

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**ДОМАСКІН ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ**

УДК 621.395.74

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ВИМОГ КОРИСТУВАЧІВ ДО  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

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

Львів - 2015

Дисертація на правах рукопису.

Робота виконана в Інституті холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського Одеської національної 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, доцент  
**Жураковський Богдан Юрійович**,  
Державний університет телекомунікацій,  
завідувач кафедри інфокомунікацій;

кандидат технічних наук  
**Демидов Іван Васильович**,  
Національний університет «Львівська  
політехніка», доцент кафедри телекомунікацій

Захист дисертації відбудеться “ 02 ” липня 2015 р. о 14 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 218 XI навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий “ 27 ” травня 2015 р.

*Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, д.т.н., професор*



А.П. Бондарєв

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Роботу присвячено аналітичному дослідженню питань достовірного прогнозування змін якісних вимог користувачів інфокомунікаційних послуг у часі для спрощення та вдосконалення процесів проектування телекомунікаційних мереж при забезпеченні ефективності використання їх ресурсів і ресурсної достатності.

**Актуальність теми.** Особливістю сучасного етапу розвитку телекомунікацій є швидке формування попиту на високий рівень інформаційного обслуговування. Але для якісного надання різноманітних інфокомунікаційних послуг (ІКП) необхідно адаптувати сучасні телекомунікаційні мережі (ТМ), за якими ІКП доставляються користувачам. У рішенні НКРЗІ «Про затвердження Концепції створення національної інформаційно-комунікаційної інфраструктури України» вказано, що з метою формування єдиного інформаційного суспільства України (ІСУ) необхідним є забезпечення суб'єктів ІСУ високоякісними ІКП. Актуальність удосконалення методики проектування ТМ, за допомогою якої можливо передбачати надання різноманітних послуг на базі гетерогенних мереж різних операторів, прямо впливає з цих вимог. Розвиток ринку ІКТ та формування інформаційного простору потребує здійснення системних та дієвих кроків для якісно нового рівня розвитку ІСУ.

Питанням планування та проектування ТМ присвячена велика кількість робіт вітчизняних та закордонних вчених, зокрема: Г.Б. Давидова, В.М. Рогинського, В.І. Неймана, А. Д. Харкевича, В.Г. Лазарева, Л. Клейнрока, Г.П. Захарова, Дж. Мартіна, А.Я. Толчана, М.А. Соколова, Х. Іноссе, І.Г. Бакланова, В.К. Стеклова, Г.С. Гайворонської, Л.Н. Беркман та інших. Однак лише деякі з цих робіт враховували зміни ТМ в часі, тобто аналізували саме динаміку процесу розвитку мережі. Дослідження динаміки змін характеристик ТМ надає можливість більш точно планувати розвиток мереж і оцінювати необхідні ресурси для їх модифікації, що є важливим для їх *ефективного використання*, ґрунтуючись на вимогах користувачів цих мереж до якості надання ІКП. В наш час саме вимоги користувачів стають найбільш вагомим фактором, якій визначає характеристики ТМ, що проектується. В результаті дослідження цих вимог стає зрозуміло, наскільки та яким чином необхідно змінити ємність і пропускну спроможність проектованої мережі, а оператор має змогу, оцінивши ресурси своєї мережі і зіставивши їх з потребами користувачів, визначити шляхи її подальшого розвитку. Таким чином, актуальною є наукова задача підвищення ефективності проектування телекомунікаційних мереж шляхом формалізації процесу змін вимог користувачів, які до них висуваються та уточнення необхідного обсягу вимірювань параметрів якості надання інфокомунікаційних послуг для підвищення достовірності прогнозування цих вимог.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертації спрямована на розвиток сучасних ТМ в Україні і дозволяє вирішувати завдання, що виникають при їх проектуванні. Напрямок досліджень дисертації пов'язаний з виконанням НДР за темою «Дослідження питань проектування» ВАТ «Укртелеком» і актуалізацією ВБН В.2.2-45-1-2004 «Проектування телекомунікацій» ГБН В.2.2-33-2:201Х, виконання в рамках НДР 9958/807430-405-405, співвиконавцем якого була кафедра ІКТ ОНАХТ.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення точності проектування телекомунікаційних мереж та їх ресурсної ефективності шляхом розроблення експертної системи в основу якої покладено формалізовану модель прогнозування вимог користувачів. **Об'єктом дослідження** є процес проектування телекомунікаційних мереж. **Предметом дослідження** є методи врахування вимог користувачів при проектуванні телекомунікаційних мереж.

Для досягнення вказаної мети були вирішені наступні задачі:

1. Аналіз чинників, в результаті впливу яких з'явилася необхідність удосконалити методіку проектування ТМ;
2. Класифікація користувачів сучасних мереж та аналіз вимог, що висуваються до ТМ кожним зі сформованих класів користувачів;
3. Розроблення методу врахування вимог користувачів до якості надання ІКТ послуг при проектуванні ТМ;
4. Формалізація опису змін вимог користувачів у часі;
5. Удосконалення методу прогнозування вимог користувачів до якості надання послуг при проектуванні ТМ;
6. Визначення обсягу та періоду вимірювань, необхідних для отримання достовірних оцінок параметрів, які визначають якість функціонування ТМ;
7. Розроблення експертної системи для прогнозування змін вимог користувачів при проектуванні ТМ за умов забезпечення їх ресурсної достатності та ефективності.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Вперше запропоновано використовувати інтегральний показник якості для опису вимог користувачів до телекомунікаційних мереж, який, на відміну від існуючих, враховує часову варіативність їх параметрів за допомогою багатofакторної регресійної моделі з застосуванням методів робастної статистики, яка дозволяє отримувати ефективні оцінки у нестандартних випадках.
2. Вперше запропоновано аналітичну модель врахування змін вимог користувачів, яка, на відміну від існуючих, заснована на використанні логістичної функції, та для якої сформульовано математичні умови застосування і ознаки, які визначають особливості змін вимог користувачів до телекомунікаційних мереж, що дозволяє підвищити адаптивність процесів їх проектування.
3. Вперше запропоновано метод прогнозування змін вимог користувачів, що відрізняється використанням логістичної функції, яка дозволяє визначити помилку прогнозу в залежності від періоду на який він виконується та обсягу статистичної інформації про характер процесу, що аналізується.
4. Набула подальшого розвитку класифікація користувачів телекомунікаційних мереж методами кластерного аналізу за ознаками їх вимог до мереж, які визначаються у порядковій, дихотомічній та кількісній шкалі, на основі чого сформульовано перелік мережних послуг і вимоги до мереж, найбільш характерні для одержаних класів користувачів, що дозволяє коректно планувати мережний розвиток та підвищити ресурсну ефективність.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у наступному:

1. Сформульовані вимоги користувачів до надання інфокомунікаційних послуг дозволяють оператору оцінити можливості мережі і, зіставивши їх з мінливими потребами користувачів, визначити ефективні шляхи її подальшого розвитку.

2. Запропонована багаторівнева модель, яка дозволяє враховувати вимоги користувачів до якості надання ІКП для визначення найбільш адаптованих технологічних реалізацій ТМ та їх параметрів.

3. На основі формалізованого опису вимог користувачів до мереж та багаторівневої моделі надання інфокомунікаційних послуг розроблено експертну систему (ЕС), яка дозволяє підвищити ефективність проектування телекомунікаційних мереж шляхом зменшення трудовитрат та вимог до кваліфікації проектувальників. Ретроспективний аналіз зміни вимог користувачів до телекомунікаційних мереж, проведений при дослідженні їх показників шляхом порівняння результатів із застосуванням ЕС та без неї, показав, що для заданих умов використання ЕС дозволяє підвищити точність прогнозування, а отже і ресурсну ефективність спроектованих мереж на 12% при цьому трудовитрати зменшуються приблизно на 23%.

4. Запропонований метод встановлення нижньої, верхньої межі та середнього значення часу проведення спостережень забезпечує достовірність ухвалення правильного рішення з рівнем помилок, що не перевищує заздалегідь визначеного, який знаходиться в межах від 3% до 9%.

**Реалізація результатів роботи.** В акті впровадження ПрАТ «Український інститут проектування і розвитку інформаційно-комунікаційної інфраструктури «Діпрозв'язок» від 23.04.2014 року відмічено, що наукові результати дисертаційної роботи та публікацій автора використані в науково-технічних розробках ПрАТ «Діпрозв'язок». Використання результатів дозволяє скоротити терміни проектування і вартість побудови ТМ, а також позитивно відбивається на ефективності їх функціонування і експлуатації. Експертною комісією також підтверджено, що при проектуванні та побудові нових або модернізації існуючих ТМ використана розроблена автором дисертаційної роботи експертна система *ESPUR* для прогнозування вимог користувачів до ТМ, яка на основі накопиченої статистики забезпечує аналіз, прогнозування та обґрунтування прийняття рішення щодо проектування мережі.

