

МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОСЛУГ МЕТОДОМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

© Гоц Н., Мельник В., 2011

Розглянуто методи оцінювання якості продукції і послуг, перелічено переваги апарату нечіткої логіки для застосування його в кваліметрії, запропоновано алгоритм оцінювання якості продукції і послуг з використанням нечіткої логіки і наведено два приклади його застосування.

Ключові слова: методи оцінювання якості продукції і послуг, нечітка логіка, алгоритм оцінювання.

The article reviewed existing methods for evaluating the quality of products and services, advantages of fuzzy logic system for its use in qualimetry, proposed algorithm for evaluating the quality of products and services using fuzzy logic and gives two examples of its application.

Keywords: methods for evaluating the quality of products and services, fuzzy logic, evaluation algorithm.

Актуальність та постановка задачі

Однією з найважливіших характеристик будь-якої продукції є її якість. Причому, якщо на етапі виробництва можна говорити про технічний рівень якості продукції, то з виходом продукції на масовий ринок для споживачів поняття якості все сильніше переходить в область невимірних характеристик. Врешті-решт під якістю продукції починають розуміти загальну міру задоволеності споживача. Як відомо, кожний предмет володіє практично нескінченною кількістю властивостей, які разом становлять його якість. Але із цієї нескінченної кількості характеристик якості продукції необхідно виділити лише ті властивості, які в певний момент цікавлять з погляду задоволення особистих або суспільних потреб. Саме тому поняття “якість продукції” завжди пов’язане зі ступенем задоволення певних потреб індивідуума чи суспільства. Тому актуальним є завдання контролю суб’єктивної задоволеності клієнта за допомогою оцінювання об’єктивних показників якості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Нами було розглянуто і проаналізовано основні, відомі сьогодні методи оцінювання якості продукції (табл. 1). Кожен з розглянутих методів має певні недоліки, а саме: диференційний метод не дає загальної оцінки якості продукції; комплексний метод дає оцінку тільки за однією характеристикою; економічний метод показує тільки рентабельність продукції. Ці методи дають змогу оцінити лише технічний рівень певної продукції порівняно з іншою. Лише за експертним методом можна врахувати, крім технічних показників продукції, також естетичні, ергономічні, органолептичні тощо, які майже не піддаються оцінюванню іншими методами, але основним недоліком експертного методу є притаманний йому суб’єктивізм, а також явище конформізму – вплив переважаючої в групі думки на думку експерта [1].

Можна зробити висновок, що всі ці методи дають змогу оцінити тільки технічний рівень продукції, а отже, оцінити тільки відповідність технічним вимогам, тобто оцінити продукцію з боку виробника. Але категорія “якість” істотно залежить від суб’єктивного задоволення споживачів. Якість – це ступені відповідності НД, функціональному призначенню і задоволеності споживача. В умовах сучасних ринкових відносин саме споживач визначає якість товару [2].

Мета дослідження

Тому нашим завданням стало розроблення методу оцінювання якості продукції та послуг, який би дав змогу оцінити якість продукції з врахуванням потреб споживача. Для цього доцільно використати математичний апарат нечіткої логіки, який дає змогу оперувати нечіткими вхідними даними.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика відомих методів оцінювання якості

№ з/п	Метод	Особливості застосування
1	Диференційний	Кількісно оцінюються окремі властивості виробу, що дає змогу приймати конкретні рішення щодо управління якістю продукції. У результаті використання цього методу відбувається процес порівняння рівня якості за різними показниками продукції.
2	Комплексного оцінювання	Застосовують у тих випадках, коли найдоцільніше оцінювати технічний рівень складних виробів тільки одним числом.
3	Змішаний метод	Заснований на сумісному застосуванні одиничних і комплексних (групових) показників якості. Одночасно використовують диференційний і комплексний методи.
4	Економічного оцінювання	Рівень якості залежить від економічного ефекту, який дорівнює різниці між результатом економічної дії Р і сумарними затратами З на його отримання
5	Експертного оцінювання	Експертні методи застосовуються для вирішення таких завдань: формулювання і уточнення мети оцінювання якості продукції, розроблення класифікації продукції, побудова ієрархічної структурної і споживчої схем показників якості, визначення коефіцієнтів вагомості показників, визначення базових значень показників та ін.

