \cdot t}}{K - Y_0 + Y_0 \cdot e^{q \cdot t}}. \quad (1)$$

Формула (1) є описом кінетичної кривої, вид якої представлено на рис. 2. Ця крива адекватно ілюструє різноманітні процеси розвитку, доцільно використати її для формалізації розвитку ТТ. При цьому сутність РТТ може бути описана математичною функцією виду  $Y(a, b, c; f(t))$ , яка повинна відповідати наступним вимогам: початкова умова  $t > 0$ ,  $Y(A) = 0$ ; зростаюче значення функції в початковий період; наявність точок перегину; повільне зростання кривої при досить великих значеннях  $t$ ; асимптотичне наближення процесу до межі насичення. Функція  $Y(a, b, c; f(t))$  містить ряд параметрів:

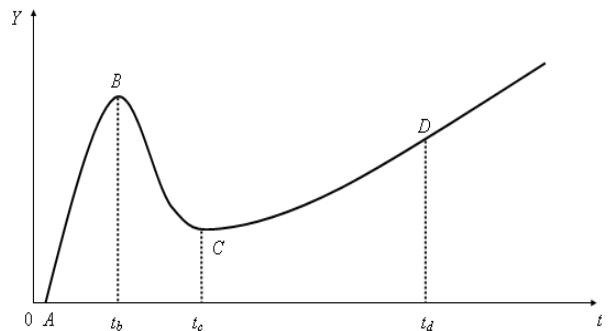


Рис. 2. Кінетична крива

- $a$  – відображає наскільки ТТ заповнює можливий ринок її використання;
- $b$  – характеризує початкові умови процесу РТТ;
- $c$  – швидкість росту, що відображає темпи впровадження ТТ.

Використання функції від часу  $f(t)$  (а не безпосередньо змінної  $t$ ) дозволяє отримати математичні залежності розвитку ТТ в часі, в припущенні, що функція  $Y(a, b, c; f(t))$  належить до класу двічі безперервно диференційованих.



Для визначення проміжків монотонності функції знайдено її похідну. З метою визначення точок, підозрілих на екстремум, знайдено стаціонарні точки, в результаті дослідження яких виведено співвідношення, що визначають їх як максимум та мінімум функції. В результаті показано, що використовуючи комбінації констант  $a$ ,  $b$  та  $c$  й різні види функції  $f(t)$  можливо отримання різноманітних процесів розвитку РТТ. В залежності від значень параметрів функції  $Y(a, b, c; f(t))$ , які можуть бути отримані шляхом дослідження реальної статистики або шляхом моделювання, можна оцінити перспективи розвитку будь-якої технології. Показники стану РТТ можна визначити при розв'язанні диференціального рівняння другого порядку виду:

$$a \frac{d^2 Y}{dt^2} + b \frac{dY}{dt} + cY = 0. \quad (2)$$

Для визначення варіантів розв'язку рівняння та можливих зображень функції  $Y(a, b, c; f(t))$  побудовано характеристичне рівняння. В залежності від значень його коренів розв'язок рівняння (2) може варіюватися у формі:

$$Y(t) = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t}, \quad Y(t) = (c_1 + c_2 t) e^{\frac{-b}{2a} t}, \\ Y(t) = \left( c_1 \cos \frac{\sqrt{4ac - b^2}}{2a} + c_2 \sin \frac{\sqrt{4ac - b^2}}{2a} \right) e^{\frac{-b}{2a} t}. \quad (3)$$

Першому випадку відповідає РТТ, що зростає (спадає) у часі, у другому процес РТТ має декілька різноманітних варіантів розвитку, а для третього характерна наявність осциляцій та декількох точок екстремуму.

Розроблений аналітичний апарат використано для дослідження взаємодії технологій, в рамках якого запропоновано модель конкуренції двох ТТ, які інтерпретовано як дві популяції, що конкурують, у вигляді системи диференціальних рівнянь

$$\frac{dY_1}{dt} = q_1 Y_1 \left( 1 - \frac{(Y_1 + \alpha_{12} Y_2)}{K_1} \right); \quad \frac{dY_1}{dt} = q_1 Y_1 \left( 1 - \frac{(Y_1 + \alpha_{12} Y_2)}{K_1} \right) - m_1 Y_1; \quad (4)$$

$$\frac{dY_2}{dt} = q_2 Y_2 \left( 1 - \frac{(Y_2 + \alpha_{21} Y_1)}{K_2} \right); \quad \frac{dY_2}{dt} = q_2 Y_2 \left( 1 - \frac{(Y_2 + \alpha_{21} Y_1)}{K_2} \right) - m_2 Y_2, \quad (5)$$

де  $q_1, q_2$  – коефіцієнти зростання РТТ 1 та 2 відповідно;

$Y_1, Y_2$  – рівень РТТ 1 та 2 відповідно;

$K_1, K_2$  – максимально можлива ємність РТТ 1 та 2 відповідно;

$m_1, m_2$  – коефіцієнти відмирання РТТ 1 та 2 відповідно;

$\alpha_{12}, \alpha_{21}$  – коефіцієнти взаємовпливу РТТ 1 та 2 відповідно.

Взаємовплив технологій виражено через коефіцієнт  $q$ : зростання розвитку однієї ТТ призводить до зниження максимально можливої ємності розвитку іншої. Формули (4) характеризують динаміку РТТ 1 з урахуванням взаємозалежності з ТТ 2, (5) – РТТ 2 з урахуванням взаємозалежності з ТТ 1. Запропонована модель поєднує в собі динаміку зміни кількості населення. Дослідження відмирання при моделюванні технологій є досить складною задачею, тому, оскільки модель взаємодії ТТ при визначенні РТТ апелює до кількості користувачів технологій в країні,

то  $m$  апроксимовано значеннями спаду населення країни. Напрямок та сила взаємовпливу при конкуренції взаємозалежних ТТ 1 і 2 характеризується параметрами  $\alpha_{12}$  та  $\alpha_{21}$ : чим більше значення коефіцієнту  $\alpha_{12}$  у порівнянні з коефіцієнтом  $\alpha_{21}$ , тим швидше ТТ 2 витісняє ТТ 1 й навпаки. Згідно до термінології ТПД коефіцієнти  $\alpha$  можуть позначати види взаємодії, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

### Коефіцієнти взаємовпливу ТТ при взаєморозвитку технологій

Тип взаємодії	Знаки коефіцієнтів	Вид коефіцієнтів
Симбіоз	+ +	$\alpha_{12}, \alpha_{21} > 0$
Конкуренція	- -	$\alpha_{12}, \alpha_{21} < 0$
Хижак-жертва	+ -	$\alpha_{12} > 0, \alpha_{21} < 0$

Для отримання значимих результатів дослідження ТТ з метою підвищення точності їх прогнозування недостатньо виконати лише формалізацію процесу РТТ – необхідним є збір статистичної інформації різної направленості по конкретним технологіям, її обробка та подальший аналіз. Для прогнозу РТТ створено математичну модель вибору найбільш доцільного методу прогнозування  $fm$  з множини можливих:

$$fm = C_{fm}(c; FM),$$

де  $C_{fm}$  (*chose of forecasting method*) – вибір методу прогнозування;

$c$  (*criteria*) – умови, обмеження, припущення, критерії;

$FM$  (*Forecasting Methods*) – методи прогнозування.

