ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне інформаційне суспільство характеризується стрімким зростанням обсягів цифрового трафіку та ускладненням процесів обміну даними, що висуває підвищені вимоги до ефективності систем управління мережевими ресурсами. Надійність функціонування інфокомунікаційних мереж визначає стабільність роботи критично важливих сервісів, які забезпечують діяльність державних, бізнесових та соціальних структур. Порушення якості роботи мереж здатне призвести до затримок у передаванні даних, зниження доступності сервісів та виникнення значних економічних збитків. Це зумовлює потребу у вдосконаленні механізмів управління якістю, здатних забезпечити стабільність і передбачуваність роботи мережевої інфраструктури в умовах динамічних змін. Класичні підходи вже не задовольняють зростаючі вимоги користувачів та організацій, тому модернізація методів управління стає ключовим напрямом розвитку галузі. Підвищення складності мережевих середовищ підсилює потребу у створенні адаптивних рішень, здатних забезпечувати сталий рівень якості обслуговування.

Розширення спектра цифрових послуг, зростання кількості підключених пристроїв та ускладнення топологій мереж формують нові виклики для систем управління. Ручні або статичні методи контролю більше не забезпечують необхідної точності та своєчасності реагування на зміни навантаження і стан мережевих елементів. Водночас підвищується значення гнучких та адаптивних рішень, здатних підтримувати оптимальні показники якості за мінімальних витрат ресурсів. Актуальність дослідження підсилюється зростанням залежності суспільства від високоякісних комунікацій, що роблять можливими дистанційну освіту, електронну комерцію та цифрові адміністративні послуги. У таких умовах удосконалення методів забезпечення стабільності роботи мереж розглядається як важлива передумова надійності

інфраструктури в цілому. Наявність нових сценаріїв використання мережевих ресурсів вимагає переосмислення принципів управління та впровадження більш досконалих підходів.

Паралельно зростає потреба у методах, здатних не лише контролювати стан мережі, а й прогнозувати потенційні відхилення її роботи. Розвиток аналітичних технологій та автоматизованих механізмів дає можливість переходити від реактивних моделей управління до превентивних, що значно підвищує рівень якості обслуговування. Підвищення точності оцінювання параметрів роботи мереж стає критичним для своєчасного ухвалення управлінських рішень. Наявні підходи потребують модернізації для забезпечення ефективної взаємодії різних рівнів систем управління та зменшення ймовірності виникнення збоїв. Дослідження методів поліпшення показників якості систем управління інфокомунікаційними мережами має важливе теоретичне і практичне значення. Підвищення рівня керованості мережевих процесів стає необхідною умовою стійкого функціонування інформаційної інфраструктури.

Мета дослідження полягає у розробленні та науковому обґрунтуванні удосконаленого методу підвищення показників якості систем управління інфокомунікаційними мережами**.**

Об’єктом дослідження є процеси управління якістю функціонування інфокомунікаційних мереж.

Предметом дослідження є методи, моделі та технологічні підходи, спрямовані на поліпшення показників якості систем управління інфокомунікаційними мережами.

Завдання дослідження:

1) Проаналізувати сучасний стан розвитку інфокомунікаційних мереж і специфіку їх функціонування.

2) Дослідити сукупність показників якості, що визначають ефективність роботи мережевих систем.

3) Узагальнити наявні методи управління якістю та визначити їхні можливості й обмеження.

4) Розробити удосконалений метод підвищення показників якості систем управління інфокомунікаційними мережами.

5) Провести експериментальне оцінювання ефективності запропонованого методу і здійснити аналіз отриманих результатів.

Методи дослідження: у дослідженні застосовано аналіз і синтез наукових джерел, методи системного та структурно-функціонального аналізу, математичне моделювання процесів управління, статистичні методи оцінювання параметрів мереж, методи оптимізації, імітаційне моделювання сценаріїв роботи мереж, експериментальні підходи до перевірки алгоритмічних рішень і засоби порівняльного аналізу ефективності різних методів підвищення якості.

Наукова новизна роботи полягає у формуванні удосконаленого підходу до управління якістю функціонування інфокомунікаційних мереж, який забезпечує підвищення точності оцінювання стану мережевих процесів. У межах дослідження уточнено перелік показників, що найбільшою мірою впливають на стабільність роботи мережевих систем, що дозволяє підвищити ефективність прийняття управлінських рішень. Запропонований підхід передбачає використання структурованої моделі оцінювання, яку можна адаптувати до різних мережевих конфігурацій. Дослідження удосконалює існуючі методи за рахунок поєднання аналітичних та алгоритмічних інструментів, що забезпечує вищу гнучкість і точність управління. Розроблений метод покращує здатність системи визначати потенційні відхилення параметрів роботи мережі на ранніх етапах. Запропоновані рішення створюють умови для побудови більш надійних і передбачуваних систем управління якістю.

Розроблений метод вирізняється здатністю враховувати динамічну зміну мережевого навантаження завдяки підвищенню рівня адаптивності управлінських рішень. Дослідження розширює наукове розуміння процесів

оптимізації параметрів роботи мереж шляхом інтеграції аналітичних моделей і механізмів прогнозування. Новизна полягає у формуванні універсального підходу, який може застосовуватись у різних умовах функціонування інфокомунікаційних систем. Запропонована методика дозволяє забезпечити більш раціональне використання ресурсів мережі та скоротити ймовірність виникнення критичних відхилень. Важливим результатом є можливість використання розробленого методу як складової комплексних систем підтримки ухвалення рішень. Дослідження створює підґрунтя для подальшого розвитку багаторівневих систем управління, що базуються на принципах адаптивності та прогнозування.

Практична значущість роботи полягає у можливості використання запропонованого методу в системах управління інфокомунікаційними мережами для підвищення їх стабільності та якості функціонування. Результати дослідження можуть бути застосовані під час оптимізації мережевих рішень, що забезпечують надійність сервісів у різних сферах діяльності. Запропонований метод дозволяє зменшити кількість відхилень у роботі мережевої інфраструктури шляхом своєчасного виявлення тенденцій і порушень параметрів якості. Отримані висновки можуть використовуватись для розроблення та впровадження інструментів моніторингу і прогнозування у системах управління. Методика може стати основою для підвищення ефективності обслуговування користувачів у мережах різного масштабу. Практична цінність полягає також у можливості інтегрувати запропонований підхід у програмні платформи підтримки рішень для забезпечення кращого контролю за станом мережевої інфраструктури.

Запропонований підхід може бути адаптований для використання у телекомунікаційних компаніях, державних установах та корпоративних мережах, що робить його універсальним інструментом підвищення якості управління. Практична значущість полягає у здатності методу враховувати реальні умови функціонування мережі та забезпечувати своєчасне реагування на зміни її параметрів. Використання удосконаленого підходу сприяє

зменшенню ризику виникнення аварійних станів та покращенню ефективності розподілу ресурсів. Результати дослідження можуть бути застосовані під час розроблення нових програмних рішень для систем моніторингу та аналізу. Запропонований метод може виступати основою для модернізації існуючих технологій управління якістю в інфокомунікаційних мережах. Практичні результати дослідження створюють можливості для переходу до більш адаптивних та інтелектуальних систем управління.

Структура роботи. Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ ТА ПОКАЗНИКІВ ЇХ ЯКОСТІ

1.1. Інфокомунікаційні мережі як об’єкт управління

Інфокомунікаційні мережі становлять комплексну сукупність технічних, програмних і організаційних засобів, що забезпечують передавання, оброблення та зберігання інформації в різних середовищах. Сучасна структура таких мереж охоплює канали зв’язку, інформаційні потоки, механізми маршрутизації та мережеві протоколи, які формують єдину систему взаємодії між користувачами й сервісами [24, с. 67]. Характерною рисою інфокомунікаційних мереж є багаторівнева організація, що поєднує фізичні, канальні, мережеві та прикладні компоненти. Взаємодія цих складових зумовлює потребу у постійному контролі параметрів їх функціонування, аби підтримувати стабільність роботи інфраструктури. Управління такими системами стає складнішим із розширенням мережевих технологій і збільшенням обсягів трафіку. Це визначає актуальність ретельного вивчення інфокомунікаційних мереж як об’єкта управління.

Інфокомунікаційні мережі характеризуються високим ступенем взаємозалежності елементів, що впливає на ефективність передавання даних та якість обслуговування користувачів. Система управління має враховувати особливості потоків інформації, їх інтенсивність та змінність у часі, а також здатність мережевих компонентів адаптуватися до навантаження [18, с. 214]. Важливою властивістю інфокомунікаційної мережі є її масштабованість, яка забезпечує збільшення пропускної здатності та функціональних можливостей. У процесі управління необхідно враховувати не лише технічний аспект, а й організаційні механізми підтримки стабільної роботи систем. Наявність широкого спектра технологій оброблення інформації ускладнює регулювання мережевих процесів. Ефективність взаємодії елементів мережі визначає загальний рівень її надійності.

Функціонування інфокомунікаційних мереж базується на дотриманні принципів доступності, безвідмовності, цілісності й керованості мережевих ресурсів. Кожен із цих принципів формує підхід до організації систем управління, у межах яких реалізуються процедури контролю, оптимізації та координації [29, с. 115]. Важливим завданням є забезпечення постійного моніторингу параметрів роботи мережевої інфраструктури. Процеси управління охоплюють аналіз пропускної здатності, затримок, втрат пакетів та інших показників, що визначають якість обслуговування. Усталеність функціонування залежить від здатності мережі оперативно реагувати на зміни зовнішніх умов. Підтримка високих стандартів якості вимагає узгодженості дій між різними рівнями управління.

Зростання вимог до надійності та швидкодії інфокомунікаційних мереж зумовлює необхідність застосування складніших управлінських моделей. У сучасних умовах навантаження стає більш нерівномірним, що потребує адаптивних механізмів регулювання [6, с. 18]. Значна кількість підключених пристроїв спричиняє збільшення мережевого трафіку та варіативність його характеристик. Це створює додаткові виклики для підтримки стабільної роботи інфраструктури. Система управління повинна враховувати різні сценарії функціонування мережі. Здатність прогнозувати потенційні зміни дозволяє попереджати небажані відхилення. Управління стає багатокомпонентним і вимагає використання різних методів.

Структура інфокомунікаційної мережі визначає складність процесів управління, оскільки різні компоненти можуть по-різному реагувати на зміну навантаження та зовнішніх умов. Для підтримки ефективності необхідно поєднувати централізовані й децентралізовані механізми контролю, що забезпечують оптимальний розподіл ресурсів [12, с. 147]. Важливо враховувати специфіку топології, а також особливості маршрутизації, які впливають на якість передавання інформації. Взаємодія між сегментами мережі має бути узгодженою, адже від цього залежить загальна стабільність інфраструктури. Наявність різнорідних мережевих технологій ускладнює

процес інтеграції й управління. Забезпечення безперервності функціонування потребує комплексного підходу.

Інфокомунікаційні мережі мають властивість динамічно змінювати свої характеристики під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів. Така мінливість ускладнює розроблення універсальних управлінських механізмів, здатних забезпечити стабільну роботу системи [1, с. 7]. Управління повинно враховувати стрибкоподібні зміни мережевої активності, появу пікових навантажень та можливі затримки. Особливо важливим є оперативне коригування режимів роботи мережі. Розвиток технологій передавання даних підсилює потребу у постійному вдосконаленні управлінських алгоритмів. Велику роль відіграє точність вимірювань параметрів. Від якісного контролю залежить ефективність усієї мережевої системи.

Багатофункціональність інфокомунікаційних мереж передбачає можливість підтримувати одночасно різні сервіси, що мають різні вимоги до швидкодії, надійності та пріоритетності. Це формує складні завдання для системи управління, яка повинна забезпечувати раціональний розподіл ресурсів [11, с. 122]. Мережа повинна коректно обробляти як масові запити, так і критично важливі повідомлення. Управлінські рішення мають враховувати можливість зміни структури трафіку у реальному часі. Стабільність функціонування залежить від здатності інфраструктури уникати перевантажень. Адаптивні механізми дають можливість підтримувати рівень якості обслуговування. Наявність різних типів сервісів підвищує вимоги до управління.

Інфокомунікаційні мережі є складним об’єктом управління через поєднання технічних, організаційних і поведінкових факторів. Для їх ефективного функціонування необхідно враховувати різні моделі трафіку, архітектурні особливості та технологічні обмеження [25, с. 350]. Управління потребує застосування інтегрованих методів, що дають змогу синхронізувати роботу окремих елементів. Система має бути здатною до адаптації, аби компенсувати вплив зовнішніх коливань. Удосконалення підходів до

управління дозволяє підвищити якість роботи мережі. Ефективне регулювання є ключовою передумовою підтримки стабільності. Інфокомунікаційні мережі виступають важливою складовою сучасної інформаційної інфраструктури.

1.2 Показники якості роботи інфокомунікаційних мереж

Якість роботи інфокомунікаційних мереж визначається сукупністю характеристик, які відображають стабільність, ефективність і надійність процесів передавання даних. Показники якості застосовуються для оцінювання здатності мережі забезпечувати необхідний рівень обслуговування користувачів та сервісів [18, с. 217]. До них належать параметри, що відображають затримку, пропускну здатність, рівень втрат пакетів, доступність мережевих ресурсів і відмовостійкість. Значення цих показників залежать від архітектури мережі, обраних технологій та інтенсивності інформаційних потоків. Важливим аспектом є здатність мережі підтримувати заданий рівень QoS у мінливих умовах функціонування. Саме тому аналіз і контроль показників якості є ключовою складовою управління мережевими системами.

Показники якості дозволяють визначити, наскільки мережа відповідає вимогам до часу реакції, стабільності та рівня обслуговування кінцевих користувачів. Їх застосування дає змогу виявляти вузькі місця інфраструктури, оцінювати ефективність протоколів маршрутизації та оптимізувати роботу мережевих компонентів. Особливо критичними є параметри затримки та варіації затримки, оскільки вони впливають на сервіси реального часу [6, с. 19]. Оцінювання втрат пакетів дозволяє визначити стабільність каналу зв’язку та рівень його надійності. Доступність мережевих ресурсів характеризує здатність інфраструктури підтримувати роботу сервісів протягом визначеного часу. Комплексний аналіз цих показників забезпечує об’єктивне розуміння стану інфокомунікаційної системи.

Для більш детального аналізу доцільно використовувати розширений перелік показників, що дозволяє врахувати різні аспекти роботи мережі. Такі параметри охоплюють якість маршрутизації, ефективність балансування навантаження, стабільність пропускної здатності та рівень завадостійкості [11, с. 123]. Окреме значення мають показники безпеки, серед яких час виявлення аномалій, стійкість до атак та відновлюваність системи після збоїв. Визначення набору ключових параметрів дає змогу формувати цілісну систему оцінювання. Усі основні показники, що застосовуються для аналізу роботи інфокомунікаційних мереж, наведено в табл. 1.1. Розширення системи оцінювання дозволяє більш точно контролювати роботу інфраструктури. Такий підхід є основою для вдосконалення методів управління.