Обґрунтування доцільності застосування математичного апарату в кваліметрії

Коротко перелічимо переваги fuzzy-систем порівняно з іншими:

- можливість оперувати вхідними даними, заданими нечітко: наприклад, що динамічно змінюються в часі значення (динамічні задачі), значення, що неможливо задати однозначно (результати статистичних опитувань, рекламні кампанії, оцінювання якості послуг різними споживачами тощо);

- можливість нечіткої формалізації критеріїв оцінювання і порівняння: оперування критеріями “більшість”, “можливе”, “переважно” тощо (можливість врахування суб’єктивних оцінок звичайних споживачів та їх формалізація);

- можливість проведення якісного оцінювання як вхідних даних, так і виведених результатів: ви оперуєте не тільки власне значеннями даних, але їхнім ступенем вірогідності (не плутати з імовірністю!) і її розподілом;

- можливість швидкого моделювання складних динамічних систем та їхнього порівняльного аналізу із заданим ступенем точності: оперуючи принципами поведінки системи, описаними fuzzy-методами, ви, по-перше, не витрачаєте багато часу на з’ясування точних значень змінних і складання рівнянь, що їх описують, по-друге, можете оцінити різні варіанти вихідних значень [3].

Отже, розглянутий апарат є доволі перспективним і актуальним сьогодні і буде залишатися таким ще довго, оскільки в сучасному світі є багато нечітких джерел інформації, які потребують формалізації, розрахунку.

На основі аналізу математичного апарату нечіткої логіки було визначено доцільність його використання для оцінювання якості продукції та послуг, оскільки він має такі переваги:

- можливість врахування суб’єктивних характеристик продукції і послуг поряд з їх технічними характеристиками;

- моделювання виробником оцінки якості їхньої продукції і послуг з боку споживача;

- врахування нечітких умов, заданих лінгвістичними змінними.

Об'єктами для оцінювання якості можуть бути як продукція, так і послуги. Нами сформульовано вимоги до об'єкта оцінювання якості – окремо до продукції та до послуги.

Для наближеного до об'єктивного оцінювання продукція повинна володіти наступними характеристиками:

- параметри продукції, які характеризують технічний рівень продукції;
- декілька технічних характеристик, які можна подати чисельно, але вони сприймаються споживачами по-різному (тобто для одного чогось може бути достатньо, для іншого цього може бути мало);
- характеристикою, яку можна подати виключно лінгвістичною змінною (не обов'язкова умова).

Для послуги існують такі критерії:

- характеристики послуги, які можна виміряти і подати чисельно, але різними споживачами вони сприймаються по-різному;
- суб'єктивні характеристики надання послуги, які не піддаються вимірюванню.

Ми розробили і запропонували алгоритм оцінювання якості продукції та послуг з використанням нечіткої логіки, зображений на рис. 1.