Акт впровадження державного підприємства «Український науково-дослідний інститут зв'язку» від 20.06.2014 року підтверджує використання результатів дисертаційних досліджень у науково-технічній діяльності підприємства. Основні результати досліджень впроваджені в навчальний процес Державного університету телекомунікацій (м. Київ), що підтверджено відповідним актом від 15.04.2013 року, а також у навчальний процес Одеської національної академії харчових технологій (акт впровадження від 26.09.2014 року).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційне дослідження є самостійно виконаною роботою, в якій відображені особистий авторський підхід і особисто отримані теоретичні та прикладні результати, що відносяться до проектування ТМ. В роботах, опублікованих у співавторстві, автору дисертації належить: участь у аналізі математичних моделей, які описують зміни вимог користувачів до ТМ [1]; аналіз деяких особливостей розвитку інформаційних технологій експертних сис-

тем, які застосовуються в Україні [2]; розроблення та проведення дослідження відносно застосування методу опису змін вимог користувачів ТМ [3]; розроблення експертної системи прогнозування вимог користувачів до ТМ [4]; дослідження моделі вимог до розвитку мереж, що враховує зростання кількості видів ІКП, що надаються [5].

**Публікації за темою дисертації.** Основні результати дисертації опубліковані в статтях науково-технічних журналів і працях міжнародних конференцій. Усього за темою дисертації опубліковано 16 праць: 8 статей у виданнях, які включені до затвердженого переліку фахових видань України; 6 статей у виданнях іноземних держав, які включені до міжнародних наукометричних баз; з яких 4 – англійською мовою, 3 – одноосібно.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційних досліджень доповідалися і обговорювалися на 11 міжнародних НТК:

–III Міжнародна конференція «*Natural Information Technologies*», Іспанія, Мадрид, *Universidad Politécnica de Madrid*, 2012 р.;

–XI Міжнародна конференція «*Information Research and Applications*», Болгарія, Варна, *ITHEA International Scientific Society*, 2013 р.;

–VI, VII МНТК «Проблеми телекомунікацій», НТУУ «КПІ», Київ, 2012-2013 р.;

–XI, XII МНТК «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії», TCSET, Львівська політехніка, 2012 та 2014 р.;

–VIII, X МНТК «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології», COMINFO, ДУІКТ, Київ, 2012 р.;

–XII НТК студентів та аспірантів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем та технологій», ОДАХ, Одеса, 2012 р.;

–XII МНПК студентів, аспірантів та молодих вчених «Шевченківська весна – 2014», Київ, 2014 р.;

–XVIII Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в XXI столітті». – Харків, ХНУРЕ, 2014 р.;

–I МНТК *Information Technologies & Interactions, FOI ITHEA*, Київ, 2014 р.

**Структура роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів з висновками, загального висновку до роботи, списку використаних джерел та 4 додатків. Робота викладена на 186 сторінках, містить 163 сторінки основного тексту, включаючи 20 таблиць та 55 рисунків, список використаних літературних джерел з 72 найменувань на 8 сторінках, 4 додатки на 14 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

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

В першому розділі – «Аналіз принципів проектування телекомунікаційних мереж» - наведено порівняльну оцінку принципів проектування ТМ у сучасних умовах, обґрунтовано необхідність нового підходу до проектування ТМ, запропоновано загальний підхід до розробки структури та змісту плану розвитку ТМ

та сформульовано постановку задач дослідження. На сучасному етапі розвитку телекомунікацій традиційні підходи до проектування ТМ виявляються застарілими, оскільки вони ґрунтуються на проектуванні окремих мереж, і не враховують їх взаємозв'язок і взаємодію. До проектування слід підходити інакше внаслідок зміни економічної ситуації в Україні і появи конкуренції на мережах, а також враховувати необхідність відповідності міжнародним стандартам. Однак низька точність прогнозування вимог користувачів до ТМ не дозволяє оцінювати необхідні ресурси для модифікації ТМ. У зв'язку з цим, оператори зв'язку можуть зазнавати збитків через ресурсну неефективність, а у користувачів ТМ – зростає незадоволеність послугами зв'язку. На основі аналізу рекомендацій міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ), визначено основні переваги і недоліки існуючих мереж, сформульовано основні цільові установки та вимоги користувачів, які висуваються до мереж, що проектуються.

В другому розділі – «Дослідження та розроблення методу формалізації вимог користувачів до телекомунікаційних мереж» - виявлені найбільш важливі співвідношення між основними технологічними реалізаціями ТМ, що дозволило запропонувати найбільш доцільні поєднання параметрів ТМ при їх проектуванні. Виконаний аналіз вимог до сучасних мереж показав, що одним з основних факторів, які необхідно враховувати у наш час стали вимоги користувачів, при цьому показано, що вимоги користувачів не тільки змінилися в порівнянні з тими, які існували до недавнього часу, але і продовжують змінюватися, тому проектувальнику необхідно швидко і адекватно реагувати на ці зміни. При формуванні проекту ТМ важливо якомога повніше враховувати вимоги кожної категорії їх користувачів. У цій ситуації проектувальник стикається з великим числом можливих моделей побудови мережі, при цьому кількість різних варіантів і параметрів постійно збільшується. Правильне поєднання цих параметрів важливе для визначення мережної топології і суттєво впливає на прийняття рішень, тому доцільно здійснювати цей процес із застосуванням комп'ютерних засобів. Сучасний етап розвитку ТМ характеризується підвищенням вимог до якості й умов надання послуг, появою нових послуг і технологій їх надання. Це призвело до того, що існуючі варіанти класифікації користувачів не враховують усі особливості сучасних користувачів ТМ, що тягне за собою зниження точності прогнозування вимог, які пред'являються користувачами до ТМ, не дозволяє чітко планувати розвиток і оцінювати ресурси, необхідні для модифікації ТМ. Виконаний аналіз існуючих видів класифікацій користувачів показує необхідність створення спеціалізованої класифікації, яка дозволить адекватно прогнозувати вимоги користувачів до ТМ. В результаті дослідження методів класифікації показано, що

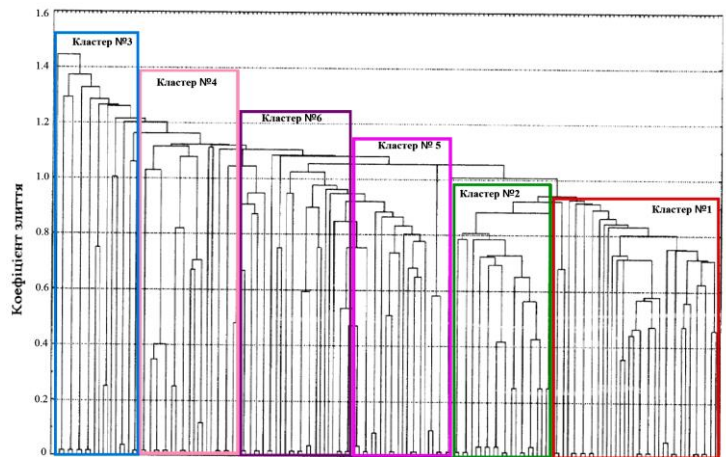


Рис. 1. Результат кластерного аналізу

найбільш доцільними для розв'язання поставленого завдання методами є кластерний аналіз і карти Кохонена, що самоорганізуються, тому що ці методи інваріантні до характеру вихідних даних і до метрик, що використовуються. В результаті розв'язання задачі вибору оптимальної міри схожості згідно безумовного векторного критерію Слейтера визначено, що оптимальним варіантом для розрахунку коефіцієнтів подібності між об'єктами є коефіцієнт Гауера, а для перевірки достовірності отриманих результатів кластеризації доцільно використовувати відстані Евкліда і Хеммінга, оскільки їх коефіцієнт домінування найбільш близький до оптимального. За допомогою порівняння перетворень співвідношень між точками в багатовимірному просторі для найбільш відомих ієрархічних алгоритмів: одиночного, повного, середнього зв'язку та методу Уорда, здійснено вибір методів кластеризації, в результаті якого використаний звужуючий простір, метод одиночного зв'язку, що розширює простір, метод повного зв'язку, і метод Уорда, що оптимізує мінімальну дисперсію всередині кластерів. Проведення процедури кластеризації за трьома різними алгоритмами ієрархічної агломеративної класифікації з використанням трьох методів розрахунку матриць відстаней дало змогу отримати шість кластерів, які відображають окремі класи користувачів, представлені на рис. 1. Для контрольної перевірки кластеризації використаний ітеративний метод  $k$ -середніх.

Далі, використовуючи інформацію, отриману при класифікації, проаналізовано найбільш імовірні потреби користувачів кожного виявленого класу, сформовано перелік послуг, найбільш характерний для окремих класів користувачів і вимоги цих користувачів до мережі, та запропоновано рекомендації щодо забезпечення необхідної якості обслуговування для кожного виявленого класу користувачів ТМ, що входять в достовірні групи.

Для опису поєднання і взаємодії виду послуги, методу модуляції або кодування сигналу, РП, технології, яка використовується у мережі і середовища передачі інформації запропонована багаторівнева модель надання ІКП. Розроблена багаторівнева модель (рис. 2), дозволяє враховувати вимоги користувачів до якості надання ІКП. Ця модель може бути корисна як проектувальникам, так і мережним операторам, оскільки з її допомогою досить просто визначити необхідну комбінацію параметрів з метою створення платформи для надання конкретної комбінації мережних послуг.

