

УДК 004.75

С. Ф. Теленик, д-р. техн. наук, проф.;**О. І. Ролік**, канд. техн. наук;**О. М. Моргаль**,**О. С. Квітко**, асп.

ЗВЕДЕННЯ МЕТРИК ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ КОРИСТУВАЧІВ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

Розглянуто проблему оцінювання показників функціонування мереж операторів інформаційно-комунікаційних послуг. Виконано аналіз чинників впливу та існуючих рішень. Поставлено задачу агрегування показників оцінювання якості сервісів, заданих у вигляді нечітких множин. Наведено метод побудови функції належності та нечітких правил за допомогою навчальних вибірок даних. Розроблено відповідний алгоритм навчання, який дозволяє будувати функції належності вхідних нечітких змінних і формувати нечіткі правила зведення показників оцінювання якості сервісів.

Оцінювання стану таких складних багатопараметричних систем, як мережі великих операторів інформаційно-комунікаційних послуг вимагає врахування багатьох чинників. У той же час в системах управління таких операторів оцінка стану мережі та її складових, яка надається технічним службам та менеджерам відповідних рівнів для реагування і прийняття рішень, повинна бути досить стислою й інформативною. Виникає необхідність розробити підхід до оцінювання стану мереж операторів на основі складної системи параметрів і простих кількісних загальних показників.

Розв'язання подібних задач для прийняття рішень, управління та моделювання у складних системах операторів на верхніх рівнях пов'язане з необхідністю врахування домінуючого характеру якісних, невизначених та нечітких факторів. Серед методів врахування таких факторів значного поширення набули підходи на основі теорії нечітких множин та нечіткої логіки Л. Заде [1]. Водночас для прийняття якісних рішень в згаданих реальних задачах не знайдено кращого підходу, ніж використання досвіду, знань та інтуїції фахівців-експертів. Тому для розв'язання практичних задач цілком виправданим є комбіноване застосування методів експертних оцінок та підходів на основі теорії нечітких множин [2].

Задачі багатокритеріального оцінювання і вибору рішень з множини альтернативних варіантів у системах управління великих операторів стають актуальнішими з погляду на переміщення акценту з технічних питань на питання бізнесу [3]. Особливого значення набувають задачі оцінювання рівня якості сервісів, які надаються користувачам, і рівня обслуговування користувачів операторами інформаційно-комунікаційних послуг у цілому. Створення ефективних систем управління IT-інфраструктурою великих операторів інформаційно-телекомунікаційних послуг неможливе без розв'язання зазначених задач [4, 5].

У статті пропонується підхід до оцінювання рівня обслуговування користувачів операторами послуг на основі комбінованого застосування методів експертних оцінок та підходів на основі теорії нечітких множин.

1. Оцінювання рівня обслуговування користувачів

Сьогодні інформатизація суспільного життя і виробничої діяльності здійснюється у багатьох напрямках. Одним з найважливіших є розроблення, впровадження і удосконалення великих мереж операторів інформаційно-комунікаційних послуг. З точки зору управління ці мережі є складними системами з чітко вираженим функціональним призначенням. Відповідно критерії управління цими системами повинні концентруватися навколо ефективності виконання ними своїх функцій. Функцій у таких складних системах зазвичай декілька. До того ж із метою спрощення управління цими системами вони розглядаються на декількох взаємопов'язаних рівнях представлення, серед яких

традиційно виділяються рівні ресурсів, мереж, сервісів, користувачів. Тому мова має йти про систему векторів ефективностей виконання окремих функцій, пов'язаних міжрівневими зв'язками.

Особливістю ведення бізнесу у цій галузі сьогодні є наявність потужної ІТ-інфраструктури як основи функціонування нового інформаційного суспільства, в якому користувачі мають можливість вибирати провайдера інформаційно-комунікаційних послуг. Якість інформаційно-комунікаційних сервісів швидко перетворюється у вирішальний чинник успіху чи невдачі бізнесу [3]. У нових умовах міжнародна асоціація провайдерів телекомунікаційних сервісів (ПТС) — Telecommunication Management Forum (TMF) — запропонувала нову модель організації діяльності ПТС у галузі телекомунікацій — enhanced Telecommunication Operating Model (eTOM).

Нова модель є процесно-орієнтованою і «загострює» діяльність ПТС на потреби користувача. До неї включені процеси, необхідні для управління рівнем обслуговування користувачів — Service Level Agreement (SLA) і якістю сервісів — Quality of Service (QoS). Здійснення цих процесів дозволяє визначити характеристики доступності, надійності та якості виконання сервісів, які надаються користувачеві. Саме SLA фіксує ці параметри, щоб забезпечити умови для доставки потрібної інформації відповідним користувачам у визначеному місці і визначений час безпечно і з погодженим рівнем захисту.

Але складність зв'язків і багаторівневість мереж приводить до існування $n \cdot 1000$ різних метрик для вимірювання і оцінювання стану мереж, їх складових і рівня обслуговування користувачів. Метрики рівня користувачів часто носять якісний характер, характеризуються невизначеністю, нечіткістю. До того ж вони носять суб'єктивний характер. Для формування зведених метрик необхідні відповідні методи.

Дійсно, багаторівневість представлення мереж визначає наявність ієрархічних зв'язків між метриками різних рівнів. Так, під час оцінювання задоволеності користувача рівнем обслуговування його оператором всю цю складну задачу можна розбити на кожному ієрархічному рівні за схемою, наведеною на рис. 1.