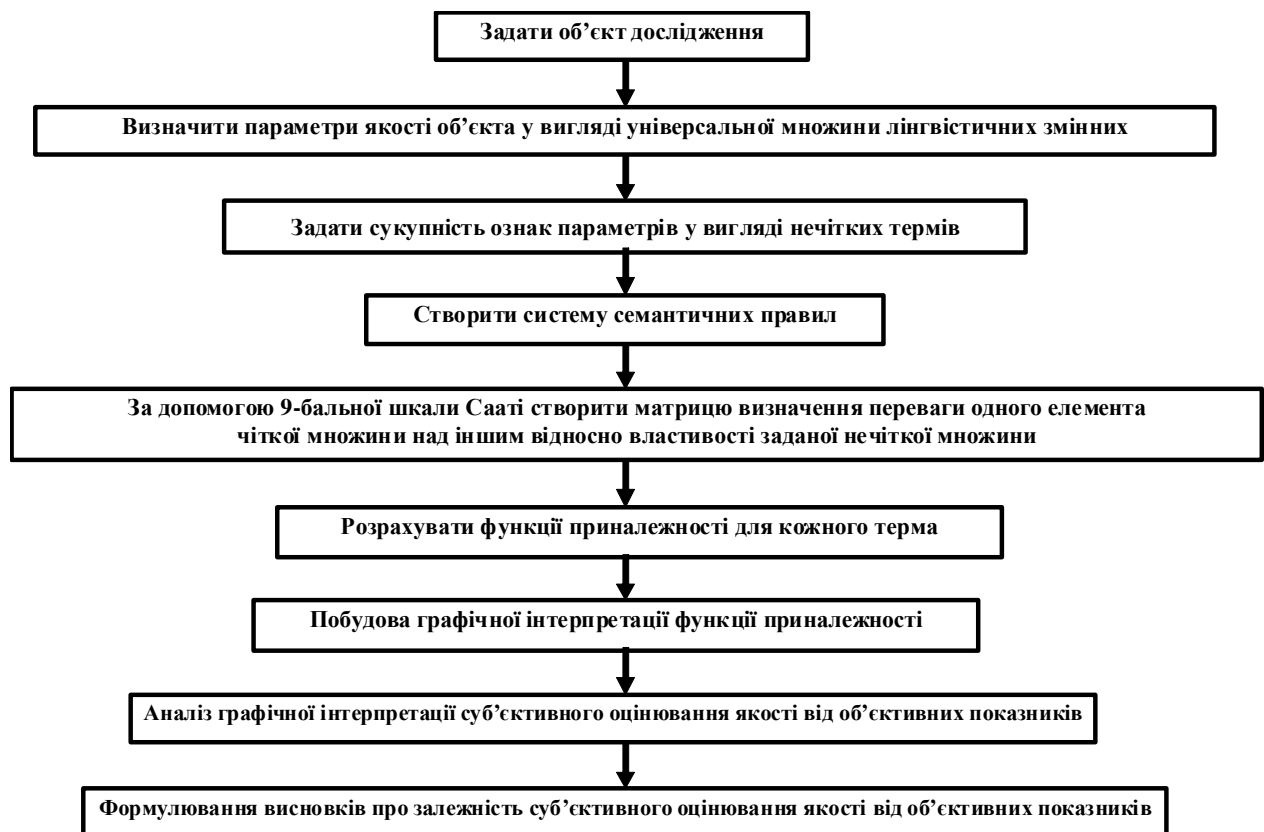


Рис. 1. Алгоритм оцінювання якості продукції та послуг з використанням нечіткої логіки

Для початку потрібно обрати об'єкт оцінювання, який відповідає сформульованим вище вимогам. Об'єктом оцінювання може бути як продукція, так і послуга. Далі визначаються основні характеристики якості оцінюваного об'єкта. Кожній обраній характеристиці потрібно задати межі, в яких вона буде розглядатися. Цей етап можна здійснити, досліджуючи характеристики реальних моделей продукції чи послуг. Також присвоюємо їм терм-множини, наприклад, високий, середній і низький показники [4]. Після цих операцій створюємо систему семантичних правил, за якими обраховуватимуться всі вхідні характеристики. Наступним кроком є створення матриць попарного порівняння для кожної терм-множини характеристики на основі 9-бальної шкали Сааті, яка показує,

наскільки конкретне число характеристики відповідає певній терм-множині. За цими матрицями розраховуємо функції приналежності (вектори, інтерполяція).

На основі отриманих розрахунків можна вводити їх в графічну інтерпретацію. Для цього ми користувалися програмним математичним пакетом Matlab. Проаналізувавши отримані графіки, можна зробити висновки про рівень якості оцінюваних об'єктів і про залежність якості від вхідних величин[5].

Продемонструємо застосування вищеописаного алгоритму на оцінюванні якості продукції (наушників) і послуги надання зв'язку. Наушники є таким товаром, для якого є різні категорії споживачів. У цьому випадку ми будемо розглядати споживачів, яким найважливіша чистота звучання. Оберемо параметри, які є найважливішими характеристиками наушників. Ми вибрали 3 основні параметри, а саме: верхню і нижню межі відтворюваних частот і коефіцієнт гармонічних спотворень. Тобто, ми матимемо 3 вхідні величини, а на виході у нас буде рівень якості. Для встановлення меж обраних величин було розглянуто декілька десятків наушників різних цінкових категорій і виробників. У табл. 2 наведено лінгвістичні змінні, їхні терми і межі.

