

Міністерство освіти і науки України  
Чернігівський національний технологічний університет

На правах рукопису

Верьовко Марія Вадимівна

УДК 004.77: 378.147

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ДИСТАНЦІЙНОГО  
НАВЧАННЯ ПО ДАНИМ МЕРЕЖНОГО ТРАФІКУ**

05.13.06 – інформаційні технології

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата  
технічних наук

Науковий керівник  
Казимир Володимир Вікторович  
доктор техн. наук, професор

Чернігів - 2015

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 .....	12
ЗАДАЧІ ТА МЕХАНІЗМИ МОНІТОРИНГУ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ПО ДАНИМ МЕРЕЖНОГО ТРАФІКУ .....	12
1.1. Характеристика процесу дистанційного навчання .....	12
1.1.1. Аналіз розвитку та сучасний стан дистанційного навчання .....	12
1.1.2. Технології реалізації дистанційного навчання .....	21
1.2. Роль моніторингу у процесі дистанційного навчання в режимі онлайн... 29	29
1.2.1 Особливості процесу моніторингу дистанційного навчання.....	29
1.2.2 Існуючі методи моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн .....	32
1.3. Задача моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку .....	35
1.3.1. Технології та засоби контролю мережного трафіку .....	35
1.3.2. Особливості використання засобів моніторингу мережного трафіку в процесі дистанційного навчання.....	37
1.3.3. Постановка задач дослідження.....	40
1.4. Висновки до розділу 1 .....	41
РОЗДІЛ 2 МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В РЕЖИМІ ОНЛАЙН ПО ДАНИМ МЕРЕЖНОГО ТРАФІКУ .....	43
2.1 Розробка розширеної системи критеріїв оцінювання навчального процесу дистанційного навчання в режимі онлайн .....	43
2.1.1 Застосування існуючої системи критеріїв для оцінювання навчального процесу дистанційного навчання в режимі онлайн .....	43
2.1.2 Розширення існуючої системи критеріїв оцінювання дистанційного навчання в режимі онлайн критеріями оцінювання динаміки навчання.....	47

2.1.3	Визначення множини характеристик динаміки дистанційного навчання.....	51
2.1.4	Визначення критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання через значення динамічних характеристик.....	54
2.2	Метод вимірювання динамічних характеристик дистанційного навчання по даним мережного трафіку.....	55
2.2.1	Застосування мережного трафіку як джерела даних щодо перебігу процесу дистанційного навчання в режимі онлайн .....	55
2.2.2	Одержання характеристик процесу дистанційного навчання із систем по моделі SCORM.....	58
2.2.3	Формальне визначення динамічних характеристик дистанційного навчання по даним мережного трафіку .....	63
	Висновки до розділу 2.....	68
	РОЗДІЛ 3 .....	71
	МЕТОД ТА ЗАСОБИ МОНІТОРИНГУ МЕРЕЖНОГО ТРАФІКУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ «АКТИВНИХ МЕРЕЖ» .....	71
3.1.	Характеристика та особливості застосування технології «Активні мережі».....	71
3.2.	Метод моніторингу мережного трафіку на основі технології «Активних мереж».....	74
3.3.	Програмні засоби моніторингу мережного трафіку на основі технології «Активних мереж».....	78
3.3.1.	Модуль обробки пакетів .....	81
3.3.2.	Програмне розширення функціоналу утиліти Iptables .....	85
3.3.3.	Модуль первинного аналізу пакетів .....	87
3.3.4.	База даних про динаміку процесу дистанційного навчання .....	91
3.3.5.	Web- аналізатор.....	93
3.4.	Корегування процесу дистанційного навчання в режимі онлайн за динамічними характеристикам.....	95
	Висновки до розділу 3 .....	98

РОЗДІЛ 4 .....	100
ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НА ЯКІСТЬ ОЦІНЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ.....	100
4.1. Використання запропонованої технології для оцінювання процесу дистанційного навчання у межах вебінарів TEMPUS INSITOR .....	100
4.2. Визначення впливу використання запропонованого методу моніторингу мережного трафіку на процес передачі даних по мережі.....	107
4.2.1. Експериментальний метод визначення продуктивності комп'ютерної мережі.....	108
4.2.2. Результати експерименту по визначенню впливу методу моніторингу мережного трафіку на процес передачі даних по мережі.....	113
4.3. Напівнатурна імітаційна модель процесу дистанційного навчання із АВМ за допомогою мережного симулятора NS-3.....	116
4.3.1 Аналіз можливості застосування існуючих мережних симуляторів для побудови моделі.....	117
4.3.2 Дослідження процесу дистанційного навчання із АВМ за допомогою напівнатурної імітаційної моделі на основі мережного симулятора NS-3 ....	120
Висновки до розділу 4.....	123
ВИСНОВКИ.....	125
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	127
ДОДАТКИ.....	139
ДОДАТОК А АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ .....	140
ДОДАТОК Б РОЗПОДІЛЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ЗАТРИМОК ВІДПОВІДНО ДО ЧАСОВИХ ІНТЕРВАЛІВ.....	143
ДОДАТОК В РОЗРАХУНОК КРИТЕРІЯ ЗГОДИ ПІРСОНА ДЛЯ IPV4 МЕРЕЖІ .....	146

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

**ACL** – Access Control Lists, списки контролю доступу

**DARPA** - Defense Advanced Research Projects Agency

**HTTP** - HyperText Transfer Protocol

**IIS OSTPC** – Integrated Information System of Outsourcing Training and Production Center, єдина інформаційна система навчальних науково-виробничих центрів аутсорсингу

**IPv4** – четверта версія Інтернет протоколу

**IPv6** – шоста версія Інтернет протоколу

**NAT** – Network Address Translation, трансляція мережних адрес

**SCORM** - Sharable Content Object Reference Model, об'єктна еталонна модель контенту загального використання

**URI** - Uniform Resource Identifier, уніфікований ідентифікатор ресурсу

**ABM** – активний вузол мережі

**AM** – активна мережа

**ЕСДН** – електронна система дистанційного навчання

**МОП** – модуль обробки пакетів

**МПАП** – модуль первинного аналізу пакетів

**СДН** - система дистанційного навчання

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Одним із пріоритетних напрямків розвитку сучасної освіти є її інформатизація, що являє собою комплекс взаємопов'язаних заходів, спрямованих на модернізацію навчального процесу шляхом впровадження сучасних інформаційних технологій і телекомунікаційних засобів з метою його ефективнішого функціонування. Впровадження технологій дистанційного навчання в навчальний процес є одним із пріоритетних завдань інформатизації освіти, реалізація якого є необхідною для забезпечення належного рівня якості сучасної освіти. Однак, незважаючи на важливість поставленого завдання, високий пріоритет якого зазначений у постановах Міністерства освіти і науки України, стан дистанційної освіти в Україні потребує покращення, а електронні системи дистанційного навчання, що використовуються у навчальних закладах, не завжди відповідають новим тенденціям та вимогам.

Значним досягненням у розвитку дистанційного навчання стала розробка стандарту SCORM, що є основою для більшості електронних систем дистанційної освіти, які в останні роки були масово впроваджені українськими навчальними закладами у зв'язку із законодавчими вимогами. Однак системи, реалізовані відповідно до стандарту SCORM, найпопулярнішою з яких є система Moodle, реалізують тільки частину потреб дистанційного навчання. Сучасним стандартом електронних систем дистанційного навчання є розширена та модифікована версія стандарту SCORM, що отримала назву Experience API (xAPI), де особлива увага приділяється задачам забезпечення інтерактивності процесу навчання та моніторингу його перебігу.

Дистанційне навчання є популярним напрямком досліджень серед вчених різних країн протягом досить довгого періоду часу. Значний внесок у дослідження та розробку електронних систем дистанційного навчання зробили такі зарубіжні та вітчизняні вчені, як В.М. Глушков, О.М. Довгялло, О.П.Мінцер, Г.С. Теслер, В.Ю. Биков, П.І. Федорук, А.Ф. Манако, В.М.Кухаренко, Б. Холмберг, М.Дж. Мур, Г. Кьоазлей, Р.Р. Бартон, Т.С. Бірн

тощо. Однак процесу моніторингу дистанційного навчання, що дозволяв би виконувати аналіз перебігу процесу навчання у динаміці, належної уваги досі не приділялося. Традиційним засобом реалізації задачі моніторингу дистанційного навчання є генерація звітів, що дозволяють виконати тільки ретроспективний аналіз деяких результатів процесу навчання та не відображають його динаміку. Зважаючи на це, завдання розробки засобів моніторингу процесу дистанційного навчання є актуальним для сучасної освіти та науки.

Враховуючи те, що комп'ютерні мережі є невід'ємним елементом дистанційного навчання та однією з базових технологій його реалізації, постає питання про використання мережного трафіку як джерела даних щодо перебігу навчального процесу. Моніторинг мережного трафіку дозволяє визначити не тільки кількісні та якісні показники роботи мережі, а й виконати аналіз у режимі реального часу. Тема розробки методів та засобів моніторингу мережного трафіку розкрита у наукових працях таких вчених, як К. Дж. Конолі, В. Феррерія, Дж. Ф. Кароуз, К. Еттікан та ін. Основна увага дослідників приділялася саме методам контролю роботи комп'ютерної мережі, у той час як питання структуризації та аналізу інформації, що передається у мережі, потребують проведення подальших досліджень. Завдання використання мережного трафіку як джерела даних про перебіг процесу дистанційного навчання також не є реалізованим.

На основі вищезазначеного можна зробити висновок, що науково-практичне завдання розробки інформаційної технології моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку, яка забезпечить можливість виконання аналізу його перебігу у режимі реального часу, є актуальним.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Представлені у дисертації дослідження проводилися у Чернігівському національному технологічному університеті відповідно до держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка методів та засобів дистанційного навчання

в режимі on-line» ( ДР № 0115U004110, 2015-2018 рр.), а також міжнародного проекту за підтримкою Європейського союзу Tempus IHSITOP 530319-TEMPUS-1-2012-1-DE-TEMPUS-JPHES «Інноваційна гібридна стратегія ІТ-аутсорсингового партнерства з підприємствами» (2012 - 2016 рр.)

**Мета і задачі дослідження.** Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні якості оцінювання процесу дистанційного навчання за рахунок розробки інформаційної технології його моніторингу по даним мережного трафіку.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі дослідження:

1) проаналізувати сучасний стан процесу дистанційного навчання, існуючу систему критеріїв його оцінювання та визначити динамічні характеристики в режимі онлайн навчання;

2) розробити метод вимірювання динамічних характеристик процесу дистанційного навчання по даним мережного трафіку;

3) розробити метод моніторингу мережного трафіку за допомогою мережного аналізатора;

4) розробити архітектуру системи моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку;

5) розробити імітаційну модель процесу дистанційного навчання в режимі онлайн;

б) дослідити ефективність запропонованих методів за допомогою розробленої моделі та у реальному середовищі.

*Об'єкт дослідження* – процес дистанційного навчання в режимі онлайн.

*Предмет дослідження* – методи та засоби моніторингу процесу дистанційного навчання за даними мережного трафіку.

**Методи дослідження** містять загальнонаукову методологію проведення досліджень та принципи системного підходу. У дослідженні використано методи теорії множин для формального визначення критеріїв та характеристик динаміки процесу дистанційного навчання; методи імітаційного моделювання



для розробки напівнатурної імітаційної моделі процесу дистанційного навчання з функцією моніторингу; методи об'єктно-орієнтованого аналізу та графічні анотації універсальної мови моделювання UML для проектування системи моніторингу процесу дистанційного навчання в режимі онлайн; методи теорії ймовірностей та математичної статистики при аналізі результатів модельних та реальних експериментів. Теоретичною основою роботи є наукові праці провідних вітчизняних і зарубіжних вчених у галузі дистанційного навчання, комп'ютерних мереж, імітаційного моделювання, проектування інформаційних комп'ютерних систем.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. *Отримала подальший розвиток* система критеріїв оцінювання якості дистанційного навчання за рахунок розширення множини показників динамічними характеристиками, що можуть бути враховані для корегування плану навчання в режимі онлайн.

2. *Вперше запропоновано* метод вимірювання характеристик дистанційного навчання, який, на відміну від існуючих методів, базується на моніторингу мережного трафіку та дозволяє одержати динамічні характеристики навчання.

3. *Удосконалено* метод моніторингу мережного трафіку системи дистанційного навчання, який, на відміну від існуючих, побудовано по технології «Активних мереж» та виконує обробку даних безпосередньо у вузлах мережі під час їх передачі.

4. *Вперше розроблена* напівнатурна імітаційна модель процесу дистанційного навчання в режимі онлайн, яка, на відміну від існуючих, окрім стандартних модулів емуляторів мережного обладнання включає діючий програмний модуль мережного аналізатора.

**Практичне значення одержаних результатів.** Наведені вище наукові результати у своїй сукупності утворюють нову інформаційну технологію моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку, що реалізована у вигляді системи моніторингу дистанційного навчання.

Розроблена система моніторингу дистанційного навчання дозволяє проводити перегляд динамічних характеристик процесу навчання в режимі реального часу із забезпеченням відображення статистичних оцінок вибраних характеристик у графічному або текстовому вигляді. Використання розробленої системи дозволяє підвищити якість оцінювання процесу дистанційного навчання за рахунок врахування 23-х додаткових динамічних характеристик перебігу процесу навчання.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені:

- Glyndwr University, Wrexham, Wales, UK (акт впровадження від 12.05.2015р.);

- при виконанні міжнародного проекту Tempus IHSITOP 530319-TEMPUS-1-2012-1-DE-TEMPUS-JPHES «Інноваційна гібридна стратегія ІТ-аутсорсингового партнерства з підприємствами» (акт впровадження від 11.05.2015р.);

- навчальний процес кафедри інформаційних та комп'ютерних систем Чернігівського національного технологічного університету (акт впровадження від 12.05.2015р.).

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати, що виносяться до захисту, отримані особисто. У роботах [2,4,10,13] здобувачу належать всі теоретичні та практичні результати, крім постановки задачі. У роботах [1,5,9] автором дисертаційної роботи запропоновано використання технології «Активних мереж» для реалізації завдання моніторингу мережного трафіку та розроблена архітектура програмного забезпечення активного вузла мережі, що виконує завдання моніторингу трафіку, відповідно до існуючих стандартів. У роботах [5,7,8] автором запропоновано застосування методу моніторингу мережного трафіку для вирішення завдання одержання характеристик процесу дистанційного навчання. У статті [3] автору належить розробка архітектури гібридної системи комунікацій. У роботах [6,11] автору належить аналіз одержаних експериментальних значень. У роботі [12] автором представлені

особливості використання систем дистанційного навчання для різних категорій користувачів.

**Апробація результатів роботи.** Основні наукові результати та практичні розробки дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на конференціях:

- V міжнародна конференція «Internet Technologies & Applications «ІТА 2013» (Wrexham, Wales, UK, 10-13 September 2013);

- X міжвузівська науково-практична конференція «Сучасні інформаційно-правові та соціально-економічні тенденції впливу на розвиток бізнесу. Комп'ютерні та інформаційні технології в програмній інженерії» (м. Чернігів, 24 квітня 2014 р.);

- Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі» (м. Чернігів, 23-24 квітня 2014 р.);

- V міжнародна науково-практична конференція «Вільне програмне забезпечення в освіті, науці та бізнесі» (м. Чернігів, 22-23 травня 2014 р.);

- IX міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем «МОДС 2014» (Київ - Жукін, 23-27 червня 2014 р.);

- IX-th міжнародна конференція Modern (e-) Learning (Kyiv, Ukraine, 11 – 13 September 2014.);

- X міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем «МОДС 2015» (Чернігів, 22-26 червня 2015 р.).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 13 наукових праць (з них 12 у співавторстві), з них 1 стаття у науковому закордонному виданні, що включена у базу даних Scopus, 5 статей у фахових наукових виданнях, що включені у міжнародні науково-метричні бази даних, та 7 публікацій у збірниках матеріалів наукових конференцій.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАДАЧІ ТА МЕХАНІЗМИ МОНІТОРИНГУ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ПО ДАНИМ МЕРЕЖНОГО ТРАФІКУ

#### 1.1. Характеристика процесу дистанційного навчання

##### 1.1.1. Аналіз розвитку та сучасний стан дистанційного навчання

Враховуючи тенденцію глобальної популяризації інформаційних технологій у всіх сферах суспільної діяльності, інформатизація освіти є одним із пріоритетних напрямків її розвитку. *Інформатизація освіти* - це комплекс взаємопов'язаних заходів, які спрямовані на забезпечення оперативного збору, систематизації, накопичення, зберігання, передачі інформації та оперативного обміну нею між учасниками освітнього процесу за допомогою сучасних інформаційних технологій і телекомунікаційних засобів з метою ефективнішого функціонування системи освіти [28-29]. Для забезпечення належного рівня якості сучасна освіта потребує модернізації та впровадження інноваційних методів та форм навчання на основі провідних інформаційно-комунікаційних технологій. Впровадження технологій дистанційного навчання є одним із пріоритетних напрямків розвитку системи освіти, покликаний підвищити її ефективність [30].

У сучасній науковій літературі термін *дистанційне навчання* трактується як інноваційна форма отримання освіти, яка базується на використанні комп'ютерних і телекомунікаційних технологій, які дозволяють здійснювати навчання на відстані, не маючи безпосереднього контакту між викладачем та учнем [31-32].

Застосування технологій дистанційного навчання є основою для реалізації навчального процесу при дистанційній освіті. У документі «Концепція розвитку дистанційної освіти в Україні», що затверджена МОН України, визначені характерні риси дистанційної освіти, а саме [33]:

- *Гнучкість* – слухачі, що одержують дистанційну освіту, навчаються у зручні для себе час та місці, без потреби відвідувати регулярні заняття.

- *Модульність* – основою програми дистанційної освіти є модульний принцип, тобто використання набору незалежних курсів-модулів, кожен із яких формує цілісне уявлення про предметну область.

- *Паралельність* – навчання за програмою дистанційної освіти не вимагає відриву від професійної діяльності.

- *Велика аудиторія* – можливість одночасного звернення великої кількості учнів до багатьох джерел навчальної інформації; телекомунікаційний зв'язок як засіб спілкування.

- *Економічність* – за допомогою уніфікованого представлення інформації та ефективного використання навчальних площ з'являється можливість зниження витрат на підготовку фахівців.

- *Технологічність* – нові досягнення інформаційних технологій є однією із ключових складових навчального процесу.

- *Соціальна рівність* – можливості одержання освіти не залежать від соціального статусу.

- *Інтернаціональність* – можливість надання освітніх послуг іноземним громадянам та одержання освітніх послуг іноземної держави без виїзду за кордон.

- *Нова роль викладача* – класичні викладачі замінюються наставниками-консультантами, від яких вимагається постійне підвищення власної кваліфікації та удосконалення курсів відповідно до нововведень та інновацій.

- *Позитивний вплив на студента* – необхідність самоорганізації, вміння самостійно приймати рішення, вивчення та використання сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій сприяє підвищенню творчого та інтелектуального потенціалу людини.

- *Якість* – використання сучасних навчально-методичних матеріалів та засобів сприяють тому, що якість дистанційної освіти не поступається якості

традиційної очної освіти; важливим завданням є введення контролю якості дистанційної освіти та її стандартизація.

Невід'ємним елементом сучасного дистанційного навчання є використання інформаційних комп'ютерних та телекомунікаційних технологій. Однак слід зазначити, що історично поняття *дистанційного навчання* використовувалося для характеристики форми навчання, при якій "джерело інформації та учні розділені часом та/або відстанню." [34] Питанням історичного розвитку дистанційного навчання та змінам, яких воно зазнало із часом, присвячені наукові праці здебільшого європейських та американських дослідників, а саме: В. Holmberg, А. Tait, M.G. Moore, G. Kearsley, S. Rothblatt, V.V. Pittman, F. Lee, E.L. Bunker, В. Nasseh, Т.С. Byrne, W. Radford, J. S. Jedlicka, S.W. Brown, L. E. Jaffe, Н. Crompton, S. Agostinho, В. Collins тощо. [8-10, 12, 35-45] Наукові роботи вітчизняних учених присвячені здебільшого стану дистанційного навчання на теренах сучасної України. Серед наукових праць, присвячених тематиці розвитку дистанційного навчання, слід відмітити праці наступних вітчизняних учених: П.В. Дмитренко, А.Н. Тихонов, Ю.А. Пасічний, В.М. Кухаренко, О.В. Рибалко, Н.Г. Сиротенко, Р.Д. Гутгарц, С.В. Дуплик, І.Х. Галесєв, Н. Жевакіна тощо. [46-52]

Процес історичного розвитку дистанційного навчання, що охоплює період із 1840 року до сьогодні, умовно поділяють на три головні етапи, кожен із яких має певні ключові досягнення та характеристики.

Початок першого етапу дистанційного навчання пов'язують із ім'ям Айзека Пітмана [52], що запровадив перші курси дистанційного навчання шляхом використання поштових карток, які служили елементами зв'язку між ним та його студентами та, водночас, навчальними матеріалами. Однак переломним моментом для першого «покоління» дистанційної освіти, що зробив дистанційне навчання більш доступним, став відхід від використання рукописних матеріалів на користь друкованих посібників. Протягом багатьох століть для передачі інформації використовувалися рукописи, однак із появою друкарства з'явилась можливість випускати недорогі книжки та навчальні

посібники. Із середини XIX сторіччя за допомогою залізничних систем та швидких та економічних державних поштових служб стала здійснюватися доставка друкованих навчальних матеріалів великій кількості учнів, що значно сприяло розвитку дистанційної освіти. Наступним досягненням першого покоління, що значно прискорило розвиток та збільшило популярність дистанційної освіти, стало використання радіо курсів, які стали доступними після винайдення радіо. Досить часто радіо курси доповнювалися друкованими матеріалами та додатковими аудиторними заняттями, а вже в 50-х роках XX століття з'явилися телевізійні курси.

Початок другого етапу розвитку дистанційного навчання пов'язаний із заснуванням Відкритого університету у Великій Британії в 1969 році, де вперше для дистанційної освіти почали використовувати комплексний підхід до навчання [52]. Як і на першому етапі, одностороння взаємодія університету зі студентами здійснювалась за допомогою друкованих матеріалів, радіо та телепередач (пізніше набуло розповсюдження використання аудіокасет), а двостороння взаємодія - за допомогою очних консультацій, короткочасних курсів, а також листування. Головною модернізацією дистанційного навчання, що з'явилася на другому етапі, стала структуризація навчального матеріалу та розробка курсів та навчальних програм, що не було реалізовано раніше. Була розроблена значна кількість високоякісних навчальних посібників, які були призначені саме для дистанційної освіти. На етапі становлення така модель дистанційного навчання була досить дорогою, оскільки вимагала створення усіх необхідних матеріалів та програм, однак при подальшому використанні кількість додаткових затрат на кожного студента була мінімальною.