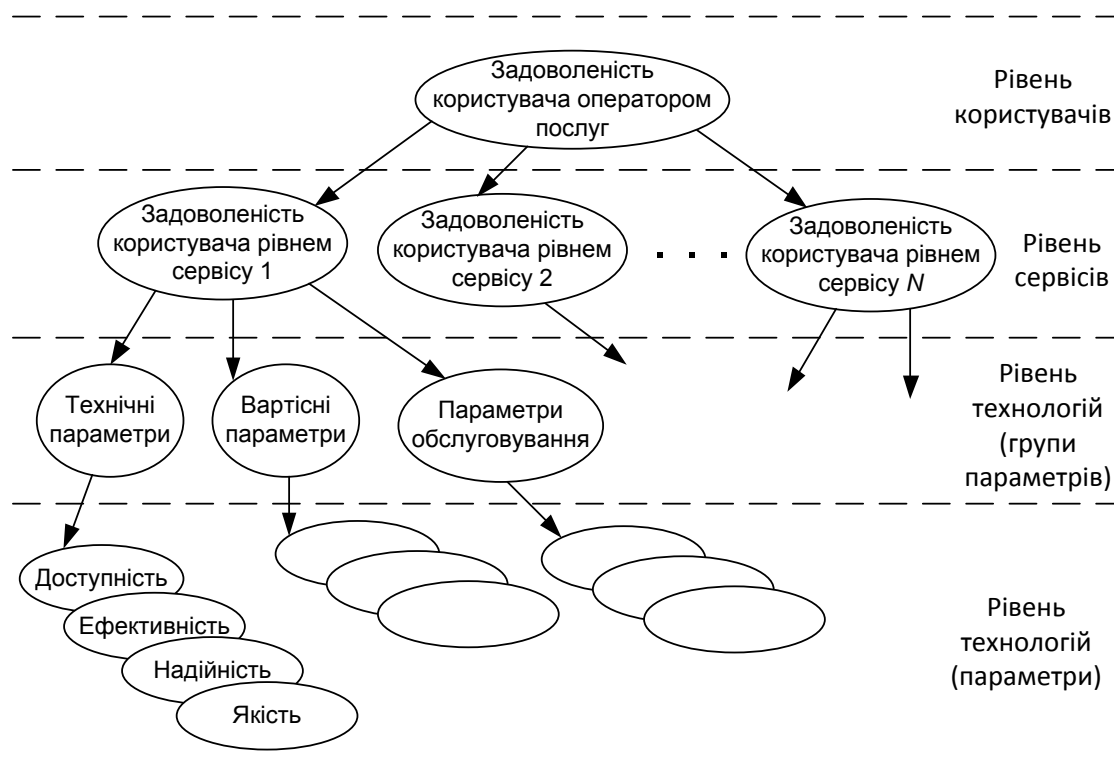


Рис. 1. Система метрик оцінювання задоволеності користувача

Параметри обслуговування для різних сервісів операторів інформаційно-комунікаційних послуг є схожими і можуть бути представлені за допомогою таких метрик:

- зручність у користуванні;
- технічна підтримка;

- стабільність і неперервність обслуговування;
- час визначення причини несправності, про яку повідомив клієнт;
- час усунення несправності, про яку повідомив клієнт.

Зупинимося на сервісах, яких сьогодні найбільше потребують користувачі, насамперед таких, як Інтернет і передавання голосу цифровими лініями VoIP. Система їх оцінок наведена на рис. 2 і рис. 3 відповідно.