Шляхом застосування методу структурного аналізу і проектування *SADT* із застосуванням стандарту *IDEF0* запропоновано математичну модель дослідження процесу прогнозування РТТ, загальний вид якої наведено на рис. 3.

В результаті її застосування встановлено, що доцільним є об'єднання та спільне використання екстраполяційних та математичних методів, що дозволить підвищити точність результатів прогнозу, та показано, що формалізовані методи

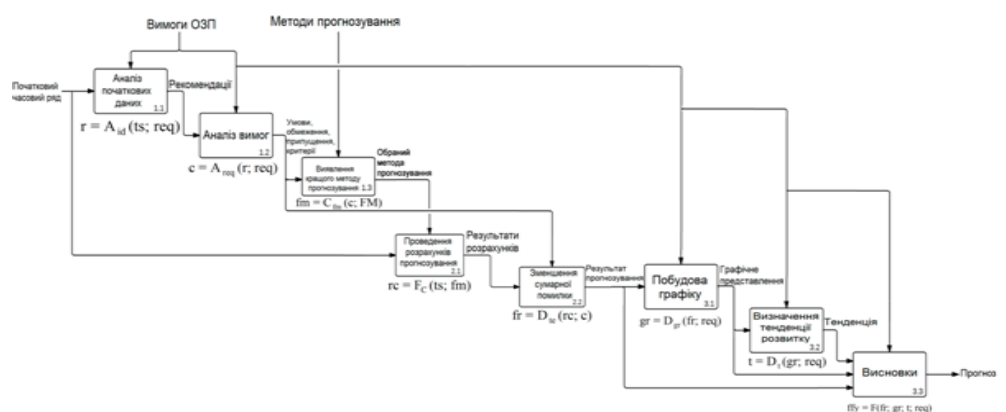


Рис. 3. Математична модель прогнозування процесу розвитку телекомунікаційних технологій

прогнозування можна застосовувати лише тоді, коли технологія вже використовується і має статистичні показники, необхідні для прогнозних досліджень.

У третьому розділі виконано дослідження розвитку ТТ методами математичної статистики. При дослідженні розвитку ТТ використано статистичну інформацію стану телекомунікацій у різних країнах, надану *ITU* та *United Nations Economic Commission for Europe*. З використанням сформованої в роботі методики дослідження статистичної інформації щодо РТТ виконано аналіз інформації, що

характеризує кількість ТП користувачів чотирьох сукупностей технологій, які призначено для реалізації: фіксованого проводового широкосмугового зв'язку (ФПШЗ) (Т1), фіксованого телефонного зв'язку (Т2), мобільного зв'язку (МЗ) (Т3) та Інтернет (Т4) для 230 країн за період з 2000 по 2012 рік.

При попередньому аналізі статистичних даних кількість країн, для яких виконано дослідження, знижено до 53. Показано, що дані, які аналізувалися, являють собою репрезентативну стандартну вибірку, Оскільки в результаті розрахунку значень критеріїв  $\chi$ -квадрат, Колмогорова-Смірнова, Лілліефорса та Шапіро-Уїлка, виявилась менше 0,05, що визначає відсутність нормального розподілу випадкових величин, застосовано методи непараметричної статистики при використанні яких обчислено основні характеристики: середнє, максимальне і мінімальне значення вибірки, розмах, мода, медіана, квантиль  $Q_1$ , квантиль  $Q_2$  і середнє лінійне відхилення. Для окремих часових рядів (ЧР), з яких складається вибірка, розраховано статистичні показники динаміки ЧР, при цьому визначено, що найбільші темпи росту мають ТТ, що забезпечують ФПШЗ, кількість ТП якого збільшилась за останні 12 років на 32%. Приблизно однаковими темпами зростає МЗ і Інтернет – ТТ, що їх забезпечують, вже вийшли на плато сталого розвитку, кількість ТП для них збільшилась відповідно на 11% та 12%. А використання ФТЗ має тенденцію до зниження (кількість ТП скоротилась на 1%), поки, всупереч загальноприйнятій думці, цей процес йде дуже повільно, але є підстави вважати, що ТТ, які його забезпечують, пройшли фазу сталого розвитку й перейшли у фазу стійкого спаду.

Для виявлення найбільш значущих факторів, що впливають на процес РТТ, виконано факторний аналіз інформації щодо розвитку ТТ в 53-х країнах світу, кожна з яких охарактеризована 45 параметрами. В результаті розрахунку власних значень факторів відповідно до критерію Кайзера та згідно аналізу графіку «кам'яного осипу» визначено фактори з власними значеннями більше двох – у розглянутому випадку перші п'ять факторів описують 72% загальної вибірки. Цими факторами є: використання персонального комп'ютеру (ПК) у виробничих цілях; чисельність населення; виробнича необхідність; економічний чинник; рівень безробіття. Результуючі значення лінійної кореляції представлено у вигляді табл. 2.

Таблиця 2

Таблиця розрахованих значень кореляції

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Т1	Т2	Т3	Т4
Фактор 1	1,00	0,17	0,18	-0,28	-0,12	0,21	0,20	0,23	<b>0,65</b>
Фактор 2	0,17	1,00	0,06	-0,05	-0,11	<b>0,93</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	0,11
Фактор 3	0,18	0,06	1,00	0,10	0,25	0,00	0,02	0,09	-0,14
Фактор 4	-0,28	-0,05	0,10	1,00	-0,20	-0,08	-0,07	-0,08	-0,22
Фактор 5	-0,12	-0,11	0,25	-0,20	1,00	-0,11	-0,10	-0,10	-0,18
Т1	0,21	<b>0,93</b>	0,00	-0,08	-0,11	1,00	<b>0,99</b>	<b>0,89</b>	0,28
Т2	0,20	<b>0,97</b>	0,02	-0,07	-0,10	<b>0,99</b>	1,00	<b>0,94</b>	0,22
Т3	0,23	<b>0,98</b>	0,09	-0,08	-0,10	<b>0,89</b>	<b>0,94</b>	1,00	0,15
Т4	<b>0,65</b>	0,11	-0,14	-0,22	-0,18	0,28	0,22	0,15	1,00



## Часові ряди, отримані з рівнянь трендів

$x$	$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 4$	$p = 5$	$p = 6$	exp	ln	$x_t$
1	-1,48	-9,41	-0,96	4,33	1,66	0,28	2,35	-16,60	0,82
2	4,42	0,45	0,45	-3,07	0,93	4,39	3,31	3,58	2,22
3	10,32	9,59	4,98	-0,14	2,04	1,57	4,66	15,39	3,69
4	16,21	18,02	11,87	8,98	7,66	5,08	6,56	23,77	6,50
5	22,11	25,72	20,34	20,90	17,81	16,85	9,25	30,27	13,74
6	28,01	32,70	29,63	32,99	30,72	33,18	13,02	35,58	30,01
7	33,91	38,95	38,96	43,35	43,70	49,13	18,34	40,06	49,08
8	39,80	44,49	47,58	50,82	53,94	61,52	25,84	43,95	55,24
9	45,70	49,31	54,70	55,02	59,44	70,63	36,39	47,38	55,68
10	51,60	53,40	59,57	56,27	59,78	80,38	51,25	50,45	54,94
11	57,49	56,77	61,41	55,67	57,02	97,33	72,19	53,23	53,93
12	63,39	59,42	59,46	55,06	56,55	128,16	101,67	55,76	55,58
13	69,29	61,35	52,95	57,02	67,93	175,89	143,20	58,09	59,34
14	75,19	62,56	41,10	64,87	105,73	234,62	201,69	60,25	59,73
15	81,08	63,05	23,15	82,71	190,43	283,03	284,08	62,26	