Третій етап розвитку дистанційного навчання пов'язаний із «ерою» комп'ютеризації та інформатизації [53]. Ключовою характеристикою третього «покоління» дистанційного навчання є активне використання комунікаційних та інформаційних технологій. Поява цих технологій значно розширила можливості двостороннього зв'язку як у синхронному (телеконференції, вебінари тощо), так і в асинхронному (електронна пошта, Інтернет) режимах.

Нові методи, що стали доступними у третьому «поколінні» дистанційної освіти завдяки інформаційним технологіям, спочатку використовувалися як доповнення до методів першого та другого поколінь, оскільки застосування сучасних комунікаційних технологій значно спрощувало процес взаємодії наставника та учня. Однак технологічний прогрес останніх десятиліть, розробка та популяризація нових пристроїв, створення та впровадження нових інформаційних та телекомунікаційних технологій сприяли розробці нових технологій дистанційного навчання, що не лише модернізують та замінюють старі засоби та методи, а й модифікують весь процес дистанційного навчання загалом. Центральним елементом процесу дистанційного навчання третього етапу стала система дистанційного навчання, яка виконує роль зв'язуючого елементу навчального процесу, посередника між наставником та учнем, учасниками навчального процесу та його методичними складовими.

Порівняльна характеристика трьох етапів розвитку дистанційної освіти представлена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

## Порівняльна характеристика етапів розвитку дистанційної освіти

Перший етап 1	Другий етап 2	Третій етап 3
<b>Навчальні матеріали</b>		
Поштові картки, рукописи, друковані книги, аудіо записи, відеозаписи	Друковані посібники, аудіо та відео матеріали	<i>На початку:</i> друковані посібники, аудіо та відео матеріали, оцифровані матеріали. <i>Сучасні:</i> електронні посібники, online-презентації, вебінари, телеконференції, online-тести, online-практикуми.
<b>Засоби комунікації</b>		
Поштові служби, радіомовлення, телебачення	Поштові служби, радіомовлення, телебачення	<i>На початку:</i> телекомунікаційні мережі <i>Сучасні:</i> комп'ютерні мережі



## Продовження таблиці 1.1

1	2	3
<b>Ключові досягнення</b>		
<p>Використання друкованих матеріалів, використання аудіо та відео матеріалів</p>	<p>Впровадження комплексного підходу до навчання, розробка курсу як цілісної структурованої одиниці, систематизація навчального процесу, розробка спеціалізованих навчальних матеріалів</p>	<p><b>На початку:</b> спрощення процесу взаємодії учня та наставника шляхом використання телекомунікаційних технологій; оптимізація можливості доступу до навчальних матеріалів шляхом їх оцифрування та надання засобами комп'ютерних мереж; розробка та використання електронних систем дистанційного навчання; розробка стандартів дистанційного навчання. <b>Сучасні:</b> інтерактивність навчального процесу шляхом використання online-взаємодії;</p>
<b>Головні недоліки</b>		
<p>Відсутність систематизації та структуризації курсів та матеріалів.</p>	<p>Необхідність відвідування очних консультацій, витрата значних коштів та пересилку матеріалів.</p>	<p>Використання online-засобів дає можливість максимально наблизити динаміку процесу дистанційного навчання до процесу традиційного очного навчання. Однак широкий спектр засобів та можливостей не є гарантом якості результату. Для забезпечення якості процес перебігу дистанційного навчання на базі online-технологій вимагає додаткового контролю.</p>

Використання комп'ютерних мереж для реалізації комунікаційних завдань та впровадження електронних систем дистанційного навчання в якості додаткового функціонального елементу значно вплинули на перебіг процесу дистанційного навчання. Схема процесу дистанційного навчання із використанням ЕСН представлена на рисунку 1.1.

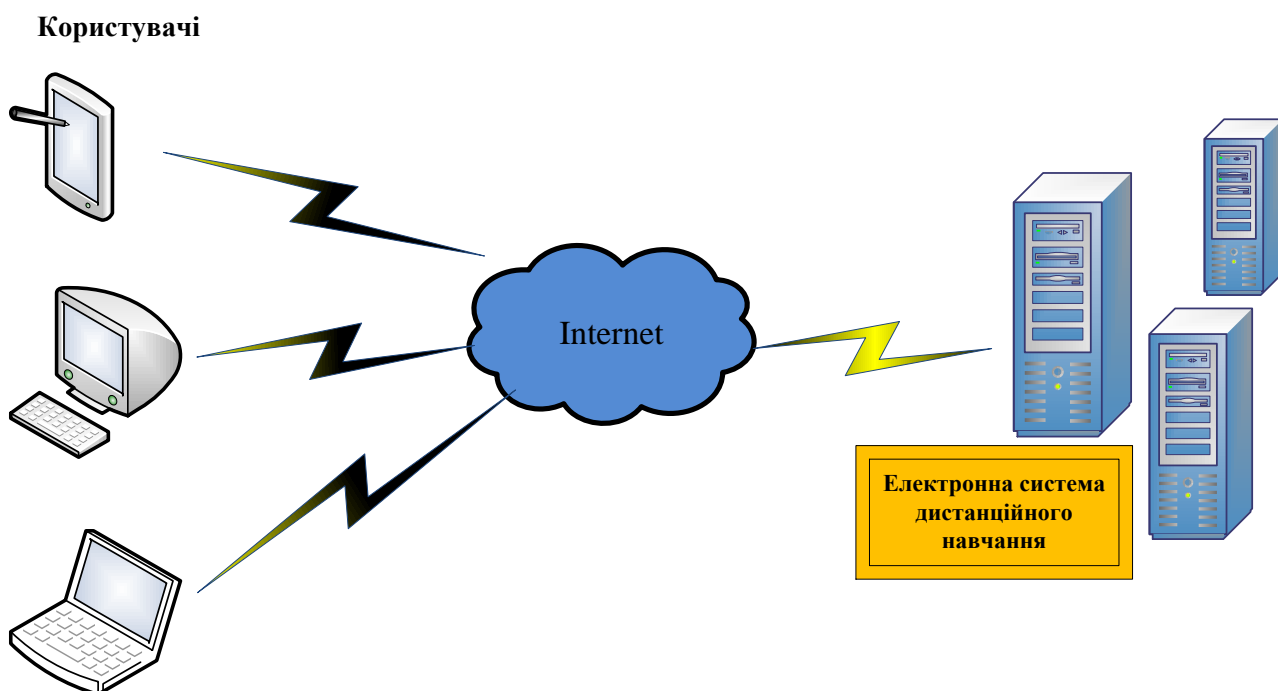


Рис. 1.1. Схема процесу дистанційного навчання із використанням ЕСН

У 2004 році вийшла перша редакція збірника стандартів та специфікацій, розроблених для систем дистанційного навчання, що отримала назву **SCORM** (*Sharable Content Object Reference Model* – об'єктна еталонна модель контенту загального використання) та базується на стандарті XML [54-55]. Даний стандарт включає в себе вимоги щодо структури курсів та пакетів учбового матеріалу, взаємодії змістових об'єктів та системи управління навчанням, а також упорядкування та навігації. Найбільш відомими електронними системами дистанційного навчання (ЕСДН), що підтримують стандарт SCORM, є:

- Sakai – вільне програмне забезпечення із відкритим кодом, реалізоване на Java [56];
- Moodle – вільне програмне забезпечення із відкритим кодом, реалізоване на PHP та MySQL [57];
- ILIAS – вільне програмне забезпечення із відкритим кодом, реалізоване на PHP та MySQL, що розповсюджується під ліцензією GNU;
- SABA – комерційний програмний продукт компанії Saba Software Inc.

Згідно з даними опитувань найбільшою популярністю серед даних систем користується система Moodle [57]. Система Moodle має впровадження у всьому світі, широко використовується зарубіжними навчальними закладами та набирає популярності в Україні. Основним завданням системи Moodle є «налагодження взаємозв'язків між учнем та вчителем». Слід зазначити, що систему Moodle класифікують як *систему управління курсами електронного навчання*, а не систему дистанційної освіти, тож дана система використовується як для організації традиційної дистанційної освіти, так і для підтримки очного навчання. Система Moodle, як і інші системи стандарту SCORM, зосереджена на завданні представлення матеріалів для навчання без прив'язки до типу навчального процесу. Значна кількість особливостей, притаманних різним типам навчання, даною системою ігноруються. Зокрема для реалізації інтерактивності дистанційного навчання є необхідним використання додаткових засобів та програмних продуктів.

Незважаючи на популярність системи Moodle, тенденцією останніх років є використання ЕСДН, що мають значно ширший порівняно із Moodle функціонал, у тому числі онлайн навчання. Особливе місце у даному процесі займають ЕСДН, що використовуються для навчання іноземним мовам. Специфіка завдання вивчення іноземної мови обумовлює необхідність індивідуального підходу до кожного з учнів та постійної online-взаємодії у процесі навчання. Окрім структуризації та систематизації навчального матеріалу, важливими характеристиками таких ЕСДН є наявність інтерактивних засобів навчання, таких як online –ігри, online –тестування, та

використання методик живого спілкування через комп'ютерну мережу. Використання представлених методів дозволяє максимально наблизити процес дистанційного навчання із використанням ЕСДН до поступового процесу традиційного навчання із рівномірно розподіленими у часі навчальними завданнями та матеріалами.

До ЕСДН вивчення іноземної мови, що реалізують online-методику навчання, відносяться:

- web-портал для вивчення англійської мови «LinguaLeo. Покори язык» [58];
- web-портал для вивчення англійської мови «English Online. Изучение английского языка» [59];
- web-портал для вивчення іноземної мови «The Institute of Informational and Management Technologies» [60].

Представлені методи дистанційного навчання використовуються не лише для вивчення іноземних мов, а й набувають все більшої популярності серед навчальних закладів, що використовують дистанційне навчання. Впровадження online-методик та засобів навчання у процес дистанційного навчання стало однією із головних причин необхідності розробки нового стандарту та специфікації систем дистанційного навчання, оскільки використання стандарту SCORM повністю не покриває усі вимоги до сучасних ЕСДН. Такий стандарт був запропонований у 2013 році та отримав назву **Experience API** (xAPI) або Tin Can API [61-62].

Окрім вимог, визначених стандартом SCORM, стандарт xAPI включає в себе значу кількість доповнень, що, в основному, стосуються інтерактивних засобів навчального процесу та моніторингу його перебігу. Запропонований стандарт лише починають впроваджувати, однак важливість та необхідність доповнень, що він включає, визнані міжнародною науковою спільнотою та вже підтримуються значною кількістю організацій.

Використання інформаційних та телекомунікаційних технологій принципово змінило перебіг процесу дистанційного навчання. Сучасне дистанційне навчання – це інтерактивний процес із постійною динамікою.

### **1.1.2. Технології реалізації дистанційного навчання**

Відповідно до «Концепції розвитку дистанційної освіти в Україні», прийнятої МОН України *дистанційна освіта* - це форма навчання, рівноцінна з очною, вечірньою, заочною та екстернатом, що реалізується, в основному, за технологіями *дистанційного навчання* [33]. У цьому ж документі визначено, що технології дистанційного навчання поділяються на два рівно важливі типи – педагогічні технології дистанційного навчання та інформаційні технології дистанційного навчання.

*Інформаційні технології дистанційного навчання* - це технології створення, передачі і збереження навчальних матеріалів, організації і супроводу навчального процесу дистанційного навчання за допомогою телекомунікаційного зв'язку [33]. Нормативними документами не затверджено перелік конкретних інформаційних технологій, що мають використовуватися для дистанційного навчання, що пояснюється постійною динамікою їх розвитку. Однак фахівцями ЮНЕСКО було визначено дві провідні технології [49], що є основою дистанційного навчання - це мережні технології (ключову роль виконує Інтернет) та мультимедійні технології.

*Телекомунікаційна мережа* – це комплекс *технічних засобів*, призначений для маршрутизації, комутації, прийому та передачі інформації у вигляді сигналів, тексту, знаків, зображень, звуків тощо за допомогою радіо, оптичних, провідних та інших електромагнітних систем між кінцевим обладнанням, утворена взаємопов'язаними *абонентськими системами* та засобами зв'язку [63]. Під *абонентською системою* розуміють сукупність програмного забезпечення та апаратного забезпечення (ЕОМ, периферійних пристроїв) та засобів зв'язку, що забезпечують взаємодію між абонентськими

системами. Головним завданням телекомунікаційних мереж є забезпечення доступу та передачі великих об'ємів даних на будь-якій відстані, незалежно від географічного місця розташування джерела і приймача.

Залежно від типу віщання, подання інформації та кінцевих пристроїв виділяють чотири основні типи телекомунікаційних мереж: телефонна мережа, радіо мережа, телевізійна мережа та комп'ютерна мережа. *Комп'ютерна мережа* – це система електронно-обчислювальних пристроїв, з'єднаних за допомогою каналів зв'язку та засобів комунікації, що здійснює передачу *цифрової інформації*. Даний тип телекомунікаційних мереж також називають електронно-обчислювальною мережею або мережею передачі даних.

Основними структурними одиницями комп'ютерної мережі є вузли та канали з'єднання. До вузлів мережі відносяться пристрої, які створюють, направляють та завершують передачу даних. Фізичне з'єднання вузлів мережі реалізується за допомогою різних типів кабелів (кручена пара, оптоволокно) або з використанням технології безпроводних мереж. Передача даних та функціонування комп'ютерної мережі як єдиної системи забезпечується *комунікаційними протоколами* [15]. Комунікаційні протоколи, що використовуються в комп'ютерних мережах, називаються *мережними протоколами*.

*Мережний протокол* – це набір правил та процесів, що дозволяють встановлювати зв'язок та виконувати обмін даними між пристроями, що підключені до мережі [63]. До поняття мережного протоколу також відносять програмне забезпечення, що реалізує роботу протоколу. Тобто єдиною комп'ютерною мережею є система, функціонування якої забезпечується спільним комунікаційним протоколом. Універсальним протоколом, що об'єднав розрізнені комп'ютерні мережі в єдину мережу і забезпечив стандартизовану передачу даних, є IP протокол (*Інтернет Протокол*) - один з базових протоколів Інтернету, який функціонує на Мережевому рівні семирівневої моделі OSI (згідно міжнародному стандарту ISO/IEC 7498-1) [64].

Найбільш відомою і поширеною комп'ютерною мережею є мережа Інтернет, функціонування якої реалізується на базі стеку мережних протоколів TCP/IP [64]. Поява стеку протоколів TCP/IP дала можливість з'єднати існуючі розрізнені мережі в одну глобальну всесвітню мережу і вирішила проблему створення універсального протоколу.

Згідно з Оксфордським словником [65] *мережа Інтернет* - це глобальна комп'ютерна мережа, що надає різноманітні інформаційні та комунікаційні послуги своїм користувачам і складається з вільної конфедерації взаємопов'язаних мереж, які використовують *стандартизовані протоколи зв'язку*. Мережа Інтернет виконує не лише функцію глобалізації комп'ютерних мереж, об'єднуючи між собою регіональні, національні, місцеві, корпоративні та локальні комп'ютерні мережі в єдину світову систему, а й реалізує стандартизацію мережних комунікаційних протоколів.

**Мультимедіа** – це комплекс апаратних та програмних засобів, що дозволяють користувачеві працювати у діалоговому режимі із різнорідними даними (графікою, текстом, звуком, відео та анімацією), що організовані у вигляді єдиної інформаційної середовища. Також популярним є визначення, що *мультимедіа* - це взаємодія візуальної та звукової інформації під управлінням інтерактивного програмного забезпечення з використанням сучасних технічних і програмних засобів [66-67].

До характерних особливостей мультимедіа технологій відносять наступні:

- об'єднання багатокomпонентного інформаційного середовища (тексту, звуку, графіки, фото, відео) в одному цифровому представленні;
- забезпечення надійного (відсутність викривлень при копіюванні) та довговічного зберігання (гарантійний строк зберігання – десятки років) великих об'ємів інформації;
- простота переробки інформації (від примітивних до творчих операцій).

За допомогою мережних та мультимедійних технологій реалізуються головні педагогічні засоби дистанційного навчання, а саме:

- відео-лекції;
- мультимедійні лекції та лабораторні практикуми;
- електронні мультимедійні посібники;
- консультації та тести із використанням телекомунікаційних засобів;
- відеоконференції;
- вебінари.

Окрему роль у дистанційному навчанні займає використання технологій відеоконференцзв'язку [16], що є поєднанням можливостей мереж та мультимедіа та одним із ключових засобів для реалізації більшості засобів дистанційного навчання, а також забезпечує можливість проведення традиційних навчальних заходів в інтерактивному режимі без необхідності фізичної присутності в аудиторії.

У зв'язку із прогресуючою конвергенцією комп'ютерної і телекомунікаційної мережі, задачі передачі відео та аудіо даних, що раніше виконувалися іншими типами телекомунікаційних мереж (телефонних, телевізійних, радіомереж) стали одними з провідних задач комп'ютерної мережі. Оскільки задачі передачі відео та аудіо даних не були ключовими в момент розробки базових технологій передачі даних по комп'ютерним мережам, то для вирішення задачі передачі медіа даних через IP мережі були розроблені додаткові технології та використовуються додаткові комунікаційні протоколи [68]. Комунікаційні протоколи, що використовуються для передачі медіа (аудіо та відео) даних називаються протоколами відеоконференцзв'язку. *Протоколом відеоконференцзв'язку* є комплекс засобів, що визначають правила обміну медіа даними між різним програмним забезпеченням. Протокол визначає спосіб та шлях передачі даних та обробки помилок, що можуть виникнути під час процесу передачі. Сучасна тенденція розвитку протоколів відеоконференцзв'язку полягає у розробці стандартів, не пов'язаних із конкретною апаратною платформою.

Для забезпечення передачі аудіо та відео інформації через телекомунікаційні мережі ІТУ-Т (Міжнародне об'єднання електров'язку –



Телекомунікаційний сектор) розробило *ряд рекомендацій H.32x* (H.320, H.321, H.322, H.323, H.324) [69]. *H.323* є рекомендаціями, що визначають набір стандартів передачі мультимедіа даних через комп'ютерні мережі, шлях та порядок функціонування терміналів користувачів у мережах з розподіленими ресурсами та негарантованою якістю обслуговування (QoS). Взагалі, стандарт H.323 вважається не зв'язаним з IP протоколом, однак робота його реалізацій базується саме на IP протоколі. *Набір рекомендацій H.323* визначає компоненти мережі, протоколи та процедури, що забезпечують організацію мультимедіа зв'язку в комп'ютерних мережах.

H.323 стандарт визначає різноманітні H.323 пристрої як функціональні елементи H.323 мережі, що виконує двоспрямовану (point-to-point) та мультиспрямовану (point-multipoint) передачу мультимедіа даних. До компонентів H.323 мережі відносяться термінал, шлюз, гейткіпер та MCU (Блок управління мультиспрямованим зв'язком) [70].

До рекомендації H.323 входять такі стандарти [70]:

- стандарти H.264, H.263, H.261, що визначають методи кодування та декодування відео даних;
- стандарти G.722, G.711, G.728 тощо, які визначають методи кодування та декодування аудіо даних;
- стандарт H.225, що визначає методи мультиплексування і демультиплексування потоків аудіо, відео, даних і управління, а також контроль виклику, доступу, реєстрації учасників, визначення їх поточного стану;
- стандарт H.245, який визначає сигналізацію, управління і контроль, у тому числі для мультиспрямованих з'єднань;
- стандарти серії T (T.120 і т.д.), які визначають спосіб взаємодії програмно-апаратних засобів у процесі обміну даними.

Стек протоколів рекомендації H.323 [70] представлено на рис. 1.2.

	Data		Management and alarm	Audio	Video
Not the application standard	T.126	T.127	H.245 Q.931	G.711 G.722 G.723 G.728 G.729	H.261 H.263
	T.124		RAS	RTP RTCP	
	T.122				
	T.125				
	T.123				
	TCP			UDP	
	IP				
	LAN				

Рис. 1.2. Стек протоколів рекомендації H.323

Поява стандарту H.323, який встановлює механізми взаємодії між пристроями, що виконують передачу голосових та відео даних через IP мережі, дає можливість об'єднувати в одну мережу пристрої від різних виробників, що значно збільшує ефективність і гнучкість комунікаційної мережі. Системи відеоконференцзв'язку, що розроблені спираючись на стандарт H.323, характеризуються високою якістю обслуговування (QoS) та надають широкий спектр можливостей, включаючи підтримку технології телеприсутності [71]. *Телеприсутність* – це технологія відеоконференцзв'язку, що забезпечує максимально можливий ефект присутності географічно віддалених абонентів в одному приміщенні. Однак технології телеприсутності не користуються широкою популярністю через високу ціну. Теж саме стосується і систем відеоконференцзв'язку на базі H.323 стандарту, ціна яких, особливо у випадку необхідності використання MCU серверу, є досить високою. Більшої популярності набули засоби відеоконференцзв'язку, що мають назву *вебінари*, не потребують додаткового устаткування і доступні через звичайний Інтернет

браузер [72]. Незважаючи на нижчу якість зв'язку та відсутність гарантії захисту інформації, вебінари є більш популярними через більшу доступність. Реалізація передачі аудіо та відео даних у таких системах не пов'язана з H.323 стандартом і базується на інших технологіях передачі медіа даних.

Більшість Інтернет застосувань, що включають в себе роботу з мультимедіа контентом, реалізовані використовуючи Flash технології та RTMP протокол [16,73]. *Flash* являє собою *мультимедійну платформу*, що створена компанією Adobe для розробки веб-застосувань та мультимедійних презентацій. Flash технології широко використовуються для розробки анімації та ігор, а також для відтворення аудіо та відео даних на веб-сторінках.