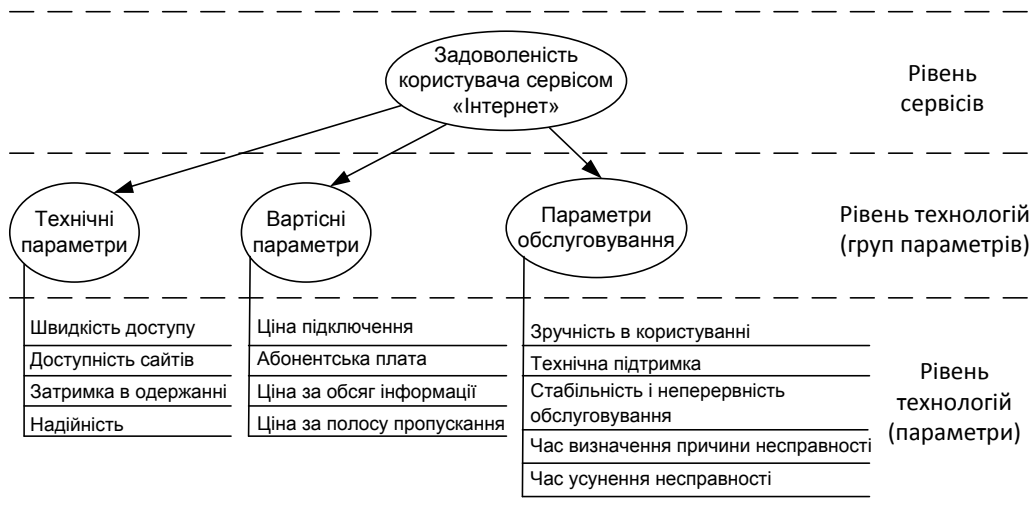


Рис. 2. Система оцінок сервісу Інтернет

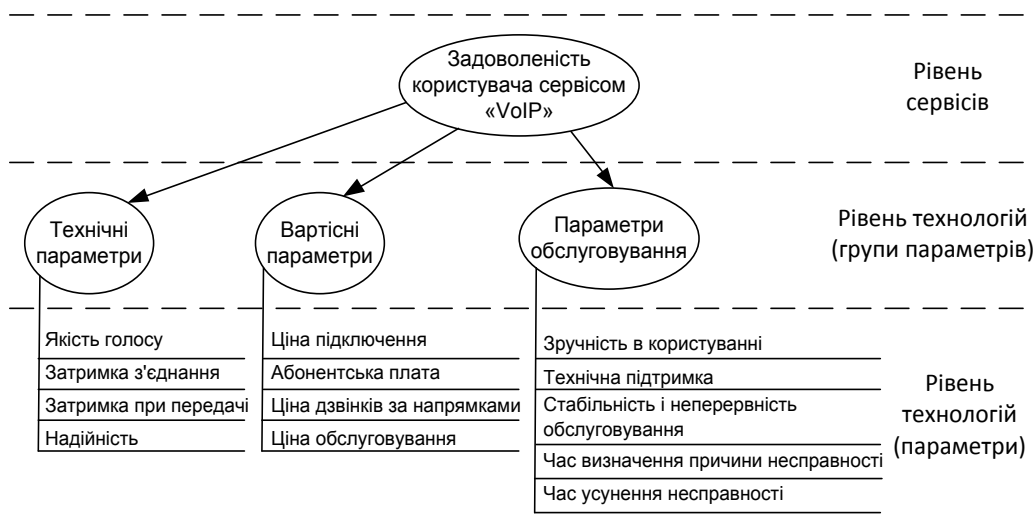


Рис. 3. Система оцінок сервісу VoIP

Таким чином, одночасне врахування технічних параметрів, що надаються найчастіше в цифровому вигляді з можливістю обчислення їх значень на основі аналітичних залежностей, у поєднанні з лінгвістичними змінними, що найчастіше представляють параметри обслуговування і цінові параметри, дає можливість за допомогою методу нечіткого логічного висновку отримати інтегральну характеристику задоволеності користувача рівнем обслуговування його оператором. При цьому власне зведення параметрів доцільно базувати на основі експертних оцінок, оскільки оцінки користувачів мають суб'єктивний характер.

2. Огляд існуючих рішень

Усвідомивши важливість комплексного оцінювання мереж ПТС, сервісів, які ними надаються, розробники засобів автоматизації запропонували декілька програмно-апаратних рішень, наприклад, [6].

Складність проблем оцінювання зумовлена розмірами мереж та організаційних структур підприємств діяльності ПТС, необхідністю пов'язати в єдиній системі управління багато чинників, у тому числі тих, які раніше не враховувалися, багатокритеріальністю, невизначеністю та ризиками, притаманними процесам діяльності ПТС, які підлягають автоматизації. Зміщення акцентів в оцінюванні у бік проблем бізнесу вимагає побудови нових залежностей між станом мережі та її елементів і бізнес-метриками.

Виділення у великих мережах згаданих вище чотирьох основних рівнів привело до вибудовування на кожному з них своєї системи оцінювання якості. Окремі технологічні показники технологій і обладнання послідовно зводяться у релевантні показники функціонування технологій і обладнання — key performance indicators (KPI). На основі KPI визначаються релевантні для рівня сервісів показники якості — key quality indicators (KQI). Вони забезпечують вимірювання специфічних аспектів функціонування продуктів, сервісів та їх елементів на основі KPI, а також інформації з інших джерел. На основі сервісних KQI визначаються узагальнені KQI для оцінювання продуктів, які пропонуються користувачу. Саме KQI часто включаються в SLA. А вже на рівні користувачів використовуються також специфічні для користувачів показники QoS, які дозволяють оцінити виконання послуги. Специфіка системи метрик полягає в тому, що метрики вищих рівнів, які обчислюються на основі метрик нижніх рівнів, уже дають узагальнені значення, які приховують вплив окремих метрик нижнього рівня. Так, усі метрики, розпочинаючи з рівня сервісів, є технологічно нейтральними.

Потреба в агрегуванні метрик в інтегровані показники цього ж або вищого рівня, привела до появи зручних і ефективних для обчислення формальних моделей системи метрик, наприклад, [6]. Але для зведення різних типів метрик потрібні різноманітні методи, які б враховували особливості метрик, джерел походження інформації тощо. Застосування моделей на основі систем масового обслуговування дозволило побудувати ефективний інструментарій визначення низки традиційних і сучасних технологій за відомих припущень, а використання моделей системного аналізу, побудованих на методах теорії графів, надало можливість відмовитися від деяких з них, насамперед припущення щодо незалежності потоку у кожному вузлі мережі. Також застосовуються методи дослідження операцій, теорія корисності, моделі і методи штучного інтелекту [7, 8].

Загалом існують добре продумані підходи до комплексного оцінювання метрик нижніх рівнів, наприклад, [9, 10]. Але проблема розроблення моделей і методів зведення метрик вищих рівнів, особливо з урахуванням аспектів бізнесу ПТС, у цілому ще не розв'язана. З'явилися цікаві ідеї щодо управління параметрами SLA з урахуванням бізнес-інтересів [11, 12], але не врахований весь спектр чинників впливу, особливості нових видів провайдерів і користувачів.

Варто зазначити, що чим вищий рівень аналізу мереж операторів, тим більше невизначеність впливає на оцінювання його показників. Тому вважається виправданим застосування теорії нечітких множин і нечіткої логіки, що дозволить відмовитися від припущення щодо стаціонарності потоків і розширити вибір законів розподілу часу надходження заявок та їх обслуговування. Так, загальну оцінку задоволеності користувача сервісом чи загальну оцінку сервісу дуже зручно моделювати у термінах нечітких множин, а агрегування показників здійснювати за допомогою правил нечіткої логіки. В умовах нечіткого опису системи і/або нечітко сформульованих критеріїв, ці методи можна ефективно застосовувати для оптимізації параметрів мереж і управління ними, оскільки вони дозволяють більш адекватно представити процеси у мережах. Моделювання впливу суб'єктивних переваг користувачів щодо оцінювання сервісів і продуктів найкращим чином можна здійснити за допомогою експертів.

Враховуючи зазначене вище та постійні зміни у IT-інфраструктурі, доцільно поєднати теорію нечітких множин і нечіткої логіки з експертними методами. Задачу зведення метрик на основі групового експертного оцінювання можна сформулювати таким чином. Нехай є множина запропонованих метрик $M = \{Mi\}$, $i = 1, \dots, n$, та експертний комітет — $E = \{Et\}$, $t = 1, \dots, k$. Тоді необхідно сформулювати зведену метрику $M_{зв}$, що у найкращий спосіб характеризує вищий рівень з точки зору заданої цілі управління мережею.