У четвертому розділі виконано дослідження впровадження ТТ методами математичного та імітаційного моделювання, зокрема створено метод визначення

сценарію модернізації мережі при впровадженні нових ТТ, для чого формалізовано усі вхідні параметри та розроблено математичну модель розвитку ТМ. При формалізації періоду дослідження  $T$  доведено, що його можна представити у вигляді множини раціональних рівновіддалених точок дійсного сегмента

$[t, \bar{t}]$ :  $T = \{k\}_{k=0}^h = \{0, 1, 2, \dots, h\}$ , де  $k = \overline{0, h}$  – точки розбиття  $[t, \bar{t}]$  ( $t$ ,  $\bar{t}$  – моменти початку та кінця дослідження відповідно,  $t \neq \bar{t}$ );  $h$  – кількість точок розбиття. Попит на застосування ТТ певного призначення в кожен момент часу однозначно визначає модель вимог. Якщо  $T$  – дискретна множина, яка визначає період часу дослідження, модель вимог повинна являти собою деяку усюди визначену і однозначну відповідність дійсних чисел, представлену у вигляді  $D: T \rightarrow \mathbb{R}^{\geq 0}$ . В моделі для опису реального процесу збільшення ємності ТМ використано асимптотичну оцінку

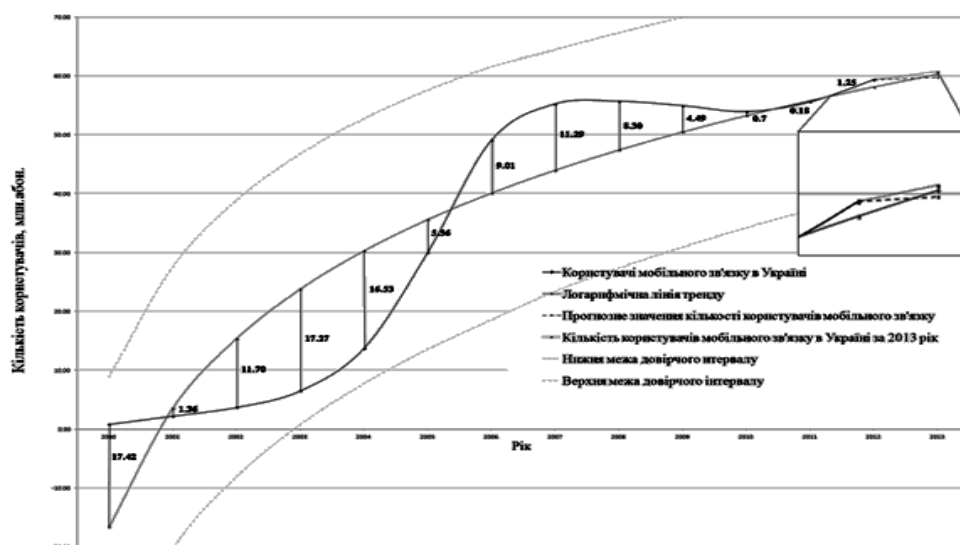


Рис. 5. Прогноз кількості користувачів МЗ за допомогою логарифмічної апроксимації

реального процесу  $D^*(t) = \Theta(D(t))$ , що за визначенням означає  $\exists c_1, c_2, t_0 \in \mathbb{R}^+$ ,  $\forall t \in T : t > t_0 \quad 0 \leq c_1 D(t) \leq D^*(t) \leq c_2 D(t)$ . Це співвідношення гарантує, що, починаючи з деякого моменту часу, реальна величина попиту на застосування ТТ буде знаходитись між двома кривими  $c_1$  та  $c_2$ , які її обмежують. Такий підхід дозволяє описати такі важливі характеристики, як: швидкість і відносну величину зростання темпів впровадження ТТ, точки екстремумів і перегинів та обмеженість, не відволікаючись на дрібні флуктуації реального процесу. Результат роботи моделі забезпечує мінімізацію вартості мережі за такими економічними критеріями, як дійсні річні витрати і дійсна вартість мережі. При вирішенні задачі модернізації ТМ для будь-яких витрат, що будуть мати місце протягом періоду дослідження, розраховано їх дійсну величину за допомогою модифікованого дисконтного коефіцієнту для приведення значень майбутніх грошових потоків до поточного моменту. Співвідношення видів поточних витрат та графічне відображення величин інвестицій у часі наведено на рис. 6.