Таблиця 1.1

Основні показники якості функціонування інфокомунікаційних мереж

№	Показник	Зміст
1	Затримка (delay)	Час, необхідний для передавання пакета між вузлами
2	Джитер (jitter)	Варіація затримки між окремими пакетами
3	Пропускна здатність	Максимальний обсяг даних, який може пройти каналом
4	Доступність	Частка часу, протягом якого мережа працює стабільно
5	Втрата пакетів	Частка пакетів, що не досягли місця призначення
6	Надійність	Здатність мережі відновлюватися після збоїв
7	Стійкість до атак	Рівень захищеності мережевих ресурсів
8	Ефективність маршрутизації	Оптимальність вибору маршрутів передавання

Джерело: сформовано автором на основі [18].

Показники якості відіграють ключову роль у визначенні рівня сервісу, який отримує користувач мережі. Вони дозволяють оцінити стабільність та ефективність функціонування інфраструктури в умовах змінного навантаження. Багато сучасних застосунків, зокрема мультимедійні сервіси, потребують гарантованих параметрів затримки й пропускної здатності [24, с. 68]. Контроль показників дозволяє зменшувати ризики деградації сервісів. Регулярний аналіз змін дає змогу оперативно визначати причини зниження

якості. Врахування цих параметрів сприяє оптимізації управління мережевими ресурсами.

Оцінювання якості роботи мережі передбачає використання спеціалізованих інструментів моніторингу, які забезпечують збір детальних даних у реальному часі. Застосування таких засобів дає змогу швидко реагувати на зміни параметрів і виявляти потенційні відхилення [1, с. 8]. Система моніторингу повинна підтримувати можливість аналізу історичних даних, що важливо для виявлення тенденцій. Перевагою комплексних рішень є здатність автоматично попереджати про критичні зміни. Використання аналітичних механізмів підсилює точність оцінювання. Це створює умови для ефективного управління якістю.

Сучасні вимоги до інфокомунікаційних мереж зумовлюють потребу у формуванні гнучких систем оцінювання, які враховують різний характер трафіку. Параметри якості істотно змінюються залежно від типу даних, пріоритету сервісу та умов роботи каналу. Застосування адаптивних методів оцінювання дозволяє більш точно визначати ефективність роботи мережі [29, с. 116]. Важливим є врахування як середньостатистичних значень, так і пікових навантажень. Це забезпечує комплексний аналіз параметрів. Гнучкість системи оцінювання сприяє підвищенню стабільності функціонування мережевої інфраструктури.

Якість функціонування інфокомунікаційної мережі залежить не лише від технічних характеристик, а й від архітектури та взаємодії її компонентів. Показники якості дозволяють визначити, наскільки ефективно працюють алгоритми маршрутизації, механізми управління чергами та захисні системи [12, с. 149]. Важливим є також аналіз залежності між показниками, оскільки зміна одного параметра впливає на інші. Оцінювання цих взаємозв’язків дозволяє формувати точніші моделі управління. Застосування інтегрованих систем контролю дає змогу підвищити ефективність мережевої інфраструктури. Це створює передумови для комплексного управління якістю.

Системи управління якістю повинні враховувати багаторівневу структуру інфокомунікаційних мереж та різноманітність процесів, що відбуваються в них. Показники якості дають змогу виявляти найвразливіші сегменти інфраструктури та визначати шляхи їх оптимізації [11, с. 124]. Необхідність постійної адаптації до умов функціонування робить процес оцінювання неперервним. Системи, що використовують комбіновані методи аналізу, забезпечують точніше відстеження змін параметрів. Контроль показників дозволяє своєчасно попереджати критичні відхилення. Це підвищує ефективність управління інфокомунікаційною мережею загалом.

1.3. Аналіз існуючих методів управління якістю

Управління якістю інфокомунікаційних мереж базується на широкому спектрі методів, які дозволяють контролювати параметри функціонування та усувати відхилення. Традиційні підходи охоплюють механізми планування пропускної здатності, управління чергами та оптимізації маршрутів [24, с. 67]. Ці рішення спрямовані на підтримку стабільності мережі шляхом регулювання потоків трафіку. Одним із найбільш поширених напрямів є розподілення ресурсів, що забезпечує раціональне використання канальних можливостей. Методи управління часто інтегруються у комплексні системи моніторингу. Їх поєднання дає змогу підтримувати необхідний рівень якості обслуговування.

До класичних методів управління належать алгоритми чергування та контролю затримок, які забезпечують регулювання черг у вузлах мережі. Вони дозволяють уникати перевантажень і зменшувати час очікування пакетів [18, с. 215]. Окремим напрямом є алгоритми планування, що враховують пріоритетність трафіку. У реальних умовах такі методи підтримують ефективність оброблення даних у режимі високої завантаженості. Важливою перевагою класичних алгоритмів є їх передбачуваність та технічна простота.

Застосування цих методів створює базове середовище для впровадження сучасніших моделей управління.

Для системного аналізу застосовуваних методів доцільно сформувати їх структуру за функціональними ознаками. Основні групи методів поділяються за принципами дії, рівнем автоматизації та сферою застосування [11, с. 122]. Такий підхід дозволяє поєднувати методи різної складності у єдиній системі управління. Узагальнену характеристику методів наведено в табл. 1.2. Формування структурованого переліку дає змогу визначати найефективніші алгоритми для конкретних задач мережевої інфраструктури. Комплексність аналізу забезпечує точніше розуміння можливостей різних груп методів.

Таблиця 1.2

Основні групи методів управління якістю інфокомунікаційних мереж

Група методів	Характеристика
Методи управління чергами	Регулювання обсягу трафіку, зменшення затримок і перевантажень
Алгоритми планування	Розподіл пропускної здатності між потоками різного пріоритету
Методи маршрутизації	Оптимізація вибору маршрутів передавання даних
Адаптивні методи	Реагування на змінні умови навантаження в реальному часі
Інтелектуальні методи	Використання машинного навчання та прогнозування параметрів

Джерело: сформовано автором на основі [18].

Суттєвої уваги потребують методи маршрутизації, які визначають оптимальні шляхи передавання даних у мережі. Ефективність маршрутизації залежить від поточної топології та характеристик інформаційних потоків, що можуть швидко змінюватися [6, с. 19]. У системах з високим навантаженням важливо враховувати адаптивність алгоритмів. Маршрутизація повинна забезпечувати рівномірний розподіл потоків між каналами. Сучасні методи дозволяють динамічно враховувати зміни трафіку. Це сприяє підвищенню стабільності та передбачуваності роботи мережі.

Важливим напрямом розвитку є адаптивні методи управління, які дозволяють коригувати параметри роботи мережі в режимі реального часу. Такі методи враховують зміни навантаження та здатні оперативно змінювати конфігурацію мережевих процесів [25, с. 350]. Перевагою адаптивного підходу є здатність забезпечувати високу якість обслуговування в умовах нестабільних потоків трафіку. Вони дозволяють зменшувати ризик перевантаження системи. Застосування адаптивних методів створює умови для підвищення ефективності розподілення ресурсів. Такі алгоритми можуть інтегруватися з інтелектуальними моделями аналізу.

Порівняння існуючих методів показує, що кожен з них має власні переваги та обмеження. Методи управління чергами ефективні для контролю затримок, проте не завжди забезпечують прогнозування змін навантаження [1, с. 7]. Адаптивні алгоритми забезпечують високу гнучкість, однак потребують більших обчислювальних ресурсів. Інтелектуальні моделі точніше прогнозують зміни параметрів, проте їх навчання залежить від якості даних. Порівняльний аналіз характеристик методів наведено в табл. 1.3. Узгодження можливостей різних методів дозволяє формувати стабільні системи управління.

Таблиця 1.3

Порівняння методів управління якістю інфокомунікаційних мереж

Метод	Переваги	Недоліки
Управління чергами	Простота реалізації; стабільність роботи	Не враховує зміни трафіку
Планування трафіку	Підтримка пріоритетів	Не прогнозує майбутні навантаження
Адаптивні методи	Висока гнучкість; ефективність у нестабільних умовах	Висока ресурсоємність
Інтелектуальні методи	Точне прогнозування; самонавчання	Залежність від якості даних

Джерело: сформовано автором на основі [24].

Інтелектуальні методи управління стають усе поширенішими у високонавантажених мережах. Вони дозволяють прогнозувати значення

ключових параметрів, використовуючи статистичні моделі та машинне навчання [29, с. 116]. Завдяки цьому система управління отримує можливість передбачати критичні відхилення заздалегідь. Моделі машинного навчання здатні виявляти приховані закономірності у потоках трафіку. Інтелектуальні підходи забезпечують високу точність аналізу. Їх використання підвищує ефективність мережевого управління.

Узагальнюючи результати аналізу, можна зазначити, що ефективність методів залежить від умов функціонування мережі та характеру інформаційних потоків. Класичні методи підходять для базових задач, проте їхня ефективність знижується у складних динамічних середовищах [12, с. 149]. Адаптивні та інтелектуальні методи забезпечують вищу точність регулювання, проте потребують більших ресурсів. Найефективнішими є комбіновані підходи, що поєднують можливості кількох методів. Оптимальний вибір залежить від масштабів інфраструктури. Комбінування методів забезпечує підвищення стабільності та якості обслуговування.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

2.1. Алгоритмічні та математичні методи оптимізації

Алгоритмічні та математичні методи оптимізації посідають ключове місце в удосконаленні систем управління інфокомунікаційними мережами, оскільки вони дають змогу підвищити точність процесів регулювання та забезпечити стабільність функціонування мережевої інфраструктури. Ці методи охоплюють широкий спектр підходів – від класичних процедур оптимізації маршрутизації до адаптивних моделей оцінювання навантаження. Важливою властивістю алгоритмічних методів є їх здатність працювати з великими масивами даних, що дозволяє ефективно аналізувати трафік у режимі реального часу. У системах управління ці методи забезпечують автоматизацію прийняття рішень та підтримку передбачуваного рівня якості обслуговування. Їх застосування сприяє зменшенню кількості помилок та підвищенню стабільності мережевих процесів. Узагальнена класифікація алгоритмічних методів наведена у табл. 2.1, що дозволяє бачити структурну логіку їх використання. Комплексність алгоритмічних підходів визначає їхню значущість у сучасних мережах.

Таблиця 2.1

Класифікація алгоритмічних методів оптимізації

Група методів	Приклади алгоритмів	Призначення	Особливості
Алгоритми маршрутизації	Dijkstra, Bellman–Ford	Пошук оптимальних шляхів	Забезпечують мінімізацію затримок
Методи керування чергами	RED, WFQ	Регулювання черг, уникнення перевантажень	Дає змогу зменшити втрати пакетів
Адаптивні алгоритми	Load-Based Routing, Dynamic Queue Control	Реакція на зміни навантаження	Працюють у режимі реального часу
Алгоритми прогнозування	Moving Window, Adaptive Trend Models	Передбачення змін трафіку	Підвищують точність регулювання
Гібридні алгоритми	Routing + ML-модулі	Комбіновані механізми оптимізації	Поєднують правила та прогнозні моделі

Джерело: сформовано автором за [21; 38]..

Алгоритмічні методи активно застосовуються у процесах адаптивного розподілу навантаження, оскільки дозволяють автоматично визначати оптимальні маршрути залежно від поточного стану мережі. У таких підходах важливе значення має швидкість виконання обчислень, оскільки мережеве середовище часто змінюється динамічно. Методи, що базуються на пріоритетному обробленні даних, забезпечують коректне функціонування сервісів із підвищеними вимогами до якості обслуговування. Водночас алгоритмічні моделі потребують добре структурованих даних, оскільки помилки у вимірюванні параметрів можуть призвести до некоректного вибору рішень. Застосування таких методів зменшує ризики виникнення перевантажень та підвищує загальну ефективність управління. Використання алгоритмічних рішень забезпечує гнучкість мережевої інфраструктури в умовах непередбачуваних змін завантаженості.

Математичні методи оптимізації застосовуються у випадках, коли необхідно отримати формалізовану модель поведінки мережевої системи. Вони передбачають використання аналітичних функцій, систем рівнянь або імовірнісних моделей, що дозволяє точно оцінювати якість функціонування мережі. Основою таких методів є визначення залежностей між ключовими параметрами та їх математичне описання. Моделі оптимізації часто використовуються для оцінювання пропускної здатності, визначення граничних значень затримок або аналізу стабільності каналів зв’язку. Завдяки цьому можна прогнозувати поведінку системи в умовах різних сценаріїв навантаження. Загальну класифікацію математичних методів наведено в табл. 2.2, де подано систематизацію основних підходів. Сформована класифікація допомагає узгоджувати математичні моделі з практичними задачами управління.

Таблиця 2.2

Класифікація математичних методів оптимізації

Тип методу	Інструменти	Застосування	Обмеження
Аналітичні	Функції оптимізації, похідні	Оцінка оптимальних параметрів	Працюють за умов спрощених моделей
Імовірнісні	Марковські процеси, стохастичні моделі	Оцінка надійності, випадковість трафіку	Висока складність побудови
Лінійна оптимізація	Симплекс-метод, двоїста оптимізація	Розподіл ресурсів	Обмежений опис реальних умов
Нелінійна оптимізація	Градієнтні методи	Пошук мінімумів і максимумів	Потреба у високій точності даних
Моделі масового обслуговування	M/M/1, M/M/k	Оцінка черг та затримок	Не завжди відображають реальність

Джерело: сформовано автором за [12; 18].

Математичні методи дозволяють глибше аналізувати поведінкові характеристики мережі та виявляти закономірності, недоступні для алгоритмічних підходів. Їх застосування дає змогу не лише оцінити поточний стан системи, а й визначити очікувані зміни. Особливо важливими є імовірнісні моделі, оскільки вони враховують випадковість появи потоків і змін навантаження. Проте складність математичних моделей часто вимагає значних обчислювальних ресурсів або попередньої спрощеної підготовки даних. Використання математичних методів створює основу для точного прогнозування параметрів продуктивності. Поєднання різних математичних підходів у рамках єдиної системи підвищує якість управління мережею.

Застосування алгоритмічних і математичних підходів дає змогу формувати комбіновані моделі, що поєднують швидкість прийняття рішень та точність оцінювання параметрів. Такі гібридні системи особливо ефективні в умовах високої мінливості мережевого навантаження. Комбіновані моделі дозволяють одночасно проводити аналіз трафіку, прогнозування параметрів і оптимізацію маршрутів. Крім того, вони створюють можливості для автоматичного коригування поведінки мережевих ресурсів. Гібридні методи є основою для сучасних систем самооптимізації. Використання комбінованих рішень забезпечує вищий рівень адаптивності мережі.

У сучасних інфокомунікаційних системах алгоритмічні та математичні методи все частіше доповнюються елементами машинного навчання, які підсилюють точність прогнозування. У таких моделях важливу роль відіграють історичні дані про трафік, що дозволяє формувати точніші рішення. Водночас оптимізаційні алгоритми забезпечують структурованість процесів управління та зменшення хаотичних коливань параметрів. Поєднання класичних методів і моделей прогнозування створює багаторівневий механізм прийняття рішень. Застосування машинного навчання підсилює ефективність оптимізаційних процедур. Це дозволяє формувати передбачувану та стабільну поведінку мережевої інфраструктури.