Для розв'язання подібних задач звичайно експертним комітетом E визначається набір важливих критеріїв $C = \{Cc\}$, $c = 1, \dots, h$, з якими запропоновані метрики множини M будуть входити у зведену метрику $M_{зв}$ [13]. Критерії множини C , за якими експерти будуть оцінювати внесок метрик у формування $M_{зв}$, можуть відрізнятися за своєю важливістю і, в результаті, мати різний вплив на розв'язання задачі, причому кожний експерт може мати свою думку щодо ранжування та розподілу ваг критеріїв. Тому доцільно, щоб кожний експерт Et надавав свої індивідуальні вагові коефіцієнти

енти Wct для кожного критерію Cc , де $c = 1, \dots, h$, $t = 1, \dots, k$. До того ж, доцільним вважається врахування значимості, досвіду, рівня підготовки, посади та інших характеристик експертів. Для цього експертним комітетом E , колегіально чи його головою, задаються вагові коефіцієнти Vt оцінок експертів Et , $t = 1, \dots, k$.

Потім метрикам Mi , $i = 1, \dots, n$, кожним експертом Et , $t = 1, \dots, k$, за кожним критерієм Cc , $c = 1, \dots, h$, надаються окремі суб'єктивні експертні оцінки $Sict$. Зазначимо, що перевага за одним із критеріїв не залежить від того, які значення приймають оцінки певної метрики за іншими критеріями [13].

В практичних задачах прийнятним виявляється використання процедури зведення задачі багатокритеріального вибору до задачі однокритеріального вибору. Таким чином, оцінювання внеску метрик буде відбуватись за узагальненою агрегованою оцінкою кожної метрики Mi , $i = 1, \dots, n$, — ступенем важливості Ai , $i = 1, \dots, n$, метрики для формування зведеної метрики $Mзв$ [13].

Для знаходження узагальнених агрегованих оцінок метрик з урахуванням невизначеностей, притаманних зведенню метрик на вищих рівнях, доцільно застосовувати системи нечіткого логічного висновку. Така система для отримання узагальнених оцінок метрик має h входів (кількість критеріїв оцінювання) та один вихід — власне узагальнена оцінка метрики і використовується для кожної метрики Mi , $i = 1, \dots, n$, та для кожного експерта Et , $t = 1, \dots, k$, окремо. Тобто така система нечіткого логічного висновку відпрацює $n \cdot k$ циклів, за кожний з яких на вхід системи подають оцінки $Sict$ за критеріями Cc , $c = 1, \dots, h$, метрики Mi від експерта Et , а на виході отримують узагальнену чітку оцінку A_{it}^E метрики Mi від експерта Et .

Потім на основі узагальнених за критеріями оцінок A_{it}^E та вагових коефіцієнтів експертів Vt , де $i = 1, \dots, n$, $t = 1, \dots, k$, здійснюється операція знаходження остаточної агрегованої оцінки Ai кожної метрики Mi — ступеня важливості її внеску у зведену метрику $Mзв$, де $i = 1, \dots, n$. Для розрахунку таких агрегованих оцінок звичайно використовують зважену суму

$$A_i = \frac{\sum_{t=1}^k V_t \cdot A_{it}^E}{\sum_{t=1}^k V_t}. \quad (1)$$

Після цього зведену метрику $Mзв$ отримуємо за допомогою такого виразу:

$$\sum_{i=1}^n A_i Z_i, \quad (2)$$

де Z_i — нормоване значення метрики M_i ; $i = 1, \dots, n$.

Справа в тому, що діапазони зміни значень метрик $z_{i\min} \dots z_{i\max}$ можуть відрізнятися один від іншого як за величиною, так і за знаком. І в цьому випадку нормоване значення найчастіше нормують до діапазону $0 \dots 100$ за формулою

$$Z_i = \frac{100z_i}{z_{i\max} - z_{i\min}},$$

де z_i — конкретне значення метрики M_i .

Система нечіткого логічного висновку — це зручний механізм розв'язання подібних задач, який забезпечує прозорість процедур, легкість їх корегування, надає можливість враховувати кількісні та якісні метрики. Однак, за наявних переваг ці системи мають істотний недолік, який полягає у великій трудомісткості побудови бази правил. Дійсно, оскільки кожний член експертного комітету може мати своє переконання щодо важливості того чи іншого критерію, то для підвищення якості рішення доцільно для оцінок кожного експерта E_t за відпрацювання згаданих вище циклів застосовувати його індивідуальну думку щодо рівня важливості критеріїв, яка виражається у вагових коефіцієнтах критеріїв W_{lt} , де $l = 1, \dots, h$, $t = 1, \dots, k$. Проте структура правил нечіткого логічного висновку зумовлює врахування важливості критеріїв в самих правилах, тобто причинно-наслідкові зв'язки між входами та виходом, які сформульовані в тому чи іншому правилі, за своїм змістом та суттю визначають залежність величини виходу від вхідних значень та взаємного відносного рівня важливості вхідних значень. Тому для врахування індивідуальних переваг і уподобань кожного експерта щодо рівня важливості оцінок за критеріями найбільш коректним виявляється

створення та використання індивідуальних баз правил для кожного експерта [6]. Зрозуміло, що такий підхід у реальних задачах зведення метрик виявляється занадто дорогим і унеможлиблює використання систем нечіткого логічного висновку та їх переваг. Тому необхідно розробити практично придатніший підхід.

3. Постановка задачі

До системи метрик для вимірювання і оцінювання мереж ПТС, їх складових, якості сервісів та продуктів належать кількісні та якісні метрики. Використання оцінок для управління мережами ПТС на практиці потребує методик зведення кількісних та якісних метрик у зведені метрики того ж самого чи вищих рівнів, які б забезпечували отримання результатів у прийнятний час.

Необхідно розробити підхід до застосування системи нечіткого логічного висновку, який забезпечить врахування індивідуальних переваг кожного експерта щодо рівня важливості критеріїв оцінювання та буде придатним для застосування у практичних задачах.