Таблиця 2

Змінні системи нечіткого виводу

X	x1	Назва змінної	Верхня межа частотного діапазону
		Терм-множина	{низька, середня, висока}
		Межі значень	[15, 30] кГц
	x2	Назва змінної	Нижня межа частотного діапазону
		Терм-множина	{низька, середня, висока}
		Межі значень	[2, 30] Гц
	x3	Назва змінної	Коефіцієнт гармонічних спотворень
		Терм-множина	{низький, середній, високий}
		Межі значень	[0.1, 3] %
Y	Назва змінної	Якість	
	Терм-множина	{низька, середня, висока}	
	Межі значень	[1,3]	

З означенням лінгвістичних змінних можна створити систему правил у символічній формі.

1. (верхня межа=висока)&(нижня межа=низька)&(спотворення=низький) =(якість=висока)
2. (верхня межа=висока)&(нижня межа=низька)&(спотворення=середній) =(якість=висока)
3. (верхня межа=висока)&(нижня межа=низька)&(спотворення=високий) =(якість=середня)
4. (верхня межа=висока)&(нижня межа=середня)&(спотворення=низький) =(якість=висока)
5. (верхня межа=висока)&(нижня межа=середня)&(спотворення=середній) =(якість=висока)
6. (верхня межа=висока)&(нижня межа=середня)&(спотворення=високий) =(якість=середня)
7. (верхня межа=висока)&(нижня межа=висока)&(спотворення=низький) =(якість=висока)
8. (верхня межа=висока)&(нижня межа=висока)&(спотворення=середній) =(якість=середня)
9. (верхня межа=висока)&(нижня межа=висока)&(спотворення=високий) =(якість=середня)
10. (верхня межа=середня)&(нижня межа=низька)&(спотворення=низький) =(якість=висока)

Аналогічним чином – двійкового лічильника – перебираємо всі можливі комбінації. Їх число дорівнюватиме 27.

Після задання всіх змінних, функцій приналежності і правил нечіткої бази знань можна приступати до аналізу роботи побудованої системи. Для цього зручно скористатися графічною інтерпретацією у вигляді поверхонь приналежності, приклади яких наведено на рис. 2– 4.

Розглянувши і проаналізувавши отримані графіки, ми побачимо, що існує певна зона середньої якості за певних параметрів наушників. Якість наушників, яка перевищує 2.5 бали, знаходяться в крайніх областях кращих значень оцінюваних параметрів наушників.

У наступному прикладі розглянемо оцінювання якості послуги надання зв'язку. Мережі зв'язку, так само як і пристрої зв'язку, прийнято описувати набором технічних характеристик. У момент, коли мережа зв'язку і набір надаваних нею технічних можливостей стануть послугою

зв'язку, всі характеристики мережі зв'язку успадковуються послугою зв'язку. Однак у послуги зв'язку виникають і свої нові характеристики, що дають змогу краще позиціонувати й відокремити її від інших послуг. Однією з найважливіших характеристик будь-якої послуги зв'язку є її якість. Причому якщо на початковому етапі можна говорити про якість як про результат сукупного впливу об'єктивних характеристик мережі зв'язку, то з виходом на масовий ринок послуг зв'язку для непрофесійних користувачів поняття якості усе сильніше йде в область невимірних характеристик. В остаточному підсумку під якістю послуг зв'язку починають розуміти загальну міру суб'єктивної задоволеності споживача.

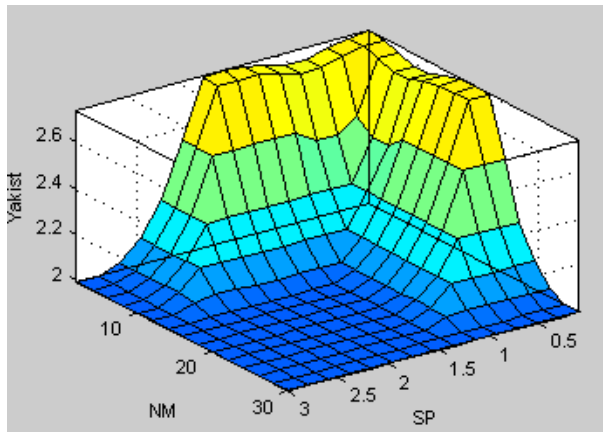


Рис. 2. Залежність суб'єктивної оцінки якості від об'єктивних показників (нижня межа частотного діапазону і коефіцієнт гармонічних спотворень)