З огляду на динамічність інфокомунікаційних мереж, алгоритмічні та математичні методи оптимізації залишаються центральними інструментами забезпечення їх продуктивності. Вони дозволяють створювати структуровано організовані процеси управління, що забезпечують ефективність у режимі змінних параметрів трафіку. Поєднання цих підходів дозволяє формувати системи, здатні автоматично адаптуватися до змін середовища. Такі системи зменшують ризик виникнення перевантажень і забезпечують стабільну якість обслуговування. Розвиток оптимізаційних моделей сприяє подальшому удосконаленню технологій управління мережею. Сукупність методів формує основу для створення високоефективних рішень у сфері інфокомунікацій.

2.2. Методи підвищення якості управління у SDN та NFV середовища

Програмно визначені мережі та віртуалізовані функції мережі формують гнучку інфраструктуру, у якій управління якістю залежить від точності контролю за ресурсами. Основною перевагою SDN є централізоване управління потоками, що дозволяє пришвидшувати реакцію на зміни трафіку [14, с. 72]. У такому середовищі можна оперативно перепланувати маршрути залежно від навантаження. Це забезпечує оптимальний розподіл пропускної здатності між сервісами різної критичності. Додатковим фактором є можливість автоматизації регулювання параметрів обслуговування. Використання SDN контролерів сприяє підвищенню точності управління якістю.

У середовищах NFV важливу роль відіграє гнучке масштабування функцій мережі за рахунок їх розміщення на віртуальних вузлах. Завдяки цьому система може адаптуватися до пікових навантажень [22, с. 95]. Віртуалізовані мережеві функції дозволяють мінімізувати затримки шляхом переміщення сервісів ближче до користувача. Також NFV забезпечує ізоляцію трафіку та підвищення стійкості до перевантажень. Динамічне балансування навантаження сприяє стабільності обслуговування. Поєднання SDN і NFV створює умови для комплексного впровадження механізмів управління якістю.

Управління якістю у SDN середовищах ґрунтується на широкому наборі алгоритмів оптимізації та механізмів контролю. Методи визначаються типом контролера, його обчислювальними можливостями та моделлю оброблення подій [9, с. 103]. Для систематизації таких підходів доцільно виділити їх у вигляді структурованої класифікації. Узагальнення методів подано в табл. 2.1. Такий підхід забезпечує вибір алгоритмів залежно від масштабів мережі та інтенсивності трафіку. Це дозволяє ефективніше поєднувати механізми управління.

Таблиця 2.1

Класифікація методів підвищення якості управління у SDN

Метод	Опис	Типові сценарії застосування
Оптимізація маршрутизації	Динамічне перепланування шляхів на основі навантаження	Високонавантажені магістральні ділянки
Контроль черг	Регулювання довжини черг та часу оброблення пакетів	Датацентри та вузли з піковими потоками
Балансування трафіку	Перерозподіл потоків між кількома каналами	Хмарні платформи та розподілені сервіси
Пріоритезація сервісів	Забезпечення QoS для критичних потоків	Відеоконференції, телемедицина

Джерело: сформовано на основі [14].

Управління віртуалізованими функціями мережі передбачає використання методів оркестрації, які забезпечують координацію життєвого циклу сервісів. Такі методи дозволяють централізовано контролювати розгортання, масштабування та міграцію функцій [7, с. 118]. Важливою характеристикою є можливість оптимізації розміщення ВМ з урахуванням затримок. Це забезпечує раціональне використання ресурсів віртуалізації. Оркестрація сприяє прогнозуванню навантаження і своєчасному розподілу ресурсів. У поєднанні зі SDN методи оркестрації створюють умови для комплексного управління.

Застосування комбінованих підходів у середовищах SDN/NFV дає змогу поєднувати алгоритми різних рівнів складності. Для аналізу їх ефективності доцільно порівнювати методи за ключовими параметрами обслуговування [10, с. 134]. Узагальнена характеристика таких методів наведена в табл. 2.4. Порівняння дозволяє обрати оптимальний набір механізмів залежно від задачі. Це забезпечує точне налаштування інфраструктури. Комбінування методів сприяє максимальному використанню можливостей SDN/NFV архітектур.

Таблиця 2.4

Порівняння методів підвищення якості управління у SDN/NFV

Метод	Переваги	Недоліки	Оптимальні умови застосування
Адаптивна маршрутизація	Висока гнучкість, швидка реакція	Вимагає більше ресурсів	Динамічні мережі
Балансування навантаження	Стабільність сервісів	Складність у великих мережах	Хмарні платформи
Пріоритезація QoS	Гарантія якості	Необхідність точних правил	Критичні сервіси
Оптимізація NFV розміщення	Зменшення затримок	Залежність від топології	Розподілені локації

Джерело: сформовано на основі [22].

Інтеграція SDN і NFV забезпечує можливість автоматизації регулювання якості обслуговування на всіх рівнях трафіку. Об’єднані системи дозволяють реалізувати наскрізний контроль параметрів. Перевагою такого підходу є здатність забезпечити узгоджений розподіл ресурсів між сервісами [14, с. 75]. Додатковим аспектом є можливість швидкого масштабування під час пікових навантажень. Інтегровані рішення підвищують стійкість інфокомунікаційної мережі. У результаті формуються оптимальні умови для підтримки високої якості обслуговування.

Важливо враховувати, що ефективність методів підвищення якості залежить від архітектурних особливостей мережі. Топологія, пропускна здатність каналів та особливості сервісів впливають на вибір механізмів управління [9, с. 108]. Для отримання максимального ефекту необхідно поєднувати адаптивні, аналітичні та оптимізаційні підходи. Це дозволяє компенсувати недоліки окремих методів. У результаті система стає гнучкішою та стабільнішою. Комбіновані підходи забезпечують підвищення результативності управління.

Узагальнюючи можливості SDN та NFV, можна зазначити, що їх поєднання створює новий рівень управління інфокомунікаційними мережами. Висока адаптивність та централізація дозволяють усувати проблеми якості на ранніх етапах [10, с. 139]. Це сприяє зменшенню затримок і підвищенню

стабільності сервісів. Використання інтелектуальних методів у таких середовищах підсилює ефективність алгоритмів. У підсумку SDN/NFV архітектури забезпечують основу для формування сучасних підходів до управління якістю.

2.3. Штучний інтелект та машинне навчання в управлінні QoS/QoE

Штучний інтелект забезпечує новий рівень автоматизації управління якістю обслуговування в інфокомунікаційних мережах. Його використання дозволяє аналізувати динаміку трафіку та прогнозувати критичні відхилення параметрів. Алгоритми машинного навчання здатні адаптуватися до змін середовища без додаткового налаштування [29, с. 116]. Це значно підвищує точність управлінських рішень у мережах зі складною поведінкою трафіку. Інтелектуальні моделі виявляють приховані закономірності у змінних потоку даних. Такий підхід формує основу для автоматизованого регулювання QoS.

У сфері оцінювання QoE методи машинного навчання використовуються для аналізу взаємозв’язку між технічними параметрами та суб’єктивним сприйняттям сервісів. Моделі прогнозування дозволяють визначати якість досвіду користувача на основі історичних наборів даних. Вони враховують непередбачувані зміни в навантаженні, затримках і пропускній здатності каналів [8, с. 214]. Завдяки цьому система може заздалегідь реагувати на зниження якості сервісу. Важливим елементом є здатність моделей навчатися на різнорідних даних. Це забезпечує більш точні рішення в умовах реальних інфраструктур.

Для структурування інтелектуальних методів використовують класифікації за типом алгоритмів, способом навчання та рівнем адаптивності. Такий підхід дозволяє визначити оптимальні інструменти для конкретних умов функціонування мережі. Основні групи інтелектуальних методів наведено в табл. 2.5. Формалізована класифікація спрощує вибір алгоритмів

під час побудови систем управління якістю [37, с. 49]. Вона також допомагає оцінити потенціал застосування кожної групи методів. Це створює передумови для ефективного моделювання механізмів QoS/QoE.

Таблиця 2.5

Класифікація інтелектуальних методів управління QoS/QoE

Тип методу	Характеристика	Приклади застосування
Методи навчання з учителем	Побудова моделі на основі маркованих даних	Прогнозування затримок
Методи без учителя	Виявлення кластерів і аномалій	Аналіз нетипового трафіку
Глибинне навчання	Автоматичне виділення ознак	Оцінка QoE за сигналами відео
Нейро-нечіткі системи	Поєднання нечіткості та адаптивності	Динамічне регулювання QoS

Джерело: сформовано на основі [37].

Використання інтелектуальних моделей у реальному часі дозволяє оперативно коригувати параметри роботи мережі. Системи здатні прогнозувати перевантаження та пропонувати оптимальні маршрути оброблення даних. Вони використовують багатовимірні дані, що забезпечує точність оцінки стану мережевих вузлів. Завдяки цьому управління набуває адаптивного характеру [55, с. 6]. Системи можуть реагувати на зміни без втручання оператора. Це підсилює стабільність функціонування сервісів.

У більш складних сценаріях застосовують нейро-нечіткі моделі, які поєднують гнучкість нечіткої логіки та навчання нейронних мереж. Такі підходи забезпечують прийняття рішень в умовах неповної або нечіткої інформації. Їх використання дозволяє будувати механізми комплексного прогнозування [16]. Нейро-нечіткі системи здатні узагальнювати нестабільні дані та формувати стійкі правила управління. Це підвищує точність регулювання параметрів сервісів. Моделі добре працюють у середовищах зі значними коливаннями навантаження.

Для оцінювання можливостей методів AI/ML доцільно порівняти їх за ключовими характеристиками. Порівняльний аналіз враховує точність прогнозування, швидкість реагування та стійкість алгоритмів до зміни даних.

Узагальнену характеристику наведено в табл. 2.6 [31]. Це дозволяє визначити, який тип моделей найбільше підходить для конкретної мережевої задачі. Такий підхід підсилює обґрунтованість вибору методів. Він формує основу для створення адаптивних систем управління якістю.

Таблиця 2.6

Порівняння інтелектуальних методів управління QoS/QoE

Метод	Переваги	Недоліки	Типові задачі
Нейронні мережі	Висока точність	Потреба у великих даних	Прогнозування QoS
Кластераналіз	Виявлення аномалій	Менша точність	Аналіз нетипового трафіку
Глибинне навчання	Автоматичне виділення ознак	Висока ресурсоємність	Мультимедійні сервіси
Нейро-нечіткі системи	Стійкість до шумів	Складність налаштування	Динамічне управління мережами

Джерело: сформовано на основі [31].

Розширення можливостей AI/ML у мережах дає змогу реалізувати інтелектуальні механізми балансування трафіку. Такі системи здатні аналізувати ускладнені шаблони активності та виявляти потенційні перевантаження [39]. Вони визначають оптимальні параметри маршрутизації залежно від властивостей потоків. Це скорочує затримки та підвищує стабільність сервісів. Інтелектуальні алгоритми також допомагають прогнозувати вузькі місця інфраструктури. Такий підхід формує підґрунтя для превентивного управління.

Інтеграція методів машинного навчання з архітектурами SDN/NFV розширює можливості контролю над мережею. Системи здатні використовувати дані контролерів SDN для покращення точності прогнозування параметрів QoS. Це забезпечує узгодженість механізмів аналізу та регулювання на різних рівнях управління [50]. Поєднання аналітичних моделей і централізованого контролю підсилює ефективність прийняття рішень. Такий підхід також підвищує швидкість реакції на зміну стану трафіку. Це формує основу для гнучких систем управління якістю.

Узагальнюючи можливості інтелектуальних методів, можна зазначити, що їх застосування підсилює ефективність сучасних мережевих архітектур. Алгоритми здатні враховувати комплексні зміни в інфраструктурі та забезпечувати точне регулювання критичних параметрів. Інтелектуальні системи створюють умови для масштабування без втрати якості [56]. Вони покращують узгодженість мережевих процесів та запобігають перевантаженням. Завдяки цьому підвищується якість обслуговування та стабільність роботи мережі. Інтелектуальні підходи визначають напрям розвитку майбутніх систем управління.

2.4. Узагальнення методів і формування підходу для дослідження

Узагальнення результатів аналізу методів управління якістю в інфокомунікаційних мережах показує, що ефективність таких систем залежить від здатності адаптуватися до змін трафіку та забезпечувати стабільність сервісів. Методи оптимізації ресурсів, алгоритмічні рішення та інтелектуальні моделі мають різні сфери застосування, проте всі вони спрямовані на підвищення точності регулювання параметрів мережі [29, с. 116]. Саме поєднання класичних і сучасних підходів дозволяє сформувати збалансовану систему управління. Узгодженість механізмів створює основу для ефективного розподілу навантаження. Такий висновок є важливим для визначення напряму подальшого дослідження. Комплексність підходу забезпечує стійкість мережевої інфраструктури.

Стабільність роботи комп’ютерної мережі підприємства є запорукою ефективності його діяльності. Тому будь-які збої, викликані зовнішніми чи внутрішніми причинами, порушують стабільність роботи підприємства і вимагають швидкої діагностики причин та усунення наслідків. Тому швидке реагування та пошук причин збою є основними завданнями для проєктованої системи.

Існуючі системи виявлення можна розділити на системи виявлення аномалій і системи виявлення ознак. Основним недоліком систем виявлення функцій є те, що вони призначені для виявлення певних типів атак (зазвичай найнебезпечніших на момент створення системи). Коли з'являються нові атаки або змінюються параметри пересування, завдання виявлення потрібно вирішувати знову. Системи виявлення аномалій (через складність моделювання нормального інтернет-трафіку) використовують різні припущення щодо функціонування системи, наприклад, статистичну однорідність трафіку. Проте групи комп'ютерних систем, для яких застосовуються ці припущення, або умови їх реалізації не обговорювалися. У результаті незначні зміни в структурі трафіку або наданих послуг можуть призвести до необхідності перенавчання алгоритму виявлення. Одним із можливих рішень цієї ситуації є використання комплексного підходу до побудови системи боротьби з атак, що включає моніторинг системи, ведення історії транзакцій, ведення спеціального репозиторію для інтелектуального аналізу зловмисників та їх дій, а також визначення стратегії. протидіяти. Пропонується побудувати систему захисту на основі наступних елементів:

– агенти відстеження;

– заходи попередньої обробки та зберігання;

– сховище для зберігання інформації про операції, що описує роботу системи;

– сховище з аналітичними компонентами для виявлення загроз та ознак зловмисної діяльності;

– заходи проти нападів [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**; с. 572].

Важливим елементом побудови такої системи є визначення відповідного математичного забезпечення для кожного етапу роботи:

1. Відстеження трафіку. Захоплення пакетів для оцінки навантаження, складу трафіку, активності користувачів. Для виконання цього завдання необхідно розробити алгоритми визначення кількості та частоти захоплення пакетів залежно від навантаження каналу та інших параметрів. Якщо пакети

захоплюються занадто часто, трафік може сповільнитися. Якщо пакети перехоплюються через певні постійні інтервали, це може створити «сліпі зони», про які не буде надана інформація. [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**; с. 572].