4. Загальний підхід до оцінювання

Для практичного оцінювання мереж ПТС, їх складових, якості сервісів та продуктів з метою управління цими мережами на основі нечіткого логічного висновку із залученням експертного комітету пропонується застосовувати єдину для всіх експертів систему нечіткого логічного висновку із зваженою істинністю, розроблену у праці [14] і успішно апробовану у праці [15] для задач вибору проектів і відповідного фінансування.

Система нечіткого логічного висновку. Система нечіткого логічного висновку традиційно включає такі компоненти: фазифікатор; механізм логічного висновку; дефазифікатор. Фазифікатор визначає ступінь належності вхідних значень x_c , $c = 1, \dots, h$ до нечітких множин входу — лінгвістичних змінних з відповідної лінгвістичної шкали $T_{x_c} = \{T_{x_c}^1, T_{x_c}^2, \dots, T_{x_c}^{m_{xc}}\}$, де m_{xc} — кількість лінгвістичних змінних у шкалі для c -го входу, яка, як правило, є рівною для всіх входів. Необхідність фазифікації зумовлена використанням у системі нечіткого логічного висновку лінгвістичних правил, оскільки вона здійснюється для визначення ступеня істинності кожної передумови кожного правила.

Ядром механізму логічного висновку є база лінгвістичних правил $Rules = \{Rule_j\}$, $j = 1, \dots, r$, кожне з яких має такий вигляд [2]:

$$Rule_j = \text{«якщо } x_1 \in T_{x_1}^{any} \text{ і } x_2 \in T_{x_2}^{any} \dots \text{ і } x_h \in T_{x_h}^{any}, \text{ то } y^j \in T_y^{any}\text{»}. \quad (3)$$

Правила $Rule_j$ можуть бути задані експертами чи отримані із статистичних даних. Механізм логічного висновку відображає вхідні нечіткі множини $T_{x_c}^{any}$, $c = 1, \dots, h$, кожного правила у вихідну множину T_y^{any} з набору вихідних лінгвістичних змінних $T_y = \{T_y^1, T_y^2, \dots, T_y^{m_y}\}$. При цьому порядок виконання правил не впливає на результат — правила аналізуються і виконуються паралельно. Вихідні нечіткі множини y^j кожного правила об'єднуються в одну нечітку множину висновку \tilde{y} .

Дефазифікатор відображає нечітку множину висновку \tilde{y} у чітке число \bar{y} , яке і буде результатом роботи системи нечіткого логічного висновку для заданих вхідних значень x_c , $c = 1, \dots, h$. Тобто діапазон вихідних значень перетворюється в одне зручне для подальшого використання числове значення. На практиці використовуються такі методи дефазифікації, як центроїдний, максимуму, центру максимумів, висотна дефазифікація [2].

Нехай база $Rules$ правил вигляду (2) побудована. Стисло опишемо процес формування висновку у системі нечіткого логічного висновку. На етапі фазифікації визначаються ступені належності вхідних значень x_c , $c = 1, \dots, h$ до нечітких множин входу, тобто визначаються ступені істинності $\mu_c^j(x_c)$ для кожної передумови кожного правила $Rule_j$. Потім для кожного правила на основі ступенів істинності передумов μ_c^j визначається ступінь його виконання α_j . Для цього застосовують композицію на основі оператора мінімуму

$$\alpha_j = \min(\mu_1^j(x_1), \mu_2^j(x_2), \dots, \mu_n^j(x_n)), j = 1, \dots, r. \quad (4)$$

Для кожного правила на основі ступеня виконання $\alpha_j, j = 1, \dots, r$, розраховується результат його виконання — вихідна нечітка множина з усіченою функцією належності $\ddot{\mu}^j(y)$. Визначення усіченої функції належності, тобто операція імплікації, здійснюється за допомогою оператора мінімуму (за Мамдані [16])

$$\ddot{\mu}^j(y) = \min(\alpha_j, \mu^j(y)), j = 1, \dots, r \quad (5)$$

або на основі оператора добутку (за Ларсеном [2])

$$\ddot{\mu}^j(y) = \alpha_j \cdot \mu^j(y), j = 1, \dots, r. \quad (6)$$

Робота механізму логічного висновку завершується тим, що вихідні нечіткі множини виконаних правил за допомогою оператора максимуму агрегуються в нечітку множину виходу \tilde{y} , функція належності якої має вигляд

$$\mu_{\tilde{y}} = \max(\ddot{\mu}^1(y), \ddot{\mu}^2(y), \dots, \ddot{\mu}^r(y)). \quad (7)$$

Метод дефазифікації нечіткої множини, який застосовується для знаходження остаточного чіткого результату \bar{y} , вибирається в залежності від конкретної задачі. Придатним для багатьох класів задач та найпоширенішим є центроїдний метод. Він полягає у знаходженні центру ваги (центроїду) нечіткої множини \tilde{A} , який і обирається за результат A :

$$A = \frac{\int_{C_1}^{C_n} x f_{\tilde{A}}(x) dx}{\int_{C_1}^{C_n} f_{\tilde{A}}(x) dx}. \quad (8)$$

У популярній системі нечіткого логічного висновку Сугено база правил $Rules = \{Rule_j\}$, $j = 1, \dots, r$, складається з правил, виходом яких є чітке значення, що визначається лінійною функцією

$$Rule_j = \langle \text{якщо } x_1 \in T_{x_1}^{any} \text{ і } x_2 \in T_{x_2}^{any} \dots \text{ і } x_n \in T_{x_n}^{any}, \text{ то } \bar{y}^j = \sum_{i=1}^n a_i^j x_i + c^j \rangle, \quad (9)$$

де a_i^j ($i = 1, \dots, n$); c^j — константи [17].

Остаточний результат логічного висновку \bar{y} розраховується як зважене середнє чітких результатів \bar{y}^j виконаних правил, в якому ваговими коефіцієнтами виступають ступені виконання правил α_j . Однак звичайна система не враховує важливі для практики обмеження на час отримання потрібних оцінок, необхідних для управління мережею. Тому застосовується система нечіткого логічного висновку із зваженою істинністю.