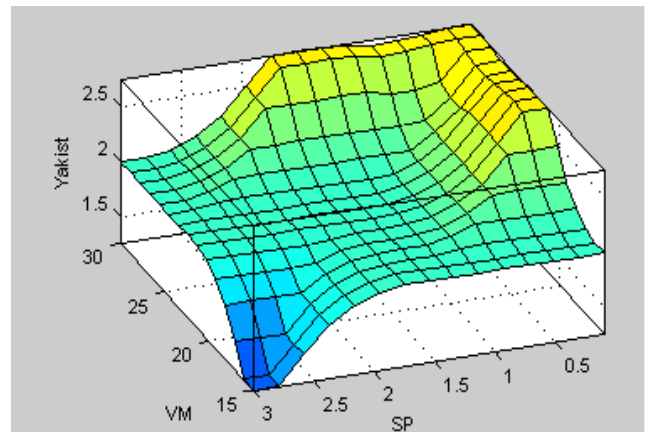


Рис. 3. Залежність суб'єктивної оцінки якості від об'єктивних показників (верхня межа частотного діапазону і коефіцієнт гармонічних спотворень)

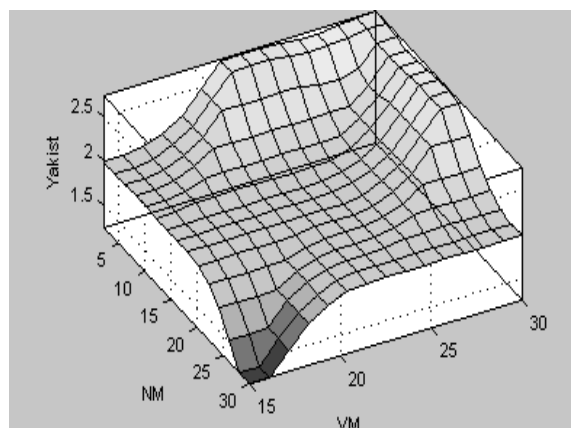


Рис. 4. Залежність суб'єктивної оцінки якості від об'єктивних показників (верхня межа частотного діапазону і нижня межа частотного діапазону)

Коли послуга зв'язку стає ринковою послугою в повному змісті цього слова, вона починає підкорятися законам ринку. Зокрема, широко відомий закон, що клієнт завжди правий. Насправді, першорядним завданням телекомунікаційної компанії, що надає послуги зв'язку на конкурентному ринковому просторі, стає завдання збільшення прибутку через збільшення клієнтської бази. На шляху підвищення прибутку й лояльності клієнтів телекомунікаційної компанії доводиться починати говорити із клієнтами однією мовою. Непрофесійним споживачам послуг зв'язку (а їх є більшість) властиво висувати до послуг зв'язку такі вимоги: “відсутність перерв зв'язку”, “гарна чутність і розбірливість мови” і т.д. За рівнем задоволеності цих суб'єктивних вимог до якості зазвичай і вибирають послугу.

Легко зрозуміти, що наведені суб'єктивні вимоги до якості є по суті своєю функцією від об'єктивних показників якості й результату їхньої взаємодії з характеристиками трафіка. Також легко помітити, що суб'єктивні вимоги до якості є цільовими показниками, але при цьому вони не

можуть бути виміряні. Об'єктивні показники якості можуть бути виміряні з високою точністю, але це не говорить користувачеві рівно нічого. З'являється необхідність контролю суб'єктивної задоволеності клієнта через оцінку об'єктивних показників якості. Таке завдання, з врахуванням мультисервісності сучасних мереж, необхідно вирішувати не для конкретного випадку, а для максимально можливого спектра послуг зв'язку. Вирішенням поставленого завдання може стати система оцінювання якості, що ґрунтується на спеціальному математичному ядрі, що однаково вільно оперує об'єктивними й суб'єктивними величинами. Скористаємося теорією нечітких множин і апаратом нечіткої логіки для формування ядра системи.