2. Попередня обробка перехоплених пакетів, оцінка найнебезпечніших загроз, зберігання інформації у сховищах. Оскільки на цьому етапі необхідна швидка оцінка з мінімальними витратами ресурсів, рекомендуються прості та адаптивні пороги або (за необхідності) послідовний CUSUM.

3. Аналіз даних під час завантаження в пам'ять, виявлення атак, оцінка погрози. Після збереження інформації в репозиторії можна провести комплексну оцінку та розрахувати можливі ризики. Для цього доцільно використовувати описані вище алгоритми багатоканального CUSUM та ковзного середнього.

4. Аналіз фонових даних для визначення спроб сканування, атак погіршення якості, імпульсних атак. Проводиться на регулярній основі або за графіком. Оскільки ці атаки становлять меншу загрозу, настав час для більш глибокого аналізу. Використовуються методи Data Mining, інтелектуальні системи правил, нейронні мережі тощо.

5. Прийняття рішення про виявлення атаки. Якщо вказані порогові значення перевищені на одному з попередніх етапів, існує можлива загроза нападу. У цьому випадку слід налаштувати експертну систему для оцінки рівня загрози та прийняття рішення про атаку.

6. Оцінка ризику, вибір моделі, верифікація, пошук стратегії. Виявлення нападу відразу ж ставить питання про визначення протидії. Залежно від типу і навіть характеристик конкретної атаки такий опір може значно відрізнятися. Тобто можна говорити про «стратегію» протидії. Залежно від якості виправних заходів, таких як якість обслуговування зареєстрованих користувачів, стратегія буде змінюватися. Можливі стратегії повинні базуватися на результатах аналітичного моделювання взаємодії між нападником і агентами захисту. Вивчення аналітичних моделей дозволяє

вивчити ефективність контрзаходів і можливі наслідки. Ігровий процес тут обумовлений самим характером конфліктної взаємодії між нападником і системою захисту, а головне значення, на яке впливають гравці, — це навантаження на систему. Це може бути загальне навантаження або навантаження окремих, критичних для системи вузлів (ЦП, ОЗП, мережеві канали) [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**; с. 573].

Для створення стратегії протидії необхідно спочатку оцінити параметри конфронтаційної динамічної моделі. Цей процес включає:

- Визначення типу динаміки.
- Оцінювання кількості й сили нападників.
- Оцінка рівня загрози.
- Визначити можливі контрзаходи та передбачити наслідки.
- Застосування протидії та порівняння наступників із передбаченням.

Після застосування стратегії захисту система повинна оцінити ефективність стратегії шляхом вимірювання загрози.

Аналіз алгоритмічних методів продемонстрував, що математичні моделі оптимізації є ефективними при прогнозованих навантаженнях. Вони забезпечують керованість ресурсів і стабільність оброблення інформації. Проте їхня результативність знижується в умовах високої динамічності трафіку [55]. Такий недолік частково компенсується адаптивними моделями, які здатні реагувати на зміни в реальному часі. Комбінування алгоритмічних і адаптивних рішень дозволяє підвищити точність операційного контролю. Це створює передумови для формування удосконаленого методу управління.

Узагальнення можливостей SDN та NFV середовищ дає змогу зробити висновок, що їх поєднання забезпечує централізоване та гнучке керування потоками даних. SDN дозволяє одержувати детальну інформацію про стан мережі, тоді як NFV забезпечує динамічне масштабування функцій [37, с. 49]. Використання цих технологій формує архітектурну основу для реалізації автоматизованих моделей управління. Перевагою такого підходу є адаптивність рішень у режимі реального часу. Взаємодія SDN і NFV сприяє

оптимізації використання пропускної здатності. Це робить ці технології перспективними для досліджуваного методу.

Інтелектуальні методи управління дозволяють підвищити точність прогнозування змін параметрів мережі. Вони забезпечують виявлення прихованих залежностей та нестабільних патернів у потоках даних. Методи машинного навчання демонструють високу ефективність у задачах оцінювання QoS та QoE [39]. Вони здатні адаптуватися та вдосконалювати свої моделі в процесі експлуатації. Це створює передумови для зменшення затримок і підвищення стабільності обслуговування. Інтелектуальні моделі формують основу для вдосконалених методів управління. Їх інтеграція посилює можливості мережевої інфраструктури.

Для формування підходу до дослідження доцільно зіставити всі проаналізовані методи та визначити їхнє місце в комплексній концепції управління якістю. Порівняння показує, що жоден із методів не є універсальним і потребує поєднання з іншими підходами [22, с. 95]. Це особливо важливо в середовищах зі змінною пропускною здатністю та нерівномірним навантаженням. Узгодження методів дозволяє мінімізувати ризик погіршення якості обслуговування. Такий підхід формує підґрунтя для визначення елементів удосконаленого методу. Виявлені переваги та недоліки допомагають структурувати дослідження.

Для систематизації можливостей методів доцільно сформувати інтегровану матрицю характеристик. Така матриця дозволяє зіставити особливості різних груп методів і визначити їх оптимальні сфери використання. Узагальнену схему наведено в табл. 2.7. Структуризація допомагає визначити елементи, які повинні бути враховані в новому методі управління. Це спрощує подальше проєктування архітектури. Матриця є основою для обґрунтованого вибору інструментів. Вона формує концептуальний каркас дослідження.

Таблиця 2.7

Інтегрована матриця характеристик методів управління якістю

Група методів	Переваги	Недоліки	Оптимальна сфера застосування
Алгоритмічні методи	Стабільність рішень	Низька адаптивність	Передбачувані навантаження
SDN/NFV підходи	Централізація та масштабованість	Залежність від інфраструктури	Динамічні мережі
AI/ML методи	Висока точність і прогнозування	Потреба у даних	Високонавантажені сервіси

Джерело: сформовано на основі [37].

Порівняльний аналіз показав, що перспективним напрямом є інтеграція алгоритмічних моделей з інтелектуальними підходами. Такий підхід дозволяє поєднати передбачуваність класичних методів з адаптивністю AI/ML моделей [31]. Він забезпечує баланс між швидкістю реакції та точністю регулювання параметрів. Це особливо актуально для мереж зі складною структурою трафіку. Інтегровані механізми створюють умови для формування удосконаленого методу управління. Така взаємодія сприяє оптимізації ключових показників якості.

Узагальнення результатів дослідження дозволяє сформувати напрям подальшого розвитку системи управління якістю. Основою нового методу має стати поєднання алгоритмічних, адаптивних та інтелектуальних рішень. Це дозволить забезпечити високу точність регулювання та швидке реагування на зміни [29, с. 116]. Поєднання підходів сприятиме формуванню багаторівневої системи управління. Такий підхід допоможе мінімізувати ризики перевантаження та зниження QoS. Узгодженість елементів визначає ефективність розробленого методу.

Узагальнення проведеного аналізу дає змогу стверджувати, що комплексне поєднання різних груп методів забезпечує найвищий рівень гнучкості мережевої інфраструктури. Такий підхід дозволяє не лише підвищити стабільність оброблення трафіку, а й створити ефективні механізми реагування на різкі зміни навантаження. Інтеграція алгоритмічних рішень,

адаптивних моделей та інтелектуальних методів формує підґрунтя для побудови вдосконалених систем управління якістю. На практичному рівні це сприяє підвищенню швидкості прийняття рішень та зменшенню кількості критичних ситуацій у роботі мережі. Узгодження елементів різної природи дозволяє зберігати стабільність навіть за умов трафікової нестабільності. Така комплексність визначає перспективність запропонованого підходу. Вона також створює умови для масштабування системи відповідно до потреб операторів та користувачів.

Підсумок аналізу свідчить, що формування нового методу має базуватися на поєднанні теоретично обґрунтованих моделей і практично перевірених механізмів керування. Розроблення багаторівневої схеми взаємодії окремих модулів дозволить забезпечити стабільність роботи навіть у високодинамічних середовищах. Особливе значення має здатність системи до самоадаптації та коригування параметрів у режимі реального часу. Це забезпечить більш точний контроль якості сервісів та підвищить ефективність використання мережевих ресурсів. Створення комплексної моделі управління відкриває можливість для запровадження інноваційних підходів у сфері телекомунікацій. Такі висновки визначають ключовий напрям подальшої розробки досліджуваної методики.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

3.1. Постановка задачі та опис архітектури розробленої системи

У процесі розроблення системи управління якістю інфокомунікаційної мережі важливо визначити всіх можливих учасників її роботи та окреслити основні сценарії взаємодії. Для запропонованого програмного рішення ключову роль відіграє адміністратор мережі, який відповідає за контроль параметрів якості, аналіз отриманих даних та коригування конфігураційних рішень. Він є основним користувачем системи, оскільки саме адміністратор здійснює доступ до засобів моніторингу, перегляду статистики та налаштувань. На рис. 3.1 наведено модель варіантів використання, що демонструє взаємодію адміністратора з системою та доступні для нього функції.

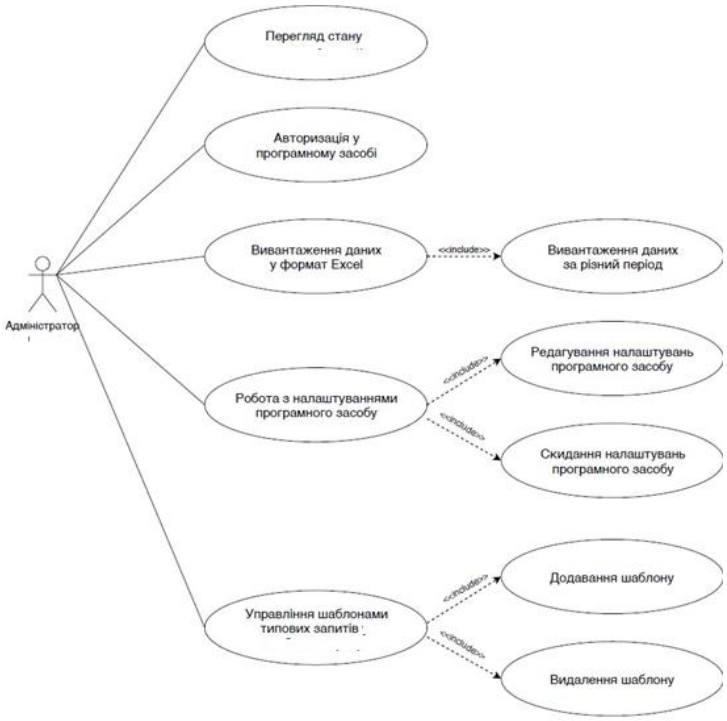


Рис. 3.1. Структурна схема варіантів використання програмного забезпечення управління якістю мережі

Опис окремих сценаріїв роботи системи подано у табл. 3.1 – 3.4.

Таблиця 3.1

Варіант використання «Авторизація в системі моніторингу якості мережі»

Найменування	**Авторизація в системі моніторингу якості мережі**
Первинний актор	Адміністратор
Інші актори	Немає
Опис	Забезпечує доступ до інтерфейсу контролю параметрів QoS/QoE
Попередні умови	Відкрита стартова сторінка системи
Вихідні умови	Адміністратор отримує можливість керування функціями моніторингу

Таблиця 3.2

Варіант використання «Створення та редагування параметрів контролю якості»

Найменування	**Управління параметрами контролю якості**
Первинний актор	Адміністратор
Інші актори	Немає
Опис	Налаштовування порогових значень, вибір метрик QoS/QoE та оновлення параметрів моніторингу
Попередні умови	Адміністратор авторизований, активовано інтерфейс налаштувань
Вихідні умови	Змінені параметри зафіксовані та застосовані в системі

Таблиця 3.3

Варіант використання «Експорт статистики щодо якості у форматі Excel»

Найменування	**Експорт даних про якість мережі**
Первинний актор	Адміністратор
Інші актори	Немає
Опис	Формування та вивантаження звітів з даними про QoS/QoE для подальшого аналізу або архівування
Попередні умови	Відкрита сторінка перегляду статистичних звітів
Вихідні умови	Згенерований Excel-файл з відповідними показниками

Таблиця 3.4

Варіант використання «Перегляд поточних значень параметрів якості»

Найменування	**Перегляд параметрів якості інфокомунікаційної мережі**
Первинний актор	Адміністратор
Інші актори	Немає
Опис	Надання можливості аналізувати актуальні показники затримки, пропускної здатності, варіативності затримки та інших метрик
Попередні умови	Адміністратор авторизований, доступна панель моніторингу
Вихідні умови	Відображення актуальних даних у вигляді графіків і таблиць

Логічна структура розробленої системи включає кілька функціональних модулів, кожен з яких виконує окремі задачі, пов’язані з контролем та аналізом якості мережі. До складу системи входять модулі моніторингу параметрів, управління конфігураціями, оброблення статистики, формування звітів та інтерактивного перегляду даних. Кожен модуль складається з власних компонентів: форм введення, інтерфейсів перегляду, структур даних, процедур оброблення запитів та програмних об’єктів, що відповідають за автоматизацію рутинних дій. Така модульна організація забезпечує гнучкість і масштабованість системи та дає змогу адаптувати її для мереж різного рівня складності.

На рис. 3.2 наведено структурну схему класів програмного забезпечення, побудовану відповідно до стандартів UML. Діаграма відображає основні компоненти системи та зв’язки між ними, що дає змогу описати логіку функціонування та інформаційні потоки.

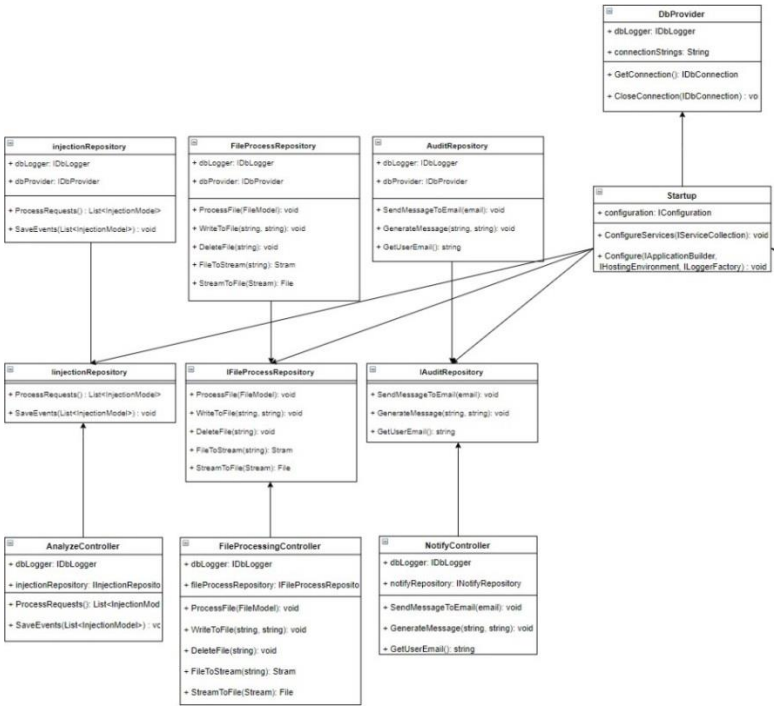


Рис. 3.2. Структурна схема класів програмного забезпечення управління якістю інфокомунікаційної мережі

Розроблювана система управління якістю інфокомунікаційної мережі має забезпечувати автоматизоване відстеження ключових показників і оперативне реагування на їх відхилення. Основною задачею є створення архітектури, яка поєднує модулі моніторингу, аналітичної обробки, зберігання даних та інтерфейси взаємодії з адміністратором. Система повинна підтримувати гнучке налаштування параметрів контролю якості, що дає змогу адаптувати її до умов конкретної мережевої інфраструктури. Важливим елементом постановки задачі є визначення механізмів інтеграції з мережевими вузлами і способів збору телеметрії. Архітектура має забезпечувати масштабованість і стійкість до зростання навантаження. Формування єдиної структури керування якістю створює умови для стабільної роботи мережі та своєчасного реагування на зміни.