Adobe Flash забезпечує роботу із векторною, растровою та тримірною графікою за допомогою GPU та підтримує двонапрямлені трансляції потоків аудіо та відео даних. Для відтворення Flash-контенту необхідне спеціальне програмне забезпечення під назвою Flash Player. Загалом, Flash Player являє собою віртуальну машину, яка виконує код flash-застосувань, який загрузається із Інтернету. Основою Flash анімації є поступове "заміщення" одного ключового фрейму іншим, що має назву *морфінг зображень*. Продуктивність Flash в Інтернет браузері вища за продуктивність Javascript машини, однак вона поступається продуктивності застосувань, робота яких взагалі не потребує наявності віртуальної машини.

Головним недоліком flash-застосувань є надмірне навантаження на процесор, яке пов'язане із неефективним використанням віртуальної машини Flash Player [16]. Іншим важливим недоліком flash-застосувань є відсутність контролю помилок, що призводить до частих збоїв у роботі застосувань, і, в деяких випадках, до збою у роботі браузера. Однак, незважаючи на представлені недоліки, Flash-технології є широко використовуваними засобами для роботи із аудіо та відео даними. Передача аудіо та відео трафіку в Flash-технологіях виконується за допомогою RTMP протоколу.

*Протокол передачі повідомлень в режимі реального часу* (RTMP - Real-Time Messaging Protocol) розроблений для високоякісної передачі аудіо та відео

даних між застосуваннями, які основані на Adobe Flash Platform технологіях [74]. Протокол RTMP, розроблений компанією Adobe, забезпечує двонаправлену передачу даних через гарантований транспортний потік, такий як TCP, та призначений для передачі паралельних потоків відео, аудіо та інших типів даних разом із супутньою інформацією синхронізації між двома абонентами. Різні класи повідомлень отримують різні пріоритети, що впливає на їх порядок у транспортному потоці в разі обмежених транспортних ресурсів. RTMP протокол є розробкою компанії Adobe, однак існують відкриті альтернативні програмні продукти, що реалізують роботу RTMP, такі як сервер Red5, який розроблений на Java-технологіях. Red5 сервер підтримує роботу потоків аудіо та відео даних, запис клієнтського потоку даних, а також можливість спільного користування ресурсами.

Головною проблемою, що впливає на якість передачі відео та аудіо даних через мережі Інтернет, є відсутність стандартизації. Для вирішення цієї проблеми IETF (Internet Engineering Task Force) створило робочу групу, що отримала назву “Централізований конференцзв’язок ” (XCON), метою якої є встановлення стандартів відеоконференцзв’язку, включаючи розробку технології базового протоколу «контролю доступу» («floor control») Binary Floor Control Protocol (BFCP) [75], механізмів членства та авторизації, механізмів управління комбінацією різних типів мультимедійних файлів (аудіо, відео, текстових) та їх описання, механізмів оповіщення про події, пов’язані з конференціями, зміни (наприклад, зміну протоколу).

*Контроль доступу* («floor control») – це управління спільним або ексклюзивним доступом до загальнодоступних ресурсів конференц-середовища [75]. Контроль доступу також довершує функціонал, реалізований іншими протоколами, такий як встановлення сеансу конференцзв’язку та передачі медіа даних, управління політиками безпеки конференції та контроль медіа ресурсів.

Протягом сеансу конференцзв’язку застосуванням необхідно контролювати спільні ресурси (такі як права пересилки медіа даних до

конкретної сесії). Механізм контролю доступу надає можливість таким застосуванням координувати спільний та ексклюзивний доступ до ресурсів.

Протокол контролю доступу використовується для передачі повідомлень між модераторами («floor chairs»), серверами контролю доступу та учасниками зв'язку. Використовується централізована архітектура з однією ключовою точкою, через яку проходять усі повідомлення (сервер контролю доступу). Обробка запитів контролю доступу виконується модераторами («floor chairs») або сервером (залежно від політики безпеки) [75]. Принцип роботи протоколу Binary Floor Control Protocol (BFCP) представлений на рис. 1.3 [75].

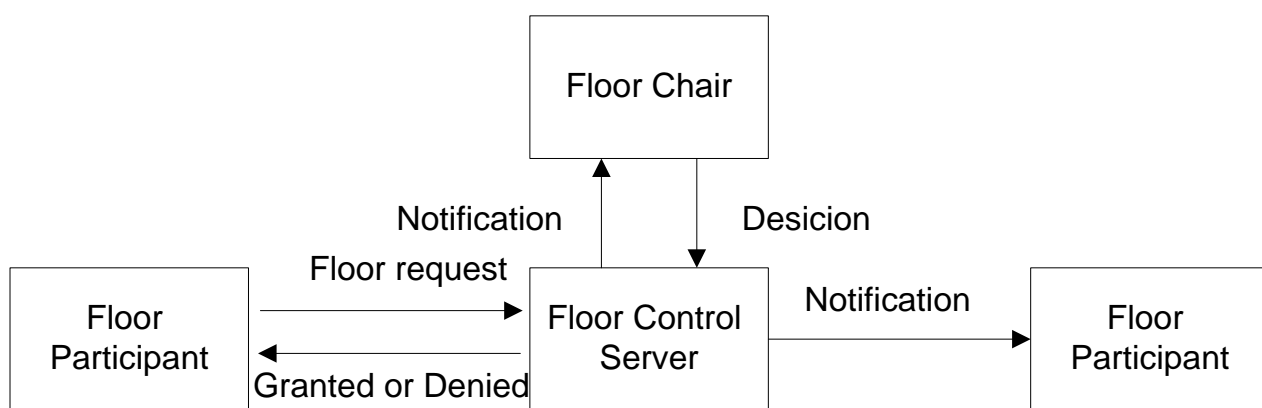


Рис. 1.3. Принцип роботи протоколу контролю доступу (BFCP)

Усі представлені технології базуються на базових засобах комп'ютерних мереж та властивостях мультимедіа. Враховуючи це, можна зробити висновок, що вся інформація про процес навчання на базі даних технологій присутня у мережному трафіку і може бути отримана шляхом його аналізу.

## **1.2. Роль моніторингу у процесі дистанційного навчання в режимі онлайн**

### **1.2.1. Особливості процесу моніторингу дистанційного навчання**

Серед існуючих проблем сучасної освіти завдання забезпечення необхідного та достатнього рівня її якості є одним із ключових. Така тенденція

в Україні співпадає із світовою. [76-77] Нововведення та можливості, що відкриває дистанційне навчання, мають сприяти підвищенню якості та ефективності навчання. На думку більшості експертів, використання дистанційного навчання є «панацеєю» від більшості проблем сучасної освіти [78]. Однак серед багатьох споживачів освітніх послуг історично набув поширення стереотип, що якість дистанційної освіти значно нижча, ніж якість очної, головною причиною появи якого є відсутність контролю за перебігом дистанційного навчання. Зважаючи на це, завдання моніторингу процесу навчання для дистанційної освіти є ще більш важливим, ніж для традиційної освіти.

Відповідно до визначення А.Н. Майорова [79], *моніторинг в освіті* – це система збору, обробки, зберігання і розповсюдження інформації про освітню систему або її окремі елементи, орієнтована на інформаційне забезпечення управління даною системою, що дозволяє оцінювати її стан в будь-який момент часу і дає можливість прогнозувати її розвиток.

Головними функціями моніторингу освіти є [80-83]:

- *інформаційна функція* – створює вірогідний масив інформації щодо процесу навчання;
- *діагностична функція* – фіксує реальний стан процесу навчання;
- *прогностична функція* – виявляє стратегію та тактику розвитку освіти в навчальних закладах;
- *управлінська функція* – впливає на мету, зміст, методи управлінської діяльності;
- *педагогічна функція* – вибудовує цілісність процесу навчання, виховання та розвитку учнів.

Враховуючи особливості галузі освіти у питаннях її управління та сучасних тенденцій інформаційного обслуговування, вченими була запропонована наступна система класифікації моніторингу в освіті [84-85]:

– *Інформаційний моніторинг* - збір, накопичення, систематизація і поширення інформації. Даний вид не передбачає проведення спеціально організованого аналізу на етапі збору інформації.

– *Базовий (фоновий) моніторинг* - виявлення нових проблем і небезпек до того, як вони стануть усвідомлюваними на рівні управління.

– *Проблемний моніторинг* - виявлення закономірностей, процесів, небезпек, проблем, які відомі й очікувані з точки зору управління (здійснюється за замовленням органу управління).

– *Управлінський моніторинг* - відстеження та оцінка ефективності, наслідків і вторинних ефектів від рішень, прийнятих в галузі управління.

Так як головним складовим елементом дистанційного навчання є курси дистанційного навчання, то моніторинг процесу дистанційного навчання складається із моніторингу процесу вивчення курсів дистанційного навчання. Моніторинг курсів дистанційного навчання включає себе такі елементи [85]:

- контроль навчальної діяльності учнів на всіх етапах роботи над курсом (вхідний контроль, проміжний, підсумковий тощо);
- відстеження внутрішньогрупової динаміки;
- контроль якості навчальних матеріалів та їх своєчасне оновлення;
- здійснення педагогічної оцінки курсу в цілому (як поточної, так і підсумкової) з метою його подальшого удосконалення.

Організація ефективного моніторингу дистанційного курсу дозволяє своєчасно вдосконалити курс, забезпечуючи актуальність всіх представлених навчальних матеріалів, вибирати оптимальні форми і методи навчання, будувати навчальний процес, у центрі якого знаходився б не електронний підручник, а учень [86]. Якщо викладач контролює діяльність учнів і, вчасно отримавши зворотний зв'язок, реагує на ті чи інші процеси, що відбуваються в навчальній групі, це безумовно сприятиме збереженню високого рівня мотивації учнів протягом усього курсу. Відстеження внутрішньогрупової динаміки дозволяє отримати інформацію щодо міжособистісних процесів, які протікають у групі учнів, та визначити, як вони впливають на якість навчання.

Важливою складовою процесу моніторингу є аналіз одержаної інформації, результати якого дають можливість зробити висновки щодо процесу навчання. Виділяють наступні типи аналізу відповідно до типу експертиз [83]:

– Динамічний, коли в якості підстави для експертизи служать дані про динаміку розвитку того чи іншого об'єкта, явища або показника.

– Порівняльний, коли в якості підстави для експертизи вибираються результати ідентичного обстеження інших освітніх систем.

– Комплексний, коли використовуються кілька підстав для експертизи.

Таким чином, процес моніторингу є важливим завданням для будь-якого типу навчання, однак у випадку дистанційної освіти, коли відсутні засоби контролю, доступні при традиційній освіті, моніторинг процесу навчання є головним засобом його контролю та джерелом інформації для прийняття управлінських рішень.

У свою чергу, головною метою моніторингу процесу навчання є своєчасне забезпечення повною інформацією щодо стану поточного навчального процесу за для виявлення недоліків та внесення модифікацій, покликаних покращити якість навчання.

### **1.2.2. Існуючі методи моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн**

Важливою перевагою дистанційного навчання над традиційним є використання сучасних інформаційних та комунікаційних технологій, що дозволяє удосконалити не лише сам процес навчання, а й засоби та механізми його моніторингу.

Стандартними методами, що використовуються для контролю навчання, є [80]:

- анкетування;
- тестування;



- індивідуальні або групові інтерв'ю;
- аналіз результуючих робіт, виконаних учнями.

Будь-яка найпростіша система дистанційного навчання оснащена засобами для проведення анкетування та тестування, а також засобами завантаження та зберігання результуючих робіт. Оцінка результатів представлених видів робіт може виконуватися як автоматично, так і тьютором. Такий вид навчальної діяльності, як інтерв'ю, реалізується за допомогою засобів онлайн-конференцій, які зараз є широко розповсюдженими [83]. Процес інтерв'ю є максимально наближеною до традиційного навчання дією, тож і оцінюється традиційними засобами. Допоміжним засобом при онлайн інтерв'ю є можливість запису конференції для подальшого перегляду та більшої об'єктивності результатів.

Важливою особливістю при застосуванні представлених засобів контролю процесу дистанційного навчання є необхідність контролювати не лише результати виконання представлених дій, а й моніторити перебіг процесу виконання тих чи інших завдань. Характеристики динаміки процесу дистанційного навчання мають значний вплив на результати навчання та мають бути враховані та контрольовані під час його перебігу.

При використанні дистанційного навчання список перерахованих методів можна розширити [85]:

- аналізом матеріалів телеконференцій, записів чатів та відео конференцій;
- аналізом статистичної інформації про роботу учнів із засобами системи дистанційного навчання.

Використання запропонованих методів дає можливість одержати різномірну інформацію про процес дистанційного навчання, що включатиме в себе як дані про успішність, так і характеристики перебігу самого процесу навчання.

Однак, на відміну від методів одержання характеристик успішності навчання, що мають значну варіацію реалізацій для різних систем

дистанційного навчання, методи одержання характеристик перебігу процесу навчання реалізовані лише для одержання простих статистичних характеристик використання системи дистанційного навчання.

При аналізі роботи найбільш розповсюджених систем дистанційного навчання із відкритим кодом Moodle, Sakai та ILIAS було виявлено, що головним засобом контролю процесу дистанційного навчання при використанні даних систем є записи (логи) щодо активності користувачів, які слугують джерелом інформації для генерації звітів щодо перебігу навчального процесу.

Більш детальний огляд засобів контролю та моніторингу зроблений для системи Moodle [57]. У системі дистанційного навчання Moodle є доступними чотири типи звітів:

– Журнали, що показують відфільтровану інформацію про конкретну діяльність або користувача.

– Звіт про діяльність, що має вигляд простих не відфільтрованих даних щодо всієї діяльності у межах вибраного курсу.

– Дані про учасників курсу, що представлені у вигляді відсортованого списку усіх учасників вибраного курсу із детальною інформацією щодо використання ними ресурсів та виконання певних дій.

– Завершеність діяльності, що є списком, який відображає, ким із усіх учасників курсу була завершена та чи інша діяльність.

Дані, представлені у звітах, можуть бути показані для різних проміжків часу, що задаються опціонально, що найменш для одного дня. Додатковими можливостями системи є засоби статистичного порівняння даних про діяльність користувачів різних курсів у межах усієї системи дистанційного навчання.

Засоби контролю та моніторингу систем дистанційного навчання Sakai та ILIAS є досить схожими на ті, що представлені для системи Moodle, та не потребують додаткового огляду.

Запропоновані статистичні дані дають досить значний об'єм інформації щодо перебігу процесу дистанційного навчання, однак представлені засоби

контролю та моніторингу систем дистанційного навчання, розроблені для систем стандарту SCORM, не враховують інтерактивність та динаміку навчального процесу в режимі онлайн та дозволяють виконувати лише ретроспективний аналіз.

Враховуючи представлені недоліки, можна зробити висновок, що характеристики, одержані за допомогою генерації звітів, не відображають динаміку процесу дистанційного навчання повністю. Зважаючи на це, постає питання про застосування додаткових методів моніторингу дистанційного навчання, на основі якого можна отримати динамічні характеристики процесу дистанційного навчання.

### **1.3. Задача моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку**

#### **1.3.1. Технології та засоби контролю мережного трафіку**

*Моніторингом* мережі називають процес збору та аналізу мережного трафіку, згідно з результатами якого можна робити висновки про якісні та кількісні характеристики працездатності мережі або її окремих компонентів [87]. Моніторинг трафіку є важливою складовою процесу управління мережею. Отриманий мережний трафік є джерелом інформації про функціонування корпоративних застосувань, що має бути врахована при розподіленні ресурсів, плануванні обчислювальних потужностей, визначенні та локалізації відмов, вирішенні питань безпеки тощо.

Використання мережного трафіку у якості джерела інформації для одержання статистичних даних щодо використання певних web-ресурсів є поширеним завданням, що називається web-аналітикою, реалізація якого забезпечується спеціальними сервісами (застосуваннями, системами тощо), які отримали назву web-аналітиків.

Під web-аналітикою розуміють процес вимірювання, збору, аналізу та представлення статистичних даних для ілюстрації процесу використання web-ресурсів за для подальшої їх оптимізації [88].

Традиційно, web-аналітика є одним із засобів маркетингу та бізнес-аналізу та застосовується за для підвищення ефективності використання ресурсів того чи іншого web-сайту, а також для аналізу його популярності для подальшого просування та регулювання рекламної політики [89-91]. Однак за останні роки спектр застосування web-аналітика значно розширився, що призвело до значного розширення даних та показників, що можуть бути отримані із використанням web-аналітики.

Враховуючи те, що основною метою веб-аналітики є збір та аналіз даних, пов'язаних із веб-трафіком і використанням шаблонів, головними джерелами даних для веб-аналітики є [89]:

- дані із запитів проколу HTTP, які одержуються безпосередньо із пакетів типу HTTP-запит (заголовків HTTP-запитів);
- супровідні HTTP-запитам дані мережного рівня та дані серверів, що не є частиною HTTP-запиту, але є необхідними для його успішної передачі по мережі (наприклад: IP-адреса);
- дані рівня додатків, відправлені разом з HTTP-запитами: генеруються і оброблюються програмами на рівні додатків (такі як JavaScript, PHP, і ASP.Net), у тому числі дані сесії;
- зовнішні дані, які зазвичай використовуються для уточнення та інтерпретації даних, отриманих із інших перерахованих джерел; прикладом є отримання даних про географічне розташування користувачів, що визначається із зовнішніх ресурсів відповідно до IP-адреси.

Завдання web-аналітики вирішується програмними продуктами, які називаються *web-аналітиками*. Web-аналітики можуть бути реалізовані у вигляді стороннього сервісу, що додає додатковий код на сторінки системи, яку моніторить, або у вигляді локальних програмних продуктів, що налаштовані на

тому ж сервері, що і об'єкт моніторингу. Серед найбільш популярних web-аналітиків можна виділити наступні: Google Analytics, Яндекс.Метрика, Open Web Analytics, Webalizer та Piwik [92-96].

Розглянемо дані, що можуть бути отримані шляхом використання web-аналітика на прикладі Google Analytics. Google Analytics дозволяє отримати наступні дані щодо використання web-застосування [97]:

- кількість активних користувачів;
- кількість запитів за хвилину за останні пів години;
- кількість запитів за секунду за останню хвилину;
- джерела, звідки активні користувачі перейшли до ресурсу;
- географічне місце розташування користувачів;
- сторінки та екрани, проглянуті за останні пів години;
- інформація щодо дій на сайті у режимі реального часу;
- які посилання використовували користувачі.

Представлений набір характеристик є, у більшості, типовим для зазначених web-аналітиків та дає змогу оцінити функціональні можливості та рівень забезпеченості інформацією існуючими web-аналітиками.

Таким чином, використання web-аналітики для вирішення завдання моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн забезпечить можливість отримувати дані щодо динаміки навчального процесу в режимі реального часу, а використання мережного трафіку в якості джерела даних дозволить проілюструвати увесь навчальний процес, що проходить по мережі.

### **1.3.2. Особливості використання засобів моніторингу мережного трафіку в процесі дистанційного навчання**

Розглянемо можливість використання існуючих засобів моніторингу мережного трафіку, а саме Google Analytics, Яндекс.Метрика, Open Web Analytics, Webalizer та Piwik, для вирішення задачі моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн по даним мережного трафіку.

Порівняльна характеристика зазначених засобів моніторингу мережного трафіку переставлена у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Порівняльна характеристика засобів моніторингу мережного трафіку для вирішення задачі моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн

	<b>Google Analytics</b>	<b>Яндекс. Метрика</b>	<b>Open Web Analytics</b>	<b>Webalizer</b>	<b>Piwik</b>
<b>Загальна к-ть переглядів</b>	+	+	+	+	+
<b>К-ть переглядів учня</b>	-	-	-	-	-
<b>Хронометраж усіх дій</b>	+	+	+	+	+
<b>Хронометраж дій учня</b>	-	-	-	-	-
<b>Допоміжні матеріали</b>	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
<b>Джерело</b>	Cookies із JavaScript	Cookies із JavaScript	JavaScript	Web log - файли	UserID, Cookies
<b>Тип аналізу</b>	Істор. + Online	Істор. + Online	Істор. + Online	Історія	Істор. + Online
<b>Результат</b>	Online - звіт	Online - звіт	Online - звіт	HTML-звіт	Online - звіт
<b>Зберігання результатів</b>	Власний сервер	Власний сервер	Власний сервер	Log-файли	Власний сервер

В результаті проведеного порівняльного аналізу можна зробити такі висновки:

- більшість із розглянутих систем використовують технологію JavaScript для одержання даних із Cookies;
- усі розглянуті системи дають можливість виконання ретроспективного (історичного) аналізу роботи застосувань та дій користувачів;
- більшість розглянутих систем підтримують функцію онлайн аналізу роботи системи дистанційного навчання (окрім Webalizer);
- дані, одержані в результаті виконаного аналізу, у більшості розглянутих систем зберігаються на власному сервері самого застосування, що виконує аналіз, та не можуть бути переглянуті після певного періоду часу (здебільшого 1 місяць);

– у всіх розглянутих систем відсутня можливість одержання даних, пов'язаних із конкретним користувачем.

На основі представлених результатів аналізу, можна визначити основні недоліки використання існуючих засобів моніторингу мережного трафіку:

– результуючі дані представлені у вигляді кількісних характеристик використання того чи іншого ресурсу без врахування повноти його використання;

– відсутність можливості одержання даних щодо дій конкретного учня;

– відсутність можливості одержання даних щодо взаємодії учень-система навчання;

– використання технології JavaScript, що є основою розглянутих систем, є джерелом уразливостей для систем дистанційного навчання, робота яких моніториться;

– робота існуючих засобів моніторингу блокується деякими версіями браузерів Mozilla Firefox та Opera, що не дає можливості одержати дані про учнів, що використовують зазначені браузери у процесі навчання.

Враховуючи вказані недоліки, можна зробити висновок, що застосування існуючих засобів моніторингу мережного трафіку для вирішення завдання моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн по даним мережного трафіку не є можливим, оскільки необхідність розробки власного аналізатора для вирішення завдання моніторингу дистанційного навчання в режимі реального часу.

Отже, науково-практичне завдання розробки інформаційної технології моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку, яка забезпечить можливість виконання аналізу його перебігу у режимі реального часу, є актуальним.

### 1.3.3. Постановка задач дослідження

Для дистанційного навчання у режимі онлайн при відсутності контролюючих засобів, що доступні традиційному навчальному процесу, моніторинг процесу навчання є головним засобом його контролю та джерелом інформації для прийняття управлінських рішень.

Своєчасне забезпечення повною інформацією щодо стану поточного навчального процесу, яка отримується шляхом моніторингу перебігу процесу навчання, дасть можливість виявлення недоліків із подальшим внесенням модифікацій, покликаних покращити якість як процесу навчання, так і його результатів.

Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні якості оцінювання процесу дистанційного навчання за рахунок розробки інформаційної технології його моніторингу по даним мережного трафіку.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) проаналізувати сучасний стан процесу дистанційного навчання, існуючу систему критеріїв його оцінювання та визначити динамічні характеристики в режимі онлайн навчання;
- 2) розробити метод вимірювання динамічних характеристик процесу дистанційного навчання по даним мережного трафіку;
- 3) розробити метод моніторингу мережного трафіку за допомогою мережного аналізатора;
- 4) розробити архітектуру системи моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку;
- 5) розробити імітаційну модель процесу дистанційного навчання в режимі онлайн;
- 6) дослідити ефективність запропонованих методів за допомогою розробленої моделі та у реальному середовищі.



#### 1.4. Висновки до розділу 1

1. Впровадження технологій дистанційної освіти в навчальний процес є одним із пріоритетних завдань та необхідною умовою забезпечення належного рівня якості освіти. Воно базується на інноваційних методах та формах навчання з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій.

2. Серед існуючих форм дистанційної освіти все більшої популярності набирає дистанційне навчання в режимі онлайн, характерними рисами якого є часові обмеження на виконання завдань, презентація інформації в режимі реального часу, рекурсивна схема вивчення матеріалів, послідовний тестовий контроль, online-взаємодія з вчителем тощо.

3. Більшість електронних систем дистанційного навчання розроблені згідно стандарту SCORM, який з метою підтримки online-методик у навчальному процесі був модернізований до нового стандарту Experience API (xAPI) або Tin Can API.

4. Існуючі методи моніторингу процесу дистанційного навчання у ЕСДН, що базуються на стандарті SCORM та його розширеннях, дозволяють виконувати лише ретроспективний аналіз навчального процесу та не надають необхідної інформації щодо перебігу навчального процесу в режимі онлайн, оскільки не ілюструють його динаміку.

5. Динамічні характеристики процесу дистанційного навчання в режимі онлайн можна отримати за допомогою web-аналітики, так як вся інформація про процес навчання на базі мережних та мультимедійних технологій представлена у мережному трафіку.

6. Аналіз існуючих засобів моніторингу мережного трафіку (Google Analytics, Яндекс.Метрика, Open Web Analytics, Webalizer та Piwik) показав, що застосування представлених засобів для вирішення поставленого завдання моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн по даним мережного трафіку не є можливим.

7. Підвищення якості оцінювання процесу дистанційного навчання може бути здійснено за рахунок вирішення науково-практичного завдання з розробки інформаційної технології моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку у режимі реального часу.

Результати досліджень, проведених у розділі, опубліковані в роботах [15, 16, 24].

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В РЕЖИМІ ОНЛАЙН ПО ДАНИМ МЕРЕЖНОГО ТРАФІКУ

#### **2.1. Розробка розширеної системи критеріїв оцінювання навчального процесу дистанційного навчання в режимі онлайн**

##### **2.1.1. Застосування існуючої системи критеріїв для оцінювання навчального процесу дистанційного навчання в режимі онлайн**

Завдання оцінювання дистанційного навчання поділяється на дві під задачі, а саме [98]:

- оцінювання знань і умінь учнів за допомогою таких засобів як іспити, зрізи знань, контрольні роботи та заліки;
- оцінювання якості організації, забезпечення і проведення навчального процесу.

Для оцінювання дистанційного навчання необхідним є вирішення обох під задач. Оцінювання навчання, як комплексу знань та вмінь, підпорядковується єдиним вимогам незалежно від форми навчання та стандартизується на держаному рівні. У той же час, оцінка навчання по показникам навчального процесу залежить від форми проведення навчального процесу та має враховувати його особливості.

Враховуючи це, вітчизняними вченими була запропонована наступна система критеріїв оцінювання дистанційного навчання, яка включає в себе дві підсистеми [99]:

- підсистема критеріїв оцінювання рівня знань та навичок;
- підсистема критеріїв оцінювання навчального процесу дистанційної освіти.

Запропонована система критеріїв оцінювання дистанційного навчання представлена на рис. 2.1 [99].

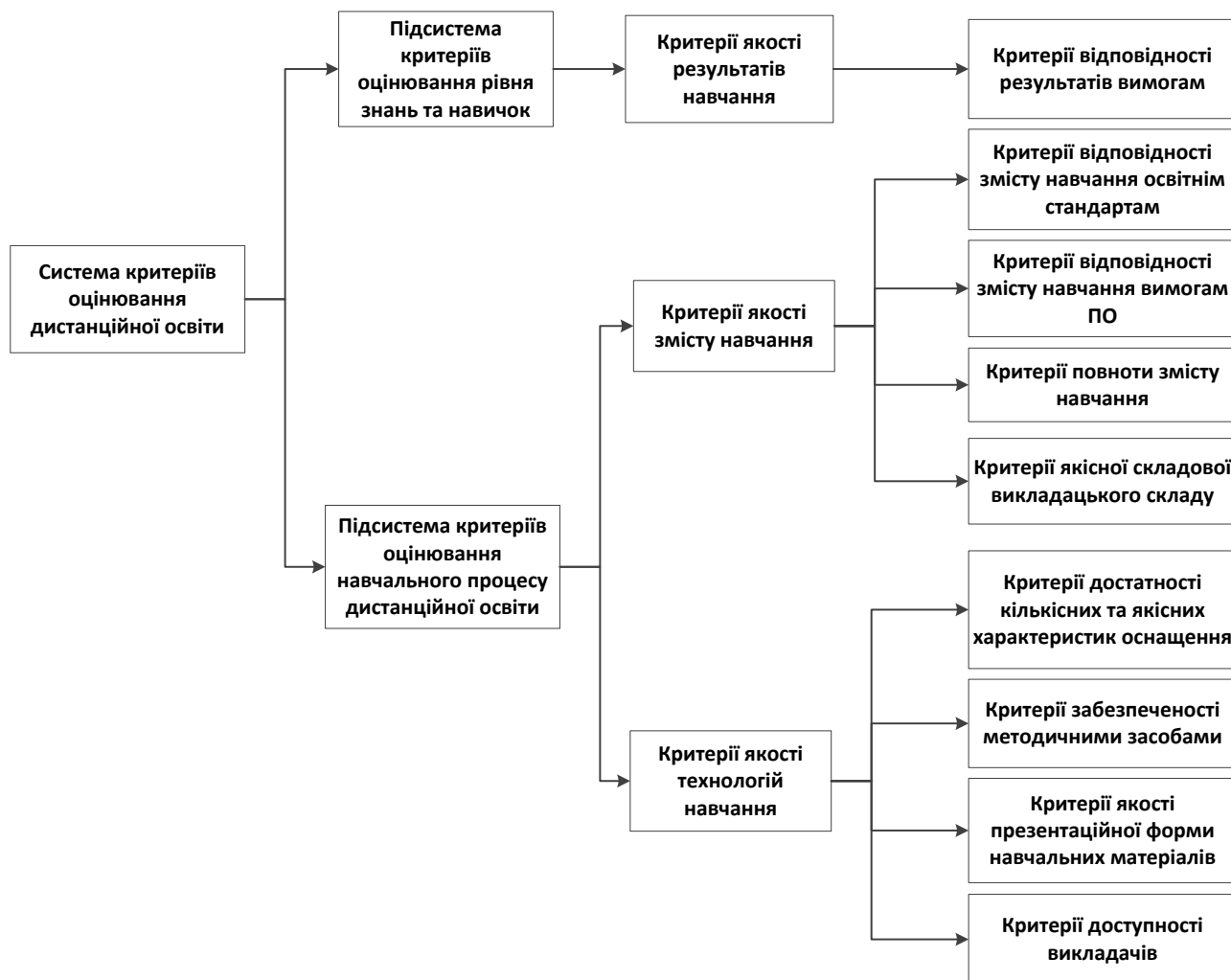


Рис. 2.1. Існуюча система критеріїв оцінювання дистанційного навчання

Проаналізувавши представлену на рис. 2.1. систему критеріїв оцінювання дистанційного навчання можна зробити висновок, що оцінювання дистанційного навчання виконується на основі значень множини критеріїв:

$$K_s = \langle K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9 \rangle, \quad (1)$$

де  $K_s$  – множина критеріїв оцінювання дистанційного навчання;

$K_1$  – множина критеріїв відповідності теоретичних та практичних результатів навчання існуючим вимогам;

$K_2$  – множина критеріїв відповідності змісту навчання (учбових програм, планів, матеріалів та кадрового забезпечення) стандартам професійної освіти;

$K_3$  – множина критеріїв відповідності змісту навчання (учбових програм, планів, матеріалів та кадрового забезпечення) сучасним вимогам предметної області;

$K_4$  – множина критеріїв повноти змісту навчання (учбових програм, планів, матеріалів та кадрового забезпечення);

$K_5$  – множина критеріїв достатності кількісних та якісних (потужність, пропускну здатність, об'єм пам'яті) характеристик технічного оснащення для забезпечення якісного навчального процесу;

$K_6$  – множина критеріїв доступності викладачів (достатність кількості проведених консультацій);

$K_7$  – множина критеріїв якості презентаційної форми навчальних матеріалів;

$K_8$  – множина критеріїв забезпеченості методичними та програмними засобами для реалізацій лабораторних робіт та практичних завдань;

$K_9$  – множина критеріїв якісної складової викладацького складу (кількість викладачів зі ступенями, наявність методичних та наукових робіт тощо).

Значення представлених критеріїв оцінювання дистанційного навчання одержуються на основі значень показників якості дистанційного навчання, що характеризують ступінь відповідності компонентів системи дистанційної освіти поставленим вимогам [99].

Відповідно до концепції інформатизації освіти дистанційне навчання характеризується наступними групами показників:

- показники якості змісту навчання;
- показники якості технологій навчання;
- показники якості результатів навчання.

Показники якості змісту навчання є множиною показників, що в включає в себе три підмножини показників:

$$C = \langle C_1, C_2, C_3 \rangle, \quad (2)$$

де  $C$  – множина показників якості змісту навчання;

$C_1 = \{c_{11}, c_{12} \dots c_{1,n-1}, c_{1,n}\}$  – підмножина, що включає в себе показники якості учбових програм та планів;

$C_2 = \{c_{21}, c_{22} \dots c_{2,m-1}, c_{2,m}\}$  – підмножина, що включає в себе показники якості учбових матеріалів;

$C_3 = \{c_{31}, c_{32} \dots c_{3,y-1}, c_{3,y}\}$  – підмножина, що включає в себе показники якості кадрового забезпечення.

Показники якості технологій навчання також складають множину, яка включає в себе дві підмножини показників, а саме:

$$T = \langle T_1, T_2 \rangle, \quad (3)$$

де  $T$  – множина показників якості змісту навчання;

$T_1 = \{t_{11}, t_{12} \dots t_{1,a-1}, t_{1,a}\}$  – підмножина, що включає в себе показники якості технічного забезпечення;

$T_2 = \{t_{21}, t_{22} \dots t_{2,b-1}, t_{2,b}\}$  – підмножина, що включає в себе показники якості методик та технологій проведення учбових занять.

Представлені показники використовуються для визначення числових значень елементів множини критеріїв  $K_s = \langle K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9 \rangle$ . Слід зазначити, що показники якості результатів навчання відповідають множині критеріїв  $K_1$ , що є складовою підсистемою критеріїв оцінювання рівня знань та навичок, а показники технологій навчання та змісту навчання відповідають критеріям множин  $K_2 - K_9$ , що входять в підсистему критеріїв оцінювання якості процесу дистанційного навчання.

Розглянувши представлену систему критеріїв оцінювання дистанційного навчання можна зробити наступні висновки:

1. Критерії оцінювання рівня знань та навичок, що входять до множини  $K_1$ , є універсальними незалежно від форми навчання, а їх розробка – одне із традиційних завдань педагогіки, що на даний момент має безліч стандартизованих рішень.

2. Критерії множин  $K_2 - K_9$ , що є складовими підсистемою критеріїв оцінювання якості процесу навчання, є загальними критеріями, що ілюструють навчальний процес будь-якої форми навчання без врахування їх специфіки.

Розроблені для традиційного навчання, представлені критерії аналогічно застосовуються для дистанційного навчання для одержання тих же характеристик, що й для традиційного навчання.

3. Представлена система критеріїв оцінювання дистанційного навчання не враховує особливості процесу дистанційного навчання, які не є притаманними традиційному навчанню, та повністю не вирішує завдання оцінювання якості процесу навчання для дистанційної освіти.

4. Для вирішення завдання підвищення якості оцінювання дистанційного навчання в режимі онлайн необхідно розширити існуючу систему критеріїв оцінювання дистанційного навчання додатковими критеріями, що враховуватимуть динаміку дистанційного навчального процесу в режимі онлайн.

### **2.1.2. Розширення існуючої системи критеріїв для оцінювання дистанційного навчання в режимі онлайн**

Використання електронної системи дистанційного навчання як центрального елемента взаємодії в навчальному процесі забезпечує дистанційному навчанню ряд переваг для проведення контролю навчального процесу, а саме:

1. Можливість перевірити, чи почав студент роботу з курсом, чи отримав він всі необхідні матеріали, чи були переглянуті необхідні відео-ресурси.
2. Можливість чіткого контролю часу та дати виконання завдань.
3. Можливість контролю роботи учня шляхом моніторингу його активності в системі.
4. Можливість контролю додержання учнем навчального плану та виявлення відставання.
5. Можливість виявлення можливих проблем на основі аналізу дій учня.

6. Можливість визначення популярності навчальних матеріалів.
7. Можливість контролю взаємодії учень-викладач.

Виходячи із вище зазначених можливостей, можна зробити висновок, що використання ЕСДН дає можливість не лише зафіксувати результати навчального процесу, а й отримати данні про те, як учень отримав ті чи інші результати. На відміну від традиційного навчання, де контроль навчання відбувається лише у визначені моменти за допомогою засобів виявлення рівня знань, при аналізі динаміки дистанційного навчання є змога виявлення можливих проблем та внесення корегувань у навчальний процес учня або всього курсу до моменту виявлення низьких результатів навчання. До таких корегувань відносяться:

- заміна якісного наповнення матеріалів курсу при низькому рівні їх використання;
- заміна кількісного наповнення курсу при значному відставанні більшої частини учнів від плану його засвоєння;
- впровадження додаткових консультаційних заходів при низькому рівні виконання завдань вчасно;
- впровадження додаткових навчальних заходів при низькому рівні засвоєння матеріалів курсу;
- зміна часових лімітів на виконання тих або інших завдань;
- індивідуальний підхід до учнів, для яких були виявлені проблеми у вивченні курсу;
- своєчасне оповіщення учнів або їх батьків про високу можливість виникнення проблем.

Одержання даних щодо перебігу навчального процесу дозволить покращити якість оцінювання навчання, а також своєчасно модифікувати сам навчальний процес відповідно до оптимальних умов та можливостей навчання, що матиме позитивний вплив на результати навчання. Дані щодо динаміки навчального процесу дозволять підвищити якість оцінювання дистанційного



навчання в режимі онлайн, так як дозволять підвищити об'єктивність оцінки перебігу навчального процесу.

Для більш ефективного вирішення завдання оцінювання якості процесу навчання для дистанційного навчання в режимі онлайн запропоновано розширити існуючу систему критеріїв оцінювання дистанційної освіти критеріями оцінювання динаміки дистанційного навчання. Тобто множину  $K_s = \langle K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9 \rangle$  буде розширено ще однією множиною  $K_{10}$ , тобто множина критеріїв оцінювання дистанційного навчання в режимі онлайн набуває вигляду:

$$K_s = \langle K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10} \rangle, \quad (4)$$

де  $K_s$  – множина критеріїв оцінювання дистанційного навчання;

$K_1$ – $K_9$  – множини критеріїв оцінювання дистанційного навчання із традиційної системи критеріїв;

$K_{10}$  – множина критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання.

Для відображення динаміки дистанційного навчання, складовими підмножини  $K_{10}$  запропоновано зробити наступні критерії:

- *критерій активності користувача ( $K_{ua}$ )*, що визначатиметься на основі частот його використання системи та використаних ресурсів;

- *критерій використання матеріалів ( $K_{mu}$ )*, що визначатиметься на основі того, які матеріали із запропонованих та необхідних були використані учнями;

- *критерій популярності матеріалів ( $K_{mp}$ )*, що визначає, які матеріали користуються найбільшою популярністю; на основі даного критерію можна зробити висновок щодо найбільш зручних та ефективних форм подачі матеріалів та вимог щодо якісного та кількісного їх наповнення;

- *критерій використання ЕСДН ( $K_{su}$ )* забезпечить інформацією щодо особливостей використання ЕСДН; даний критерій ілюструє як учні використовують ЕСДН;

- *критерій встигаємості користувача ( $K_{up}$ )* показує наскільки учень встигає виконувати ті чи інші види робіт.

Запропонована розширена система критеріїв оцінювання дистанційного навчання в режимі онлайн представлена на рис. 2.2.

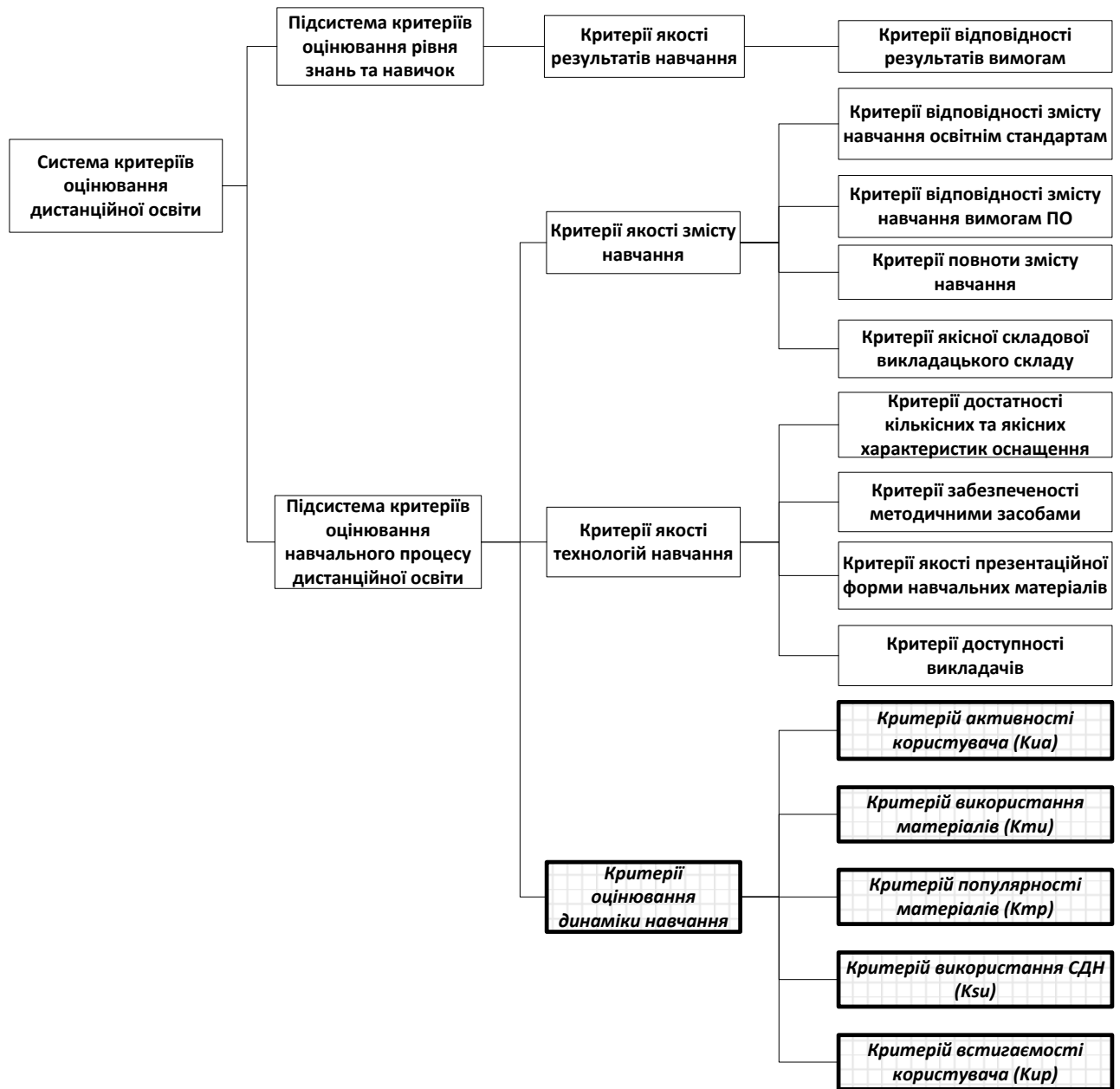


Рис. 2.2. Розширена система критеріїв оцінювання дистанційного навчання

Враховуючи вище сказане отримаємо наступну множину  $K_{10}$ :

$$K_{10} = \{K_{ua}, K_{tu}, K_{tp}, K_{su}, K_{up}\}, \quad (5)$$

де  $K_{10}$  – множина критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання;

$K_{ua}, K_{tu}, K_{tp}, K_{su}, K_{up}$  – запропоновані критерії оцінювання динаміки дистанційного навчання.

Запропонована система критеріїв оцінювання дистанційного навчання включає додаткові критерії, що не можуть бути визначеними на основі показників, що використовуються для критеріїв існуючої системи оцінювання. Для визначення критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання необхідно визначити характеристики динаміки дистанційного навчання, на основі яких будуть одержані значення критеріїв.

### 2.1.3. Визначення характеристик динаміки дистанційного навчання

Окрім стандартних показників та характеристик, що є доступними для будь-якої форми навчання, для дистанційного навчання є можливість одержати характеристики його перебігу (надалі – характеристики динаміки), що досить повно ілюструють сам навчальний процес з урахуванням усіх якого засобів та учасників.

Нехай  $D$  є множиною  $\{d_1, d_2 \dots d_{n-1}, d_n\}$  характеристик динаміки процесу дистанційного навчання. Необхідно визначити оптимальний набір  $d \in \{d_1, d_2 \dots d_{n-1}, d_n\}$  характеристик динаміки процесу дистанційного навчання, що дозволять оцінити якість його перебігу.