Система нечіткого логічного висновку із зваженою істинністю. Опорна база правил у цій системі є єдиною для всього комітету і створюється консолідовано групою експертів $E = \{Et\}$, $t = 1, \dots, k$. Важливість $Wl = 1/h$ для всіх критеріїв $C = \{Cl\}$, $l = 1, \dots, h$, під час складання правил приймається рівною. У разі застосування запропонованої системи нечіткого логічного висновку для кожного експерта Et , $t = 1, \dots, k$, відбувається корегування процесу логічного висновку з урахуванням його індивідуальних значень вагових коефіцієнтів Wct критеріїв Cc , $c = 1, \dots, h$.

Звичайно вагові коефіцієнти Wct є нормованими і в таких випадках доцільно їх використовувати як корегувальні множники. Тобто в системі нечіткого логічного висновку за таким методом ступінь істинності кожної передумови μ_c^j , що відповідає критерію Cc правила $Rule_j$, помножується на відповідний ваговий коефіцієнт Wct . Тоді за (4) ступінь виконання α_j правила $Rule_j$, застосовуючи системи нечіткого логічного висновку для експерта Et , буде визначатись таким чином:

$$\alpha_j = \min(W_{1t} \cdot \mu_1^j(x_1), W_{2t} \cdot \mu_2^j(x_2), \dots, W_{ht} \cdot \mu_h^j(x_h)). \quad (10)$$

Для експертних оцінок метрик відповідно

$$\alpha_j = \min(W_{1t} \cdot \mu_1^j(S_{ict}), W_{2t} \cdot \mu_2^j(S_{ict}), \dots, W_{ht} \cdot \mu_h^j(S_{ict})).$$

Однак, у такому випадку значення оцінки за менш важливим критерієм, якому відповідає менше значення вагового коефіцієнта, буде спричиняти значний вплив на значення ступеня виконання α_j всього правила, тому що у процедурах композиції (4) та імплікації (5) відповідно до логічного «І» використовується оператор мінімуму [14]. Отже, може виникати ситуація штучного заниження значення ступеня виконання певного правила α_j . Вочевидь, такий спосіб зважування ступенів істинності передумов правил для цієї проблеми не є коректним.

Впровадження зворотних вагових коефіцієнтів $1 - W_{ct}$ в якості корегувальних множників теж не забезпечує коректного відображення вагових співвідношень між значеннями оцінок за критеріями у розрахунку ступенів виконання правил. У такій ситуації найбільший вплив також може спричинити оцінка за менш важливим критерієм (у разі меншого ступеня істинності передумови за цією оцінкою).

Для коректного врахування різних значень вагових коефіцієнтів оцінок експертів та забезпечення адекватної участі кожної оцінки у формуванні значення ступенів виконання правил і відповідно результатів логічного висновку, використовуючи єдину базу правил, пропонується для визначення ступеня виконання α_j правила в процедурі композиції ступенів істинності передумов правила (4, 10) замість оператора мінімуму використовувати певний спеціальний апарат зваженої агрегації значень ступенів істинності $\mu_c^j(x_c)$ передумов правила. При цьому правило виконується, якщо значення ступеня істинності $\mu_c^j(x_c)$ кожної передумови правила більше нуля. Запропонована система нечіткого логічного висновку зі зваженою істинністю фактично сполучає позитивні моменти ідей Мамдані, Ларсена та Сугено.

Іноді обчислювальна простота робить доцільним застосування у процедурі композиції (4) зваженої суми значень оцінок, тобто лінійної комбінації значень оцінок за всіма критеріями та їх вагових коефіцієнтів. У цьому випадку ступінь виконання α_j правила $Rule_j$, застосовуючи системи нечіткого логічного висновку для експерта E_b , буде визначатись таким чином:

$$\alpha_j = \sum_{c=1}^h W_{ct} \cdot \mu_c^j(x_c), \mu_c^j(x_c) > 0. \quad (11)$$

Для задачі зведення метрик, яка розглядається у статті, операція композиції для правила $Rule_j$ в процедурі нечіткого логічного висновку системи зі зваженою істинністю для метрики M_i та експерта E_i формулюється так:

$$\alpha_j = \sum_{c=1}^h W_{ct} \cdot \mu_c^j(S_{ict}), \mu_c^j(S_{ict}) > 0. \quad (12)$$

Необхідно зазначити, що система нечіткого логічного висновку зі зваженою істинністю не є існуючою зваженою системою нечіткого логічного висновку. Ідея зваженої системи нечіткого логічного висновку полягає у тому, що кожному правилу $Rule_j$ надається своє значення ваги.

5. Приклад застосування системи нечіткого логічного висновку зі зваженою істинністю

Розглянемо застосування системи нечіткого логічного висновку зі зваженою істинністю для оцінювання задоволеності користувача рівнем обслуговування його Інтернет-сервісом. Параметр обслуговування (див. рис. 2) оцінюється через такі метрики:

- зручність у користуванні — M_1 ;
- технічна підтримка — M_2 ;
- стабільність і неперервність обслуговування — M_3 ;
- час визначення причини несправності, про яку повідомив клієнт — M_4 ;
- час усунення несправності, про яку повідомив клієнт — M_5 .

Таким чином, є п'ять метрик $M = \{M_i\}$, $i = 1, \dots, 5$. Експертний комітет складається з чотирьох експертів $E = \{E_t\}$, $t = 1, \dots, 4$. Необхідно у найкращий спосіб звести ці метрики до зведеної метрики «задоволеність обслуговуванням».

Кожний експерт E_t для кожної метрики M_i надає оцінки S_{ict} за трьома критеріями $C = \{C_c\}$, $c = 1, 2, 3$: C_1 — важливість метрики для користувача; C_2 — важливість метрики для ПТС; C_3 — вагомість метрики у зведеній метриці. Експерти $E = \{E_t\}$ для критеріїв оцінювання $C = \{C_c\}$ задають індивідуальні вагові коефіцієнти W_{ct} .