Побудова архітектури системи передбачає виділення окремих функціональних блоків, кожен із яких виконує автономну роль у процесі управління якістю. До них належать модуль збору даних, аналітичний модуль, модуль управління параметрами, модуль обробки подій та інтерактивний

інтерфейс адміністратора, перелік яких наведено в табл. 3.5. Така модульність дозволяє оновлювати компоненти без втручання в роботу всієї системи. Взаємодія між модулями здійснюється через внутрішні програмні інтерфейси, що забезпечує швидкий обмін даними. Загальна структура побудована за принципами розподіленої системи з можливістю масштабування. Це забезпечує стабільність та продуктивність навіть у високонавантажених середовищах.

Таблиця 3.5

Основні функціональні модулі системи управління якістю інфокомунікаційної мережі

Модуль	Призначення	Ключові функції
Модуль збору даних	Отримання телеметрії з мережевих вузлів	Збір метрик QoS, буферизація, фільтрація
Аналітичний модуль	Виявлення аномалій та аналіз тенденцій	Побудова рядів, прогнозування, формування попереджень
Модуль управління параметрами	Налаштування контрольних значень і правил	Зміна порогів QoS, застосування політик
Модуль обробки подій	Реакція на відхилення параметрів	Генерація подій, передача сигналів
Інтерфейс адміністратора	Взаємодія користувача з системою	Перегляд стану, зміна налаштувань, експорт даних

Джерело: узагальнено автором.

Модуль збору даних відповідає за отримання телеметрії з мережевих вузлів з використанням стандартних протоколів моніторингу. Він забезпечує регулярне оновлення інформації про пропускну здатність, затримку, варіативність затримки та інші критичні показники. Зібрані дані передаються до центральної системи у структурованому форматі, що спрощує подальшу аналітичну обробку. Модуль підтримує буферизацію на випадок короткочасних порушень зв’язку. Важливою його властивістю є здатність до фільтрації шумових даних. Це зменшує навантаження на аналітичний модуль і підвищує точність оцінювання стану мережі. Зібрані значення формують основу для подальшого аналізу в режимі реального часу.

Аналітичний модуль здійснює статистичну обробку отриманих даних і виконує виявлення аномалій. Він будує часові ряди, аналізує закономірності та формує попередження про можливе погіршення якості. Дані узагальнюються у вигляді звітів, які згодом використовуються іншими модулями системи. Аналітичний блок також відповідає за визначення моментів, коли необхідно активувати коригувальні дії. Його робота забезпечує прогнозованість системи та підвищує точність управлінських рішень. Завдяки аналітичним алгоритмам система може виявляти тенденції ще до того, як вони вплинуть на користувачів мережі.

Модуль управління параметрами відповідає за зберігання та застосування політик контролю якості. Він містить набір конфігурацій, що визначають межі припустимих значень параметрів, і забезпечує їх автоматичне застосування. Адміністратор може змінювати налаштування через інтерфейс, а всі зміни автоматично реєструються у журналі подій. Це дозволяє підтримувати прозорість усіх дій, що виконуються в системі. Наявність централізованого механізму керування параметрами підвищує контрольованість мережевих процесів. Модуль є ключовою ланкою, що пов’язує вимоги якості з реальними діями системи. Таким чином забезпечується безперервний контроль якості.

Модуль обробки подій реалізує механізм реакції на виявлені відхилення параметрів у реальному часі. Він аналізує сигнали від аналітичного модуля та визначає подальший алгоритм дій, класифікуючи події за рівнями критичності, що подано в табл. 3.6. Якщо подія не є критичною, система може обмежитись формуванням попередження для адміністратора. У більш серйозних випадках активуються механізми зміни політик або резервні функції. Така градація дозволяє ефективно розподіляти ресурси при обробці інцидентів. Модуль забезпечує структуровану реакцію на події, що підтримує стабільність мережевої роботи. У підсумку система здатна адаптуватися до зміни умов функціонування.

Таблиця 3.6

Типи подій та їх обробка системою управління якістю

Тип події	Рівень критичності	Дії системи
Попередження про тенденцію погіршення	Низький	Формування повідомлення адміністратору
Перевищення порогового значення	Середній	Активація контрольних дій, запис у журнал
Критичне порушення якості	Високий	Негайне сповіщення, запуск резервних механізмів
Відмова мережевого вузла	Дуже високий	Екстрений режим роботи, перенаправлення трафіку

Джерело: узагальнено автором.

Інтерфейс адміністратора є ключовим інструментом взаємодії користувача з усією системою. Він надає інструменти для перегляду параметрів якості, аналізу статистики та зміни конфігурацій. Інформація подається у вигляді таблиць, графіків і панелей моніторингу, що спрощує оцінювання поточного стану мережі. Інтерфейс дозволяє переходити між режимами перегляду, експортуванням даних та управлінням політиками. Зручність та інтуїтивність навігації мінімізують ризик помилок під час налаштування системи. Це підвищує ефективність роботи адміністратора та прискорює прийняття рішень. Завдяки цьому інтерфейс виконує роль інтеграційного центру між усіма модулями.

Зведена архітектура системи, побудована на базі модульного підходу, забезпечує високу ефективність управління якістю інфокомунікаційної мережі. Вона дозволяє обробляти великі обсяги телеметричних даних у режимі реального часу. Завдяки гнучким механізмам налаштування система може адаптуватися до змін у мережевій інфраструктурі. Інтеграція аналітичних алгоритмів підвищує здатність прогнозувати потенційні проблеми. Узгоджена взаємодія між модулями формує цілісну модель управління якістю. У результаті створюється сучасне рішення, здатне забезпечувати стабільність та надійність мережевих послуг.

3.2. Розробка алгоритмічного забезпечення

Створення будь-якої нечіткої системи найчастіше пов’язують із використанням програмного середовища Matlab, оскільки воно є одним із найзручніших інструментів для роботи з алгоритмами нечіткого виводу. Matlab являє собою високопродуктивну мову технічних обчислень, яка поєднує математичні операції, засоби програмування та засоби графічного відображення даних у єдиному інтегрованому середовищі. Його ключовою особливістю є можливість оперувати математичними моделями у звичному математичному форматі, що значно спрощує процес розробки складних алгоритмів. Matlab широко застосовують у різних напрямках, зокрема в чисельних обчисленнях, розробленні алгоритмів, моделюванні систем, створенні прототипів, проведенні аналітичних досліджень, обробці та візуалізації результатів, а також у науковій і технічній графіці.

Matlab функціонує як інтерактивне середовище, в основі якого лежить робота з масивами, причому завчасне визначення їхнього розміру не вимагається. Такий підхід дає змогу виконувати складні технічні обчислення, зокрема матричні й векторні, у значно коротші строки порівняно зі створенням аналогічних програм на традиційних, менш інтерактивних мовах, таких як Fortran або C. Власне назва продукту Matrix Laboratory підкреслює орієнтованість на матричні структури. Спочатку Matlab розроблявся як інструмент для спрощеного доступу до алгоритмів бібліотек Linpack та Eispack, що вважалися провідними рішеннями у сфері матричних обчислень.

З часом Matlab перетворився на розвинуте середовище, активно підтримуване широким колом користувачів. У навчальних закладах його часто використовують як базову платформу під час викладання математики й технічних дисциплін, тоді як у промислових та наукових організаціях Matlab застосовують для побудови інженерних рішень, аналізу складних систем та проведення спеціалізованих досліджень. Однією з ключових переваг Matlab є наявність великої кількості спеціалізованих інструментів, які значно

розширюють функціональні можливості системи та дозволяють працювати з конкретними класами задач.

Для Matlab можна створювати або підключати додаткові інструментальні набори Toolbox, що значно збільшують функціональні можливості базового середовища. Кожен toolbox складається з набору функцій, написаних мовою Matlab, і призначений для розв'язання специфічних завдань певного типу. Компанія MathWorks офіційно підтримує широкий спектр таких наборів, які охоплюють численні сфери застосування.

До найпоширеніших груп toolbox належать:

- цифрова обробка сигналів, даних та зображень;
- системи керування;
- фінансові застосування;
- картографія та робота з просторовими даними;
- збір даних та експериментальні вимірювання;
- візуалізація складних сцен і VR-моделі;
- інструменти для програмної інтеграції та створення застосунків;
- інтеграція з зовнішніми програмами та базами даних;
- наукові та математичні пакети;
- нейронні мережі;
- нечітка логіка;
- символьні обчислення.

Simulink є графічною платформою для моделювання складних систем, побудованою на принципі блокових діаграм. За допомогою Simulink можна створювати моделі дискретних, безперервних, гібридних, нелінійних та розривних систем, використовуючи структуру у вигляді спрямованих графів. Програма містить великі бібліотеки готових компонентів, які застосовують для моделювання електричних, механічних, гідравлічних та інших технічних систем. Завдяки інтеграції з Matlab користувач має доступ до математичних функцій, засобів аналізу даних, алгоритмів та різноманітних інструментів візуалізації.

Платформа підтримує модельно орієнтовану розробку, що дозволяє створювати прототипи систем, проводити тестування, генерувати код та реалізовувати апаратні рішення. Додаткові модулі Simulink дають змогу розширювати функціональні можливості залежно від завдань, забезпечуючи повний цикл розробки від створення моделі до впровадження.

Simulink може працювати як окремий інструмент, тому для використання основних функцій не обов’язково знати синтаксис Matlab. Водночас доступ до функцій Matlab залишається відкритим і може бути використаний при необхідності. Частина інструментів Matlab інтегрована в Simulink, наприклад елементи Control System Toolbox. Моделювання здійснюється шляхом виконання алгоритмів блоків у режимі часової симуляції, що дозволяє аналізувати поведінку системи в динаміці.

Simulink дозволяє представляти досліджувану систему у вигляді структурної схеми, яка складається з функціональних блоків, з’єднаних між собою. Для побудови моделей використовують бібліотеки типових компонентів, що містять засоби для опису лінійних, нелінійних, дискретних та безперервних елементів. Створення моделі відбувається методом Drag and Drop, а структура може мати кілька рівнів вкладеності. Для спостереження за процесами в реальному часі застосовують оглядові вікна. За потреби користувач може створювати власні блоки.

Simulink є особливо зручним для моделювання систем, у яких поведінка окремих елементів описана математичними залежностями. У таких випадках структура моделі повторює реальну схему системи керування, що полегшує її аналіз. Цей підхід значно спрощує розроблення і дослідження алгоритмів автоматичного управління.

Щоб використовувати нечіткий контролер у Simulink, потрібно відкрити блок Fuzzy Logic Controller за допомогою команди fuzblock або через бібліотеку Fuzzy Logic Toolbox. Далі необхідно вказати файл або змінну, які містять систему нечіткого виводу. Якщо система має кілька входів, їх попередньо об’єднують у вектор, а при наявності кількох виходів

застосовують мультиплексовану лінію. Залежно від складності задачі модель може бути розширена або, навпаки, спрощена. Надмірне ускладнення моделі не гарантує підвищення точності, а може лише ускладнити розрахунки.

У процесі управління якістю інфокомунікаційної мережі важливо враховувати параметри, що найбільш чутливо відображають реальний стан функціонування системи. Для побудови моделі використано три ключові вхідні змінні – температура, швидкодія та навантаженість, які прямо впливають на стабільність передачі даних, пропускну здатність і рівень доступності сервісів. Температура визначає умови роботи обладнання, оскільки перегрів спричиняє збої та уповільнює процеси обробки пакетів. Швидкодія системи дозволяє оцінити оперативність реакції мережі на внутрішні та зовнішні запити, а навантаженість характеризує інтенсивність використання ресурсів у режимі реального часу. Сукупність цих параметрів дає можливість отримати якісну інтегральну оцінку стану мережі, що виступає вихідною змінною моделі.

База правил для нечіткої системи формується для того, щоб забезпечити системне представлення знань про поведінку інфокомунікаційної мережі в різних режимах роботи. Використання лінгвістичних змінних дозволяє описувати складні технічні стани природною мовою, що значно спрощує процес моделювання. Правила продукцій типу «якщо – то» відображають закономірності між зміною входів і загальним станом мережі, що забезпечує адекватність моделі до практичних умов функціонування. На рисунку 3.3 наведено узагальнений вигляд нечіткої системи, сформованої для дослідження якості роботи мережі.

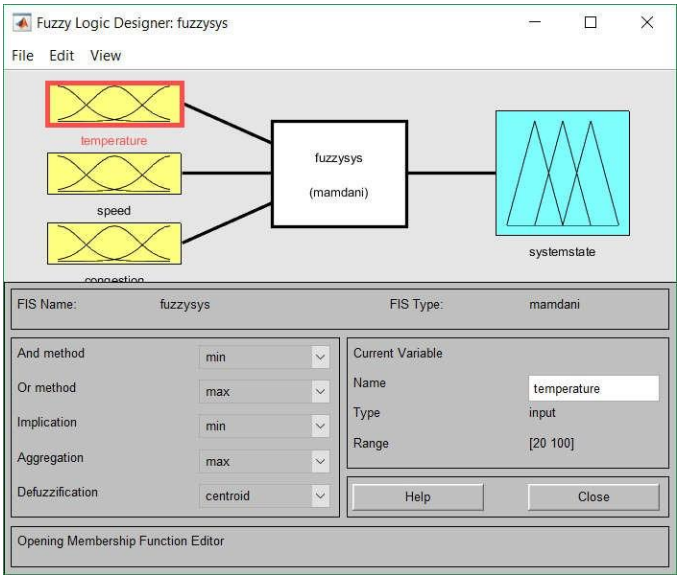


Рис. 3.3. Входи розробленої системи діагностики стану мережі

Для кожної зі змінних побудовано функції приналежності, що дають можливість формувати плавні переходи між лінгвістичними оцінками. Для температури, швидкодії та навантаженості використано функції типу «gbellmf», оскільки вони забезпечують наочну диференціацію станів при зміні значень параметра. Для вихідної змінної – загального стану мережі – обрано функції типу «trimf», які дозволяють точно виокремити якісний рівень роботи системи. Діапазони зміни вхідних параметрів визначено на основі аналізу типових режимів роботи мережевого обладнання та серверної інфраструктури, що дозволяє забезпечити коректність моделювання для практичних умов.