На основі аналізу засобів контролю процесу навчання найпоширеніших ЕСДН запропоновано виконати групування характеристик динаміки дистанційного навчання відповідно до об'єкту, який вони ілюструють. Характеристики дистанційного навчання  $d \in \{d_1, d_2 \dots d_{n-1}, d_n\}$  розділено на три підмножини  $\{U, R, I\}$ , тобто:

$$D = \langle U, R, I \rangle \quad (6)$$

де  $D$  – множина характеристик динаміки процесу дистанційного навчання;

$U$  – множина характеристик динаміки дистанційного навчання, що характеризують активність користувача  $\{u_1, u_2 \dots u_{k-1}, u_k\}$ ;

$R$  – множина характеристик динаміки дистанційного навчання, що характеризують активність щодо навчальних ресурсів  $\{r_1, r_2 \dots r_{m-1}, r_m\}$ ;

$I$  – множина характеристик динаміки дистанційного навчання, що характеризують взаємодію учень-система  $\{i_1, i_2 \dots i_{v-1}, i_v\}$ .

Відповідно множина  $D$  набуває вигляду:

$$\{d_1, d_2 \dots d_{n-1}, d_n\} \rightarrow \{\{u_1, u_2 \dots u_{k-1}, u_k\}, \{r_1, r_2 \dots r_{m-1}, r_m\}, \{i_1, i_2 \dots i_{v-1}, i_v\}\}, \quad (7)$$

де  $n=k+m+v$ .

Необхідно визначити складові елементи множин характеристик динаміки дистанційного навчання  $U$ ,  $R$  та  $I$ .

Серед множини  $U$  характеристик активності користувача можна виділити наступні:

$u_1$  – дата та час останнього використання ЕСДН;

$u_2$  – дати та час усіх використань ЕСДН;

$u_3$  – останній використаний ресурс ЕСДН;

$u_4$  – усі використані ресурси ЕСДН;

$u_5$  – найчастіше використовуваний ресурс ЕСДН;

$u_6$  – використані ресурси ЕСДН із необхідних для засвоєння курсу;

$u_7$  – виконані завдання;

$u_8$  – виконані завдання серед необхідних на даний час;

$u_9$  – остання консультація з викладачем;

$u_{10}$  – усі консультації з викладачем.

До множини  $R$  характеристик активності щодо навчальних ресурсів належать:

$r_1$  – дата та час останнього використання;

$r_2$  – ініціатор останнього використання;

$r_3$  – кількість використань;

$r_4$  – усі використання;

$r_5$  – ким використовувався;

$r_6$  – ким із учасників курсу, що мали використовувати, використовувався.

Складовими елементами множини  $I$  характеристик взаємодії учень-система є:

$i_1$  – кількість користувачів системи у вибраний час або за проміжок часу;

$i_2$  – користувачі системи у вибраний час або за проміжок часу;

$i_3$  – використання ресурсів системи у вибраний час або за проміжок часу;

$i_4$  – найпопулярніші ресурси за вибраний час або за проміжок часу;

$i_5$  – найактивніші користувачі за вибраний час або за проміжок часу;

$i_6$  – онлайн заходи, що проходять у вибраний час або за проміжок часу;

$i_7$  – учасники вибраних заходів у встановлений час або за проміжок часу.

На основі представлених характеристик можна зробити наступні уточнення:

- множина  $U$  включає в себе 10 характеристик;
- множина  $R$  включає в себе 6 характеристик;
- множина  $I$  включає в себе 7 характеристик.

Враховуючи це, можна зробити висновок, що множина  $D$  характеристик динаміки дистанційного навчання, є об'єднанням трьох множин:

$$D = U \cup R \cup I, \quad (8)$$

де  $D$  - множина характеристик динаміки дистанційного навчання;

$U$  - множина характеристик активності користувача  $\{u_j\}$ ,  $j \in [1,10]$ ;

$R$  - множина характеристик активності щодо навчальних ресурсів  $\{r_k\}$ ,  $k \in [1,6]$ ;

$I$  - множина характеристик взаємодії учень-система  $\{i_l\}$ ,  $l \in [1,7]$ .

Множина  $D$  характеристик динаміки дистанційного навчання, що складатиметься із представлених характеристик, забезпечуватиме необхідною інформацією щодо перебігу дистанційного навчання. Використання вказаних характеристик дозволить контролювати процес навчання вибраного користувача або групи користувачів, а також визначити цінність тих чи інших навчальних ресурсів.

#### 2.1.4. Визначення критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання через значення динамічних характеристик

Множина динамічних характеристик дистанційного навчання  $D = \langle U, R, I \rangle$  використовується для визначення множини критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання  $K_{10} = \{ K_{ua}, K_{mu}, K_{mp}, K_{su}, K_{up} \}$ . Кожен із представлених критеріїв визначатиметься на основі певної групи характеристик динаміки дистанційного навчання, тобто кожен із критеріїв є результатом деякої функції від набору характеристик динаміки дистанційного навчання.

Враховуючи представлені характеристики динаміки дистанційного навчання, запропоновані критерії оцінювання динаміки дистанційного навчання визначаються таким чином:

$$K_{ua} = f(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_9, u_{10}), \quad (9)$$

$$K_{mu} = f(r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6), \quad (10)$$

$$K_{mp} = f(u_5, i_4, r_3), \quad (11)$$

$$K_{su} = f(i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7), \quad (12)$$

$$K_{up} = f(u_6, u_7, u_8), \quad (13)$$

де  $K_{ua}, K_{mu}, K_{mp}, K_{su}, K_{up}$  – критерії оцінювання динаміки дистанційного навчання;

$u_j, j \in [1,10], r_k, k \in [1,6], i_l, l \in [1,7]$  – характеристики динаміки дистанційного навчання,

$f()$  – лінійна згортка критерію.

Загальний коефіцієнт оцінювання динаміки дистанційного навчання можна визначити за формулою:

$$K = \sum_{j=1}^5 K_j * \omega_j \quad (14)$$

де  $K$  – загальний коефіцієнт оцінювання динаміки дистанційного навчання,

$K_j$  – один із представлених п'яти коефіцієнтів динаміки дистанційного навчання,

$\omega_j$  - ваговий коефіцієнт, значення якого задається експертом.

Кожен із  $K_j$  визначається як:

$$K_j = \sum_{i=1}^{L_j} h_{ij} * w_{ij}, \quad (15)$$

де  $K_j$  – один із представлених п'яти коефіцієнтів динаміки дистанційного навчання;

$L_j$  - кількість характеристик  $i$ -го критерію;

$h_{ij}$  -  $i$ -та характеристика  $j$ -го критерію;

$w_{ij}$  – ваговий коефіцієнт, значення якого задається експертом.

Представлене формальне визначення критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання базується на використанні значень характеристик динаміки дистанційного навчання, тобто для одержання числових значень критеріїв оцінювання динаміки необхідно встановити значення динамічних характеристик.

## **2.2. Метод вимірювання динамічних характеристик дистанційного навчання по даним мережного трафіку**

### **2.2.1. Застосування мережного трафіку як джерела даних щодо перебігу процесу дистанційного навчання в режимі онлайн**

Мережний трафік містить у собі усі дані щодо будь-якого процесу, що протікає у мережі. Процес дистанційного навчання базується на мережних технологіях, та весь обмін даними відбувається за допомогою мережного трафіку. Характерною особливістю такого процесу є його структурованість у часі, тобто використання мережного трафіку у якості джерела даних дає

можливість одержати усі необхідні показники процесу у режимі реального часу або для визначеного часового проміжку.

Для вирішення завдання одержання характеристик динаміки процесу дистанційного навчання необхідно встановити відповідність між даними, що необхідні для встановлення значення характеристики та даними, що містяться у мережному трафіку.

Враховуючи те, що об'єктом визначення є процес взаємодії система-користувач, то завдання зводиться до необхідності визначити які елементи системи використовувалися і як, в той же час зміст самих даних, що передаються (текстові документи, зображення, презентації, відео тощо), не є важливим, а його аналіз не потребується.

Однак, слід приділити окрему увагу вирішенню завдання визначення характеристик використання ресурсів, що презентуються на протязі певного періоду часу – відео-лекції, тести, інтерактивні задачі тощо.

Для визначення будь-яких характеристик динаміки дистанційного навчання необхідно мати наступні дані:

- який матеріал ЕСДН використовувалися;
- ким цей матеріал використовувався;
- час використання матеріалу ЕСДН.

Представлені дані можна отримати шляхом розбору пакетів, що передаються через HTTP-протокол.

Головною особливістю HTTP протоколу є ідентифікація ресурсів із використанням URI (Uniform Resource Identifier) [100].

У HTTP кожне повідомлення складається з трьох частин, які передаються в зазначеному порядку [101]:

- Starting line (строка стану) – визначає тип повідомлення;
- Headers (заголовок) – характеризує тіло повідомлення, параметр передачі та надає додаткові відомості;
- Message Body (тіло запиту) – безпосередньо дані повідомлення.

Структура HTTP повідомлення представлена на рис. 2.3 [101].



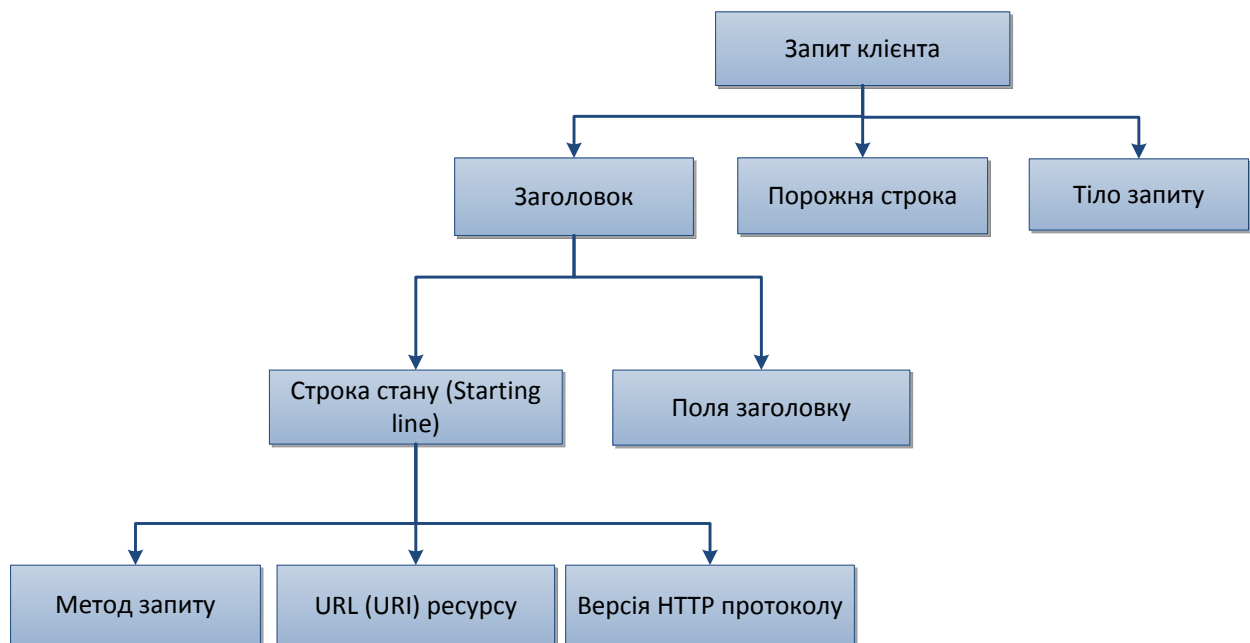


Рис. 2.3. Структура HTTP повідомлення

Частини Headers та Message Body можуть бути відсутніми, однак Starting line є обов'язковим елементом, так як вказує на тип запиту або відповіді.

Starting line має різний формат для повідомлень запитів і повідомлень відповідей. У Starting line повідомлення запиту містяться поля Method, URI і Version, де Method - назва запиту, URI визначає шлях до запитуваного документу, Version вказує, яка версія HTTP протоколу використовується. У Starting line повідомлення відповіді від сервера містяться поля Version, Status Code і Reason Phrase. Version так само як і в запиті вказує на версію HTTP протоколу, Status Code вказує на подальше зміст повідомлення і визначає подальшу поведінку сервера, Reason Phrase - це коротке текстове пояснення до коду відповіді (не впливає на подальше повідомлення і не є обов'язковим).

HTTP Headers - це рядки в HTTP-повідомленні, що містять розділену двокрапкою пару параметр-значення. Формат заголовків відповідає загальному формату заголовків текстових мережних повідомлень ARPA [102].

Message Body використовується для передачі тіла об'єкта, пов'язаного із запитом або відповіддю.

Враховуючи представлені дані, а також той факт, що HTTP-протокол належить до стеку TCP/IP протоколів, із HTTP-пакетів можна отримати наступні дані:

- URI ресурсу ЕСДН із Starting line та URL ресурсу ЕСДН із Starting line та HTTP Headers;
- IP-адресу користувача, що використовував той чи інший ресурс системи із стеку TCP/IP;
- час використання ресурсу ЕСДН із HTTP Headers.

Представлені дані є необхідними для визначення характеристик динаміки дистанційного навчання, однак для одержання більш якісної та змістовної інформації потребують певних уточнень та доповнень, які можна отримати на основі цих даних із самої системи дистанційного навчання побудованої по стандарту SCORM.

### **2.2.2. Одержання характеристик процесу дистанційного навчання із систем по моделі SCORM**

Розглянемо особливості моделі SCORM для систем дистанційного навчання та можливість застосування її функціональних елементів для одержання інформації щодо процесу дистанційного навчання.

Основою моделі SCORM є модульна побудова підручників і навчальних посібників. Модулі (learning objects або instructional objects) навчального матеріалу в SCORM називаються поділюваними об'єктами контенту (SCO - Shareable Content Objects). SCO - автономна одиниця навчального матеріалу, що має метадані та змістовну частину. В SCORM сукупність модулів певної предметної області одержала назву бібліотеки знань (Web-репозиторій). Модулі (SCO) можуть створювати різні групи у складі підручників і навчальних посібників, для компіляції яких створюється система управління модульним підручником (сервер управління контентом), що найчастіше називається Learning Management System (LMS).

Характеристики моделі SCORM:

- використання XML для представлення вмісту модулів;
- визначення зв'язків із програмною середою та API;
- надання специфікації для створення метаданих.

SCORM складається із трьох основних частин:

- *вступ* (загальна частина), в якому описуються основи концепції SCORM та перспективи її розвитку;
- *модель агрегування модулів* або *модель накопичення змісту* CAM (Content Aggregation Model), де сформовані навчальні посібники;
- *опис середовища виконання* (Run Time Environment), що представляє собою інтерфейс між змістовною і керуючою частинами, використовує Web-технології та мову JavaScript.

Структура SCORM представлена на рисунку 2.4 [54, 103].

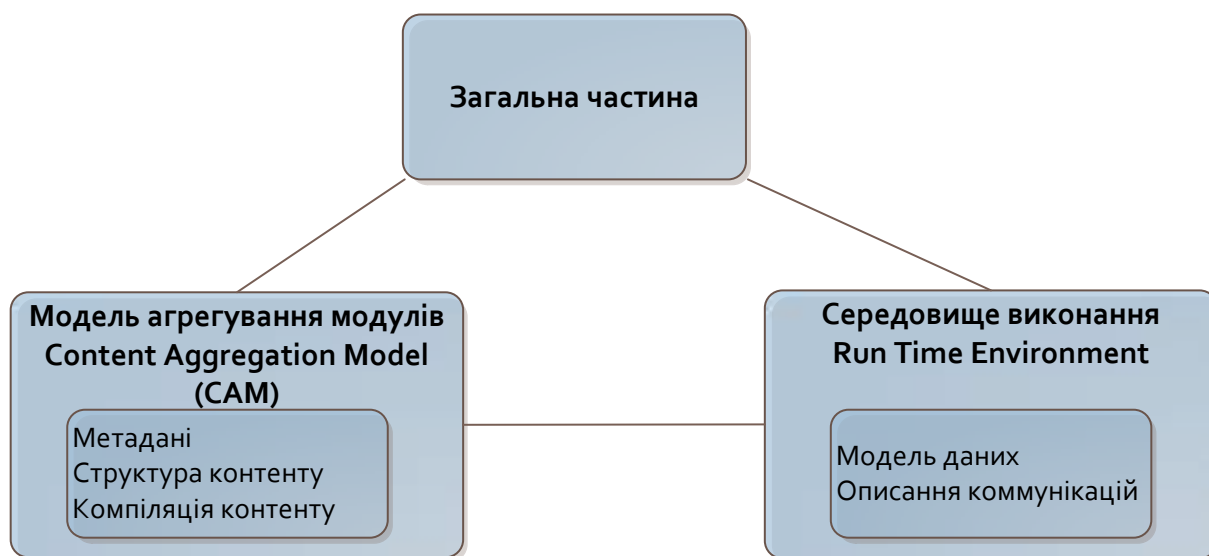


Рисунок 2.4. – Структура SCORM

Окрім наведених на рисунку, додатковими елементами структури також можуть бути:

– компонент *Sequencing and Navigation* (SN), що містить описання комунікацій та відповідає за навігацію між компонентами начального матеріалу.

– компонент *Conformance Requirements*, що містить повний список вимог для відповідності стандарту SCORM, що перевіряються ADL. Система

керування навчанням або редактор навчальних матеріалів може отримати від ADL сертифікат про відповідність вимогам SCORM, якщо він функціонує відповідно до цих вказівок.

Content Aggregation Model містить такі дані:

1. Метадані (*Metadata Dictionary*) з описом призначення і типу вмісту модуля, відомостями про авторів, ціну, вимоги до технічної платформи тощо; ця частина CAM запозичена із специфікацій IEEE.

2. XML-дані (*Content Structure*) про структуру контенту. Мова XML в SCORM використовується у вигляді версії CSF (Course Structure Format). За допомогою CSF представляється структура навчального курсу, визначаються всі елементи і зовнішні посилання, необхідні для інтеоперабельності в рамках концепцій IMS, IEEE і AICC. CSF заснований на моделі AICC Content Model.

3. Дані (*Content Packaging*) про способи об'єднання модулів в посібники з урахуванням специфікації IMS Content Packaging specification. При цьому кожен елемент автоматично отримує унікальний ідентифікатор.

4. Файли та дані (*Learning Content*), що складають безпосередньо навчальний блок.

Metadata Dictionary, Content Structure та Content Packaging входять у файл, що називається XML-маніфест, має назву imsmanifest.xml і знаходиться у кореневій папці пакету.

XML-маніфест містить інформацію щодо назви ресурсів, їх розташування, типу, життєвого циклу, інших характеристик тощо.

Структура дерева метаданих XML-маніфесту SCORM представлена на рисунку 2.5 [104].

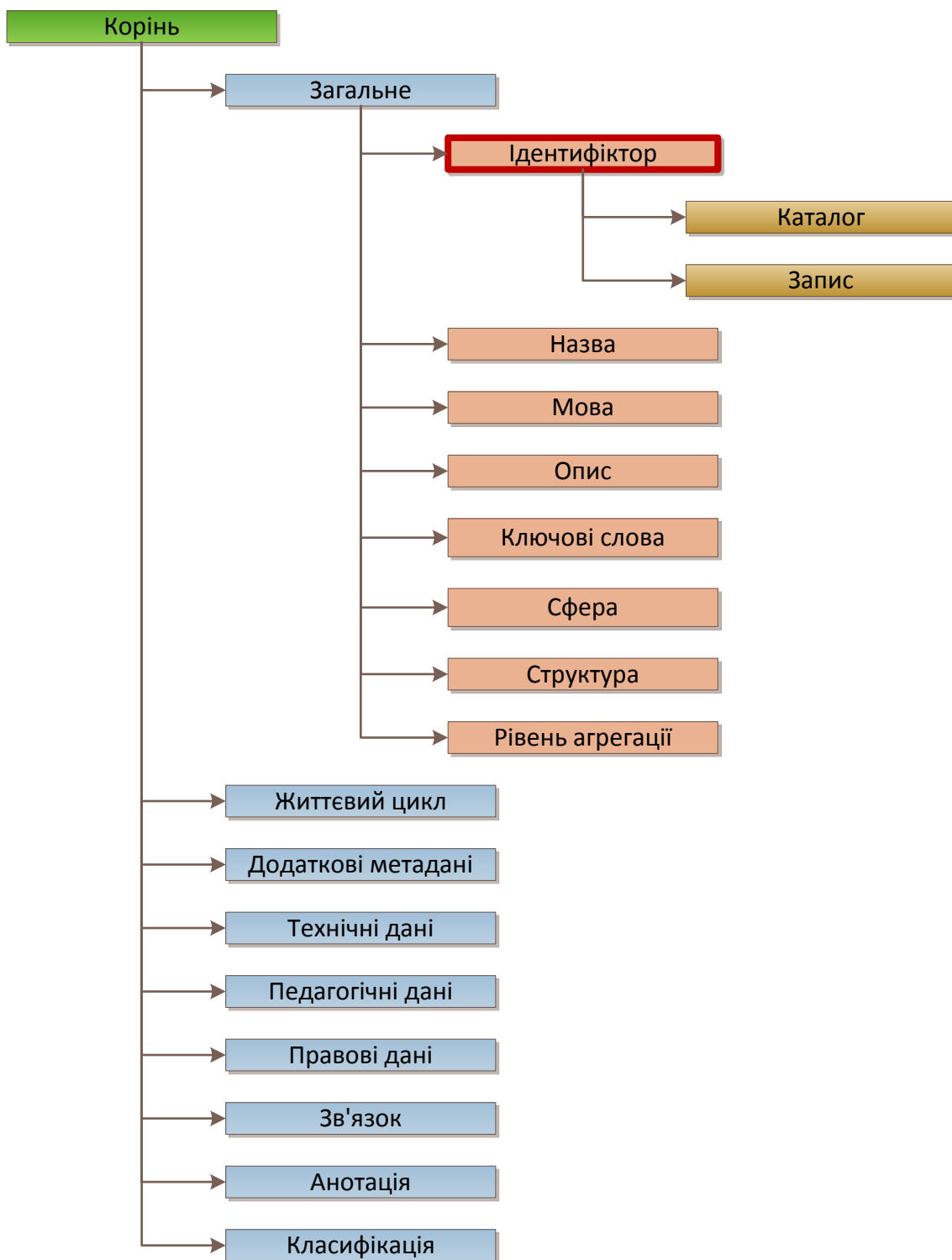


Рис. 2.5. Структура метаданих XML-маніфесту SCORM

Дані, що містяться у XML-маніфесті ЕСДН, можуть бути використані для одержання динамічних характеристик дистанційного навчання в режимі онлайн, адже у XML-маніфесті встановлена відповідність між URI ресурсу

ЕСДН та іншими його характеристиками. Отже на основі даних із XML-маніфесту можна одержати такі додаткові характеристики ресурсу, як:

- назва ресурсу;
- тип ресурсу;
- тип даних, що містить ресурс.