Виявлено, що на підставі підходу, запропонованого МСЕ та з використанням розробленої багаторівневої моделі для опису вимог користувачів до ТМ доцільно використовувати інтегральний показник якості (ІПЯ) функціонування мережі  $S$ , який дозволяє враховувати декілька параметрів одночасно за допомогою регресій-

Level 1: Example of public services Уровень 1: Примеры услуг общего пользования			
LAN/MAN interconnect, file transfer, CAD/CAM Соединение внутри локальных сетей, передача файлов	PBX extensions and tie line, FAX G3/G4 УПАТС, арендованные линии, факс 3, 4 групп	Corporate multimedia, videoconferrence Корпоративное мультимедиа, видеоконференции	X-rays Передача рентгеновских снимков между больницами
Level 2: Example of coding Уровень 2: Примеры кодирования			
PCM ИКМ	MPEG2		ADPCM АДИКМ
Level 3: Transfer mode: Bearer network Уровень 3: Режимы переноса: сеть переноса			
Circuit mode Канальный режим ISDN, Private voice network BGS (ISDN, PSTN), VPN (ISDN, PSTN), leased lines, Private cellular (DECT)	Packet mode Пакетный режим Private X.25, PVC X.25, Private ISDN (X.25) Mobitex	Frame mode Кадровый режим Private frame relay, Private PVC (FR), Private ISDN (FR)	Cell mode Ячеечный режим Private ATM, VLL, Private DQDB
Level 4: Example of transmission access techniques Уровень 4: Примеры технологий передачи в сети доступа			
Baseband	Modem	PDH, SDH	TDMA, CDMA, HDSL, ADSL, FDM ...
Level 5: Medium Уровень 5: Среда передачи информации			
Copper pair Медная пара	Fiber Волокно (FTT, FTTR, FTTC...)	Radio Радио (Macrocell, microcell, picocell, radio P-P...)	Satellite Спутник
			Cable Коаксиальный кабель

Рис. 2. Приклад використання багаторівневої моделі при наданні мультимедіа-послуги



ної моделі. Використання багатofакторних регресійних моделей (БРМ) передбачає незмінність значень коефіцієнтів цих моделей у часі. Створення БРМ виконано методами регресійного аналізу (РА), якій дозволяє дослідження впливу однієї або декількох незалежних змінних  $x(t)$  на залежну змінну  $Y$ . При цьому визначено зв'язок між характеристикою  $Y$  спостережуваного явища і величинами, які обумовлюють, пояснюють зміни  $Y$ . В результаті регресійного аналізу встановлюється форма залежності виду  $Y = \phi(X) + \varepsilon$ , де  $Y$  – результуюча ознака;  $X$  – фактор;  $\varepsilon$  – випадкова змінна, що характеризує відхилення фактора  $X$  від лінії регресії. При дослідженні необхідно отримати форму залежності, яка адекватно описує зміну ІПЯ, в ролі чинників тут виступають окремі параметри якості надання ІКП, до яких відносяться: швидкість передавання, абсолютна затримка, джитер, спотворення контенту, коефіцієнт бітових помилок, тощо. Використання РА для визначення функції та її параметрів потребує статистичного дослідження, при цьому невідомі параметри функції обираються таким чином, щоб сума квадратів відхилень експериментальних значень  $y_i$  була мінімальною від їх розрахункових значень, тобто

$$S = \sum_{i=1}^n (y_{i\text{екс}} - y_i^p)^2 = \sum_{i=1}^n (y_{i\text{екс}} - \phi(x_i, b_0, b_1, \dots, b_p))^2 \rightarrow \min, \text{ де } y_i^p - \text{значення, обчислене за рі-}$$

внянням регресії;  $y_i - y_i^p = \varepsilon$  – відхилення;  $n$  – кількість пар вихідних даних. Таким чином запропоновано підхід, що забезпечує необхідне врахування вимог користувачів до якості надання ІКП при проектуванні ТМ.

У третьому розділі – «Дослідження моделей змін вимог користувачів до телекомунікаційних мереж» – виконано оцінку можливості використання різноманітних математичних залежностей в якості функції регресійної моделі. У загальному випадку, зміна вимог користувачів до мережі - процес стохастичний, тим не менш, припустимі результати можуть бути отримані завдяки створенню моделі вимог за допомогою детермінованої функції від часу. Якщо  $T$  - період часу, який досліджується, - дискретна або безперервна численність, то модель вимог повинна являти собою деяку всюди визначену та однозначну відповідність дійсних чисел, надану у вигляді  $D : T \rightarrow \mathbb{R}^{\geq 0}$ . Для опису реального процесу зміни вимог до мережі отримано асимптотично точну оцінку реального процесу,  $D^*(t) = \Theta(D(t))$ , що за визначенням означає  $\exists c_1, c_2, t_0 \in \mathbb{R}^+, \forall t \in T : t > t_0 \Rightarrow 0 \leq c_1 D(t) \leq D^*(t) \leq c_2 D(t)$ . Це співвідношення гарантує, що, починаючи з деякого моменту часу, реальна величина вимог буде укладена між двома обмежуючими моделями. Такий підхід дозволяє описати найбільш важливі для поставленої задачі характеристики процесу, а саме швидкість і відносну величину приросту функції, точки екстремумів та перегинів, не відволікаючись на незначні флуктуації реального процесу. Вираз  $\Theta(D(t))$  передбачає, що функції  $D^*(t)$  і  $D(t)$  асимптотично невід'ємні, що цілком відповідає процесу, який розглядається. Більш того, оскільки функції  $D^*(t)$  і  $D(t)$  можна вважати строго позитивними, параметр  $t_0$  можна виключати з визначення, змінивши константи  $c_1$  і  $c_2$  так, щоб нерівність виконувалась і при малих  $t$ . Запис  $D^*(t) = \Theta(D(t))$  включає в себе верхню і нижню оцінки, їх можна розподілити за

допомогою додаткових позначень  $O(D(t))$  і  $\Omega(D(t))$ .  $D^*(t) = O(D(t))$ , якщо виконано співвідношення  $\exists c \in \mathbb{R}^+, \forall t \in T, 0 \leq D^*(t) \leq cD(t)$ . Під записом  $D^*(t) = \Omega(D(t))$  будемо розуміти, що  $\exists c \in \mathbb{R}^+, \forall t \in T, 0 \leq cD(t) \leq D^*(t)$ .

Виконаємо дослідження варіантів реалізації числової функції одного аргументу  $D$  для визначення доцільності їх використання у якості формалізованої залежності змін вимог користувачів у часі. Використання лінійної функції від часу виду  $D(t) = b + kt$ ,  $k \neq 0$ , де  $b$  - параметр зсуву;  $k$  - кутовий коефіцієнт дозволяє застосувати її для опису стабільних періодів розвитку мережі, проте для порівняно короткого періоду часу, коли вимоги користувачів зростають постійно та необмежено. Проаналізовано також умови використання ступеневої функції та її модифікацій  $D(t) = t^\alpha$ ,  $\alpha \in \mathbb{R}, \alpha \neq 0, \alpha \neq 1$ , показникової  $D(t) = a^t$ ,  $a > 0, a \neq 1$ , логарифмічної  $D(t) = \log_a t$ ,  $a \in \mathbb{R}, a > 0, a \neq 1$ , тригонометричних та інших функцій.

У процесі дослідження доведено, що найбільш ефективною є логістична функція  $D(t) = \Theta\left(\frac{1}{1+a^{-t}}\right)$ , яка шляхом нескладних перетворень приводиться до виду

$$D(t) = \frac{a}{1+be^{-ct}}, \quad a, b, c \in \mathbb{R}, \text{ коефіцієнт } a \text{ відповідає граничному значенню величини насичення}$$

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} D(t) = \frac{a}{1+b \lim_{t \rightarrow +\infty} e^{-ct}} = a, \text{ коефіцієнт } b \text{ використовується для}$$

опису початкових умов процесу, з огляду на те, що  $D(0) = \frac{a}{1+b}$ , коефіцієнт  $c$  ха-

рактеризує швидкість зростання функції при збільшенні  $t$ , що у сукупності з диференціальним рівнянням Рікарді  $\frac{dY}{dt} + f(t)Y + \varphi(t)Y^2 = 0$ , де,  $\varepsilon=2$ ,  $f(t)=-(\zeta t + \eta)$ ;  $\varphi(t)=-$

$\zeta$ , дозволяє описувати різноманітні процеси зміни вимог користувачів до мережі шляхом інтерпретації коефіцієнтів. Відсутність змін вимог має місце при  $\eta + \zeta t + \varepsilon Y = 0$ . Необмежене зростання потреб користувачів відповідає умові  $\eta + \zeta t + \varepsilon Y > 0$ , необмежене спадання –  $\eta + \zeta t + \varepsilon Y < 0$ . При відсутності змін  $Y = const$ , при необмеженому зростанні  $Y = Ae^{-\lambda t}$ , а при необмеженому спаданні  $Y = Ae^{-\lambda t}$ , де  $\lambda = \eta + \zeta t + \varepsilon Y$ . В результаті дослідження сформульовані ознаки логістичного процесу: позитивне значення характеристики процесу в початковий момент і відносно процесу до межі насичення  $a = \frac{\eta}{|\varepsilon|}$  та її математичні умови. Перша умова  $\varepsilon = 0$  означає,

що абсолютний приріст рівня вимог до мережі та зменшення незадоволених потреб користувачів у часі співпадають. Друга умова  $\zeta = 0$  показує, що на процес зменшення потреб користувачів впливають й інші чинники, крім зростання кількості та різноманітності ІКП, які їм надаються. Третя умова  $\eta > 0$  означає, що в початковий момент часу рівень розвитку мережі не забезпечував всі потреби, тобто дослідження процесу починається в період дефіциту необхідних мережних ресурсів. Четверта умова  $a > Y(0)$  визначає, що стан насичення перевищує початковий рівень,

тобто формулює вимоги зростання процесу. Логістичний розвиток можливий тільки якщо  $c$  і  $\psi$  - функції рівня розвитку процесу, тобто  $c=f(Y)$ ;  $\psi=f(Y)$ . Якщо хоча б одна з цих функцій не залежить від  $Y$ , а є функцією часу розвитку процесу, то логічний процес переходить в екологічний, при якому замість насичення на кінцевому етапі відбувається відмирання (занепад).