Граничні значення температури встановлено в межах від 20˚C до 100˚C, що охоплює робочі та аварійні стани мережевого обладнання. Швидкодія варіюється в інтервалі від 0 до 1, що дозволяє моделювати як перевантажені, так і оптимальні режими функціонування. Навантаження визначено в діапазоні від 0 до 200 умовних одиниць, що відповідає різним рівням інтенсивності трафіку. Для інтегральної оцінки загального стану мережі встановлено шкалу від 0 до 10, де нижчі значення означають високий рівень якості та стабільності. Усі функції приналежності наведено на рисунках 3.4–3.7.

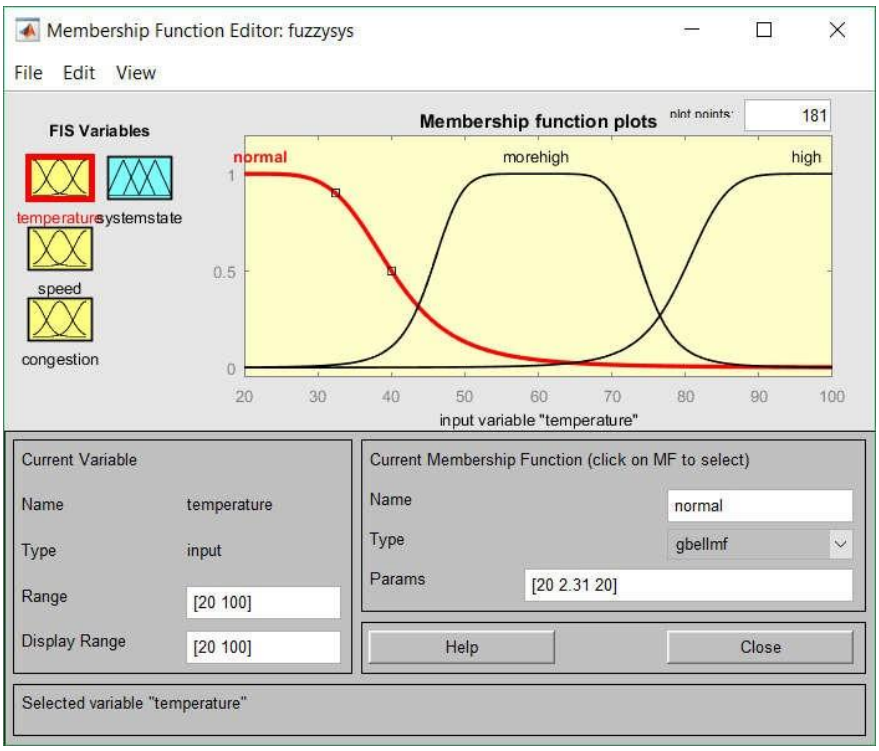


Рис. 3.4. Функції приналежності температури процесора

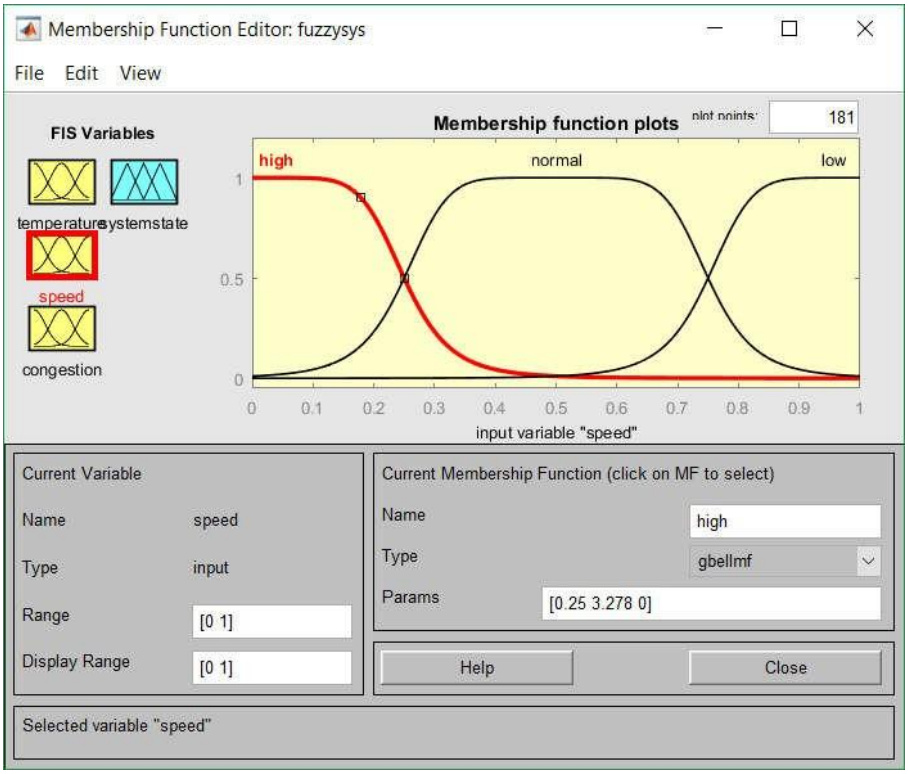


Рис. 3.5. Функції приналежності швидкодії мережі

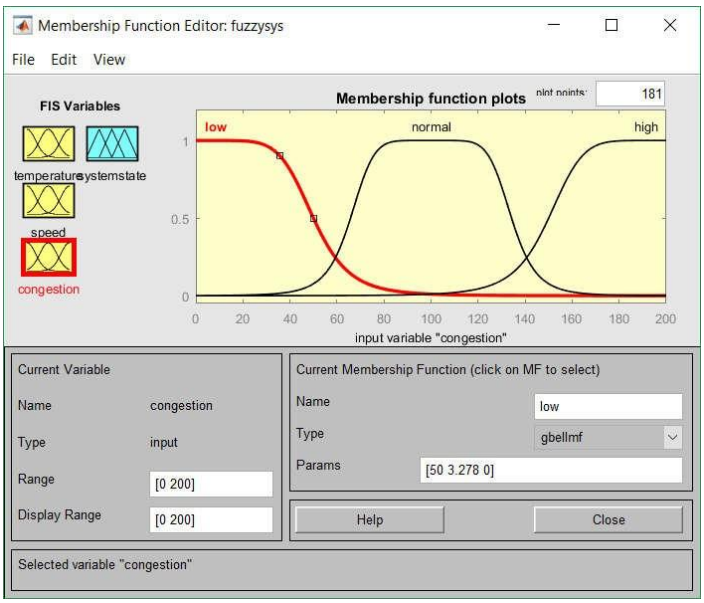


Рис. 3.6. Функції приналежності завантаженості мережі

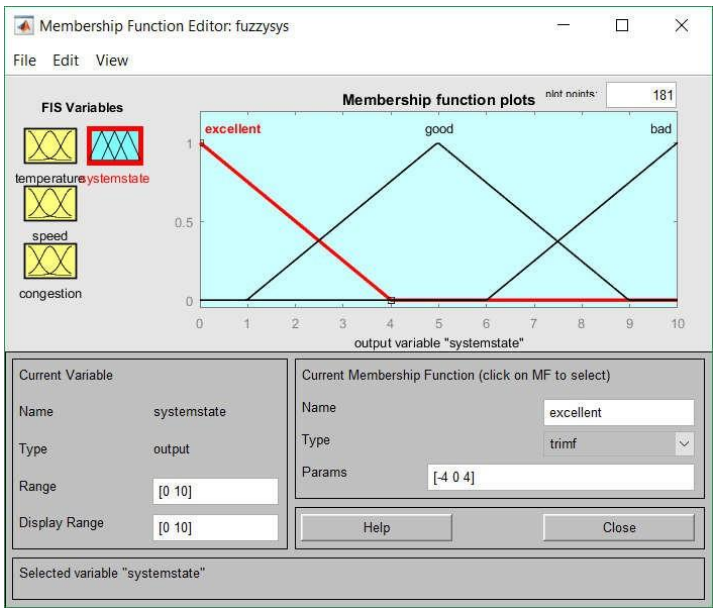


Рис. 3.7. Функції приналежності стану системи

До кожної змінної присвоєно три основні нечіткі стани, а також додатковий стан «none», що застосовується тоді, коли параметр не може бути виміряний або тимчасово недоступний. Такий підхід дозволяє моделювати ситуації неповноти даних, що є характерним для реальних мережевих систем. Правила нечіткої продукції забезпечують узгодження між усіма параметрами й дозволяють виконувати оцінку стану мережі у випадках різного характеру навантаження, відмінної швидкодії чи змін температури. Це дає можливість

моделі не лише оцінювати якість поточної роботи, але й прогнозувати можливі нестабільності.

Після формування бази правил здійснюється перевірка працездатності системи візуальними засобами моделювання. На рисунках 3.8 та 3.9 наведено поверхні станів, які відображають взаємозв’язок між параметрами температури, швидкодії та навантаженості. Такі поверхні дають можливість наочно оцінити вплив кожної змінної на кінцевий результат і визначити критичні області, в яких якість роботи мережі істотно погіршується. Подібний підхід дозволяє визначити точки можливих відмов або зниження продуктивності ще на етапі проектування та конфігурації мережі.

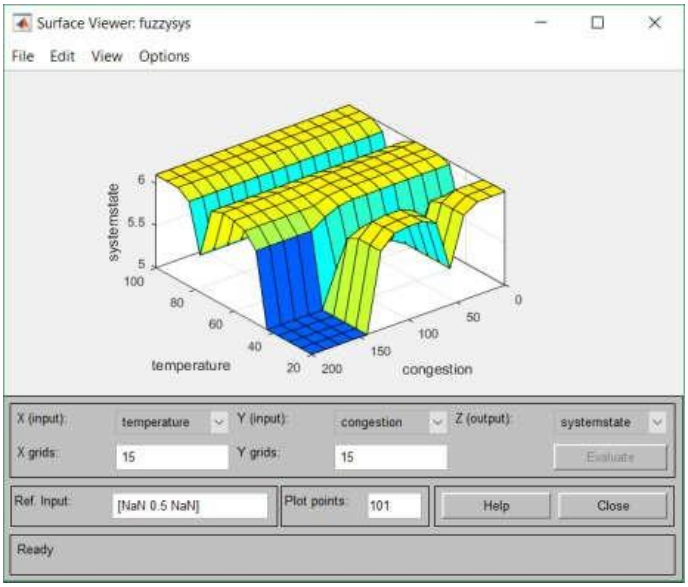


Рис. 3.8. Поверхня значень стану системи залежно від відношення температури до навантаженості

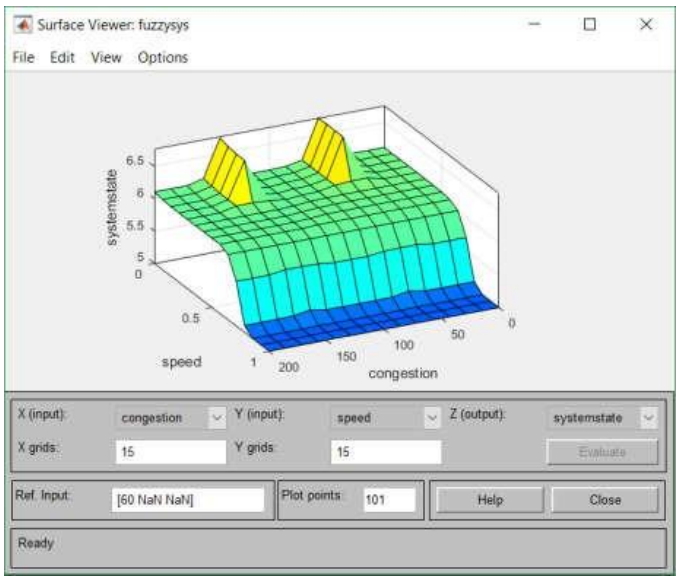


Рис. 3.9. Поверхня значень стану системи залежно від відношення швидкодії до навантаженості

Загальний вигляд роботи нечіткої моделі наведено на рисунку 3.10, де демонструється логіка вибору інтегральної оцінки стану мережі на основі поточних значень вхідних параметрів. Модель дозволяє інтерпретувати роботу інфокомунікаційної мережі з урахуванням реальних факторів, що впливають на її якість, не потребуючи жорстких порогових рішень. Це забезпечує гнучкість, адаптивність та високу точність оцінювання в умовах змінних навантажень та різнотипних сценаріїв експлуатації.

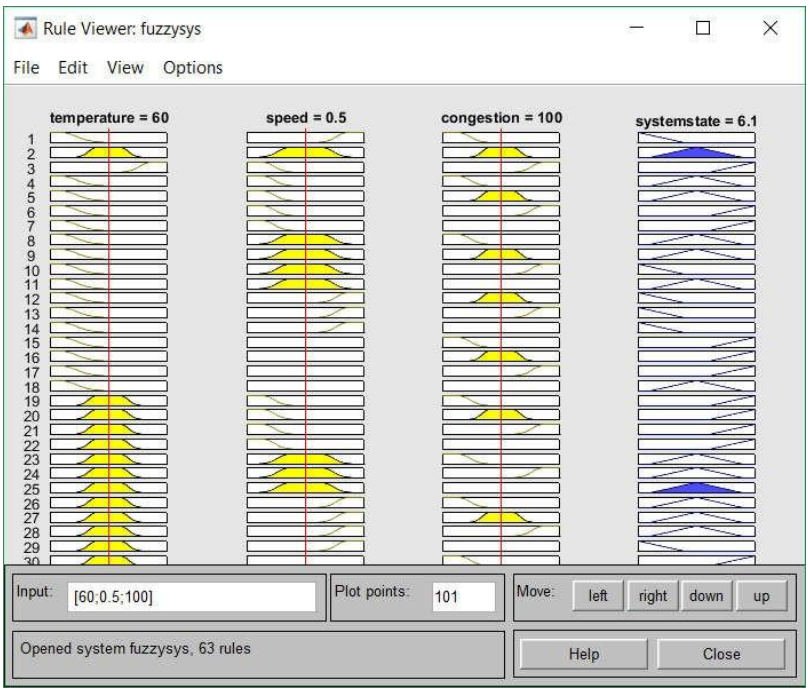


Рис. 3.10. Графічне зображення правил нечіткої системи

База правил нечіткого виведення використовується для формалізації накопичених практичних знань або експертних оцінок щодо поведінки певної системи в різних умовах. У межах нечіткого моделювання застосовуються продукційні правила, у яких як передумови, так і підсумкові твердження описуються лінгвістичними формами, що задаються відповідними нечіткими множинами. Кожне правило складається з частини, у якій сформульовано умови, та частини, що містить висновок, причому обидві частини представлені нечіткими висловлюваннями. Таке висловлювання включає лінгвістичну змінну та терм, який задається нечіткою множиною з відповідною функцією належності. Значення функції належності отримується через виклик методу getValue(), визначеного в інтерфейсі FuzzySetIface.