Враховуючи вище сказане, схема одержання даних для встановлення значень динамічних характеристик дистанційного навчання в режимі онлайн набуває вигляду (рис. 2.6):

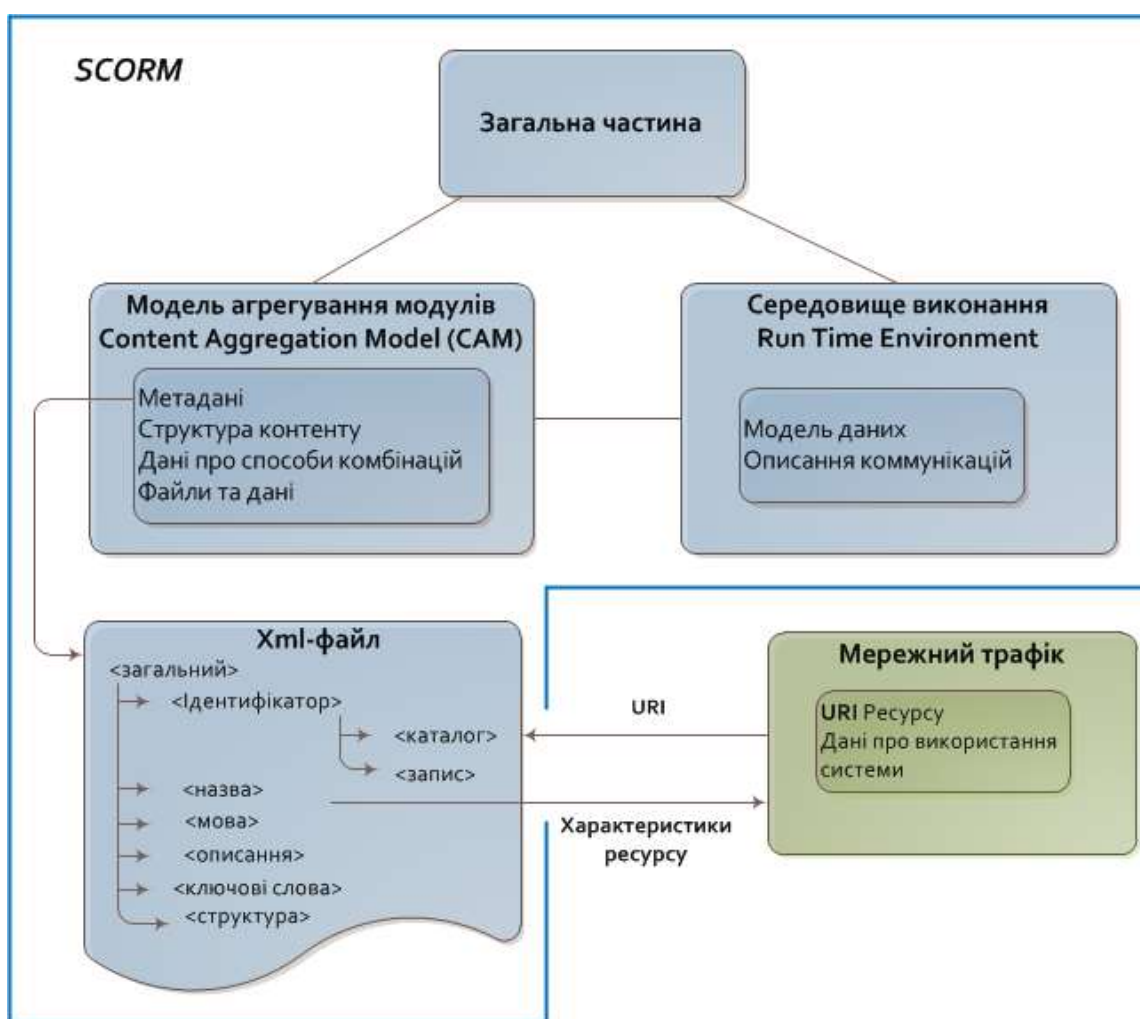


Рис. 2.6. Схема одержання даних для встановлення значень динамічних характеристик дистанційного навчання в режимі онлайн

Важливою перевагою для характеристик процесу дистанційного навчання в режимі онлайн є можливість встановлення відповідності між IP-адресою

користувача та профілем користувача, що є можливим при одержанні відповідних даних із бази даних ЕСДН.

Враховуючи представлене вище, можна зробити висновок, що до характеристик мережного трафіку, на основі яких будуть отримані динамічні характеристики дистанційного навчання, відносяться наступні:

- вибраний ресурс або елемент системи дистанційного навчання;
- тип вибраного ресурсу або елемента системи дистанційного навчання;
- тип даних, що містить вибраний ресурс або елемент системи дистанційного навчання;
- дані профілю користувача системи дистанційного навчання;
- IP-адреса користувача системи дистанційного навчання;
- час використання ресурсу системи дистанційного навчання.

На основі представлених характеристик мережного трафіку, одержаних із HTTP-пакетів та xml-маніфесту ЕСДН, будуть визначені динамічні характеристики дистанційного навчання в режимі онлайн.

### **2.2.3. Формальне визначення динамічних характеристик дистанційного навчання по даним мережного трафіку**

Для одержання значень характеристик динаміки дистанційного навчання запропоновано використання методу визначення динамічних характеристик дистанційного навчання по даним мережного трафіку, відповідно до якого множина  $D$  динамічних характеристик отримується із множини  $T$  характеристик мережного трафіку:

$$T = \langle ResourceParams, UserParams, TimeParams \rangle \quad (16)$$

де  $T$  – множина характеристик мережного трафіку;

*ResourceParams* – множина параметрів навчальних матеріалів;

*UserParams* – множина параметрів користувача;

*TimeParams* – множина часових параметрів.

Множина параметрів навчальних матеріалів  $ResourceParams$  складається із наступних параметрів:

$$ResourceParams = \{ResourceName, ResourceType, DataType\}, \quad (17)$$

де  $ResourceParams$  – множина параметрів навчальних матеріалів;

$ResourceName$  – вибраний елемент системи дистанційного навчання;

$ResourceType$  – тип вибраного елемента системи дистанційного навчання;

$DataType$  – тип даних, що одержуються від елемента системи дистанційного навчання.

До множини характеристик користувача  $UserParams$  відносяться такі параметри:

$$UserParams = \{UserName, \{UserIP\}\}, \quad (18)$$

де  $UserParams$  – множина характеристик користувача;

$UserName$  – дані про користувача;

$\{UserIP\}$  – множина IP-адрес, що використовувалися користувачем для запитів до системи.

Множина часових параметрів  $TimeParams$  включає в себе наступні параметри:

$$TimeParams = \{ReqTime\}, \quad (19)$$

де  $ReqTime$  – час взаємодії користувача із ресурсом системи.

Відображення множини характеристик трафіку  $T$  у множину динамічних характеристик процесу навчання  $D$  визначається функцією:

$$\varphi: T \rightarrow D. \quad (20)$$

Якщо врахувати що  $D = \{h_{ij}\}$ ,  $T = \{t_{ij}\}$  та  $\varphi = \{\psi_{h_{ij}}\}$ , то визначення функції  $\varphi$  базується на множині визначень:

$$\psi_{h_{ij}}: \{t_{ij}\} \rightarrow \{h_{ij}\}, \quad (21)$$

де  $\{t_{ij}\}$  – множина характеристик мережного трафіку,

$\{h_{ij}\}$  – множина характеристик динаміки дистанційного навчання,



$\psi_{h_{ij}}$  – функція відображення.

Для кожної динамічної характеристики процесу дистанційного навчання в режимі онлайн будується власна функція відображення на основі характеристик мережного трафіку.

Динамічні характеристики множини характеристик активності користувача  $U$  визначаються як:

$$\begin{aligned}
 h_{11} &= u_1 = \{UserName, ReqTime\}, \\
 h_{12} &= u_2 = \{UserName, \{ReqTime\}\}, \\
 h_{13} &= u_3 = \{UserName, ResoursName, ReqTime\}, \\
 h_{14} &= u_4 = \{UserName, \{ResoursName\}\}, \\
 h_{15} &= u_5 = \{UserName, ResoursName\}, \\
 h_{16} &= u_6 = \{UserName, \{ResoursName\}\}, \\
 h_{17} &= u_7 = \{UserName, \{ResoursName\}\}, \\
 h_{18} &= u_8 = \{UserName, ResoursName, ReqTime\}, \\
 h_{19} &= u_9 = \{\{UserName\}, ReqTime\}, \\
 h_{110} &= u_{10} = \{\{UserName\}\},
 \end{aligned} \tag{22}$$

де  $\{u_j\}$ ,  $j \in [1,10]$  - елементи множини характеристик активності користувача  $U$ .

$UserName, ReqTime, ResoursName$  – характеристики мережного трафіку, складові елементи множини  $T$ .

Графічне зображення побудованих відображень представлено на рисунку 2.7.

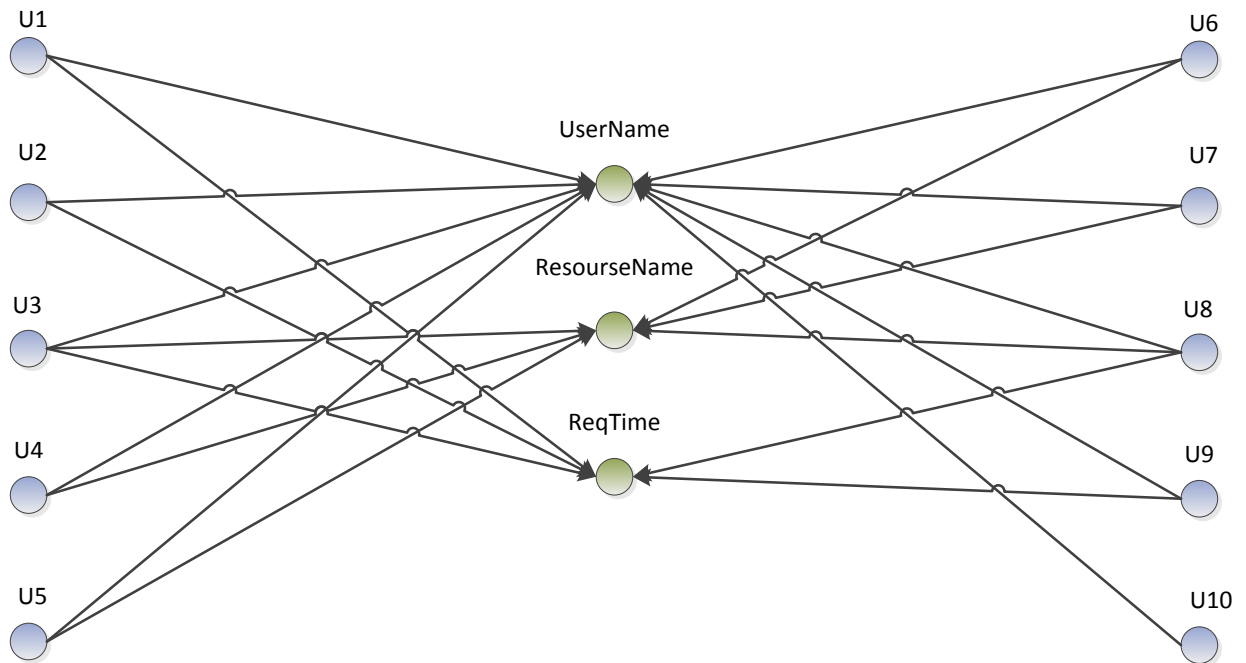


Рис. 2.7. Графічне зображення відображень динамічних характеристик активності користувачів у характеристики мережного трафіку

Динамічні характеристики множини характеристик активності щодо навчальних ресурсів  $R$  визначаються як:

$$\begin{aligned}
 h_{21} &= r_1 = \{ResoursName, ReqTime\} \\
 h_{22} &= r_2 = \{ResoursName, UserName, ReqTime\} \\
 h_{23} &= r_3 = \{ResoursName, \{ReqTime\}\} \\
 h_{24} &= r_4 = \{ResoursName, UserName, ReqTime\} \\
 h_{25} &= r_5 = \{ResoursName, \{UserName\}\} \\
 h_{26} &= r_6 = \{ResoursName, \{UserName\}\},
 \end{aligned} \tag{23}$$

де  $\{r_l\}$ ,  $l \in [1,16]$  - елементи множини характеристик активності користувача  $R$ ,

$UserName, ReqTime, ResoursName$  – характеристики мережного трафіку.

Графічне зображення побудованих відображень представлено на рисунку 2.8.

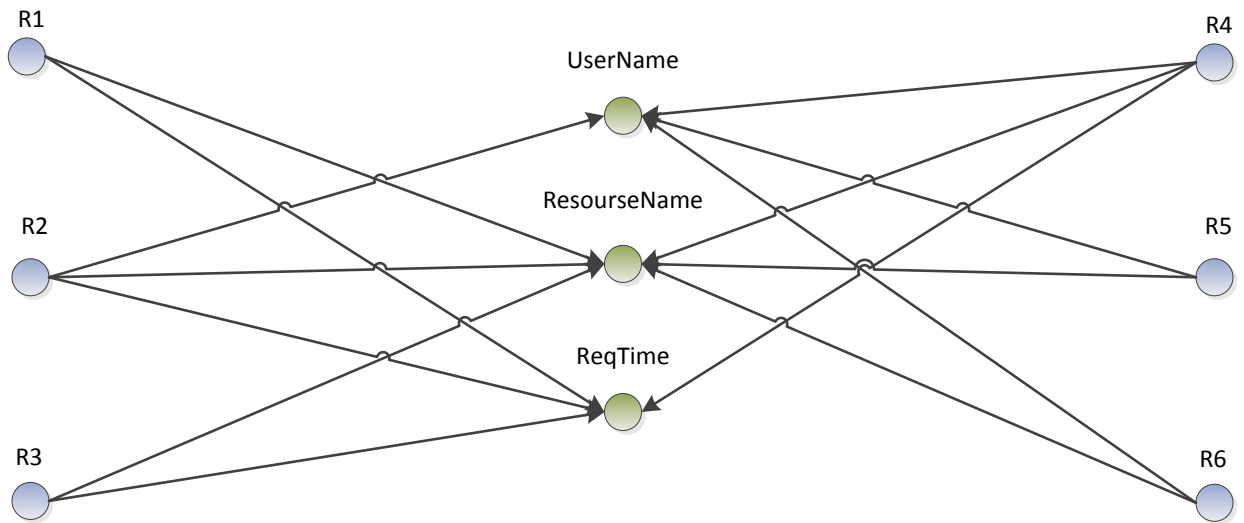


Рис. 2.8. Графічне зображення відображень динамічних характеристик активності використання ресурсів у характеристики мережного трафіку

Динамічні характеристики множини характеристик взаємодії учень-система  $I$  визначаються як:

$$\begin{aligned}
 h_{31} = i_1 &= \{\{UserName\}, ReqTime\} \\
 h_{32} = i_2 &= \{\{UserName\}, ReqTime\} \\
 h_{33} = i_3 &= \{\{ResoursName\}, ReqTime\} \\
 h_{34} = i_4 &= \{\{ResoursName\}, ReqTime\} \\
 h_{35} = i_5 &= \{\{UserName\}, ReqTime\} \\
 h_{36} = i_6 &= \{ResoursName, ReqTime\} \\
 h_{37} = i_7 &= \{\{ResoursName\}, \{UserName\}, ReqTime\},
 \end{aligned} \tag{24}$$

де  $UserName, ReqTime, ResoursName$  – характеристики мережного трафіку,

$\{i_k\}$ ,  $k \in [1,7]$  – елементи множини характеристик активності користувача  $I$ .

Графічне зображення побудованих відображень представлено на рисунку 2.9.

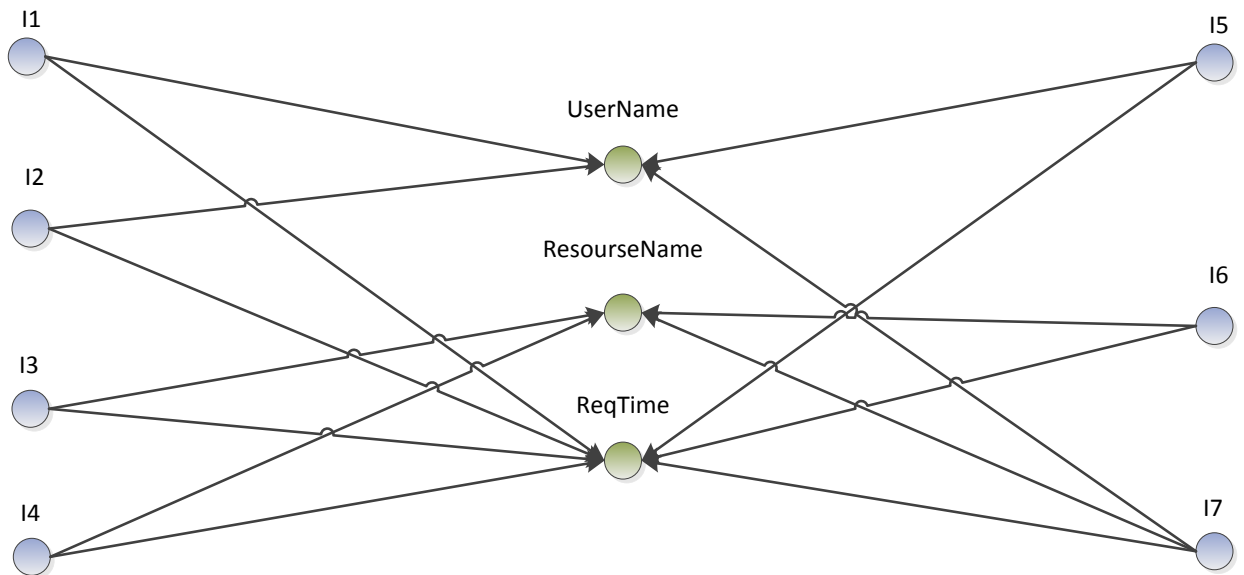


Рис. 2.9. Графічне зображення відображень динамічних характеристик взаємодії учень-система у характеристики мережного трафіку

Побудовані відображення є формальними визначеннями перетворень характеристик мережного трафіку у динамічні характеристики дистанційного навчання в режимі онлайн.

Запропонований метод одержання динамічних характеристик дистанційного навчання в режимі онлайн по даним мережного трафіку забезпечує отримання повних та актуальних даних щодо динаміки навчального процесу, необхідних для визначення значень динамічних характеристик, і, як наслідок, встановлення значень критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання в режимі онлайн, що одержуються, базуючись на значеннях характеристик динаміки.

### 2.3. Висновки до розділу 2

1. Існуюча система критеріїв оцінювання дистанційного навчання не враховує особливості процесу дистанційного навчання в режимі онлайн, не притаманні традиційному навчанню, зокрема його динаміку, та не надає повної інформації про перебіг навчального процесу.

2. Показники якості дистанційного навчання, які використовуються для визначення значень критеріїв існуючої системи оцінювання дистанційного навчання не можуть бути застосовані для визначення критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання, оскільки не містять необхідної інформації.

3. Підвищення якості оцінювання дистанційного навчання в режимі онлайн може бути реалізоване шляхом розширення існуючої системи критеріїв оцінювання дистанційного навчання за рахунок введення додаткових критеріїв що враховуватимуть динаміку навчального процесу в режимі онлайн, а саме критерію активності користувача, критерію використання матеріалів, критерію популярності матеріалів, критерію використання ЕСДН та критерію встигаємості користувача.

4. Визначення критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання потребує введення характеристик динаміки дистанційного навчання, на основі яких будуть одержані значення запропонованих критеріїв, на основі яких формується загальний критерій оцінювання динаміки дистанційного навчання. Використання вказаних характеристик дозволить контролювати процес навчання вибраного користувача або групи користувачів, а також визначити цінність тих чи інших навчальних ресурсів.

5. Для одержання значень характеристик динаміки дистанційного навчання запропоновано використання методу вимірювання динамічних характеристик дистанційного навчання по даним мережного трафіку, який базується на аналізі пакетів HTTP- протоколу та на даних, що містяться в XML-маніфесті SCORM.

6. Для кожної динамічної характеристики процесу дистанційного навчання в режимі онлайн будується власна функція відображення на основі характеристик мережного трафіку. Побудовані відображення є формальними визначеннями перетворень характеристик мережного трафіку у динамічні характеристики дистанційного навчання в режимі онлайн.

7. Запропонований метод одержання динамічних характеристик дистанційного навчання в режимі онлайн по даним мережного трафіку забезпечує встановлення значень критеріїв оцінювання динаміки дистанційного навчання.

Результати проведених досліджень опубліковані в роботах [20,22,23,27].

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОД ТА ЗАСОБИ МОНІТОРИНГУ МЕРЕЖНОГО ТРАФІКУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ «АКТИВНИХ МЕРЕЖ»

#### **3.1. Характеристика та особливості застосування технології «Активні мережі»**

У традиційних мережах із комутацією пакетів (комп'ютерних мережах), таких, якою є мережа Інтернет, задача обробки мережного трафіку зводиться до передачі даних в їх оригінальній формі (без втручання у структуру пакета та будь-якої його додаткової обробки). Вузли класичної комп'ютерної мережі виконують ряд обчислювальних процесів, таких як фільтрація пакетів за адресою, трансляція (перетворення) протоколів та інкапсуляція даних, розподіл інформації щодо маршрутів та відповідне оновлення таблиці маршрутизації. Однак описана функціональність зводиться до обробки інформації, що зберігається у заголовку пакета. Через проблеми, пов'язані із продуктивністю комп'ютерних мереж, тільки системи, що є кінцевими елементами процесу передачі даних, виконують специфічну обробку даних, особливо за умови значного підвищення мережного трафіку. Враховуючи той факт, що сучасна існуюча мережна інфраструктура також зазнає труднощів у задачах інтеграції нових послуг, технологій та стандартів, для вирішення поставлених проблем були запропоновані нові сервіси, технології та стандарти, що отримали загальну назву «Активні Мережі». [105]

*Технології «Активних Мереж»* є новою областю науки, що пропонує використання механізмів інтелекту в проміжних вузлах комп'ютерної мережі (комутаторах та маршрутизаторах) для виконання задач обробки даних на етапі їх передачі по мережі. Згідно з концепцією АМ, обробка мережного трафіку виконується відповідно до запитів кінцевих користувачів та зміни стану комп'ютерної мережі. Для побудови АМ було запропоновано два базових підходи: Стабільні активні мережі та Модеративні активні мережі. У випадку із

Стабільними АМ, програмний код, що повинен бути виконаним комутатором або маршрутизатором, розміщується у капсулі (пакеті) та передається через мережу. Підхід Модеративних АМ пропонує розміщення програмного коду безпосередньо в маршрутизаторах та комутаторах, який буде виконано за необхідності. [106-107] Підхід Модеративних АМ користується більшою популярністю, так як не вимагає зміни самого пакету даних і, як наслідок, додаткових протоколів та технологій для передачі нового формату пакету. Цей програмний код може використовуватись для реалізації мережних сервісів для моніторингу та управління мережами, розгортання нових мережних протоколів та забезпечення безпеки мережі та виявлення порушень (вторгнень).