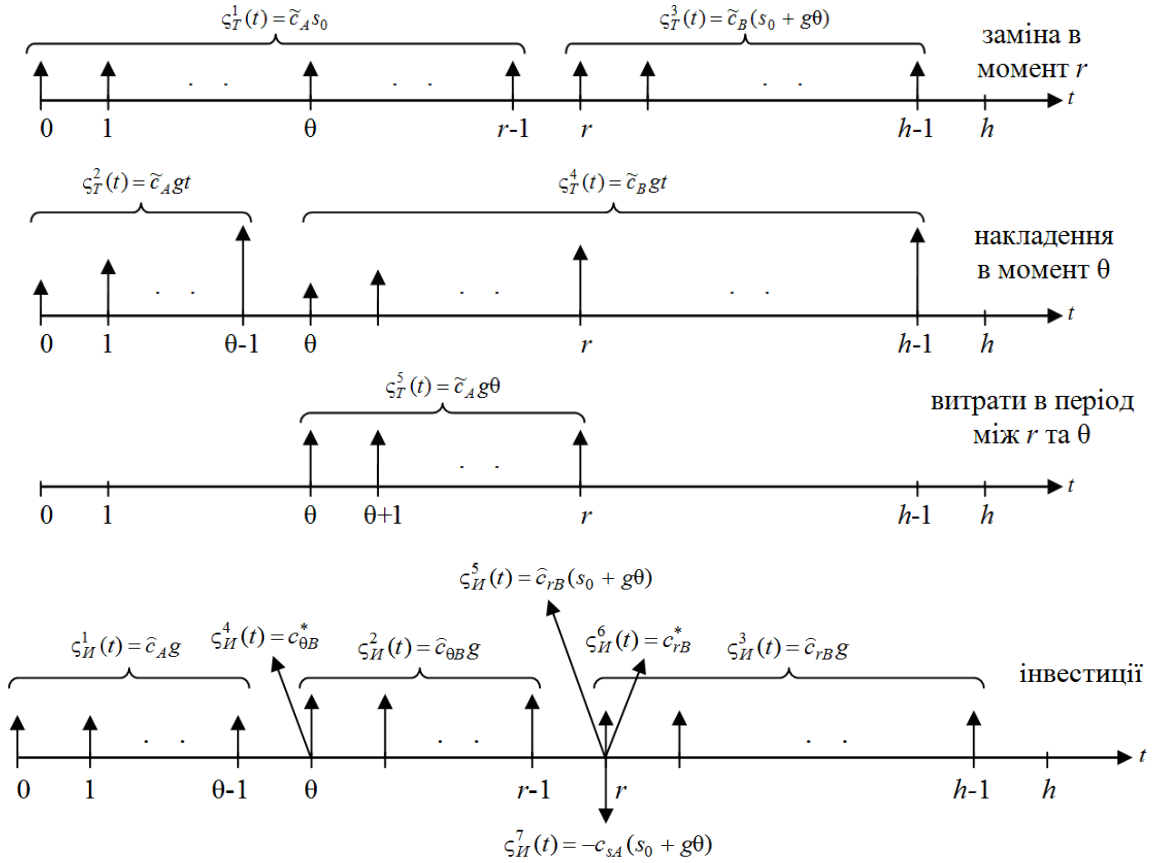


Рис. 6. Часові діаграми, що відображають поточні витрати та необхідні інвестиції на впровадження НТТ

Вартісні параметри для існуючих ТТ (ІТТ) та нових ТТ (НТТ), визначені у вигляді множин  $A$  та  $B$ , задано у виді функцій:  $\tilde{c} : A \cup B \rightarrow \mathbb{R}$  – річні витрати на обслуговування одиниці ємності обладнання певного типу;  $c_{\theta}^* : B \rightarrow \mathbb{R}$  – вартість впровадження НТТ при накладенні;  $c_r^* : B \rightarrow \mathbb{R}$  – вартість впровадження НТТ при заміні;  $\hat{c} : A \rightarrow \mathbb{R}$  – вартість збільшення на одиницю ємності ІТТ;  $\hat{c}_{\theta} : B \rightarrow \mathbb{R}$  – вартість збільшення на одиницю ємності НТТ при накладенні;  $\hat{c}_r : B \rightarrow \mathbb{R}$  – вартість



збільшення на одиницю ємності НТТ при заміні;  $\bar{c} : A \cup B \rightarrow \mathbb{R}$  – вартість одиниці довжини лінії,  $\theta$  – момент накладення обладнання НТТ,  $r$  – момент заміни обладнання ІТТ. В результаті моделювання отримано значення функцій, оператори яких вказано вище. З використанням цих функцій загальні витрати на модернізацію мережі визначено через величини поточних витрат  $C_T(\theta, r)$  та інвестицій  $C_{II}(\theta, r)$ .

$$C(\theta, r) = C_T(\theta, r) + C_{II}(\theta, r) = \\ = \frac{1}{\rho^2} g(\tilde{c}_B - \tilde{c}_A) e^{-\rho\theta} + \frac{1}{\rho} (g\theta + s_0)(\tilde{c}_B - \tilde{c}_A) e^{-\rho r} + \frac{1}{\rho} \tilde{c}_A \left( s_0 + \frac{1}{\rho} g \right) + \left( c_{\theta B}^* + \frac{1}{\rho} (\hat{c}_{\theta B} - \hat{c}_A) g \right) e^{-\rho\theta} + \\ + \left( (\hat{c}_{rB} - c_{sA}) g\theta + \left( \frac{1}{\rho} (\hat{c}_{rB} - \hat{c}_{\theta B}) g + (\hat{c}_{rB} - c_{sA}) s_0 + c_{rB}^* \right) \right) e^{-\rho r} + \frac{1}{\rho} \hat{c}_A g$$

де  $s_0$  – вимоги на підключення до мережі в початковий момент;  
 $g$  – швидкість збільшення ємності мережі.

Шляхом групування змінних при  $\theta$  та  $r$  функцію загальної вартості модернізації мережі приведено до виду

$$C(\theta, r) = C_T(\theta, r) + C_{II}(\theta, r) = \alpha e^{-\rho\theta} + (\beta\theta + \gamma) e^{-\rho r} + \delta,$$

$$\text{де } \alpha = \frac{g}{\rho} \left( \frac{1}{\rho} (\tilde{c}_B - \tilde{c}_A) + \hat{c}_{\theta B} - \hat{c}_A \right) + c_{\theta B}^*; \quad \beta = g \left( \frac{1}{\rho} (\tilde{c}_B - \tilde{c}_A) + \hat{c}_{rB} - \hat{c}_{sA} \right); \\ \gamma = c_{rB}^* + \frac{(\hat{c}_{rB} - \hat{c}_{\theta B}) g + s_0 (\tilde{c}_B - \tilde{c}_A)}{\rho} + s_0 (\hat{c}_{rB} - c_{sA}); \quad \delta = \frac{1}{\rho} \left( \hat{c}_A g + \tilde{c}_A \left( s_0 + \frac{1}{\rho} g \right) \right);$$

Прирівнявши вартості при накладенні та заміні, отримано криву переваги, яка розділяє площину  $s_0 - g$  на дві області, що визначають перевагу заміни перед накладенням і навпаки (рис. 7). Це можна виразити співвідношенням

$$\gamma = \left( \hat{c}_{rB} - c_{sA} + \frac{1}{\rho} (\tilde{c}_B - \tilde{c}_A) \right) s_0 + \frac{1}{\rho} (\hat{c}_{rB} - \hat{c}_{\theta B}) g + c_{rB}^* = 0.$$

Подібним чином можна отримати криві переваги для будь-якої НТТ, вони зручні для швидкого вибору кращого сценарію впровадження НТТ по заданим початковій ємності і коефіцієнту зростання цієї ємності, що забезпечує мінімізацію витрат і враховує більшість факторів, які впливають на процес розвитку мережі.

Для виявлення закономірностей процесу розвитку ТТ і його прогнозування та дослідження впровадження нових ТТ в діючі ТМ, враховуючи складність і трудомісткість цих задач, застосовано імітаційне моделювання, яке дозволило зменшити трудовитрати та врахувати усю сукупність факторів, які впливають на процес, що досліджується, і зменшити часовитрати на модернізацію мережі при введенні НТТ, які підвищують її ефективність. Розроблена система дослідження процесу розвитку

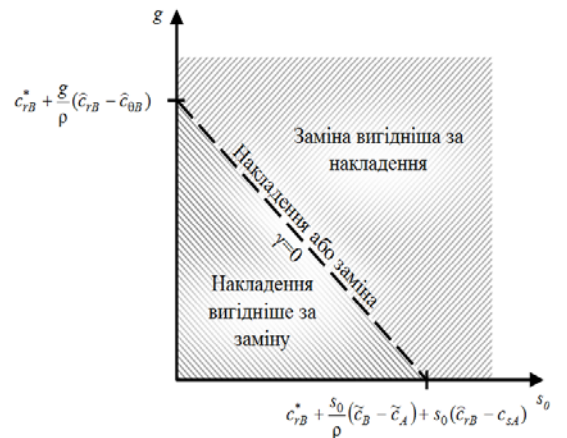


Рис. 7. Криві переваги

цих задач, застосовано імітаційне моделювання, яке дозволило зменшити трудовитрати та врахувати усю сукупність факторів, які впливають на процес, що досліджується, і зменшити часовитрати на модернізацію мережі при введенні НТТ, які підвищують її ефективність. Розроблена система дослідження процесу розвитку