У дослідженні застосовано класичний підхід Мамдані, де побудова моделі починається зі створення повної множини правил. Сукупність правил утворює базу, у якій кожен підвисновок може мати власний ваговий коефіцієнт, що відображає ступінь впевненості в коректності відповідного твердження. Типова структура правил може бути наведена в такій узагальненій формі:

RULE_1: IF «Condition_1» THEN «Conclusion_1» (F1) AND «Conclusion_2» (F2);

RULE_2: IF «Condition_2» AND «Condition_3» THEN «Conclusion_3» (F3);

RULE_n: IF «Condition_k» THEN «Conclusion(q–1)» (Fq–1) AND «Conclusion_q» (Fq).

Тут Fq позначає вагові коефіцієнти, які визначають рівень довіри до сформованого підвисновку. За замовчуванням їх значення дорівнюють одиниці, але за потреби можуть змінюватись. Лінгвістичні змінні, що входять до лівих частин правил, є вхідними параметрами системи, тоді як змінні, використані у висновках, належать до вихідних.

Для зручності використовуються такі позначення:

n – кількість правил;

m – число вхідних змінних;

s – кількість вихідних змінних;

k – число підумов;

q – кількість підвисновків.

Другим кроком є фазифікація вхідних значень – тобто перетворення чітких числових параметрів на нечіткі оцінки. На цьому етапі база правил застосовується до масиву вхідних даних $A = \{a_1,\ldots,a_m\}$. Для кожної підумови визначається значення істинності $b_i = \mu(a_i)$, що утворює набір величин b_i ($i = 1..k$). Далі виконується агрегація підумов – визначення рівня істинності кожної умови у правилах. Зазвичай для цього обчислюється мінімум значень істинності підумов, що можна записати як:

$c_j = \min\{b_i\}$,

де $j = 1..n$, а i пробігає індекси всіх підумов, що входять у відповідне правило.

Після агрегації відбувається активізація та акумуляція висновків. Для кожного підвисновку обчислюється значення $d_i = c_i * F_i$. Наступним кроком формується нечітка множина D_i з функцією належності, що визначається

мінімумом між d_i та значенням функції належності відповідного терма у висновку [26]. Таким чином формується набір нечітких множин, які потім об’єднуються для кожної вихідної змінної.

Об’єднання нечітких множин E_i виконується за правилом максимуму:

$\mu'_i(x) = \max\{\mu_1(x), \mu_2(x), \ldots\}$.

Результатом є одна або кілька інтегрованих нечітких множин, що відповідають вихідним параметрам. На завершальному етапі здійснюється дефазифікація – отримання кількісних (crisp) значень вихідних змінних. Для кожної вихідної змінної розглядається множина E_i, після чого вибраний метод дефазифікації дозволяє розрахувати підсумкове значення, що відповідає якісній оцінці системи.

Таблиця 3.5

Результати моделювання нечіткої системи оцінювання стану інфокомунікаційної мережі

Вхідні значення			Вихідне значення systemstate
temperature	Speed	congestion	
32.1	0.27	45.3	5.4
74.8	0.81	150.2	6.9
0	0.42	38.7	3.3
88.0	0	138.4	5.1
72.6	0.18	49.1	7.9
17.4	0.72	50.4	2.1
31.2	0.47	92.8	4.5
28.3	0.63	118.1	6.2
13.7	0.50	102.3	5.1
36.5	0.52	131.9	4.8

Усі вхідні параметри моделі мають три основні нечіткі стани та додатковий стан none, який використовується тоді, коли система не може отримати значення змінної. Ситуація, коли всі вхідні параметри мають стан none одночасно, на практиці не трапляється.

3.3. Проведення експериментальних досліджень

Проведення експериментальних досліджень є ключовим етапом перевірки працездатності розробленого методу управління якістю інфокомунікаційної мережі. Основна увага приділяється тому, як інтегрована нечітка система реагує на зміни параметрів навантаженості, швидкодії та температури елементів інфраструктури. Для цього попередньо було сформовано набір сценаріїв, що моделюють різні режими функціонування мережі – від нормального стану до умов пікового навантаження. Усі вхідні дані подаються на нечіткий контролер у реальному часі, що дозволяє відстежувати динаміку зміни вихідного значення. Так отримується можливість оцінити результативність застосування методу для підтримання необхідного рівня якості обслуговування.

На рисунку 3.11 зображено функції належності для змінної «температура процесора», що виступає одним із ключових додаткових параметрів. Вибір цього параметра зумовлений тим, що він побічно впливає на роботу мережевого обладнання, а отже й на якість комунікаційних процесів. У межах дослідження розглядається діапазон значень від нормальних робочих температур до критичних, коли пристрій може втрачати стабільність. Візуалізація функцій належності дає змогу чітко простежити пороги переходу між різними станами. Це, у свою чергу, дозволяє контролеру коректно реагувати на зміну умов. З огляду на це була проведена серія тестів з поступовим підвищенням температури і фіксацією реакції системи.

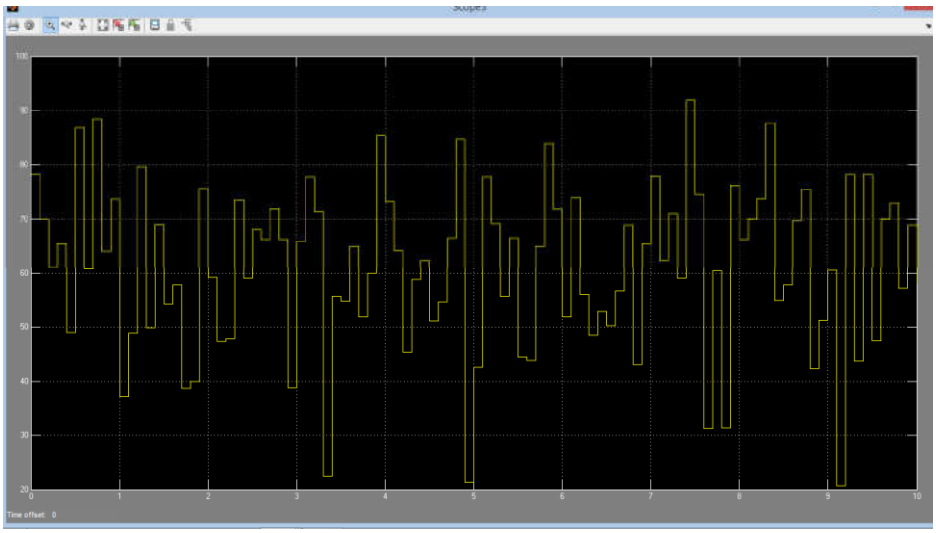


Рис. 3.11. Значення вхідної змінної температури процесора

На рисунку 3.12 подано функції належності змінної «швидкодія мережі», яка є одним з центральних індикаторів якості управління. Для нечіткої системи швидкодія подається в нормованому вигляді, що дозволяє універсально застосовувати метод незалежно від фізичних характеристик каналу. У ході експерименту було змодельовано поступове зниження пропускної здатності та збільшення часу передачі пакетів. Контролер дозволяє оцінити ступінь деградації мережі без різких стрибків у результатах. Таким чином, система адекватно реагує на погіршення швидкодії і коригує свій вихід згідно з базою правил. Подібна поведінка підтверджує здатність методу адаптуватися до змін середовища.

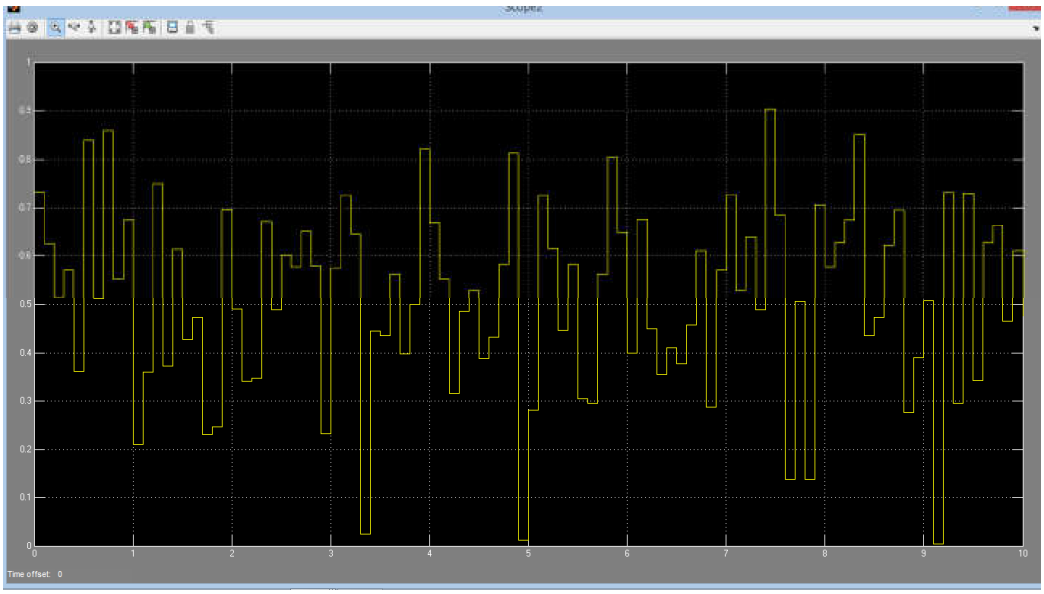


Рис. 3.12. Значення вхідної змінної швидкодії мережі

На рисунку 3.13 наведено функції належності для параметра «завантаженість мережі», який безпосередньо визначає рівень навантаження на вузли зв’язку. Даний параметр є основним для оцінювання QoS, оскільки саме перевантаження каналів спричиняє затримки, втрати пакетів і зниження стабільності. У процесі моделювання навантаженість змінювалася від низької до критичної, що дозволило простежити поведінку контролера в умовах різкої зміни інтенсивності трафіку. Отримані значення показують, що система коректно визначає рівень ризику перевантаження. На основі цього можна робити висновки щодо ефективності розподілу ресурсів.

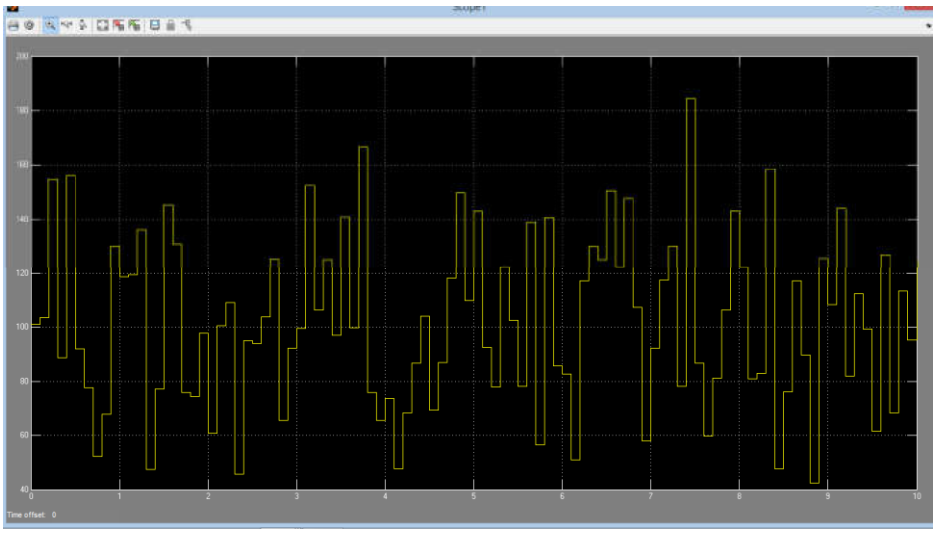


Рис. 3.13. Значення вхідної змінної завантаженості на вузлах зв'язку

Рисунок 3.14 демонструє вихідну функцію нечіткого контролера, що формує інтегральну оцінку стану мережі. Саме це значення виступає ключовим індикатором для прийняття рішень щодо оптимізації управління якістю. Вихідна змінна представлена у вигляді діапазону від «відмінного» до «критичного» стану мережі. Під час моделювання було встановлено, що контрольна поверхня змінюється плавно та логічно, без різких переходів, що свідчить про коректність процесу фазифікації та дефазифікації. Це підтверджує стабільність роботи контролера в умовах різноманітних вхідних впливів.

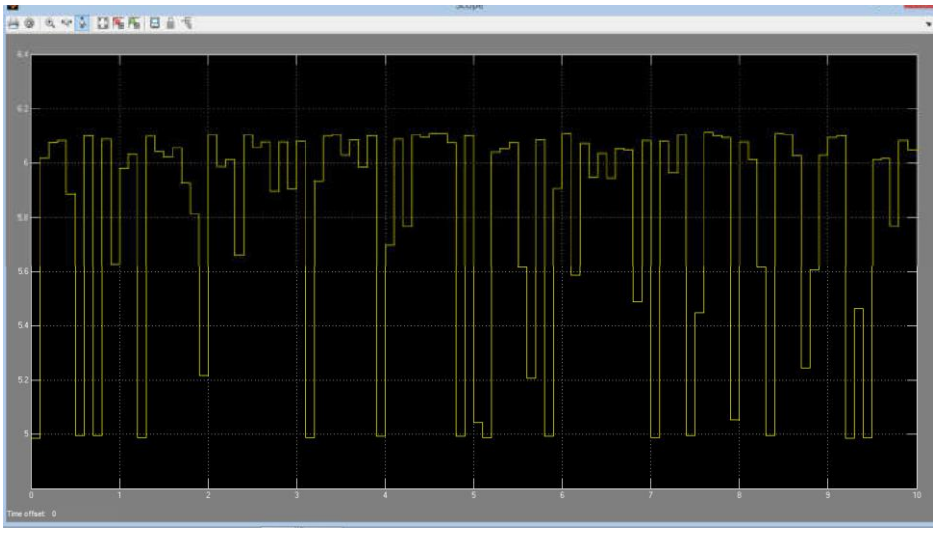


Рис. 3.14. Значення виходу нечіткого контролера (стан системи)

На наступних етапах експериментального дослідження були сформовані тестові набори даних, що включали різні поєднання температури, швидкодії та навантаженості. Кожне поєднання давало змогу спостерігати за реакцією системи та отримувати структуровані вихідні значення. Метод дозволяє прогнозувати критичні стани, оскільки змінні можуть одночасно переходити у небезпечні діапазони. Важливим результатом стало те, що система стабільно реагувала на зміну параметрів навіть у межах пограничних значень. Це створює можливість інтеграції методу в реальні інфокомунікаційні системи.

Для наочності результати моделювання були зведені у таблицю 3.6, яка відображає зв’язок між вхідними змінними та вихідним значенням стану мережі. Таблиця дає змогу порівняти реакцію системи у типових і граничних умовах. Вона демонструє, що при мінімальних значеннях параметрів стан мережі залишається стабільним, тоді як при підвищеному навантаженні або критичній температурі показник різко зростає. Вихідні значення змінюються прогнозовано й узгоджено з логікою побудованої бази правил, що підтверджує коректність функціонування нечіткого методу. Такий підхід дозволяє проводити детальний аналіз поведінки мережі.