Таким чином, запропоновано формалізований опис змін вимог користувачів для удосконалення проектування ТМ, заснований на використанні логістичної функції для якої сформульовано математичні умови застосування і ознаки, що визначають особливості процесу змін вимог окремих користувачів. Для того, щоб застосувати цей формалізований опис з метою прогнозування, потрібно знати передісторію цього процесу і оцінити наскільки адекватним є запропонований опис. Для апроксимації процесу необхідно підібрати аналітичну криву. Для цього проведено дослідження різних функцій, з яких обрано ту, яка забезпечує краще наближення до наявних статистичних даних. Для цього, для всіх функцій методом найменших квадратів визначені коефіцієнти кожної кривої та обрана крива для прогнозування за максимальним значенням коефіцієнта детермінації при мінімальних значеннях відповідних помилок. Для аналізу загальної якості рівняння регресії використано

коефіцієнт детермінації  $R^2 = \frac{\sum (y_i^p - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$ , який показує, на скільки відсотків

знайдена функція регресії описує зв'язок між вихідними значеннями  $Y$  і  $X$ . За результатами використання такого підходу обрана логістична крива, а по тому поставлена задача: запропонувати асимптотичні формули, що дають прості вирази для ймовірностей станів мережі, з точки зору вимог користувачів, що обслуговуються, і моментів розподілу функції, яка описує кількість користувачів мережі, інформація щодо вимог яких вже відома в конкретний момент часу.

Якщо інформація щодо вимог частини  $\alpha_1$  всіх користувачів вже відома, то важливо оцінити період часу  $\tau(\alpha_1, \alpha_2, N)$ , до того моменту, коли ця частина користувачів досягне значення  $\alpha_2$  (при  $\alpha_1 < \alpha_2 < 1$ ).

Математичне очікування цього часу задається виразом

$$\mu(\alpha_1, \alpha_2, N) = \sum_{N\alpha_1 \leq v \leq N\alpha_2} \frac{N}{\lambda v(N-v)}, \quad (1)$$

дисперсія

$$\sigma^2(\alpha_1, \alpha_2, N) = \sum_{N\alpha_1 \leq v \leq N\alpha_2} \frac{N^2}{\lambda^2 v^2 (N-v)^2}. \quad (2)$$

Далі, використовуючи характеристичні функції, показано, що  $\tau(\alpha_1, \alpha_2, N)$  розподілена асимптотичне нормально. Тоді для великих  $N$  справедливо, що

$$P \left\{ \frac{\tau(\alpha_1, \alpha_2, N) - A(\alpha_1, \alpha_2)/\lambda}{B(\alpha_1, \alpha_2)/\lambda} \sqrt{N} \leq x \right\} = \Phi(x), \text{ де, } \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

Із (3) витікає довірчий інтервал для  $\tau(\alpha_1, \alpha_2, N)$  с коефіцієнтом довіри  $s$ :

$$\frac{1}{\lambda} \left[ A(\alpha_1, \alpha_2) - \frac{\Phi^{-1}\left(\frac{1+s}{2}\right) B(\alpha_1, \alpha_2)}{\sqrt{N}} \right] \leq \tau(\alpha_1, \alpha_2, N) \leq \frac{1}{\lambda} \left[ A(\alpha_1, \alpha_2) + \frac{\Phi^{-1}\left(\frac{1+s}{2}\right) B(\alpha_1, \alpha_2)}{\sqrt{N}} \right]. \quad (3)$$

Із (3) випливає, що довірчий інтервал для  $\tau(\alpha_1, \alpha_2, N)$  стягується до нуля разом з  $1/\sqrt{N}$ . Графік функції  $\alpha = \frac{1}{2}(1 + th(\omega t - \rho))$  є логістичною кривою. Величина  $\omega = \lambda/2$  є інтенсивністю росту в момент «напівнасичення» ( $\alpha = 1/2$ ), тобто середнім число нових користувачів, інформація щодо вимог яких стає нам відома в одиницю часу, поділений на число користувачів, інформація щодо вимог яких була нам відома раніше, якщо інформація щодо вимог 50% користувачів вже відома. Величина  $\frac{\rho}{\omega} = \frac{\ln N + C}{\lambda}$  є моментом напівнасичення.

З використанням логістичної кривої можна не лише прогнозувати розвиток процесу, який досліджується, а й оцінити помилку прогнозу в залежності від періоду, на якій він виконується. При високому значенні коефіцієнта детермінації ( $R^2 \geq 75\%$ ) можна робити прогноз  $y = f(x)$  для конкретного значення  $x^*$  в межах діапазону вихідних даних. При прогнозах значень, що не входять в діапазон вихідних даних, справедливість отриманої моделі гарантувати не можна, оскільки може проявитися вплив нових факторів, які модель не враховує. Оцінка значущості рівняння регресії здійснюється за допомогою критерію Фішера  $H_0: R^2 = 0$ ,  $k_1 = p, k_2 = n - p - 1$ . В процесі дослідження об'єкту можлива поява нової інформації, що дозволяє за допомогою рекурентного оцінювання коригувати значення оцінок коефіцієнтів моделей, в той же час вихідна інформація містить різні динаміки зміни незалежних змінних. Побудова адекватних регресійних моделей як для опису вже існуючих процесів, так і для прогнозування пред'являє до вихідної інформації жорсткі вимоги. В ряді випадків ці вимоги для реальних спостережень виявляються нездійсненними, тому отримані оцінки виявляються неефективними, а прогноз – недостовірним. Для уникнення цього останнім часом інтенсивно застосовують робасну статистику, яка дозволяє отримувати ефективні оцінки у випадках невиконання деяких передумов, наприклад, нормальності розподілу, наявності аномальних спостережень. Використання робасних методів отримання статистичних оцінок для інформації, що містить аномальні «вибрані» спостереження, дозволяє значно підвищити надійність отримуваних оцінок. Це обумовило необхідність визначення в дисертаційному дослідженні обсягу вимірювань, необхідних для отримання достовірних незміщених ефективних оцінок аналізованих параметрів.

Така оцінка обсягу вимірювань, необхідного для отримання достовірних оцінок параметрів ТМ при прогнозуванні її розвитку виконана з використанням асимптотично оптимальної процедури управління та прийняття рішення. Продовжувати спостереження з метою побудови правила прийняття рішення, що забезпечує задані рівні помилок, можна таким чином, щоб оцінка параметра  $\theta$ , що отримана на попередньому етапі спостережень, збіглася з самим параметром. Звідси впливає двоступенева процедура виконання спостережень і прийняття рішень на їх основі. Якщо результати спостережень  $x_1, x_2, \dots$  – випадкові величини, що приймають значення з множини  $X$ , то розподіл результатів спостережень залежить від значення параметра  $\theta \in \Theta$ , де  $\Theta$  – множина невідомих параметрів, управління  $u \in U$ ,  $U$  – множина управлінь. За результатами спостережень приймається рішення про справедливість одної з гіпотез  $H_i: \theta \in \Theta_i$ , де  $\Theta_i$  – деякі множини,  $i=1, 2, \dots, m$ ,  $\bigcup_{i=1}^m \Theta_i = \Theta$ ,  $\Theta_i \cap \Theta_j = \emptyset, i \neq j$ . Процедура управління спостереженнями і прийняття рішення має вид  $d=(u(\bullet), \tau, \delta)$ , де  $u(\bullet)$  – правило вибору управління;  $\tau = \tau_d$  – момент закінчення спостережень;  $\delta$  – правило прийняття рішень. Серед допустимих правил  $d$  визначено те, яке забезпечує найменший час спостережень. Оскільки за умовою побудови процедури  $dT$  при неприйнятті рішення на другому етапі вся процедура починається заново, то серії спостережень, що відповідають першому і другому етапу після поновлення процедури, є незалежними. Якщо  $N$  – число поновлень процедури, то з  $p \leq p_\beta + c\alpha^\gamma = q$ , впливає  $P_{\theta_0}(N=n) \leq q^{n-1}(1-q) \leq q^{n-1}$ . Тривалість однієї серії спостережень не перевищує величини  $F = T + (-A \ln \alpha) p_\beta + (1 - p_\beta)(-\ln \alpha)(J(\theta_0) + k_\beta + k_\alpha)$ , звідки отримуємо  $E_{\theta_0}(t) \leq F(1-q)^{-1}$ , якщо  $q < 1$ , то  $t$  – шукана загальна тривалість спостережень. Таким чином в результаті використання асимптотично оптимальної процедури управління та прийняття рішення встановлені нижня, верхня межі і середнє значення часу проведення спостережень, які забезпечують вірогідність ухвалення правильного рішення з рівнем помилок, що не перевищує допустимого.