ТТ (*Telecommunication Technology Development Research System, TTDRS*) складається із множини об'єктів, кожен з яких характеризується рядом властивостей, тому доцільним виявилось застосування об'єктно-орієнтованого підходу (ООП). В процесі створення *TTDRS* згідно з ООП розроблено діаграми: реальних сценаріїв, класів, станів, послідовностей дій та взаємодії компонент *TTDRS*. Створення діаграм здійснено в системі *IBM Rational Rose Enterprise Edition*, заснованої на універсальній мові моделювання (*Unified Modelling Language*). Для програмної реалізації *TTDRS* розроблено діаграму класів, наведену на рис. 8. В якості платформи для розробки *TTDRS* використано *Borland Delphi*, що реалізує засоби швидкої розробки додатків, дозволяє проектувати гнучкий та функціональний графічний інтерфейс програми та має велику бібліотеку готових класів.

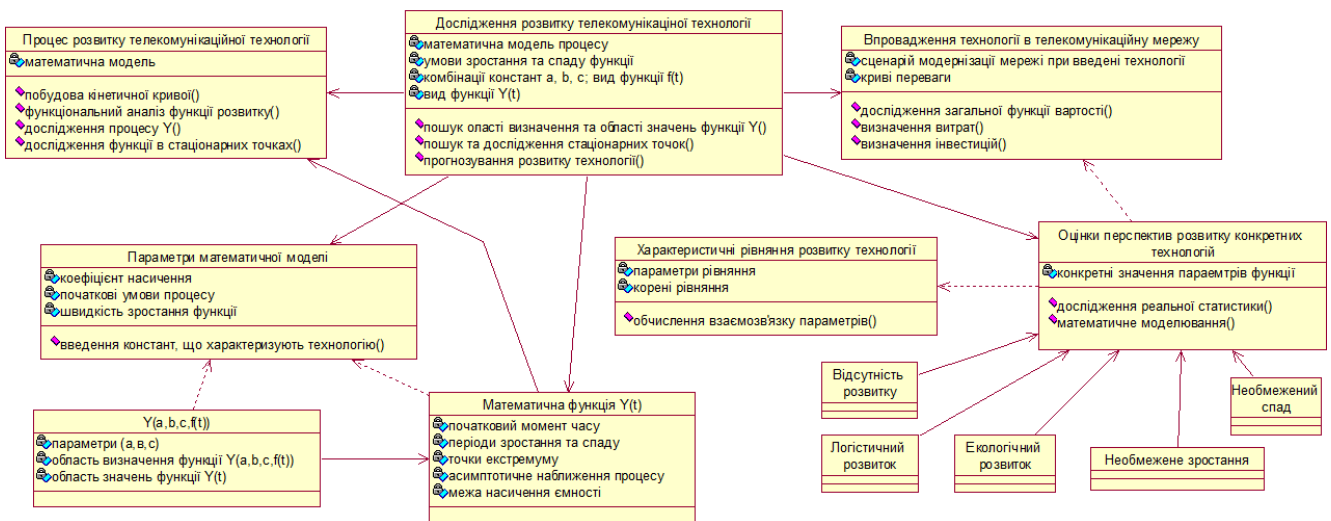


Рис. 8. Діаграма програмної реалізації класів *TTDRS*

Систему *TTDRS*, що реалізує розроблені аналітичні моделі ТПД, використано при дослідженні динаміки РТТ для передачі мови при застосуванні технологій ФТЗ та МЗ в двох регіонах України: «індустріальному», загальною чисельністю населення 10505564 осіб, та «сільськогосподарському», загальною чисельністю населення 5400536 осіб.

Розвиток кожної з ТТ описано окремою моделлю (характерним видом функції  $Y$ ). Максимально можлива ємність РТТ являє собою величину, що динамічно змінюється та визначається результатами аналізу прибутків та чисельності населення, її рівень обчислюється як добуток фактичної щільності каналів ФТЗ на 100 жителів, що відображає зміни рівня прибутків в часі  $D_t$ , чисельності населення  $P_t$  та коефіцієнту резервної ємності 1,5:  $K_1, K_2 = D_t \cdot P_t \cdot 1,5$ , де цифра 1 позначає ФТЗ, 2 – МЗ. Сума зважених середніх абсолютних різниць модельованих ( $Y'_t$ ) та реальних ( $Y_t$ ) значень використана для верифікації достовірності результатів використання запропонованого автором апарату дослідження РТТ. Відповідні значення  $d$ , розраховані за (6), наведено в табл. 4.

$$d = \sum \left( \frac{|Y_t - Y'_t|}{Y_t} \right). \quad (6)$$



## Параметри моделі РТТ

Параметри	Індустріальний регіон		Сільськогосподарський регіон	
	ФТЗ	МЗ	ФТЗ	МЗ
$q$	0,101	0,667	0,219	0,614
$K$	$K_{t+1} = K_t \cdot 1,05$	200 на 100 осіб	$K_{t+1} = K_t \cdot 1,05$	200 на 100 осіб
$m$	0,957		1,137	
$\alpha$	$\alpha_{12} = -0,5$	$\alpha_{21} = -0,05$	$\alpha_{12} = -0,37$	$\alpha_{21} = -0,05$
$d$	0,015	0,003	0,016	0,005

На рис. 9,а наведено прогнозовані та реальні дані кількості користувачів ФТЗ для регіонів дослідження, а на рис. 9,б – графіки зміни значення коефіцієнту  $q$  для РТТ ФПЗ та МЗ в обох регіонах.

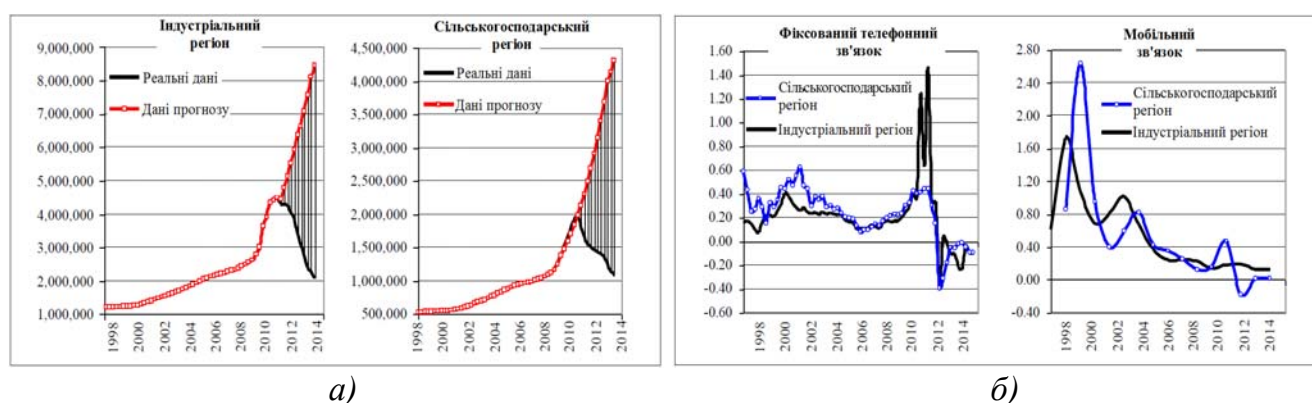


Рис. 9. Реальні та прогнозовані значення користувачів ФТЗ та зміна значення коефіцієнту  $q$

Кінетичні криві, які описують РТТ, що досліджуються, отримані в результаті використання *TTDRS*, яка реалізує авторський аналітичний апарат, заснований на моделі ТПД, мають вид, ідентичний графікам, побудованим за реальними даними користувачів ФТЗ та МЗ в регіонах дослідження (рис. 10).