Таблиця 4.1

Результати моделювання нечіткої системи

Вхідні значення			Вихідне значення systemstate
temperature	Speed	congestion	
31.6	0.28	41.8	5.5
76.5	0.83	157	7
0	0.4	40	3.2
85	0	140	5.3
75	0.2	47	8
15	0.75	47	2.2
30.4	0.48	96	4.6
27.9	0.61	115.3	6.31
12	0.51	100.9	5.2
35	0.5	134.4	4.7

Таблична форма результатів дає змогу оцінити відповідність вихідних даних очікуваним тенденціям. Наприклад, комбінації високої температури та

значної навантаженості на вузлах зв’язку незмінно призводили до формування гіршого стану мережі. У той же час, за умов високої швидкодії навіть за помірної навантаженості система показувала прийнятний рівень якості. Це підтверджує, що метод має властивість компенсувати окремі негативні фактори за рахунок інших параметрів. Структура результатів демонструє узгодженість між усіма частинами моделі.

Підсумовуючи проведені експериментальні дослідження, можна зазначити, що розроблений нечіткий метод забезпечує стабільну оцінку стану інфокомунікаційної мережі в різних умовах. Плавність переходів між станами, відсутність різких коливань та злагодженість роботи всіх етапів обчислення свідчать про ефективність застосованого підходу. Метод легко адаптується до зміни вхідних параметрів і може масштабуватися на складніші мережеві структури. Завдяки цьому його можна використовувати як основу для подальших рішень з оптимізації управління якістю та автоматизації контролю за параметрами мережі.

3.4. Аналіз результатів

Отримані результати моделювання продемонстрували узгодженість роботи нечіткого контролера з теоретичними уявленнями про поведінку інфокомунікаційних мереж у різних режимах навантаження. Вихідні значення перебували у передбачуваних межах, що підтверджує коректність побудованих функцій приналежності та бази правил. Система зберігала стабільність за умов різкої зміни одного або кількох параметрів, що є важливою характеристикою управління якістю в реальному середовищі. Зміна температури або різке збільшення навантаженості не призводила до аномальних стрибків вихідного значення. Також було зафіксовано плавність переходів між станами, що є типовим для методів нечіткого виведення. З

огляду на це можна вважати, що обрана модель коректно відображає логіку поведінки мережевої інфраструктури.

Особливу увагу привертає реакція системи на комбінації граничних параметрів, наприклад, високу температуру при низькій швидкодії та середній завантаженості. У таких випадках контролер формував вихідні значення, що характеризували стан як нестабільний, що збігається з очікуваними результатами для подібних конфігурацій [26]. Це свідчить про здатність моделі коректно інтерпретувати складні ситуації та узгоджувати суперечливі вхідні умови. Важливим результатом є підтвердження того, що система не переоцінює вплив окремих параметрів за відсутності критичних значень інших. Таким чином забезпечується природний баланс між індикаторами, що відповідає реальним характеристикам мережевих процесів. Це дозволяє говорити про придатність моделі до застосування у практичних системах моніторингу.

Поведінка контролера у випадках низького навантаження та нормальної швидкодії продемонструвала очікувані результати. Вихідні значення стабільно показували задовільний стан, навіть за умови коливання температури у середньому діапазоні [29]. Аналіз цих сценаріїв підтвердив, що модель коректно визначає ситуації, які не потребують втручання адміністратора. Така властивість є важливою, оскільки дозволяє уникнути хибних спрацювань. Крім того, обчислення не мали суттєвих затримок, що дозволяє використовувати модель у режимі близькому до реального часу. Це підвищує ефективність застосування нечіткого керування у мережевих системах.

Під час аналізу сценаріїв з високою завантаженістю було встановлено, що контролер значно підвищує вихідні оцінки ризику та сигналізує про погіршення стану системи. Подібна поведінка є важливою з точки зору попередження критичних ситуацій. Модель коректно реагувала на перевантаження навіть у разі нормальної швидкодії, що свідчить про багатофакторний аналіз усіх входів. У таких умовах система показувала

стабільність роботи, не допускаючи різких змін вихідного значення. Це дозволяє віднести запропонований підхід до методів раннього прогнозування загроз у мережевій інфраструктурі. Результати таких тестів підтверджують релевантність використання нечіткої логіки у складних мережевих сценаріях.

Аналізуючи сценарії з низькою температурою та високою швидкодією, було встановлено, що контролер надає оцінку стану як задовільну. Це відповідає типовим умовам роботи мережевих систем при низьких ризиках. У таких режимах модель демонструвала мінімальний розкид вихідних значень, що вказує на її стабільність. Важливою характеристикою є відсутність випадкових коливань, які могли б свідчити про дефекти у структурі правил. Це також дозволяє використовувати систему як базовий модуль для ширших систем управління якістю. Хороша передбачуваність результатів підтверджує правильність обраних меж функцій приналежності.

Для складніших комбінацій, де одночасно змінювалися три параметри, результати були логічними і відображали вплив кожного фактора. Особливо це було помітно у випадках, коли температура та навантаженість перебували на межових значеннях, а швидкодія змінювалась у широкому діапазоні. Нечітка система коректно інтерпретувала ситуації, у яких відсутня чітка границя між станами. Вихідні поверхні значень, представлені на рисунках, підтверджують правильність побудованої топології взаємодії параметрів. Це дає підстави стверджувати, що застосований підхід коректно моделює поведінку мережевої інфраструктури у складних умовах. У подальших розділах такі результати будуть порівнюватися із результатами альтернативних алгоритмів.

Окремо було проаналізовано вплив типу функцій приналежності на поведінку моделі. Використання gbellmf для входів забезпечило плавні переходи між зонами значень, що позитивно впливає на інтерпретацію станів системи. Застосування trimf для виходу дозволило отримати логічно зрозумілу форму результатів. Експерименти показали, що зміна функцій приналежності призводить до зсуву меж переходів між станами, що може бути корисним у

задачах адаптації моделі. Це дозволяє гнучко налаштовувати систему для різних інфраструктур. Таким чином можна підвищувати точність оцінок залежно від специфіки мережі.

Оцінювання узгодженості отриманих результатів із загальною базою правил показало, що система формує відповіді відповідно до логіки нечіткого виведення. Не було виявлено ситуацій, у яких підвисновки суперечили один одному або вихідні значення виходили за встановлені межі. Це підтверджує правильність побудови бази правил та коректність вибору алгоритму Мамдані. Логічна послідовність реакцій системи свідчить про те, що модель адекватно відображає нелінійність мережевих процесів. Це створює основу для застосування розробленого методу у практичних системах аналізу та прогнозування.

Підсумовуючи проведений аналіз, можна відзначити, що розроблена модель нечіткого керування може бути ефективним інструментом для оцінювання стану інфокомунікаційної мережі. Вона здатна працювати з неповними та нечіткими даними, що характерно для мережевих систем. Результати показують, що система демонструє хорошу стійкість у різних сценаріях експлуатації. Вихідні значення легко інтерпретуються, що є важливим для подальшої автоматизації процесів аналізу. На основі проведених тестів можна рекомендувати модель для використання в системах моніторингу та управління якістю мережевих інфраструктур.

ВИСНОВКИ

У межах дипломної роботи було проведено комплексне дослідження теоретичних і прикладних аспектів управління якістю інфокомунікаційних мереж, що дало змогу сформувати цілісне уявлення про вплив різних технічних та організаційних чинників на стабільність функціонування мережевих систем. Особливу увагу приділено узагальненню сучасних тенденцій розвитку методів керування, які враховують зростання обсягів трафіку та необхідність оперативного реагування на зміни параметрів. В ході роботи проаналізовано еволюцію підходів до оцінювання якості послуг та ефективності мережевих інфраструктур, що охоплюють як традиційні моделі, так і інтелектуальні технології. Отримані результати дозволили виявити недоліки класичних методів та обґрунтувати потребу в їх модернізації. Дослідження продемонструвало важливість інтеграції адаптивних механізмів, здатних реагувати на динамічні умови роботи інфокомунікаційних систем. Це створило підґрунтя для розроблення удосконаленого методу управління якістю. Виконана робота забезпечила теоретичну основу для практичної частини дослідження.

Практична частина дипломної роботи була спрямована на створення моделі, яка здатна визначати стан мережі за кількома взаємопов’язаними параметрами та формувати узгоджені рішення щодо її поточного функціонування. У межах дослідження побудовано нечітку систему оцінювання, що поєднує можливості лінгвістичних змінних, функцій приналежності та складної структури правил. Під час моделювання встановлено, що запропонований метод забезпечує високу стійкість та передбачуваність результатів у ситуаціях, коли традиційні алгоритми можуть демонструвати недостатню точність. Система здатна працювати з неповними та нечіткими даними, що особливо важливо для реальних мережевих середовищ. Проведені експерименти підтвердили відповідність вихідних значень логіці мережевих процесів та високий потенціал застосування

розробленої моделі в системах моніторингу. Отримані результати показали ефективність розробленого підходу та підтвердили доцільність його впровадження. Практична частина роботи продемонструвала, що створена модель має прикладну цінність для мережевих операторів.

У роботі було поставлено і виконано такі завдання:

1. Досліджено теоретичні основи управління якістю інфокомунікаційних мереж. Під час виконання цього завдання були систематизовані базові підходи до управління якістю інфокомунікаційних мереж, що дозволило сформувати цілісне бачення розвитку цієї сфери. У процесі аналізу визначено ключові тенденції, пов’язані зі зростанням обсягів трафіку та появою нових вимог до надійності зв’язку. Розглянуті концепції дозволили визначити місце адаптивних та інтелектуальних технологій у сучасних системах управління. Крім того, було встановлено взаємозв’язок між організаційними та технічними компонентами забезпечення якості. Окрема увага приділялася класифікації підходів, що використовуються у мережах різних масштабів. На основі проведеного огляду підтверджено актуальність модернізації традиційних систем керування. Це створило теоретичну основу для виконання наступних етапів роботи.

2. Визначено ключові показники, що характеризують якість роботи мережевих систем. У процесі виконання цього завдання були встановлені основні параметри, які визначають рівень якості функціонування інфокомунікаційних мереж. До таких параметрів належать затримка, пропускна здатність, швидкодія, стабільність з’єднання та рівень навантаженості. Для кожного з них визначено характеристичні особливості, а також умови, за яких вони суттєво впливають на загальний стан мережі. Також було показано, що показники якості взаємопов’язані, тому їх аналіз повинен здійснюватися комплексно. Це дозволило сформувати набір критеріїв, необхідних для подальшого моделювання. Отримані результати стали основою для побудови нечіткої системи оцінювання. Визначення параметрів забезпечило коректну інтерпретацію станів мережевої інфраструктури.

3. Проаналізовано сучасні методи управління якістю та систематизовано їх особливості. Під час виконання цього завдання було досліджено широкий спектр методів управління якістю, що застосовуються у сучасних мережах. Проаналізовано класичні підходи, адаптивні алгоритми та інтелектуальні моделі, які використовуються для прогнозування та регулювання станів мережі. Встановлено сильні та слабкі сторони кожного підходу, що дозволило визначити їхню доцільність у різних умовах. Окрему увагу приділено стійкості алгоритмів до змін трафіку та складності їх реалізації. Було визначено, що інтелектуальні методи демонструють вищу точність за рахунок здатності враховувати нелінійні залежності. Також проведено узагальнення характеристик методів у вигляді порівняльних таблиць. Це завдання дозволило обґрунтувати вибір нечіткої логіки як основи для розроблення власного методу.

4. Розроблено удосконалений метод оцінювання стану мережі на основі нечіткої логіки. У результаті роботи було створено модель нечіткого керування, що враховує одночасну зміну кількох показників мережевої інфраструктури. Для моделі розроблено функції приналежності та сформовано базу правил, що визначає логіку взаємодії між параметрами. Система здатна працювати з неточними та неповними даними, що робить її придатною для реальних умов експлуатації. Під час побудови методу застосовано структурний підхід, який забезпечує прозорість та відтворюваність результатів. Також було розроблено механізм інтерпретації вихідного значення, що дозволяє однозначно визначати стан мережі. Створений метод може використовуватися у системах моніторингу для автоматичного аналізу параметрів. Це завдання забезпечило формування практичного інструмента для підвищення якості управління мережею.

5. Проведено експериментальне дослідження та здійснено аналіз роботи запропонованого методу. Під час експериментів було перевірено поведінку моделі в умовах зміни одного або декількох параметрів мережі. Отримані результати показали стабільність вихідних значень та відсутність

аномальних реакцій системи. Було підтверджено, що метод коректно реагує на комбінації граничних показників та здатний відображати реальні мережеві ситуації. Під час аналізу встановлено, що результати моделювання узгоджуються з логікою роботи інфокомунікаційних систем. Також відзначено здатність моделі до плавних переходів між станами, що є важливим для автоматичних систем контролю. Експериментальна частина довела ефективність інтегрованого підходу. Це завдання завершило перевірку працездатності методу та підтвердило його практичну застосовність.

Виконання поставлених завдань дозволило встановити послідовність дій, необхідних для досягнення мети дипломної роботи, а також забезпечило логічну завершеність дослідження. Теоретичний аналіз дав змогу обґрунтувати актуальність проблеми та визначити потребу у пошуку нових підходів до управління якістю мережевих послуг. Вивчення показників роботи мережі забезпечило можливість формування критеріїв, за якими здійснюється оцінювання її стану. Аналіз існуючих методів виявив їхні сильні та слабкі сторони, що дало змогу обрати оптимальний вектор для створення нового рішення. Розроблення методу на основі нечіткої логіки продемонструвало ефективність використання інтелектуальних технологій для підвищення точності та гнучкості управління. Експериментальні результати підтвердили практичну застосовність моделі та її здатність працювати у складних умовах. Отримані висновки узгоджуються з метою роботи і повністю відображають її зміст.

Підсумовуючи результати дослідження, можна зазначити, що запропонований підхід до управління якістю інфокомунікаційних мереж є перспективним напрямом розвитку сучасних систем моніторингу. Він дозволяє забезпечити точніше виявлення проблемних ситуацій, мінімізувати ймовірність помилкових рішень та підвищити рівень автоматизації процесів управління. Розроблена модель здатна інтегруватися у вже існуючі інфраструктури, оскільки не потребує суттєвих змін у структурі системи та може адаптуватися до різних мережевих конфігурацій. Такий підхід сприяє

створенню гнучких та надійних механізмів оцінювання стану мережі, що є важливою умовою її стабільного функціонування. Результати дослідження мають як теоретичну, так і практичну значущість для галузі інфокомунікацій.

Отримані висновки відкривають можливості для подальшого удосконалення моделей керування та розширення застосування інтелектуальних технологій в інфокомунікаційних мережах. У майбутніх дослідженнях може бути розглянута інтеграція методів машинного навчання, динамічна адаптація параметрів системи та розроблення модулів прогнозування на основі аналізу історичних даних. Запропонований метод може виступати основою для створення багаторівневих систем управління та комбінування різних підходів для підвищення точності діагностики. Дослідження підтвердило ефективність використання нечіткої логіки для складних мережевих процесів та показало, що такі моделі здатні суттєво підвищити якість функціонування інфокомунікаційних систем. Робота закладає основу для розвитку нових інструментів, які сприятимуть трансформації систем управління мережею у напрямі більшої інтелектуальності та надійності.