Нормовані значення вагових коефіцієнтів критеріїв та критеріальні експертні оцінки метрик наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Критеріальні експертні оцінки метрик

Експерт, E_t	Критерій, C_c	Вага, W_{ct}	Оцінки метрик, M_i				
			M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
E_1	C_1	0,443	0,532	0,605	0,791	0,623	0,592
	C_2	0,372	0,421	0,451	0,482	0,411	0,403
	C_3	0,185	0,353	0,225	0,321	0,380	0,322
E_2	C_1	0,534	0,627	0,725	0,625	0,592	0,711
	C_2	0,325	0,551	0,621	0,731	0,631	0,595
	C_3	0,141	0,383	0,456	0,352	0,452	0,392
E_3	C_1	0,582	0,680	0,712	0,630	0,581	0,705
	C_2	0,275	0,610	0,580	0,710	0,632	0,570
	C_3	0,143	0,445	0,381	0,411	0,491	0,365
E_4	C_1	0,482	0,632	0,680	0,731	0,592	0,692
	C_2	0,335	0,710	0,671	0,621	0,712	0,585
	C_3	0,183	0,403	0,452	0,392	0,482	0,407

Для отримання узагальнених оцінок метрики від кожного експерта критеріальні оцінки кожного експерта агрегуємо за допомогою системи нечіткого логічного висновку зі зваженою істинністю.

Система має 3 входи, що відповідають критеріям оцінювання, та одне вихідне значення — ступінь важливості метрики. Лінгвістичні змінні, що відповідають вхідним значенням (рис. 4), мають по три значення: мала, середня, велика (інтенсивність значення метрики). Лінгвістична змінна виходу системи нечіткого логічного висновку рис. 5 також має три градації: низька, середня, висока (ступінь важливості). Для відповідних нечітких множин входу та виходу застосовуються трикутні функції належності.

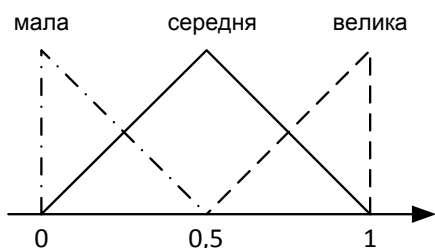


Рис. 4. Лінгвістична змінна входу

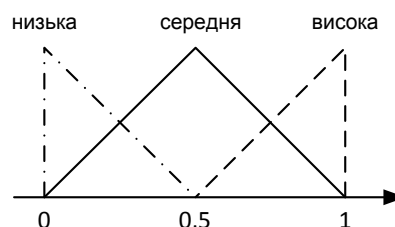


Рис. 5. Лінгвістична змінна виходу

База правил системи нечіткого логічного висновку наведена в табл. 2. Ступінь виконання кожного правила визначається за (10), а процедура імплікації за Мамдані (4).

База правил прикладу

№	Правила нечіткого логічного висновку			
	Вхідні значення			Вихідне значення
	важливість для користувача	важливість для ПТС	вагомість у зведеній метриці	Ступінь важливості
1	мала	мала	мала	низька
2	мала	мала	середня	низька
3	мала	мала	велика	середня
4	мала	середня	мала	низька
5	мала	середня	середня	середня
6	мала	середня	велика	середня
7	мала	велика	мала	середня
8	мала	велика	середня	середня
9	мала	велика	велика	середня
10	середня	мала	мала	низька
11	середня	мала	середня	середня
12	середня	мала	велика	середня
13	середня	середня	мала	середня
14	середня	середня	середня	середня
15	середня	середня	велика	середня
16	середня	велика	мала	середня
17	середня	велика	середня	середня
18	середня	велика	велика	висока
19	велика	мала	мала	середня
20	велика	мала	середня	середня
21	велика	мала	велика	висока
22	велика	середня	мала	середня
23	велика	середня	середня	середня
24	велика	середня	велика	висока
25	велика	велика	мала	висока
26	велика	велика	середня	висока
27	велика	велика	велика	висока

Розглянемо функціонування системи нечіткого логічного висновку зі зваженою істинністю для отримання агрегованих значень оцінок експерта E_1 для метрики M_1 . У системі нечіткого логічного висновку для значень критеріальних оцінок з табл. 1 експерта E_1 для метрики M_1 спрацювали правила 10, 11, 13, 14, 19, 20, 22, 23. У табл. 3 наведена процедура розрахунку значень істинності передумов та ступеня виконання для правил 10, 11, 20.

Значення агрегованих за допомогою системи нечіткого логічного висновку оцінок всіх експертів для всіх метрик наведені у табл. 4.

Приклад виконання правил 10, 11, 20

№	Критерії оцінювання, входи правила СНЛВ			Вихід правила
	C_1	C_2	C_3	
	$W_{11}=0,443$	$W_{21}=0,372$	$W_{31}=0,185$	
10	<p>0,92 × 0,443 + 0,16 × 0,372 + 0,29 × 0,185 = 0,521</p>	<p>0,92 × 0,443 + 0,16 × 0,372 + 0,71 × 0,185 = 0,598</p>	<p>0,08 × 0,443 + 0,16 × 0,372 + 0,71 × 0,185 = 0,226</p>	<p>низька</p> <p>0,521</p>
11	<p>0,92 × 0,443 + 0,16 × 0,372 + 0,71 × 0,185 = 0,598</p>	<p>0,08 × 0,443 + 0,16 × 0,372 + 0,71 × 0,185 = 0,226</p>	<p>середня</p> <p>0,598</p>	
20	<p>0,08 × 0,443 + 0,16 × 0,372 + 0,71 × 0,185 = 0,226</p>	<p>середня</p> <p>0,226</p>		

Таблиця 4

Агреговані за допомогою системи експертні оцінки метрик

Експерт, E_t	Оцінки метрик M_i, A_{it}^E				
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
E_1	0,149	0,219	0,266	0,224	0,223
E_2	0,207	0,331	0,329	0,206	0,312
E_3	0,292	0,323	0,304	0,185	0,317
E_4	0,348	0,309	0,350	0,248	0,286

Тепер для подальшого розв'язання задачі знайдемо остаточну узагальнену оцінку кожної метрики — ступінь її важливості для зведеної метрики. Рівень експертів будемо вважати однаковим, і розрахуємо ступені важливості як середні значення агрегованих експертних оцінок метрик за (1). Результати подані у табл. 5.