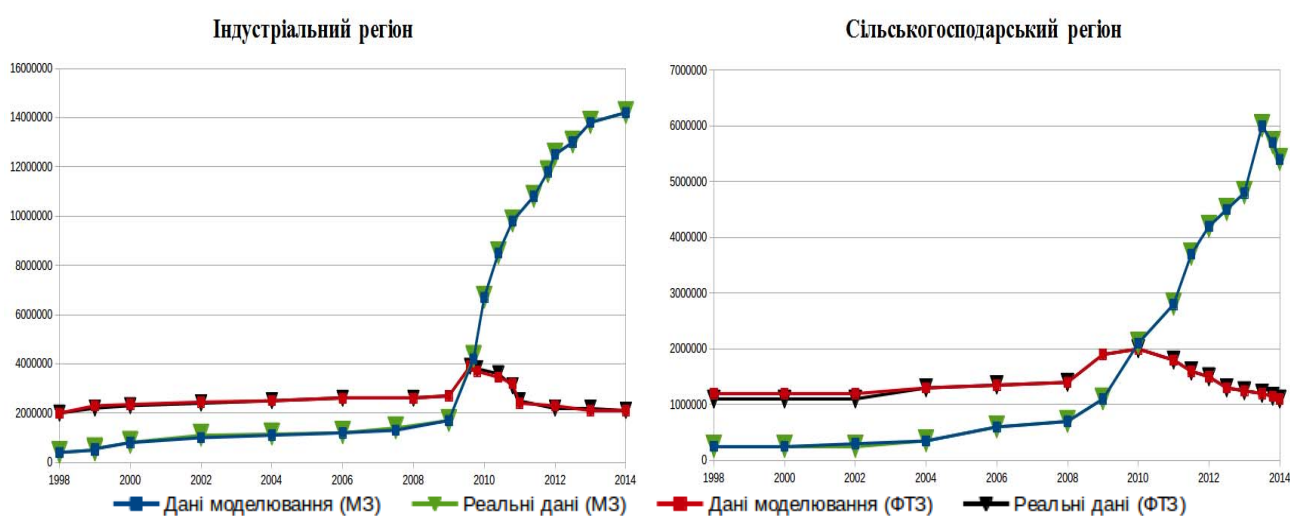


Рис. 10. Реальна та прогнозована кількість користувачів ФТЗ та МЗ

Таким чином шляхом математичного та імітаційного моделювання підтверджено, що використані в роботі моделі та методи суттєво підвищують точність прогнозування РТТ.

## ВИСНОВКИ

Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих в дисертаційній роботі, складає теоретичне узагальнення і нове вирішення важливої науково-технічної задачі підвищення точності прогнозування розвитку телекомунікаційних технологій, а також практичну реалізацію програмного планування модернізації телекомунікаційних мереж, яка забезпечує підвищення технічної і економічної ефективності їх функціонування.

1. Аналіз результатів дослідження закономірностей розвитку ТТ дослідницькими організаціями компаній *Gartner*, *Google*, *Cisco* показав, що методи визначення стану розвитку ТТ та його прогнозування, які застосовуються цими організаціями, відсутні у відкритому доступі, тому необхідно створення апарату виявлення законів розвитку ТТ і прогнозування його характеристик.

2. Визначення та врахування особливостей процесу розвитку ТТ дозволяє адекватно оцінювати можливості нових ТТ, обирати найбільш доцільний момент і сценарій їх впровадження, а оцінка тенденцій цього розвитку у високорозвинених країнах дозволить зменшити інформаційну нерівність для країн, що розвиваються, при цьому для визначення рівня розвитку технологій необхідним є збір та аналіз відповідної статистичної інформації.

3. В результаті аналізу різноманітних процесів розвитку встановлено, що, незважаючи на різну якісну природу явищ, які вони описують, закони їх еволюції є досить загальними, тому для дослідження розвитку ТТ та взаємодії технологій однакового призначення на одній ТМ доцільно використання математичного апарату теорії популяційної динаміки.

4. Використання розробленої аналітичної моделі розвитку ТТ, заснованої на теорії популяційної динаміки, дозволяє побудувати кінетичні криві, які формалізують цей процес. Ці криві ідентичні графікам, побудованим за реальними даними по конкретним технологіям та забезпечують різницю модельованих та реальних показників зміни рівня використання ТТ в межах від 0,003 до 0,016.

5. На основі аналізу методів дослідження статистичної інформації сформовано та обґрунтовано послідовність використання методів аналізу даних для інформації, яка представляє собою вибірку або сформована у вигляді часового ряду, за якою виконано оцінку стану та прогноз розвитку ТТ. В результаті її застосування при дослідженні статистичної інформації для 53 країн світу виявлено, що кількість точок підключення збільшилась: для фіксованого провідного широкосмугового зв'язку на 27%, мобільного зв'язку – на 12%, Інтернет – на 11%, а для фіксованого телефонного зв'язку – скоротилась на 2%.

6. В результаті виявлення найбільш значущих факторів, що впливають на розвиток ТТ, методами факторного аналізу статистичної інформації щодо розвитку ТТ в 53 країнах світу, кожна з яких охарактеризована 45 ознаками, виділено п'ять найбільш вагомих факторів, що описують 72% загальної вибірки: використання ПК у виробничих цілях; чисельність населення; виробнича необхідність; економічний чинник та рівень безробіття.

7. З метою виявлення залежностей між використанням ТТ та визначеними факторами впливу, в результаті кореляційного аналізу встановлено:

- розрахунковий показник кореляції між фіксованими широкосмуговим та телефонним зв'язком дорівнює одиниці, що доводить те, що ще рано скорочувати надання послуг фіксованого телефонного зв'язку;

- середній показник кореляції між використанням ПК у виробничих цілях та технологіями доступу до Інтернет обумовлений тим, що більшість комп'ютерів, які використовують у виробничих цілях, потребують підключення до Інтернет;

- високий показник кореляції між мобільним, фіксованим широкосмуговим та телефонним зв'язком і чисельністю населення пояснюється тим, що кількість користувачів будь-якої технології має пряму залежність від чисельності населення країни.

8. В результаті кластерного аналізу за інтегрованим показником якості надання інфокомунікаційних послуг виявлено склад трьох груп країн з приблизно рівним розвитком ТТ, що дає можливість оцінити ступінь інформаційної нерівності між окремими державами.