#### Четвертий розділ дисертації – «Створення експертної системи прогнозування вимог користувачів до телекомунікаційних мереж» - присвячено розробці експертної системи (ЕС) для прогнозування вимог користувачів до ТМ. В розробленій ЕС реалізовано запропоновані моделі формалізації та прогнозування вимог користувачів до ТМ. Результатом роботи ЕС є вирішення задачі прогнозування, яка полягає в прийнятті рішення про належність функцій зміни вимог до мережі до того чи іншого класу на основі накопиченої статистики, при цьому використано об'єктивний статистичний підхід до формування еталонів та є доцільним статистичне навчання (див. рис. 3).

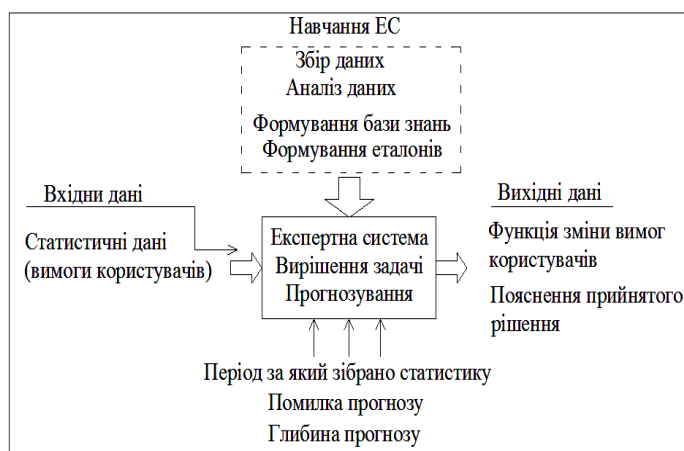


Рис. 3. Схема функціонування ЕС

цьому використано об'єктивний статистичний підхід до формування еталонів та є доцільним статистичне навчання (див. рис. 3).

При розробленні експертної системи застосовано ПЗ *Expek Pro* версія 1.5+ для *Windows*, що є універсальною ЕС для оцінювання складних об'єктів. Система забезпечує якісне обґрунтування у задачах оцінювання та прийняття рішень. Використана в *Expek Pro* оригінальна векторна модель подання знань і механізм прийняття рішень увібрали в себе переваги таких відомих підходів, як нечітка логіка, нейронні мережі, Байєсова оцінка та інші. Модель призначена для формалізації процесу оцінювання складних об'єктів шляхом геометричної інтерпретації завдань кваліметрії і класифікації. На етапі формування вхідної інформації для навчання ЕС (рис. 4) використані результати статистики, історія розвитку мережі на відповідній території, зміна вимог користувачів, особливості ІТ, що затребувані користувачами, тощо. Для створення еталонів проаналізовано більше сотні територій різного типу, використано інформацію про 80 ІКП, що характеризуються видом інформації, допустимим часом затримки, необхідною мінімальною пропускною спроможністю, коефіцієнтом помилок. Проведено аналіз достовірності отриманих результатів, для цього до системи введено 50 об'єктів, отримані результати свідчать про імовірність помилки 0,03-0,05.

При аналізі якості формування навчальної вибірки звернуто увагу на такий параметр, як кількість екстремумів, на те яку частину діапазону (*min*, *max*) покриває функція розподілу та яким є ступінь наближення значень екстремумів до 100%. Аналіз показав, що вибірка сформована якісно, оскільки крива покриває весь діапазон, має вигляд, близький до нормального розподілу та максимум, близький до 100%. Створена ЕС дозволяє вирішити задачу прогнозування змін вимог

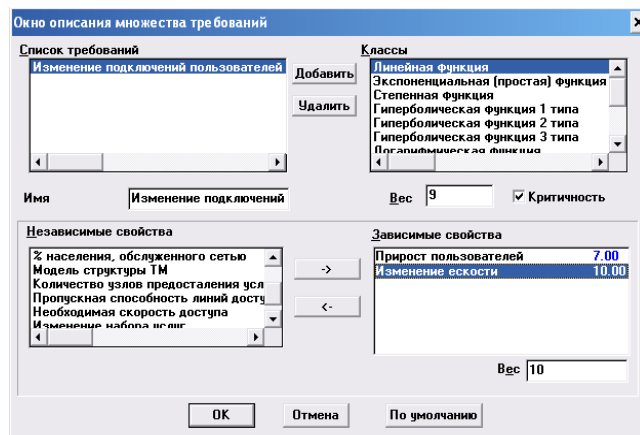


Рис. 4. Вікно формування множини вимог

Таблиця 1 – Вимоги користувачів

Послуга	Тип переданої інформації	Інформаційна швидкість доступу (кбіт/с)	Час доступу до служби (мс)	Припустимий коефіцієнт помилок	Припустимий час затримки (мс)
1	2	3	4	5	6
IP-телефонія	мова	64	500	$10^{-7}$	<500
SMS	текстові повідомлення	9,6	500	$10^{-7}$	<600
перегляд IPTV	рух. зобр., аудіо	4096	600	$10^{-8}$	150
on-line-ігри	рухливе зображення/звук	1024	500	$10^{-7}$	150
соц. мережі	дані	64	600	$10^{-8}$	<600
E-mail	текст. повідомлення (дані)	48	500	$10^{-8}$	150
Youtube (360p)	рухливе зображення, звук	785	500	$10^{-8}$	150
відеоконференції на базі SIP	рухливе зображення	256	500	$10^{-8}$	150
Google PanoGamo	зображення	128	500	$10^{-8}$	<600
охоронна сигналізація	службові повідомлення	16	600	$10^{-8}$	<600
ICQ, QIP	текстові повідомлення	64	500	$10^{-7}$	<600
«Яндекс»	рух. зобр., мова	64	600	$10^{-7}$	<600
«Google Translate»	рух. зобр., аудіо	64	600	$10^{-7}$	<600
«Телеголосування»	аналоговий сигнал	64	500	$10^{-7}$	<600
<b>Сумарні вимоги групи</b>		<b>13621,2</b>	<b>500</b>	<b><math>10^{-7}</math></b>	<b>150</b>

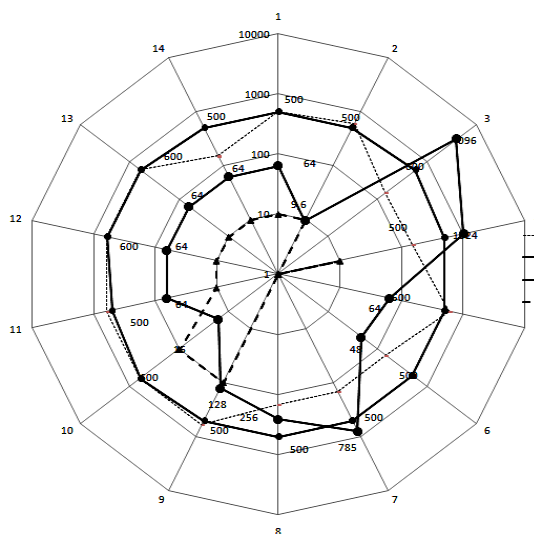


Рис. 5. Вимоги групи користувачів

користувачів до ТМ, допомагає фахівцю у прийнятті рішення про належність функції зміни вимог користувачів до того чи іншого класу на основі накопиченої статистики.

Для перевірки достовірності роботи ЕС проведено ретроспективний аналіз. При цьому вирішено задачі: збору статистичних даних про вимоги користувачів до ТМ; характеристика ІКП, які надаються користувачам ТМ; формування груп користувачів ІКП та визначення вимог користувачів кожної групи до ТМ (табл.1); розрахунок інтенсивності навантаження та пропускної спроможності ліній доступу; аналіз вимог користувачів до ТМ.