Таблиця 5

Остаточні оцінки метрик

Ступінь важливості метрики, A_i	Оцінки метрик, M_i				
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
Розраховане значення	0,249	0,296	0,312	0,216	0,285
Нормоване значення	0,183	0,218	0,230	0,159	0,210

Відповідно до знайдених нормованих значень ступенів важливості метрик з табл. 5 на основі формули (2) можна визначати конкретне значення зведеної метрики $M_{зв}$, якщо задані конкретні значення z_1, \dots, z_5 для метрик M_1, \dots, M_5 , відповідно.

Висновки

Запропонований підхід до зведення кількісних і якісних метрик для оцінювання мереж ПТС. Застосування системи нечіткого логічного висновку зі зваженою істинністю забезпечує врахування індивідуальних вагових коефіцієнтів критеріїв оцінювання метрик для кожного експерта у разі застосування експертним комітетом єдиної бази правил системи нечіткого логічного висновку.

Відпадає необхідність побудови і використання індивідуальних баз правил для кожного експерта у процесі застосування системи нечіткого логічного висновку для розв'язання задач із залученням комітету експертів.

Подальший розвиток досліджень пов'язаний з розширенням набору методик зведення метрик для різних їх типів, розробленням підходів до спрощення і автоматизації процесу побудови бази правил системи нечіткого логічного висновку як експертним способом, так і з наявних статистичних даних систем, об'єктів, процесів та явищ, що досліджуються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zadeh L. A. Fuzzy Sets / L. A. Zadeh // Information and Control. — 1965. — № 8. — P. 338—353.
2. Коршевнюк Л. А. Решение задачи распределения инвестиций на основе нечеткого логического вывода / Л. А. Коршевнюк, П. И. Бидюк // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2003. — № 2. — С. 34—42.
3. SLA Management Handbook. Vol. 1. Executive Overview. Ver. 2.1. TeleManagement Forum. — 2005. — 39 p.; Vol. 2. Concepts and Principles. Release 2.5. — TeleManagement Forum. — 2005. — 218 p.; Vol. 3. Service and Technology Examples. Ver. 2.1. — TeleManagement Forum. — 2005. — 89 p.
4. Система управління інформаційно-телекомунікаційною системою корпоративної АСУ / [С. Ф. Теленик, О. І. Ролік, М. М. Букасов, Р. Л. Соколовський] // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — К. : «ВЕК+». — 2006. — № 45. — С. 112—126.
5. Теленик С. Ф. Моделі управління розподілом обмежених ресурсів в інформаційно-телекомунікаційній мережі / С. Ф. Теленик, О. І. Ролік, М. М. Букасов // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — К. : Екотех. — 2006. — № 44. — С. 243—246.
6. Boutaba R. Cyber Planner: A comprehensive toolkit for network service providers / R. Boutaba, J. Xiao, J. Aib — IEEE, 2008. — P. 382—386.
7. Automated Availability Management Driven by Business Policies / [Cai Z., Chen Y., Kumar V., Milojicic D., and other] // 10th IFIP/IEEE Symposium on Integrated Management (IM). — 2007. — P. 264—273.
8. Catanis I. An Introduction to the cognitive concept as a cost-effective method for network performance management / I. Catanis // Wireless Communications and Networking Conference, IEEE. — 2008. — P. 3197—3201.
9. Framework for IP performance metrics / [Paxson V., Almes G., Mahdavy J., Mathis M.] // RFC 2330, Informational. — May. 1998.
10. Mahdavy J. IPPM metrics for measuring connectivity / J. Mahdavy, V. Paxson // RFC 2678/ Proposed Standard. — September. 1999.
11. On the stability of adaptive service management / [Bergnum K., Burgess M., Jonassen T. M., Fagernes S.] // Transactions on Network and Service Management. — 2006. — Vol. 2. — № 1. — P. 13—21.
12. Utility computing SLA management based upon business objectives / [Bucu M. J., Chang R. N., Luan L. Z., and other] // IBM Systems Journal. — 2004. — Vol. 43. — № 1. — P. 159—178.
13. Коршевнюк Л. А. Решение задачи распределения инвестиций между альтернативными проектами / Л. А. Коршевнюк, П. И. Бидюк // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. — Випуск 17. — Київ, 2002. — С. 26—33.
14. Коршевнюк Л. О. Система нечіткого логічного виводу із зваженою істинністю / Л. О. Коршевнюк, М. Ю. Мінін // Единое информационное пространство '2004 : сборник докладов II-й Международной научно-практической конференции. — Днепропетровск: ИПК ИнКомЦентра УГХТУ, 2004. — С. 114—117.
15. Метод формування логічного висновку із залученням експертного комітету / [С. Ф. Теленик, П. І. Бидюк, Л. О. Коршевнюк, В. С. Хмелюк] // Проблеми програмування. — 2008. — № 4. — С. 73—83.
16. Mamdani E. H. Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis / E. H. Mamdani // IEEE Transactions on Computers. — 1977. — V. 26, No. 12. — P. 1182—1191.
17. Sugeno M. An introductory survey of fuzzy control / M. Sugeno // Information Sciences. — No 36, 1985. — P. 59—83.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Стаття надійшла до редакції 2.02.11

Рекомендована до друку 4.02.11

Теленик Сергій Федорович — професор, **Ролік Олександр Іванович** — доцент, **Моргаль Олег Михайлович** — старший викладач, **Квітко Олена Сергіївна** — аспірант.

Кафедра автоматики та управління в технічних системах, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