Головним компонентом АМ є Активний вузол мережі (АВМ), зазвичай комутатор або маршрутизатор, що виконує активну обробку передаваних через мережу даних на певному етапі передачі даних. Схеми роботи маршрутизаторів традиційної та «Активної» мережі (активного вузла) представлені на рис. 3.1.

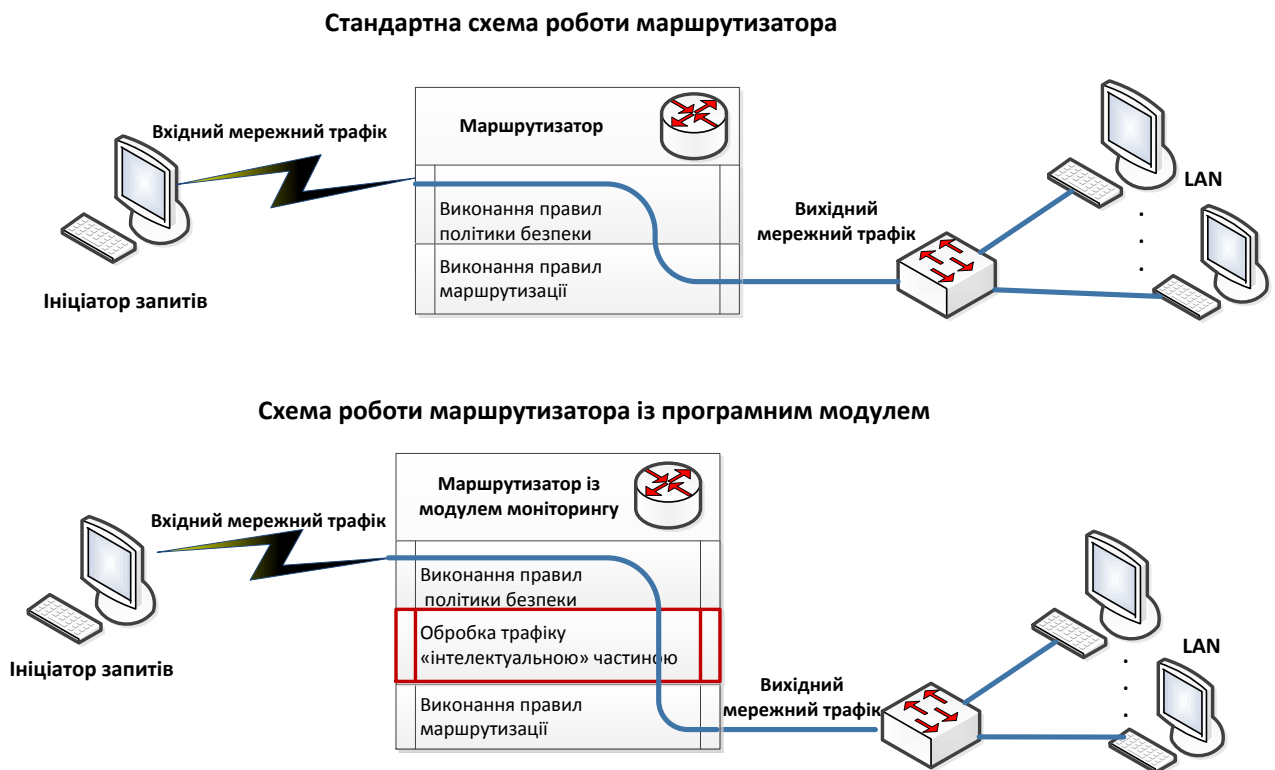


Рис. 3.1. Схема роботи маршрутизаторів традиційної та «Активної» мережі



Архітектура АВМ була розроблена і запропонована DARPA, зараз стандартизована та використовується як базис для розробки АВМ для вирішення специфічних задач (рис. 3.2) [108].

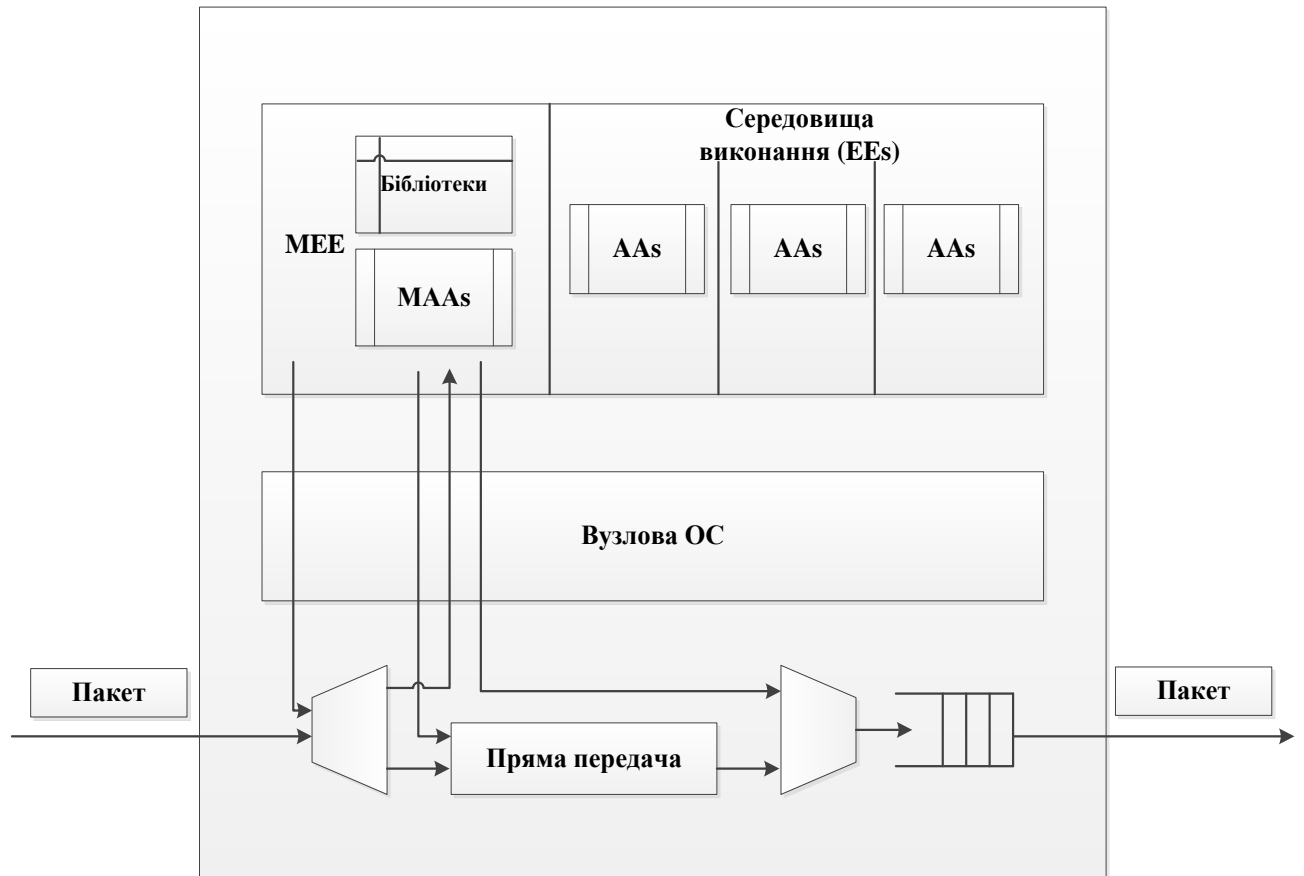


Рис. 3.2. Архітектура АВМ, запропонована DARPA

Залежно від типу пакету, що проходить через нього, АВМ вирішує чи виконати звичайну швидку передачу даних, чи необхідна додаткова обробка пакету. Активні мережі ґрунтуються на традиційних функціях маршрутизації, що надається стандартним апаратним та програмним забезпеченням вузла. Додатковий функціонал АВМ реалізовується його структурними одиницями:

- фільтри пакетів, що виконують функцію визначення пакету, який потребує додаткової обробки;
- вузлова ОС забезпечує сервіси та функції ОС;
- середовища виконання (ЕЕs) надають функції управління, контролю, забезпечення мови і середовища виконання для активних служб;

- активні застосування (AAs) забезпечують виконання активних сервісів;
- управлінські середовища виконання (МЕЕ) забезпечують функціонування сервісів для управління АВМ;
- управлінські активні застосування (МААs) функціонують разом із МЕЕ для забезпечення функцій управління та контролю АВМ.

Моніторинг мережного трафіку, а саме відбір визначених за певними критеріями пакетів, є обов'язковою складовою роботи АВМ та невід'ємною частиною принципу функціонування технології «Активних мереж» [109]. Основною метою використання запропонованої технології є підвищення ефективності та продуктивності вирішення задач, що потребують виконання моніторингу трафіку та аналізу одержаних в його результаті даних.

Для вирішення завдання одержання динамічних характеристик дистанційного навчання в режимі онлайн, що потребує вирішення задачі моніторингу мережного трафіку запропоновано використання технологій «Активних мереж». Представлена архітектура АВМ використана для розробки АВМ, що виконує функцію моніторингу мережного трафіку, результуючі дані якої використовуються для подальшої оцінки.

### **3.2. Метод моніторингу мережного трафіку на основі технології «Активних мереж»**

На основі представленої технології «Активних мереж» було запропоновано метод моніторингу мережного трафіку, що застосовувався для збору даних для визначення характеристик процесу дистанційного навчання. Запропонований метод моніторингу мережного трафіку полягає у перехопленні пакетів, що передаються за допомогою заданого протоколу (або протоколів), які проходять через шлюз мережі (який є в одно час вузлом «Активної межі»), використовуючи техніки фільтрації, подальшому аналізі

отриманих пакетів та зберіганні інформації щодо динаміки процесу дистанційного навчання в режимі онлайн.

Алгоритм запропонованого методу моніторингу мережного трафіку представлений на рис. 3.3.

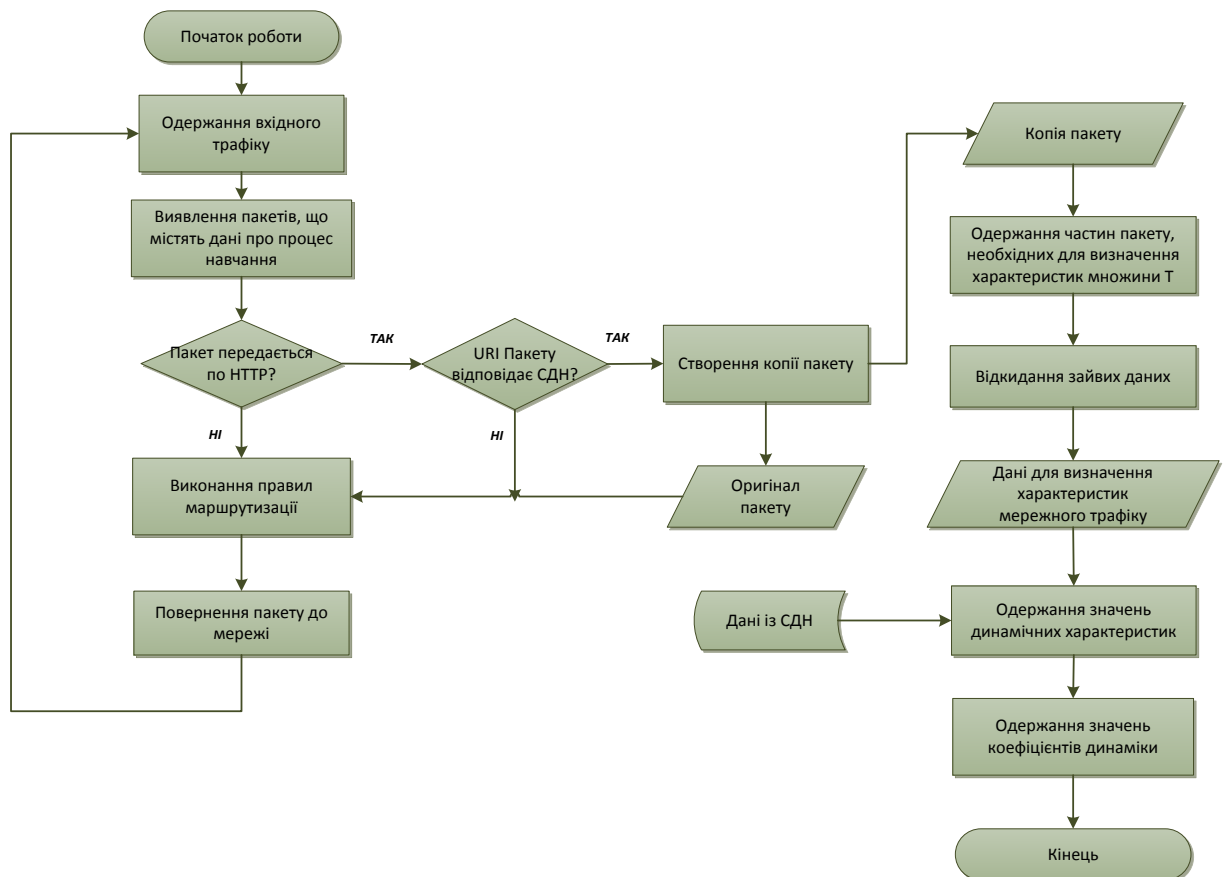


Рис. 3.3. Алгоритм запропонованого методу моніторингу мережного трафіку

Першим етапом обробки пакетів з даними щодо процесу дистанційного навчання в режимі онлайн є створення їх копій, що використовуються для аналізу та одержання характеристик, після чого оригінал пакету передається назад у мережу. Такий підхід дозволяє зберегти цілісність даних та мінімізувати час затримки передачі даних по мережі, що створює АВМ порівняно із стандартним маршрутизатором у наслідок додаткової обробки пакетів.

Із створених копій пакетів програмно одержуються та зберігаються їх частини, необхідні для одержання динамічних характеристик, а саме HTTP та

IP заголовки; інші дані відкидаються за непотрібністю, що дозволяє мінімізувати об'єм пам'яті, що використовує розроблена система моніторингу.

Використовуючи дані, що містяться у вказаних частинах пакетів, визначаються складові множини  $T$  характеристик мережного трафіку, а на основі їх значень – складові множини  $D$  характеристик динаміки дистанційного навчання, що використовуються для визначення коефіцієнтів динаміки процесу дистанційного навчання в режимі онлайн.

Відповідно до представленого методу мережний трафік ділиться на дві складові:

$$T = U + N, \quad (25)$$

де  $T$  – увесь трафік, що проходить по мережі;

$U$  – трафік, що містить дані, необхідні для подальшого аналізу та отримання показників та характеристик;

$N$  – трафік сторонніх застосувань, що не містить корисних даних.

Для реалізації представленого методу був розроблений програмний модуль моніторингу мережного трафіку, що, відповідно до вимог технології «Активних мереж», був доданий у якості додаткової програмної одиниці маршрутизатора, модифікуючи при цьому стандартний процес передачі даних по мережі, додаючи додаткові етапи обробки мережного трафіку програмними засобами маршрутизатора.

Подальший аналіз даних, отриманих із мережного трафіку, виконується програмним аналізатором, що може бути розташованим як разом із програмним модулем моніторингу, так і на іншому обладнанні, щоб зменшити навантаження на АВМ шляхом використання ресурсів інших елементів комп'ютерної мережі.

Використання технології «Активних мереж» створює додаткові вимоги до фізичного розташування елементів системи у комп'ютерній мережі. Для одержання об'єктивних даних АВМ розташований як шлюз підмережі, що містить в собі обладнання із керуючою частиною системи дистанційного навчання, до якої надходять усі запити на використання ресурсів систем.

Схема розташування програмних та апаратних компонентів «Активної мережі» представлена на рис. 3.4.

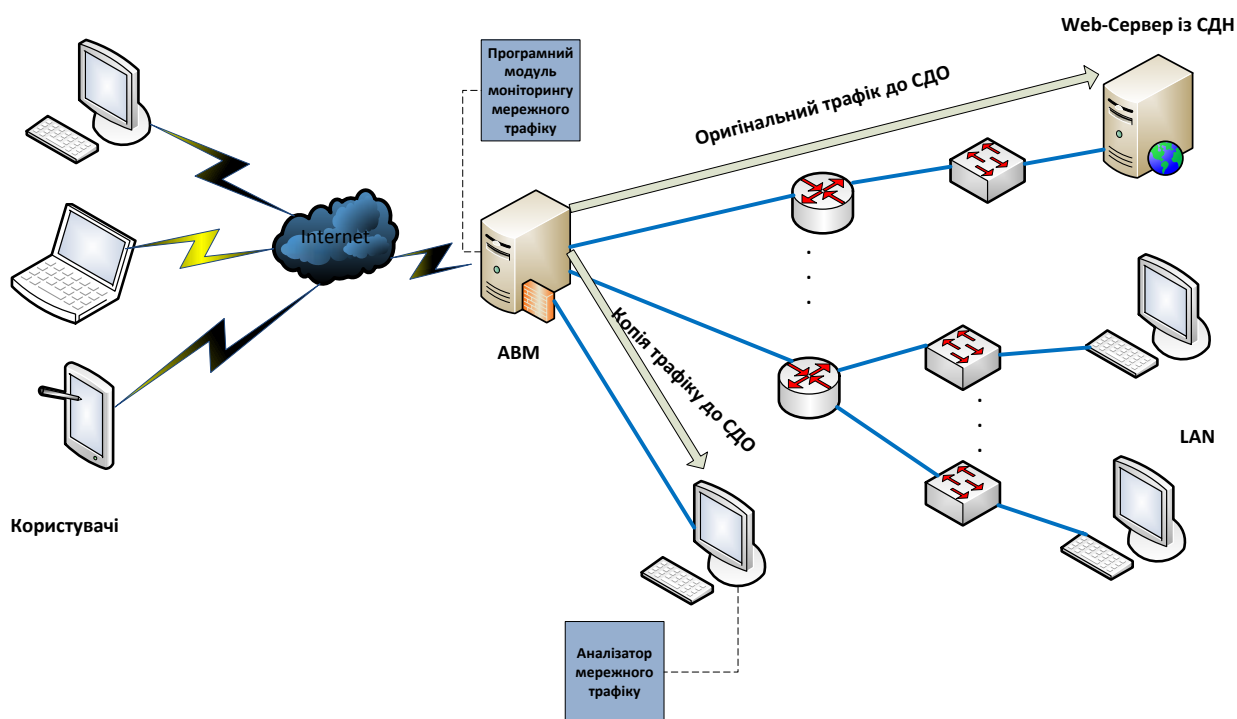


Рис. 3.4. Схема розташування програмних та апаратних компонентів «Активної мережі»

Програмний модуль моніторингу є інтелектуальною складовою АВМ, тож має бути розташований на шлюзі підмережі, що використовується у якості АВМ. Програмний аналізатор мережного трафіку виконує обробку уже отриманих даних, тож розташований на іншому обладнанні.

Використання запропонованого методу моніторингу мережного трафіку на основі технології «Активних мереж» для вирішення завдання отримання даних щодо динаміки процесу дистанційного навчання в режимі онлайн має наступні переваги:

1. Даний підхід дає можливість застосувати базові функції стандартних засобів фільтрації та одержання даних, що доступні мережному обладнанню,

що значно спрощує завдання розробки програмних модулів шляхом зменшення кількості необхідного функціоналу.

2. Існує можливість використання вільних ресурсів існуючого мережного обладнання шляхом розташування на них компонентів програмної підсистеми, що реалізує функції моніторингу та аналізу.

3. Є наявною можливість отримання додаткових даних із мережного трафіку, що не підпадають під стандартний набір вхідних даних, однак можуть нести в собі корисну інформацію.

Запропонований метод моніторингу для своєї реалізації потребує розробки додаткового програмного забезпечення, що має бути розробленим відповідно до стандартів та вимог DARPA.

### **3.3. Програмні засоби моніторингу мережного трафіку на основі технології «Активних мереж»**

Використання технології «Активних мереж», зокрема додавання в мережу АВМ, значно спрощує завдання інтеграції сервісів моніторингу, які будуть виконуватись мережних обладнанням на етапі передачі даних. Система моніторингу, описана у даному дослідженні, збирає та проводить аналіз даних, отриманих із мережного трафіку вибраної мережі, та не потребує великого об'єму ресурсів для виконання їх обробки. Запропонована система перехоплює пакети, що передаються за допомогою заданого протоколу (або протоколів), які проходять через шлюз мережі (який є в одно час АВМ), використовуючи техніки фільтрації, виконує аналіз отриманих пакетів та зберігає інформацію щодо активності та роботи застосувань, користувачів, об'ємів даних, що пересилаються тощо.

АВМ, що виконує функцію моніторингу трафіку, який є джерелом даних для одержання характеристик динаміки дистанційного навчання в режимі онлайн, був розроблений відповідно до вимог DARPA, а його архітектура включає в себе всі визначені стандартом складові. У якості Вузлової ОС була

вибрана операційна система з відкритим кодом GNU/Linux, основними перевагами якої є гнучкість і можливість модифікації існуючого програмного забезпечення. ОС GNU/Linux містить велику кількість корисних інструментів, таких як брандмауер (фаєрвол) Netfilter та утиліта для управління та налаштування брандмауера Iptables [110]. Утиліта Iptables дозволяє використання додаткових сторонніх модулів для обробки та аналізу даних, що проходять через фаєрвол. Брандмауер Netfilter виконує аналіз пакетів з даними та їх фільтрацію згідно з ланцюгами заданих йому правил, однак він не має можливостей та функціоналу для проведення складного глибокого аналізу даних, що передаються. Тож для виконання глибокого аналізу необхідне підключення та розробка додаткових модулів, що розширять функціонал Netfilter. Для того, щоб розширення функціоналу Netfilter додатковими модулями було можливим, необхідно також реалізувати розширення ланцюгів правил Iptables, щоб додати можливість визначення пакетів, які необхідно обробляти додатковими модулями Netfilter перш ніж передавати їх до мережі.