9. В результаті дослідження розвитку ТТ методами регресійного аналізу встановлено, що найменша середньоквадратична помилка між прогнозом та реальним значенням кількості точок підключення користувачів мобільного зв'язку характерна для експоненціальної залежності. Шляхом застосування адаптивної поліноміальної моделі прогнозування встановлено, що розходження прогнозованих значень із реальними становить 1,57%, шляхом використання додатково апроксимуючої логарифмічної функції встановлено розходження у 0,71%, що свідчить про правильність вибору тенденції та високу точність прогнозування.

10. Розроблена модель модернізації ТМ дозволяє представити окремі компоненти витрат у вигляді площ плоских областей і довжин векторів, завдяки цьому методом інтегрування отримано дійсні величини поточних витрат і необхідних інвестицій при впровадженні нових ТТ на існуючих мережах. За рахунок використання дисконтного коефіцієнту визначено вартісні функції дійсної величини витрат, що дозволяють враховувати зміну вартості майбутніх грошових потоків на модернізацію ТМ.

11. Запропоновано метод вибору найбільш доцільного сценарію впровадження нових ТТ, що забезпечує мінімізацію витрат, який засновано на аналітичному представленні величин поточних витрат та інвестицій, отриманому шляхом застосування розробленої аналітичної моделі модернізації ТМ та застосуванні запропонованого апарату кривих переваги.

12. Розроблена аналітична модель реалізована в програмному комплексі, що здійснює процес дослідження ТТ та дозволяє зменшити витрати часу на модернізацію мережі практично на 40%, порівняно з кращими із відомих існуючих засобів автоматизованого проектування.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Galina Gayvoronska *The Research of the Kinetic Curve Presenting the Information and Communication Technologies' Development Processes* / Galina Gayvoronska, Maxim Solomitsky, Petr Yatsuk // *Proceedings of 2014 International Conference on Information*

*Science, Electronics and Electrical Engineering (Sapporo City, Hokkaido, Japan). – Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. – Beijing, China, 2014. – P. 923-926.*

2. *Galina Gayvoronska Human and Telecommunication Technologies Life Cycles Comparison / Galyna Gayvoronska, Illia Gannytskyi, Petr Yatsuk // Information Models and Analyses. – Sofia: ITHEA, 2014. – № 3 (Volume 3). – P. 257-262.*

3. *Galina Gayvoronska Some Approaches to the Development of Analytical Model for the Research of the Telecommunication Technologies' Development Process / Galyna Gayvoronska, Illia Gannytskyi, Petr Yatsuk // Information Technologies & Knowledge. – Sofia: ITHEA, 2014. – № 3 (Volume 8) – P. 243-254.*

4. *Galina Gayvoronska Dependence of information and telecommunication technology development on economic indicators / Galyna Gayvoronska, Illia Gannytskyi, Petr Yatsuk // Information Technologies & Knowledge. – Sofia: ITHEA, 2014. – № 2 (Volume 8) – P. 147-151.*

5. Гайворонская Г.С. Некоторые аспекты исследования процесса развития телекоммуникационных технологий / Г.С. Гайворонская, П.П. Яцук // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2014. – № 56. – С. 88-95.

6. Класифікація країн за рівнем розвитку телекомунікаційних технологій / Г.С. Гайворонська, П.П.Яцук, І.В. Ганницький, Ю.С.Казак // Електронне наукове фахове видання «Проблеми телекомунікацій». – ХНУРЕ, 2013. – № 3 (12). – С. 71-78.

7. Г.С. Гайворонская Некоторые аспекты использования статистического аппарата для анализа развития технологий широкополосного доступа / Г.С. Гайворонская, А.А. Назаренко, П.П. Яцук // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2013. – №36 – С. 79-83.

8. Гайворонская Г.С. Сравнительная оценка жизненного цикла человека и телекоммуникационных технологий / Г.С. Гайворонская, И.В. Ганницкий, П.П.Яцук // Сучасний захист інформації. – ДУІКТ, 2013. – № 4. – С. 13-18.

9. Результаты определения уровня развития конкретной телекоммуникационной технологии для отдельных стран / Г.С. Гайворонская, П.П. Яцук, И.В. Ганницкий, Ю.С. Казак // Холодильна техніка і технологія. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – № 2 (148) – С. 76-78.

10. Кривуца В.Г. Аналіз методів оптимальної обробки багатопозиційних сигналів / Кривуца В.Г., Беркман Л.Н., Яцук П.П. // Вісник ДУІКТ, 2012. – №1 (Том 10). – С. 5-10.

11. Кривуца В.Г. Метод розв'язування задачі багатокритеріальної оптимізації систем управління різнорідними телекомунікаційними мережами / Кривуца В.Г., Беркман Л.Н., Яцук П.П. // «Зв'язок», 2013. – №1. – С. 2-6.

12. Гайворонська Г.С. Життєвий цикл телекомунікаційних технологій // Гайворонська Г.С., Ганницький І.В., Яцук П.П. // I Международная НПК «Проблемы инфокоммуникаций. Наука и технологии (PIC&T'2013)». – Харьков, 2013. – С. 29-31.

13. Гайворонская Г.С. Общие тенденции развития технологий мобильного доступа / Гайворонская Г.С., Яцук П.П. // Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» (Инфорино 2014). – Москва: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2014. – С. 41-42.

14. *Galyna Gayvoronska Assessment of Costs and Revenues on Different Stages of Implementing Telecommunication Technologies / Galyna Gayvoronska, Illia Gannytskyi, Petr Yatsuk // Proceedings of the XIIth International Conference TCSET'2014. – 2014. – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic. – P. 457.*

15. Гайворонская Г.С. Оценка уровня развития ИКТ в различных странах методами кластерного анализа / Гайворонская Г.С., Яцук П.П., Ганницкий И.В., Казак Ю.С. // Праці VII міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». – Ужгород: УжНУ, 2014. – С. 69-70.

### АНОТАЦІЯ

**Яцук П.П.** «Підвищення точності прогнозування розвитку технологій на телекомунікаційних мережах». – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Харківський національний університет радіоелектроніки МОН України, Харків, 2015.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-технічної задачі підвищення точності прогнозування розвитку телекомунікаційних технологій, а також практичній реалізації програмного планування модернізації телекомунікаційних мереж, яка забезпечує підвищення ефективності їх функціонування.

В роботі виконано порівняльний аналіз технічних характеристик ТТ, визначено тенденції розвитку ТТ, виконано аналіз досліджень в галузі прогнозування цього процесу, аналіз доцільності використання методів математичної статистики для дослідження РТТ та аналіз методів, що можуть бути використані для його прогнозування. Виконане аналітичне дослідження РТТ включає вибір та обґрунтування математичного апарату для формалізованого опису цього процесу, функціональний аналіз математичної функції, що формалізує РТТ, та дослідження взаємодії декількох ТТ. Розроблено математичну модель прогнозування РТТ та виконано дослідження цього процесу методами математичної статистики при якому, окрім основних статистичних показників, виявлено фактори, що впливають на РТТ, визначено групи країн з близьким рівнем розвитку та здійснено прогнозування РТТ методами регресійного аналізу з використанням поліноміальної моделі часових рядів. Дослідження впровадження ТТ, здійснене методами математичного та імітаційного моделювання, включає: створення математичної моделі розвитку ТМ при впровадженні нових ТТ, розробку методу визначення сценарію модернізації ТМ з визначенням витрат, розробку імітаційної моделі дослідження РТТ та дослідження взаємодії двох ТТ методом імітаційного моделювання.