Для забезпечення принципу єдності вимірювання необхідно вибрати об'єктивні показники якості так, щоби вони були добре відомі, однозначно зрозумілі й адекватно передавали підсумкову картину якості. Найзручніше для цього скористатися рекомендаціями Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ). Так, для поширених мереж пакетної комутації на основі ІР-Протоколу МСЕ випустив рекомендації Y.1221, Y.1540, Y.1541. У рекомендації Y.1540 подано об'єктивні показники якості, які варто контролювати, визначаючи рівень послуг у мережах ІРv4 і ІРv6. У рекомендації Y.1221 подано докладний опис і схеми вимірів величин цих показників обслуговування, що мінімізує можливість різночитань під час вимірів. Рекомендація Y.1541 вводить поняття класів обслуговування (Network Quality of Service Classes), прив'язуючи їх до різних видів користувальницьких послуг і застосувань. У цій же рекомендації наведено числові значення для параметрів, визначених в Y.1540, які також зіставляються із класами обслуговування (табл. 3.2).

Таблиця 3

Класи обслуговування за рекомендаціями МСЕ Y.1541

Параметри продуктивності мережі	Класи обслуговування					
	Клас 0	Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4	Клас 5 (невизначений)
Затримка	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Н
Джиттер	50 мс	50 мс	Н	Н	Н	Н
Ймовірність втрат	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	Н

Таблиця 4

Змінні системи нечіткого виводу

X	x1	Назва змінної	затримка
		Терм-множина	{низька, середня, висока}
		Межі значень	[0, 450] мс
	x2	Назва змінної	джиттер
		Терм-множина	{низький, високий}
		Межі значень	[0, 90] мс
	x3	Назва змінної	ймовірність втрат
		Терм-множина	{низька, висока}
		Межі значень	$[1 \times 10^{-10}, 1 \times 10^{-1}]$ %
Y	Назва змінної	якість послуг	
	Терм-множина	{низька, середня, висока}	
	Межі значень	[1,3]	

Розглянемо реалізацію послуги передачі голосу поперх ІР-Протоколу (VoIP) з кодеком G.711. Згідно з Y.1541 цей вид послуг може функціонувати при забезпеченні якості за класом 0 або 1. Відповідно при забезпеченні класу 0 якість зв'язку буде доброю й клієнти будуть задоволені, при забезпеченні класу 1 якість середня й клієнтів доведеться залучати додатковими засобами. За інших умов якість зв'язку буде занадто низькою. З табл. 3 видно, що для забезпечення класу обслуговування 0 необхідне забезпечення низької затримки, низького джиттера й низьких втрат. Для забезпечення обслуговування за класом 1 припустимий діапазон затримки може бути

збільшений до середніх значень. Міркуючи таким чином, ми можемо легко сформувати повний набір лінгвістичних змінних і правил для побудови системи нечіткого виводу. Для зручності всі змінні зведено в табл. 4. Система правил у символічній формі матиме вигляд:

1. (затримка=низька)&(джиттер=низький)&(втрати=низькі)=(якість=висока)
2. (затримка=середня)&(джиттер=низький)&(втрати=низькі)=(якість=середня)
3. (затримка=низька)&(джиттер=високий)&(втрати=низькі)=(якість=низька)
4. (затримка=середня)&(джиттер=високий)&(втрати=низькі)=(якість=низька)
5. (затримка=висока)&(джиттер=високий)&(втрати=низькі)=(якість=низька)
6. (втрати=високі)=(якість=низька)

Для остаточного формування системи нечіткого виводу необхідно відобразити введені лінгвістичні змінні на множину відповідних їм дійсних чисел шляхом задання функцій приналежності. Будемо оцінювати перевагу одного елемента чіткої множини над іншим стосовно властивості заданої нечіткої множини за допомогою 9-бальної шкали Сааті. Матриця парних порівнянь для функції приналежності нечіткої множини “низька затримка” матиме вигляд, як у табл. 5. Знаходячи власний вектор матриці, одержимо значення ступенів приналежності для даної нечіткої множини (табл. 5). Інтерполювавши опорні значення, одержимо функції приналежності, наведені на рис. 6.