У якості приклада застосування методів, запропонованих в дисертаційній роботі та в розробленій ЕС наведено результати дослідження зміни вимог користувачів до фрагменту ТМ, який обслуговує приміську територію загальною площею 13,33 км<sup>2</sup>, на якій розміщено близько 2000 осіб, поверхнева щільність користува-

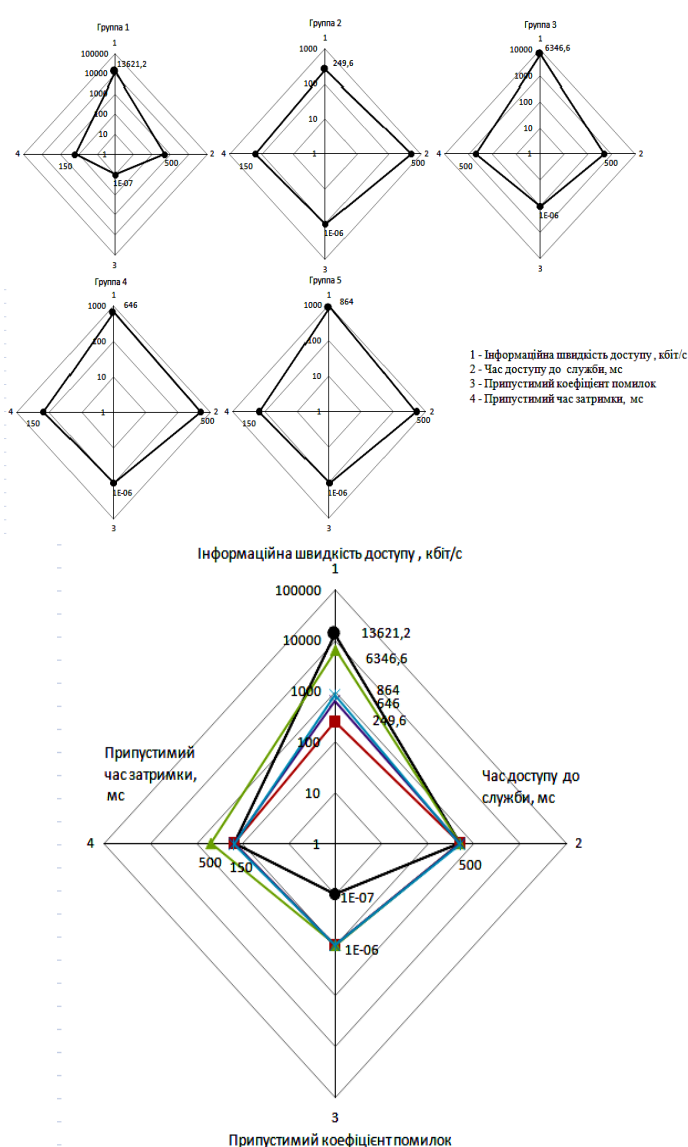


Рис. 6. Формування інтегральних показників якості (ІПЯ) ІКП

чів дорівнює 150 на 1 км<sup>2</sup>, цим користувачам надається 18 видів послуг, які розбито на 4 класи. В процесі дослідження користувачів ТМ розподілено на 5 груп, відповідно до запрошеного переліку ІКП. Вимоги різних груп користувачів до ТМ відображаються у якості параметрів ІКП, які сформовано у вигляді діаграм, одна з яких зображена на рис. 5. Кожна пелюсткова діаграма містить чотири ряди даних, які відповідають показникам якості ІКП, що вибрані на основі нормативних документів міжнародних органів зі стандартизації *ITU*, *IEEE* та *QoS*: інформаційна швидкість доступу (кбіт/с); параметри часу доступу до служби (мс); припустимий коефіцієнт помилок, та час затримки (мс). Вертикальна вісь діаграми представлена у логарифмічній шкалі.

Для кожної групи сформовано ІПЯ надання ІКП, приклад якого для однієї з груп наведено на рис. 6, і який застосовується у регресійній моделі для прогнозування динаміки змін вимог до ТМ у часі. Далі, із застосуванням робасних методів, ЕС виконує прогноз на проміжок часу, в

залежності від наявного обсягу статистичної інформації для кожної групи користувачів, рис. 6.

При дослідженні результатів роботи ЕС отримано залежності глибини прогнозу від періоду, за який зібрано статистичні данні про вимоги користувачів, при заданій фіксованій помилці прогнозу. З графіка рис. 7 видно, що помилка прогнозу може бути встановлена в межах 0,3...0,7 для отримання прогнозу на період до одного року з заданою достовірністю при наявності зібраної статистики в період від 0,5 року. При цьому глибина прогнозу апроксимується логістичною функцією, яка має дві точки перегину, що свідчить про те, що вона не може перевищити максимального значення в один рік при будь-якій помилці прогнозу, незважаючи на збільшення загального періоду часу, що аналізується.

Результатом роботи ЕС є вирішення задачі прогнозування, яке полягає в прийнятті рішення про належність до того чи іншого класу математичної функції процесу змін реальних вимог користувачів до ТМ. База знань системи містить характеристики еталонів 12 класів, які відповідають функціям, серед яких: лінійна, експоненціальна, ступенева, гіперболічна першого, другого та третього типу, логарифмічна, S-подібна, зворотна логарифмічна, модифікована експоненціальна, логістична та крива Гомперца. Система на основі накопиченої статистики забезпечує аналіз, прогнозуван-

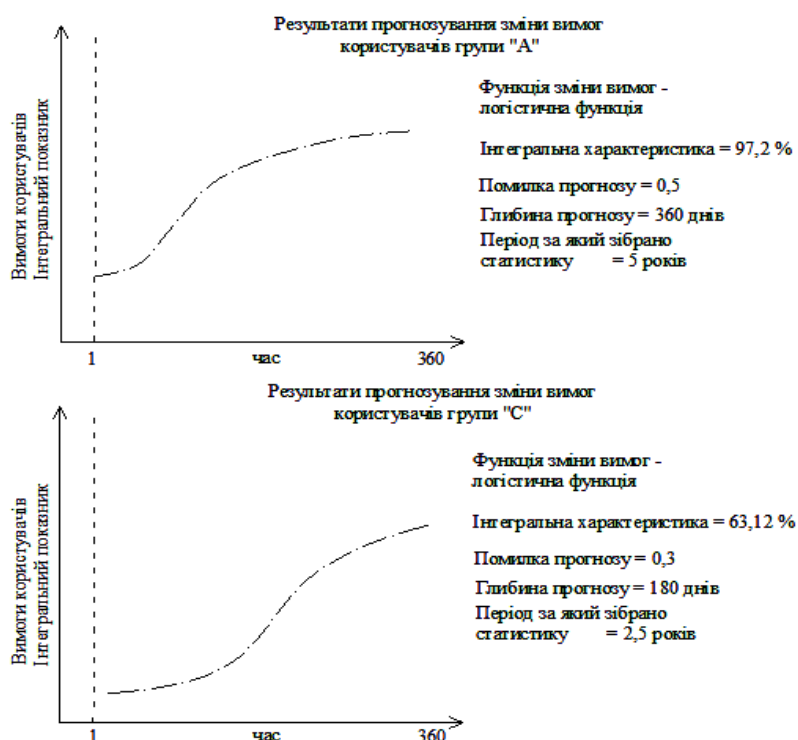


Рис. 7. ШЯ для різних груп користувачів



Рис. 8. Результати використання ЕС для прогнозування вимог групи користувачів

ня та обґрунтування прийняття рішення щодо вимог користувачів, які необхідно врахувати при проектуванні мережі. Особливістю результатів роботи системи є візуалізація аналізу внеску властивостей в інтегральну характеристику, та додаткової інформації для прийняття рішення про належність об'єкта до того чи іншого класу. Результати прогнозування змін вимог користувачів вибраної групи представляються в залежності від помилки прогнозу (що може становити 3...9%), глибини прогнозу (для системи становить до одного року) та періоду, за який зібрано статистику (від 0,5 року).



Ретроспективний аналіз змін вимог користувачів до ТМ, що обслуговує приміську територію, проведений при дослідженні показників ЕС шляхом порівняння результатів із застосуванням ЕС та без неї, показав, що для заданих умов, використання ЕС, яку розроблено в рамках дисертаційної роботи, дозволяє підвищити точність прогнозування на 12% при цьому трудовитрати зменшуються приблизно на 23%. Виконаний аналіз дозволив використати різні математичні функції, які описують поведінку моделі змін вимог користувачів для моделювання різних ситуацій, які мають місце на реальних ТМ.

Перевагою розробленої ЕС є те, що її використання дозволяє підвищити ефективність та точність (а отже - результуючу ресурсну ефективність) проектування ТМ шляхом зменшення його тривалості, а отже трудовитрат та вимог до кваліфікації проектувальників, що підтверджено в актах впровадження ДП «Український науково-дослідний інститут зв'язку» та ПрАТ «Український інститут проектування і розвитку інформаційно-комунікаційної інфраструктури «Діпрозв'язок».

## ВИСНОВКИ

Робота присвячена вирішенню важливої наукової задачі в галузі технічних наук, пов'язаної з підвищенням ефективності проектування телекомунікаційних мереж шляхом формалізації процесу змін вимог користувачів, які до них висувуються та уточнення необхідного обсягу вимірювань параметрів якості надання інфокомунікаційних послуг для підвищення достовірності прогнозування цих вимог.