Наукова цінність роботи полягає в запропонованому комплексі методів та моделей для прогнозування РТТ, що забезпечує підвищення точності прогнозу: помилка прогнозу, не перевищує 0,71...1,57%. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблена аналітична модель дослідження РТТ реалізована в програмному комплексі, який дає можливість зменшити витрати часу на проектування ТМ на 40%, порівняно з кращими з відомих засобів автоматизованого проектування.

**Ключові слова:** телекомунікаційна технологія, телекомунікаційна мережа, модель розвитку, метод прогнозування, аналіз даних.

### АННОТАЦИЯ

**Яцук П.П.** «Повышение точности прогнозирования развития технологий на телекоммуникационных сетях». – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники МОН Украины, Харьков, 2015.

Диссертация посвящена решению важной научно-технической задачи повышения точности прогнозирования развития телекоммуникационных технологий (ТТ), а также практической реализации программного планирования модернизации телекоммуникационных сетей (ТС), обеспечивающей повышение эффективности их функционирования.

В работе выполнен сравнительный анализ технических характеристик ТТ, определены тенденции их развития, проведен анализ исследований в области прогнозирования этого процесса и целесообразности использования методов математической статистики для исследования развития ТТ, а также анализ методов, которые могут быть использованы для его прогнозирования. Проведенное аналитическое исследование развития ТТ включает выбор и обоснование математического аппарата для формализованного описания этого процесса, функциональный анализ математической функции, формализующей развитие ТТ, и исследование взаимодействия нескольких ТТ. Разработана математическая модель прогнозирования развития ТТ и выполнено исследование этого процесса методами математической статистики при котором, кроме основных статистических показателей, выявлены факторы, влияющие на развитие технологий, определены группы стран с близким уровнем развития и осуществлено прогнозирование развития технологий методами регрессионного анализа с использованием полиномиальной модели временных рядов. Исследование внедрения ТТ, осуществленное методами математического и имитационного моделирования, включает: создание математической модели развития ТС при внедрении новых технологий, разработку метода определения сценария модернизации ТС с определением необходимых затрат, создание имитационной модели исследования их развития и исследование взаимодействия двух ТТ путем имитационного моделирования.

Научная ценность работы заключается в предложенном комплексе методов и моделей для прогнозирования развития телекоммуникационных технологий, обеспечивающем повышение точности прогноза, ошибка которого, по сравнению с применением отдельных методов и моделей прогнозирования, не превышает 0,71...1,57%. При этом получил дальнейшее развитие аналитический аппарат теории популяционной динамики в виде математических моделей, позволяющих описать развитие и взаимодействие технологий в реальных условиях их существования на ТС, и разработана унифицированная методика оценки состояния и прогнозирования развития технологий. Разработана графическая модель модернизации телекоммуникационной сети при внедрении новых технологий, позволяющая отразить компоненты расходов и необходимых инвестиций в виде площадей плоских областей и длин векторов. Благодаря этому методом интегрирования получены аналитические представления величин инвестиций и текущих расходов, учитывающие за счет использования дисконтного коэффициента изменение стоимости будущих денежных потоков на модернизацию телекоммуникационных сетей.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что разработанная аналитическая модель исследования развития телекоммуникационных технологий реализована в программном комплексе, позволяющем сократить временные затраты на проектирование телекоммуникационной сети на 40% по сравнению с лучшими из известных средств автоматизированного проектирования. Формализация, определение тенденций и выбор наиболее целесообразного метода прогнозирования развития телекоммуникационных технологий осуществлены согласно модели исследования, созданной с помощью метода структурного анализа и проектирования *SADT*, интегрирующего процесс моделирования, управления

конфигурацией процесса и использования средств функционального моделирования. Разработанный метод определения сценария модернизации сети для условий применения новых телекоммуникационных технологий за счет предложенного аналитического аппарата кривых предпочтений позволяет выбирать наиболее подходящий способ и время их внедрения при минимизации затрат. Имитационное моделирование, основанное на разработанной графической формализации процесса модернизации телекоммуникационной сети при введении новых технологий, дает возможность получить оценки текущих расходов и необходимых инвестиций как для сети в целом, так и для отдельных направлений связи.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная технология, телекоммуникационная сеть, модель развития, метод прогнозирования, анализ данных.

### ABSTRACT

**Yatsuk P.P. «Increasing the forecasting accuracy of telecommunication networks' technologies development».** – On rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of engineering sciences' candidate in the specialty 05.12.02 – telecommunication systems and networks. – Kharkiv National University of Radio Electronics MES of Ukraine, Kharkiv, 2015.

Dissertation is devoted to the solution of important scientific and technical problem of increasing the forecasting accuracy of telecommunication technologies development, as well as to the practical implementation of the telecommunication networks modernization's program planning, providing high efficiency of their functioning.

Trends in the telecommunication technologies development (TTD) are determined. Analysis of researches on the TTD, usage feasibility of the mathematical statistics methods for this process study and TTD forecasting methods is done. Analytical research of telecommunication technologies (TT) development involves the selection and justification of mathematical apparatus for formalized description of this process, the functional analysis of a mathematical function for TTD formalization and interaction between several TT. A mathematical model for TTD forecasting is developed. Research of telecommunication technologies development involves usage of mathematical statistics methods for identification of factors, affecting the TTD, and group of countries with a similar level of technologies development as well as for TTD forecasting by regression analysis using polynomial time series models. Research of TT introduction, carried out by methods of mathematical modeling and simulation, includes: creation of the telecommunication networks (TN) development's mathematical model at the new TT implementation, development of the method for the TN modernization scenario's determination with to the definition of costs, development of a simulation model of TT research and research of the interaction between two TT by simulation modeling.

The scientific value of the work consists in set of methods and models for TTD forecasting, improving the accuracy of the forecast: prediction error, compared with the particular forecasting methods and models, does not exceed 0,71...1,57%. The practical significance consists in the fact that the developed analytical model of TTD research, implemented in the software, allowing to reduce the time of the TN design by 40% in comparison with the best of the known computer-aided design systems.

**Keywords:** telecommunication technology, telecommunication network, development model, forecasting method, data analysis.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АПМ – адаптивна поліноміальна модель;  
ІКП – інфокомунікаційна послуга;  
ІКТ – інформаційно-комунікаційна технологія;  
МЗ – мобільний зв'язок;  
РТТ – розвиток телекомунікаційної технології;  
ТМ – телекомунікаційна мережа;  
ТП – точка підключення;  
ТПД – теорія популяційної динаміки;  
ТТ – телекомунікаційна технологія;  
ЧР – часовий ряд;  
ФПШЗ – фіксований провідний широкосмуговий зв'язок;  
ФТЗ – фіксований телефонний зв'язок;  
*ETSI – European Telecommunications Standards Institute;*  
*ITU – International Telecommunication Union;*  
*TTDRS – Telecommunication Technology Development Research System.*