Таблиця 5

Матриця парних порівнянь для функції приналежності нечіткої множини “низький джиттер”

Джиттер, мс	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	1	1	1	3	7	9	9	9	9	9
10	1	1	1	3	7	9	9	9	9	9
20	1	1	1	3	5	9	9	9	9	9
30	1/3	1/3	1/3	1	3	5	5	5	7	9
40	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	3	3	5	7
50	1/9	1/9	1/9	1/5	1	1	1	3	3	5
60	1/9	1/9	1/9	1/5	1/3	1	1	1	1	3
70	1/9	1/9	1/9	1/5	1/3	1/3	1	1	1	3
80	1/9	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1
90	1/9	1/9	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1

Таблиця 6

Ступені приналежності для нечіткої множини “низький джиттер”

Джиттер, мс	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\mu(U_i)$	1.0000	1.0000	0.9562	0.4823	0.2330	0.1663	0.1070	0.0965	0.0794	0.0619

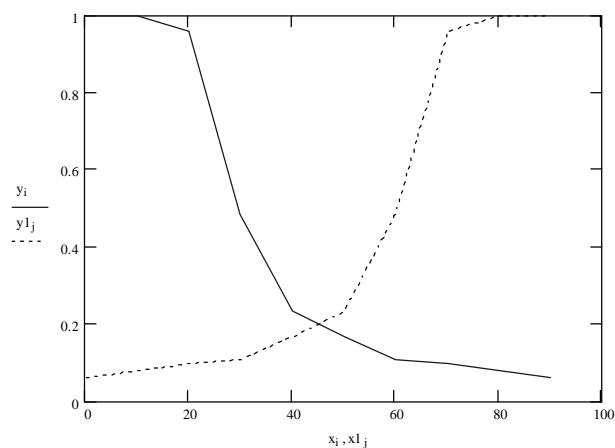


Рис. 5. Функція приналежності множин “низький джиттер” і “високий джиттер”

Після задання всіх змінних, функцій приналежності і правил нечіткої бази знань можна приступати до аналізу роботи побудованої системи. Для цього зручно скористатися графічною інтерпретацією у вигляді поверхонь приналежності, які будуть схожими на вищенаведені тривимірні графіки. Аналогічно будуюмо функції приналежності для множин “низька затримка”, “середня затримка” і “висока затримка”. Система оцінювання якості на основі нечіткої моделі дає змогу легко поширити отримані результати на будь-які інші послуги зв'язку. Для цього достатньо задати нову матрицю парних порівнянь, із чим може впоратися навіть одна людина. Отже, система оцінювання якості послуг зв'язку на основі нечіткої логіки дає змогу контролювати суб'єктивну задоволеність клієнтів рівнем різних послуг через об'єктивні показники якості цих послуг. Розроблення нечіткої системи оцінювання практично не потребувала від нас ні точних знань про значення показників якості, ні залучення численних експертів.

Висновки

Використання нечіткої логіки в кваліметрії розкриває нові можливості для оцінювання якості продукції та послуг, оскільки дає змогу оцінити якість з врахуванням думки різних верств споживачів. Під час оцінювання якості продукції та послуг експертам легше оцінити властивості продукції та послуг лінгвістичними термами, ніж числами. Методика оцінювання якості продукції та послуг на основі нечіткої логіки дає змогу контролювати суб'єктивне задоволення клієнта рівнем їх якості з використанням об'єктивних показників якості. Сформульований алгоритм оцінювання якості дає змогу досліджувати залежність якості продукції та послуг залежно від значень показників якості. Принциповою новизною цього підходу є те, що можна визначити області зміни параметрів, які забезпечують високий рівень якості продукції або послуги. Ці ділянки забезпечують можливість оптимізації рівня якості продукції чи послуги з врахуванням обмежень на область допустимих значень змін параметрів.

1. Варжапетян А. Г. *Кваліметрія: учеб. пособие.* – СПб.: СПбГУАП, 2005. – 176 с.
2. Азгальдов Г.Г. *Теория и практика оценки качества товаров.* – М: Экономика, 1989. – 256 с.
3. Орловский С.А. *Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации.* – М.: Наука, 1981. – 208 с.
4. Заде Л. *Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений.* – М.: Мир, 1976. – 165 с.
5. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.* – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.