1. Визначено недоліки та сформовано вимоги до принципів проектування ТМ в сучасних умовах. Виконаний аналіз методів проектування ТМ, показав, що сучасний етап їх розвитку характеризується підвищенням вимог користувачів до якості й умов надання послуг. Існуючі варіанти класифікації користувачів не враховують всі їх особливості, що призводить до зниження точності прогнозування вимог, які висувуються користувачами до ТМ. У свою чергу, низька точність прогнозування вимог користувачів до ТМ не дозволяє чітко планувати розвиток і оцінювати необхідні ресурси для подальшої модифікації ТМ. У зв'язку з цим оператори можуть зазнавати збитків через ресурсну неефективність, а у користувачів ТМ – зростає незадоволеність інфокомунікаційними послугами. Тому доцільним є створення нової класифікації користувачів сучасних ТМ.

2. В результаті аналізу можливих методів класифікації користувачів обрано та обґрунтовано використання алгоритмів ієрархічної агломеративної кластеризації за допомогою трьох методів розрахунку матриць відстаней. При кластерному аналізі, результати якого перевірені за допомогою метода *k*-середніх, за сукупністю ознак виявлено шість класів користувачів. Порівнявши результати ієрархічної класифікації за алгоритмом Уорда з використанням міри відстані Хеммінга, та за алгоритмом *k*-середніх визначена достатня достовірність отриманих результатів.

3. Сформульовано перелік послуг, найбільш характерний для окремих класів користувачів і вимоги цих користувачів до мережі, а також запропоновано рекомендації щодо забезпечення необхідної якості обслуговування для кожного виявленого класу користувачів ТМ, що входять в достовірні групи.

4. Запропоновано багаторівневу модель, яка дозволяє враховувати вимоги користувачів до якості надання ІКП для визначення найбільш адаптованих технологічних реалізацій ТМ та їх параметрів.

5. Показано, що з використанням розробленої багаторівневої моделі для опису вимог користувачів до ТМ доцільно використовувати інтегральний показник якості, який дозволяє враховувати декілька варіативних параметрів одночасно за допомогою багатофакторної регресійної моделі з застосуванням методів робасної статистики, що дозволяє отримувати ефективні оцінки у нестандартних випадках, наприклад, за відсутності нормальності розподілу або ж за наявності аномальних спостережень, тощо.

6. У процесі дослідження для різних умов функціонування ТМ запропоновані аналітичні моделі, які адекватно описують вимоги користувачів та визначено умови застосування математичних функцій для опису змін вимог до мережі.

7. Запропоновано формалізований опис змін вимог користувачів для удосконалення проектування ТМ, заснований на використанні логістичної функції для якої сформульовано математичні умови застосування і ознаки, що визначають особливості розвитку існуючих мереж.

8. Доведено, що використання логістичної кривої для прогнозування процесу змін вимог користувачів до мережі дозволяє виконувати прогноз на достатньо тривалій проміжок часу та отримати величину оцінки помилки прогнозу в залежності від періоду, на який він виконується.

9. Для отримання статистичної інформації щодо процесу змін вимог користувачів запропоновано асимптотично оптимальну процедуру встановлення нижньої, верхньої межі та середнього значення часу проведення вимірювань, які забезпечують достовірність ухвалення вірного рішення з рівнем помилок, що не перевищує заздалегідь заданого.

10. На основі запропонованих підходів до створення моделі змін вимог користувачів до ТМ розроблено експертну систему, результатом роботи якої є розв'язок задачі прогнозування, який полягає в прийнятті рішення про належність функції змін вимог користувачів до того чи іншого класу на основі накопиченої статистики. Проведено аналіз достовірності отриманих результатів, для чого у розроблену систему введено 50 об'єктів, отримані результати свідчать про імовірність помилки 0,03–0,05. Аналіз якості формування навчальної вибірки проведено при перегляді еталонів, шляхом оцінки: кількості екстремумів, частини діапазону, яку покриває функція розподілу, та ступенів наближення значень екстремумів до еталонних.

11. Помилка прогнозу, що видає ЕС, може бути встановлена в межах 0,3...0,9 для отримання прогнозу на період до одного року з заданою достовірністю при наявності зібраної статистики за період довший, ніж 0,5 року. При цьому глибина прогнозу представляє собою логістичну функцію, що має 2 точки перегину, і це свідчить про те, що вона не може перевищити максимального значення в 1 рік при будь-якій похибці прогнозу, незважаючи на збільшення періоду часу, що аналізується.

12. Ретроспективний аналіз змін вимог користувачів до ТМ, що обслуговує приміську територію, проведений при дослідженні показників системи шляхом порівняння результатів із застосуванням ЕС та без неї показав, що, для заданих умов, використання ЕС дозволяє підвищити точність прогнозування, а отже – і результуючу ресурсну ефективність спроектованих ТМ на 12%, при цьому трудовитрати зменшуються приблизно на 23%.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Gayvoronska G. *Analysis of mathematical models describing the requirements for network development* / Galyna Gayvoronska, Oleg Domaskin // *Natural Information Technologies*. – Madrid: ITHEA, 2012. – Vol.6 (№4) – P. 52-58.
2. Olena Domaskina *Some features of information technology development of expert systems used in Ukraine* / Olena Domaskina, Oleg Domaskin // *Information Technologies & Knowledge: Intern. J.* – 2012. – Vol.6 (№4). – P. 346-350.
3. Гайворонская Г.С. *Метод описания изменения количества пользователей телекоммуникационной сети* / Галина Гайворонская, Олег Домаскин // *Information Technologies & Knowledge: Intern. J.* – 2013. – Vol.2 (№4). – P. 345-348.
4. Гайворонська Г.С. *Розробка експертної системи прогнозування вимог користувачів до телекомунікаційної мережі* / Г.С. Гайворонська, О. М. Домаскін, С.В. Сахарова // *Information Technologies & Knowledge: Intern. J.* – 2014. – Vol.8 (№4). – P. 364-368.
5. Гайворонская Г.С. *Оценка возможности прогнозирования потенциальной емкости вновь создаваемой телекоммуникационной сети* / Г.С. Гайворонская, О.М. Домаскин // *Сучасний захист інформації*. – 2013.– № 2. – С. 96-99.
6. Домаскин О.М. *Оценка необходимого объема измерений параметров телекоммуникационных сетей* / О.М. Домаскин // *Сучасний захист інформації*. – 2013. – № 4. – С. 19-22.
7. Домаскин О.М. *Постановка задачи управления наблюдениями при неизвестном значении параметра* / О.М. Домаскин // *Збірник наук. праць / Донецький інститут залізничного транспорту Україн. держ. академії залізничного транспорту*. – Донецьк, 2014.– Вип. 37.– С. 38-41.
8. Домаскин О.М. *Исследование статистических колебаний нагрузки в процессе развития телекоммуникационной сети* / О.М. Домаскин // *Холодильна техніка і технологія*. – 2014. – № 1 (147). – С. 63-67.
9. Galyna Gayvoronska *Formalization of Variation Process of Information Networks' Users' Quantity* / Galyna Gayvoronska, Oleg Domaskin // *Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science: proceedings of the XIth International Conference TCSET'2012, Lviv-Slavsko, Ukraine.: Publishing National University "Lviv Politechnic"*. – 2012. – P. 338-339.
10. Galyna Gayvoronska *Principles of Access Networks Design Considering the Changes in the Number of Users* / Galyna Gayvoronska, Svetlana Sakharova, Oleg Domaskin // *Modern problems of radioengineering, telecommunications and computer science: proceedings of the XII-th. International Conference TCSET'2014, Lviv-Slavsko, Ukraine.: Publishing National University "Lviv Politechnic"*. – 2014. – P. 437.
11. Гайворонская Г.С. *Один из подходов к прогнозированию развития телекоммуникационных сетей* / Г.С. Гайворонская, О.М. Домаскин // *Сучасні інформаційно-комунікаційні технології: COMINFO'2012-Livadia: зб. тез VIII Міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 01-05 жовтня 2012 р. / ДУІКТ*. – К., 2012. – С 111-112.
12. Гайворонская Г.С. *Использование логистической функции для описания процесса изменения емкости телекоммуникационных сетей* / Г.С. Гайворонская, О.М. Домаскин // *Проблеми телекомунікацій: матеріали VI наук.-техн. конф., Київ, 24–27 квітня 2012 р. / НТУУ КПІ*. – К., 2012. – С. 99.
13. Гайворонская Г.С. *Некоторые аспекты разработки математической модели развития телекоммуникационной сети* / Г.С. Гайворонская, О.М. Домаскин //

Проблеми інфокомунікацій. Наука и технологии: материалы I науч.-практич. конф., Харьков, 9–11 октября 2013 г. / ХНУРЭ. – Х., 2013. – С.32-34.

14. Домаскін О.М. Дослідження процесу розвитку телекомунікаційної мережі при коливанні навантаження / О.М. Домаскін // Шевченківська весна – 2014: матеріали XII Міжнарод. наук. – практич. конф. студентів, аспір. та мол. вчених, Київ, 25 – 28 березня 2014 р. - К, 2014. – С. 51

15. Сахарова С.В. Принципи проектування мереж доступу з врахуванням зміни числа користувачів / Сахарова С.В., Домаскін О.М. // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: материалы 18-го Междунар. молодежного форума / ХНУРЭ. – Харьков:, 2014. – С. 201-202.

16. Гайворонская Г.С. Анализ возможности использования аналитических функций произвольного вида для описания требований пользователей на развитие сети / Г.С. Гайворонская, О.М. Домаскин // XII Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем та технологій: матеріали XII Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчен., студ. та аспір., Одеса / ОНАХТ. — О., 2012. - С. 108.

## АНОТАЦІЯ

**Домаскін О.М. «Формалізація вимог користувачів до телекомунікаційних мереж».** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2015.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню важливої наукової задачі в галузі технічних наук, пов'язаної з підвищенням ефективності проектування телекомунікаційних мереж шляхом формалізації процесу змін вимог користувачів, які до них висувуються та уточнення необхідного обсягу вимірювань параметрів якості надання інфокомунікаційних послуг для підвищення достовірності прогнозування цих вимог. Наукова цінність роботи полягає в запропонованій аналітичній моделі врахування змін вимог користувачів, яка дозволяє удосконалити проектування телекомунікаційних мереж, та, на відміну від існуючих, заснована на використанні логістичної функції, для якої сформульовано математичні умови застосування і ознаки, що визначають особливості розвитку мереж. Вперше запропоновано для опису вимог користувачів до ТМ використовувати інтегральний показник якості, який на відміну від існуючих, враховує варіативність декількох параметрів одночасно за допомогою багатofакторної регресійної моделі, з застосуванням методів робасної статистики, яка дозволяє отримувати ефективні оцінки у нестандартних випадках. Вперше запропоновано метод прогнозування змін вимог користувачів, що відрізняється використанням логістичної функції, яка дозволяє визначити помилку прогнозу в залежності від періоду на який він виконується. Отримала подальший розвиток класифікація користувачів телекомунікаційних мереж методами кластерного аналізу за ознаками їх вимог до мереж, які визначаються у порядковій, дихотомічній та кількісній шкалі та сформульовано перелік послуг, найбільш характерний для окремих класів користувачів і вимоги цих користувачів до мережі, що дозволяє операторам коректно планувати розвиток мереж для задоволення потреб користувачів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі формалізованого опису вимог користувачів до надання інфокомунікаційних послуг та розробленої багаторівневої моделі розроблено експертну систему, яка дозволяє підвищити точність проектування за рахунок зменшення трудовитрат та вимог до кваліфікації проектувальників. Запропонований метод встановлення нижньої, верхньої межі та середнього значення часу проведення спостережень забезпечує достовірність ухвалення правильного рішення з рівнем помилок, що не перевищує заздалегідь визначеного, який знаходиться в межах від 3% до 9%. Ретроспективний аналіз змін вимог користувачів до ТМ, що обслуговує приміську територію, проведений при дослідженні показників системи шляхом порівняння результатів із застосуванням ЕС та без неї, показав, що для заданих умов, використання ЕС, яку розроблено в рамках дисертаційної роботи, дозволяє підвищити ефективність і точність прогнозування на 12% при цьому трудовитрати зменшуються приблизно на 23%.

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, класифікація користувачів, вимоги користувачів до телекомунікаційної мережі, багаторівнева модель, експертна система, розвиток мережі, інформаційно-комунікаційні послуги.

## АННОТАЦІЯ

**Домаскин О.М. «Формализация требований пользователей к телекоммуникационным сетям».** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - телекоммуникационные системы и сети. - Национальный университет «Львівська політехніка», Львов, 2015.

Диссертация посвящена решению важной задачи в области технических наук, связанной с повышением эффективности проектирования телекоммуникационных сетей путем формализации процесса изменения требований пользователей, которые к ним предъявляются и уточнения необходимого объема измерений параметров качества предоставления информационно-коммуникационных услуг для повышения достоверности прогнозирования указанных требований. Научная ценность работы заключается в предложенной аналитической модели учета изменения требований пользователей, которая позволяет усовершенствовать проектирование телекоммуникационных сетей, и, в отличие от существующих, основана на использовании логистической функции, для которой сформулированы математические условия применения и признаки, определяющие особенности развития сетей. Впервые предложено для описания требований пользователей к телекоммуникационным сетям использовать интегральный показатель качества, который, в отличие от существующих, учитывает изменчивость нескольких параметров одновременно с помощью многофакторной регрессионной модели, с применением методов робастной статистики, позволяющей получать эффективные оценки в нестандартных случаях. Впервые предложен метод прогнозирования изменения требований пользователей, отличающийся использованием логистической функции, которая позволяет определить ошибку прогноза в зависимости от периода на который он выполняется. Получила дальнейшее развитие классификация пользователей телекоммуникационных сетей методами кластерного анализа по признакам их требований к сетям, которые определяются в порядковой, дихотомической и количественной шкалах. Сформулирован наиболее характерный для отдельных классов пользователей перечень услуг и требования этих пользователей к сети, что

позволяет операторам корректно планировать развитие сетей для удовлетворения потребностей пользователей.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что на основании формализованного описания требований пользователей к предоставлению инфокоммуникационных услуг, а так же многоуровневой модели разработана экспертная система, которая позволяет повысить точность проектирования за счет уменьшения трудозатрат и требований к квалификации проектировщиков. Предложенный метод установления нижней, верхней границы и среднего значения времени проведения наблюдений обеспечивает достоверность принятия правильного решения с уровнем ошибок, не превышающим заранее определенного, который находится в пределах от 3% до 9%. Ретроспективный анализ изменения требований пользователей к телекоммуникационной сети, обслуживающий пригородную территорию, проведенный при исследовании показателей системы путем сравнения результатов с применением экспертной системы и без нее, показал, что для заданных условий, использование ЭС, разработанной в рамках диссертационной работы, позволяет повысить точность и эффективность прогнозирования на 12% при этом трудозатраты уменьшаются примерно на 23%.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, классификация пользователей, требования пользователей к телекоммуникационной сети, многоуровневая модель, экспертная система, развитие сети, информационно-коммуникационные услуги.

## SUMMARY

**Domaskin O.M. «Formalization of users' demands to telecommunication networks». – On rights of the manuscript.**

A thesis submitted in fulfilment of the Ph.D. degree in technical sciences on specialty 05.12.02 – telecommunication networks and systems. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2015.

The dissertation is devoted to the solution of important problem in technical sciences, associated with telecommunication networks' designing efficiency increasing by more accurate forecasting of users' requirements to them and, respectively, by formalization of these requirements' changing process and determining of the required volume of measurements for the information-communication services' quality parameters. The scientific value of the work consists in the proposed analytical model of users' requirements changing's consideration, allowing improvement of telecommunication networks' design. The model, instead of the existing ones, is based on the logistic function, which is being formulated by usage's mathematical conditions and features, determining the networks characteristics. It is firstly proposed to describe users' requirements to telecommunication networks by usage of quality integral indicator, allowing, instead of the existing ones, to take into account simultaneously variability of several parameters by usage of multifactor regression model with robust statistical methods in order to can receive effective evaluation in unusual cases. It is firstly proposed forecasting method for users' requirements change that uses logistic function, allowing determination of the forecasting error depending on the execution period. Telecommunication networks' users classification is further developed by means of cluster analysis methods. The classification is based on users' requirements to the networks, which are described in ordinal, dichotomous and quantitative scale. List of services, which is mostly special to users'

certain classes, is formulated as well as these users' requirements to the network. This allows networks development's proper planning to operators for the users' needs satisfaction.

The practical significance of the results consists in expert system, based on the formal description of users' requirements to information-communication services' rendering and multi-level model. The expert system allows increasing of design accuracy by reducing the labor and requirements for designers' skill. The proposed method of setting the lower, upper limit and mean values of observation time provides reliability of the right decision's adoption with the error rate that does not exceed a predefined, ranging within 3...9%. Retrospective analysis of changes in users' requirements to telecommunication network, serving a suburban area, carried at the research of system performance by comparing the results, obtained by usage of the expert system and without it, showed that the expert system's usage improves the forecasting accuracy and efficiency at 12% as well as reduces the labor at 23%.

**Keywords:** telecommunication network, users' classification, users' requirements to telecommunication network, multi-level model, expert system, network development, informational and communicational services.

### ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ІКП	– інфокомунікаційна послуга;
ТМ	– телекомунікаційна мережа;
НКРЗІ	– Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації;
ІСУ	– інформаційне суспільство України;
ГП	– глобальна інформаційна інфраструктура;
МСЕ	– міжнародний союз електрозв'язку;
ЕС	– експертна система;
ПЗ	– програмне забезпечення;
ІТ	– інформаційні технології;
ВД	– вузол доступу;
SLA	– <i>Service Level Agreement</i> .
SQA	– <i>Service Quality Agreement</i> або <i>Supplier Quality Agreement</i> .
ESPUR	– <i>Expert System for Predicting the User's Requirements</i> .

Свідоцтво про внесення до державного реєстру  
ДК № 3050 від 11.12.2007 р.

Підписано до друку 26.05.2015.  
Формат 60×84/16.  
Папір офсетний.  
умов. друк. арк. 0,92  
Тираж 100. Зам. № \_63\_

Українська академія друкарства  
79020, м. Львів, вул. Підголоско, 19

Віддруковано в НВЛПТ УАД  
79008, м. Львів, пл. Митна, 1