Розроблена архітектура системи моніторингу представлена на рис. 3.5.

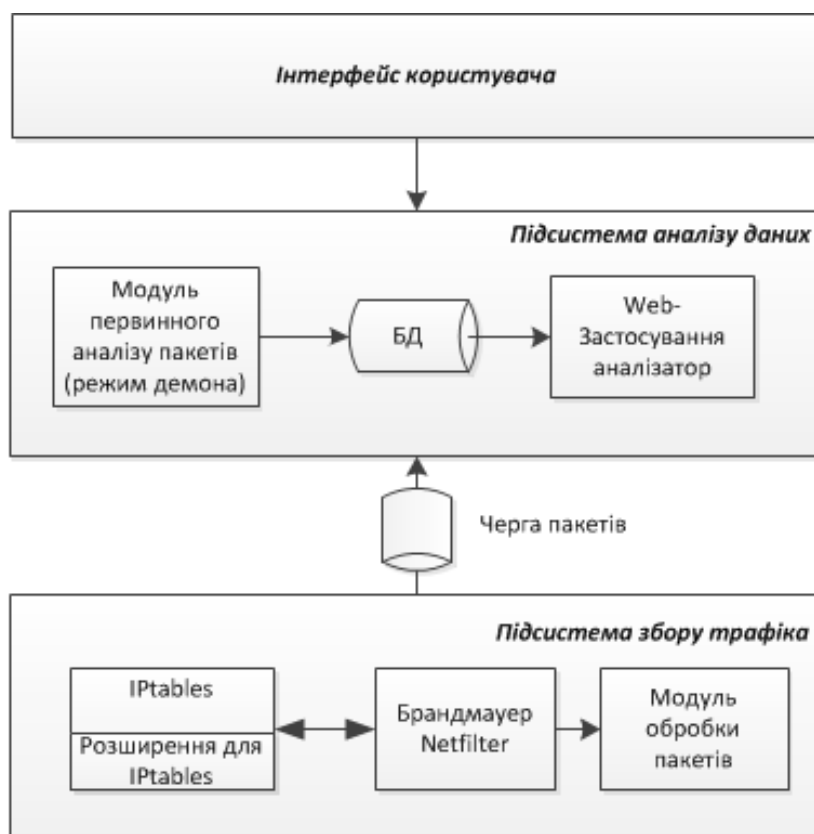


Рис. 3.5. Архітектура системи моніторингу мережного трафіку

Згідно архітектури АВМ, вказані додаткові модулі та розширення є Активними застосуваннями АВМ, які налаштовуються відповідно до вимог та задач, що поставлені перед АВМ, що в даному випадку є задача моніторингу мережі.

Із представленої архітектури видно, що система моніторингу мережного трафіку складається із двох підсистем:

- підсистема збору трафіку;
- підсистема аналізу даних.

Функція збору трафіку виконується відповідно підсистемою збору трафіку та її складовими. Кожний пакет, що передається по мережі та відповідає заданим правилам, описаним в розширенні для Iptables, буде перехоплюватися брандмауером Netfilter та передаватиметься у Модуль обробки пакетів (МОП) для подальшого аналізу. МОП створює копію пакету, оригінал пакету передає назад у мережу, а створену копію записує у символічний файл пристрою (/dev/file). Використання символічного файлу пристрою необхідно для того, щоб організувати обмін даними між застосуваннями, які працюють в різних областях пам'яті ОС Linux – просторі Ядра та просторі Користувача.

Подальша обробка та аналіз даних виконуються підсистемою аналізу даних. Обробка копій пакетів, що отримуються із черги пакетів, виконується застосуванням під назвою Модуль первинного аналізу пакетів (МПАП), яке працює в режимі демона, тобто не потребує втручання користувача для свого запуску або зупинки. Модуль первинного аналізу пакетів зчитує пакети із символічного файлу пристрою, отримує із нього всі необхідні для подальшої оцінки дані та записує їх в базу даних MySQL. База даних, що містить дані про процес дистанційного навчання режимі онлайн, є результуючим елементом системи моніторингу. Створена база даних слугує джерелом інформації для Web-аналізатора, що використовується для аналізу даних, отриманих з мережі та графічного відображення результатів.



Проаналізувавши представлену архітектуру, можна зробити висновок, що окрім стандартних функціональних утиліт ОС Linux, таких як брандмауер Netfilter та утиліта для управління та налаштування брандмауера Iptables, для роботи системи моніторингу необхідно розробити та реалізувати додаткових п'ять частин системи, а саме:

- програмний модуль обробки пакетів (МОП), що реалізований у вигляді додаткового функціонального модуля для Netfilter;
- функціональне розширення для утиліти Iptables;
- програмний модуль первинного аналізу пакетів (МПАП);
- база даних для зберігання результатів моніторингу;
- Web-аналізатор, що отримує значення характеристик динаміки та виводить їх на інтерфейс користувача.

### **3.3.1. Модуль обробки пакетів**

Модуль обробки пакетів (МОП) є додатковим модулем для Netfilter, необхідним для створення копій пакетів, що проходять через АВМ, який є шлюзом мережі. МОП реалізує функції драйвера віртуального пристрою і розроблений як модуль ядра. Як наслідок, модуль обробки пакетів є частиною простору ядра та функціонує в цій області пам'яті, тож помилка при виконанні коду цього модуля, або наявність потенціальної вразливості може призвести до відмови в роботі як системи моніторингу, так і всієї операційної системи і самого АВМ. Враховуючи те, що АВМ є водночас шлюзом мережі це може вразити працездатність всієї мережі загалом.

При проходженні пакету через АВМ (шлюз), пакет, що задовольняє вимогам, передається в модуль обробки пакетів для подальшої обробки. Після обробки, а саме створення копії пакету, оригінальний пакет повертається назад у мережу щоб не порушити процес передачі даних в мережі, а копії кожного пакету записуються в файл пристрою.

На етапі розробки МОП особлива увага приділялась можливості переносу програмного продукту на різні версії ОС GNU/Linux, що забезпечувалась максимальним використанням стандартних, доступних у всіх дистрибутивах ОС GNU/Linux, функцій та мінімізацією використання різноманітних потенціальних вразливостей, що зазвичай використовуються для обходу обмежень, які характерні для деяких версій ядра Linux.

Враховуючи все вище перераховане, до МОП були сформовані наступні вимоги:

- мінімізація затримок, що будуть створюватися при передачі пакетів даних;
- запобігання виникненню потенційних вразливостей у зв'язку з тим, що модуль функціонує у привілейованому режимі;
- захист файлу пристрою від несанкціонованого доступу та зчитування конфіденційних даних користувачів, що знаходяться у пакетах;
- реалізація функціоналу для вирішення задачі моніторингу трафіку;
- реалізація можливості переносу модуля для запуску на різних версіях ОС GNU/Linux;
- реалізація можливості швидкої модифікації та перезапуску модуля без зупинки АВМ.

Реалізація поставлених задач забезпечить якісне функціонування модулю обробки пакетів.

Для вирішення проблеми сумісності розроблюваного модуля із різними версіями ОС GNU/Linux даний модуль було розроблено на мові програмування ANSI C, що використовувалася для розробки ядра ОС GNU/Linux, а використання вбудованих функцій ядра ОС GNU/Linux дозволить роботу розроблюваного модуля на практично кожній сучасній версії ядра ОС GNU/Linux.

Проблема виникнення додаткових затримок при передачі пакетів є однією із найважливіших, так як може значно вплинути на продуктивність не лише розроблюваної системи моніторингу мережного трафіку, а й мережі

загалом, що також може вплинути на перебіг дистанційного навчання у режимі онлайн. Для вирішення цієї проблеми використовується технологія створення копії пакету, що переміщується до динамічної черги пакетів, а оригінал пакету одразу ж повертається до мережі без будь-яких змін. Виходячи із того, що максимальною можливою довжиною IPv4-пакету, що визначається 16-бітним полем, є 65535 байт, в оперативній пам'яті, об'ємом 1Гб може бути розміщена динамічна черг розміром  $1 * 1024 * 1024 * 1024 / 65535 = 16384$  пакетів.

Максимальний розмір черги пакетів не впливає на середню продуктивність системи, одна дозволяє впоратися із піковими короткочасними навантаженнями, у випадку, коли кількість пакетів, що проходять через шлюз-АВМ, буде більшою, ніж кількість пакетів, що можуть бути оброблені. Із цього слідує, що чим більше оперативної пам'яті у системі, тим більші пікові навантаження можуть бути оброблені без втрати пакетів.

Для передачі копій пакетів із простору ядра у простір користувача використовується файл символічного пристрою. Розроблена архітектура системи припускає, що всі елементи системи функціонуватимуть одночасно. Тобто в кожний момент часу існуватиме процес модуля ядра, який буде записувати інформацію у файл пристрою. Водночас буде існувати процес програмного модулю первинного аналізу пакетів (МПАП), що зчитуватиме дані із файлу пристрою. Тобто в системі існуватиме і буде активовано лише один процес, що зчитуватиме дані із файлу символічного пристрою. Для вирішення проблеми захисту конфіденційних даних, що записуються до файлу пристрою, використовується механізм обмеження одночасних відкриттів файлу пристрою, що реалізовано в алгоритмі роботи модуля.

Враховуючи всі перераховані рішення кожної із вимог до модулю обробки пакетів, була розроблена схема алгоритму функціонування модуля, що представлена на рис. 3.6.

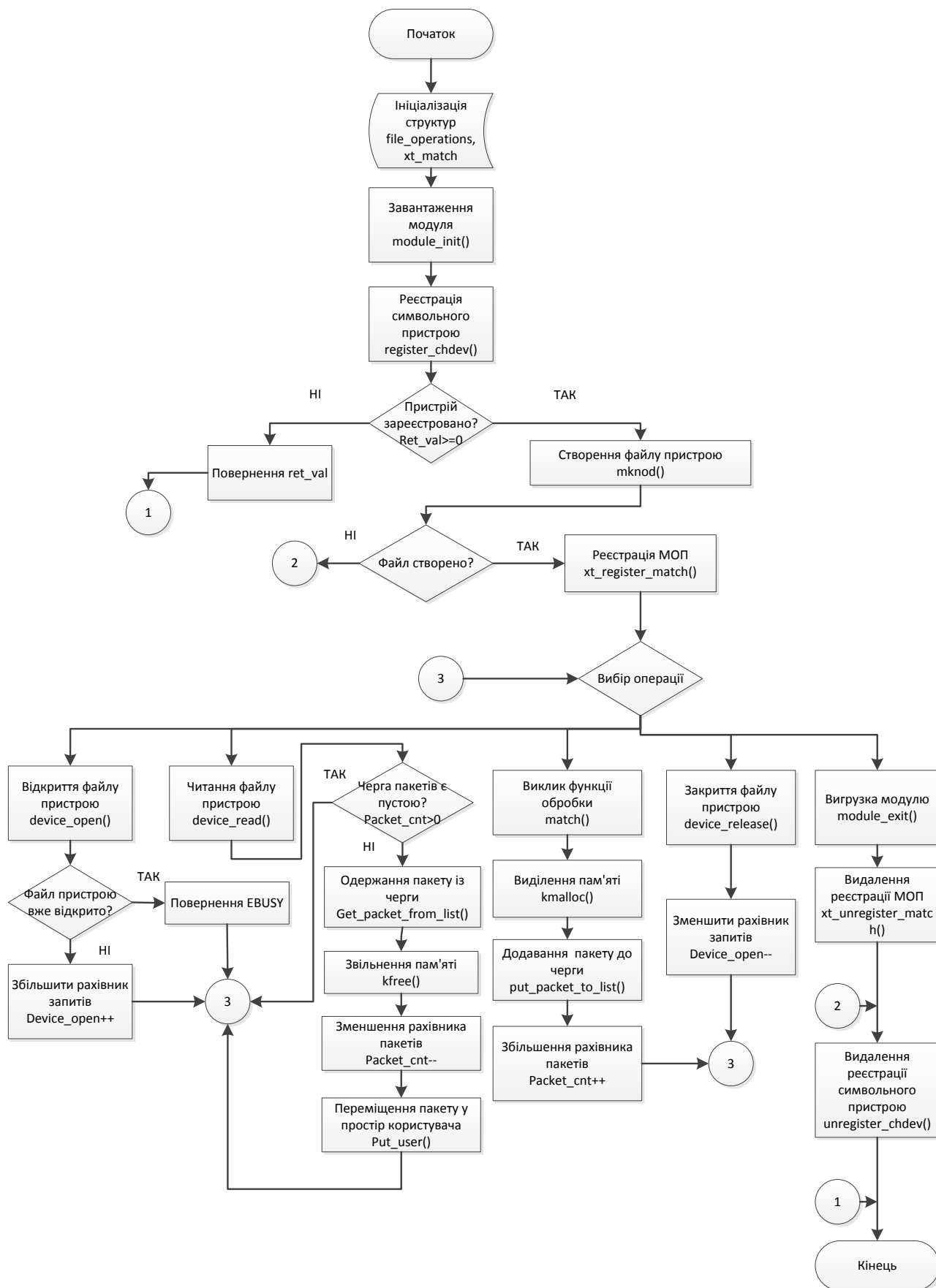


Рис. 3.6. Блок-схема алгоритму функціонування модуля обробки пакетів

На представлений блок-схемі відображена послідовність дій, що виконується при виникненні однієї із шести подій, а саме:

1. При завантаженні модуля в ядро ОС GNU/Linux виконуються дії заповнення та реєстрації системних структур, а також реєстрація і створення файлу пристрою.

2. При вивантаженні модуля із ядра ОС GNU/Linux виконуються протилежні дії.

3. При відкритті файлу символьного пристрою виконується перевірка, чи не використовується файл пристрою іншим процесом. Якщо файл зайнятий іншим процесом, то повертається сигнал помилки відкриття. Якщо файл пристрою є вільним, то збільшується лічильник відкриття файлу пристрою та повертається сигнал вдалого відкриття.

4. При викликанні обробника функції читання із файлу виконується наступна послідовність дій - отримання копії пакету із динамічної черги, передача його у простір користувача (запис у файл), а також визволення зайнятих системних ресурсів, що вже не використовуються.

5. При закритті файлу пристрою виконується зменшення значення лічильника відкриття файлу та повертається сигнал вдалого виконання операції.

6. При отриманні нового пакету даних викликається обробник події запису до файлу пристрою, що виконує наступну послідовність дій: виділення системних ресурсів для копії пакету, копіювання пакету, а також його додавання у динамічну чергу.

### **3.3.2. Програмне розширення функціоналу утиліти Iptables**

Функціональне розширення утиліти Iptables є найпростішою частиною системи, до функцій якої входить лише розширення функціональних можливостей Iptables для коректної роботи з додатковими модулями для Netfilter.

У зв'язку з частим оновленням користувальницької утиліти Iptables, розширення для неї має бути сумісним з усіма останніми версіями, що забезпечується урахуванням стандартів, встановлених розробниками Iptables.

Розширення для Iptables містить реалізацію функції додавання правил із застосуванням розробленого додаткового модуля для Netfilter, що вказує Iptables і Netfilter який модуль викликати при обробці правила.

Блок-схема алгоритму функціонування розширення для Iptables представлена на рис. 3.7.

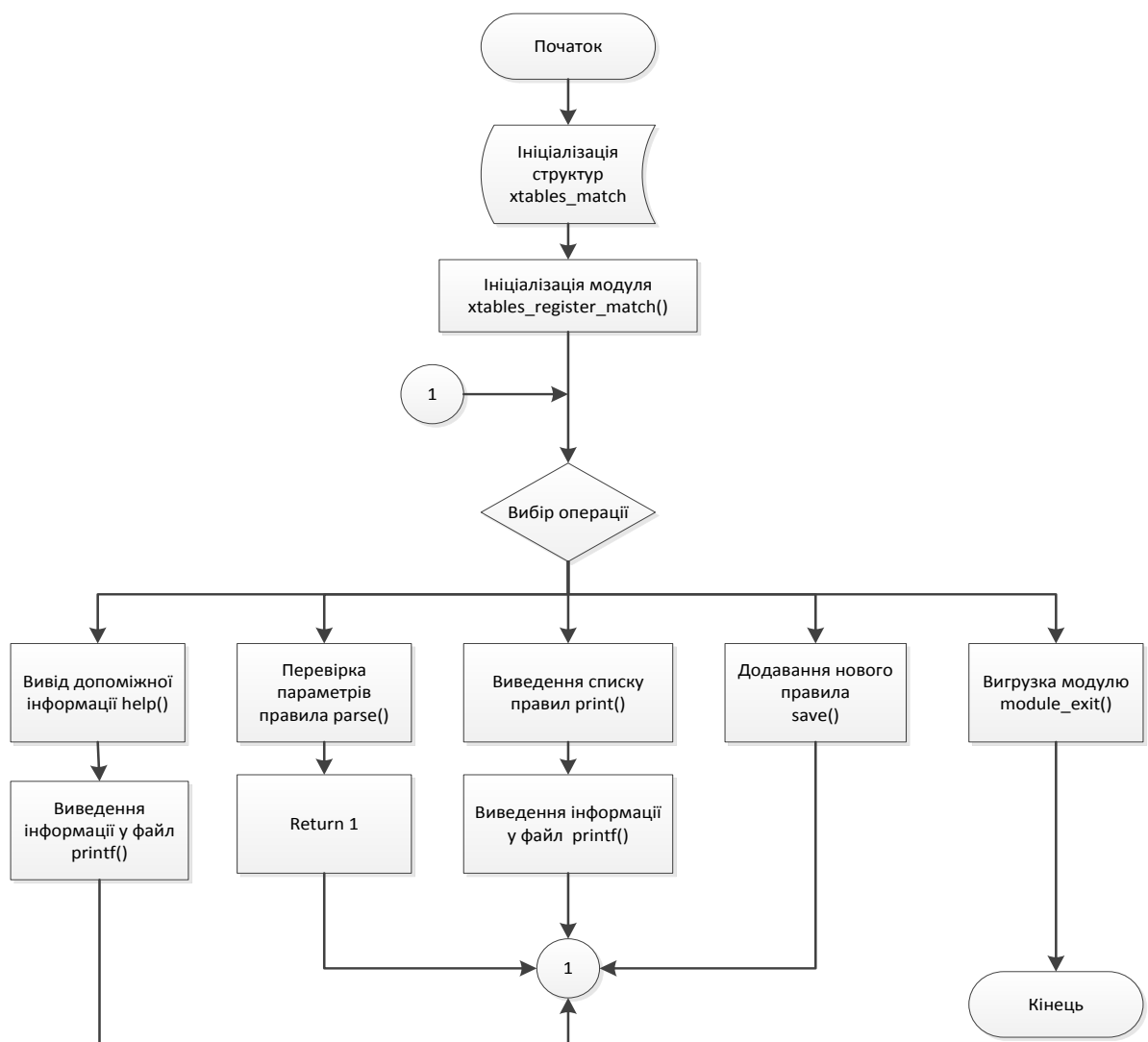


Рис. 3.7 Блок-схема алгоритму функціонування розширення для Iptables

Розширення для Iptables повинно виконувати наступні вимоги:

- забезпечення сумісності з усіма існуючими версіями Iptables;
- наявність функціональності для додавання користувацьких правил фільтрації;
- наявність функціональності для перегляду існуючих правил;
- наявність функціональності для відображення довідкової інформації.

Представлене розширення для Iptables було розроблено за допомогою мови програмування ANSI C, що дозволяє забезпечити сумісність розроблюваного розширення з різними версіями користувацької утиліти управління правилами фільтрації Iptables.

Представлена на рис. 3.7. схема відображає послідовність дій, яка виконуються при виникненні однієї з 6 подій, а саме:

1. Під час завантаження розширення для Iptables виконується ініціалізація системних структур.
2. Функція вивантаження розширення для Iptables є необхідним елементом для заповнення системної структури та реалізовано пустою функцією.
3. При виникненні події запиту довідкової інформації виконується виведення довідки на термінал користувача.
4. Перевірка параметрів правила є необхідною для заповнення системної структури та реалізовано пустою функцією.
5. При реалізації обробника події відображення існуючих правил задається формат виведення правил на термінал користувача.
6. Додавання нового правила є необхідним для заповнення системної структури та реалізовано пустою функцією.

### **3.3.3. Модуль первинного аналізу пакетів**

Модуль первинного аналізу пакетів (МПАП) виконує зчитування копій HTTP пакетів даних з файлу пристрою із подальшою класифікацією та аналізом

зчитаних даних, результати якого записуються у базу даних MySQL. Враховуючи необхідність роботи МПАП із файловою системою та базою даних необхідним є забезпечення легкого транспортування модулю на різні версії ядра Linux.

Особливістю МПАП є його функціонування у режимі демона, тобто модуль виконується без взаємодії із користувачем. Такий підхід вимагає додаткової реалізації можливості запуску, зупинки та перевірки статусу програми від імені привілейованого користувача.

Від швидкості виконання аналізу пакетів буде залежати своєчасність та об'єктивність даних, що будуть відображатися в клієнтському додатку. Також при низькій швидкості аналізу є можливим засмічення пам'яті необробленими пакетами даних великого обсягу. Це може призвести до нестачі ресурсів для критично важливих системних процесів, і, як наслідок, до "падіння" операційної системи.

МПАП повинен задовольняти наступні функціональні вимоги:

- запускатися на всіх ОС GNU / Linux, незалежно від версії ядра (легкість транспортування);
- виконуватися в режимі демона (без взаємодії з користувачем);
- можливість ручного керування станом модулю, а також перевірки статусу (тільки для привілейованого користувача);
- можливість розширення функціональності для подальшого удосконалення.

Враховуючи необхідність забезпечення простоти транспортування та якісної роботи з базою даних, у якості мови програмування для реалізації роботи модулю була вибрана Java, що дозволить одноразово зібрану програму запускати на будь-якій платформі. Іншою значною перевагою вибору Java є власна система безпеки, що має віртуальна Java машина, що позбавляє розробника необхідності вирішувати ці питання. Можливість розширення функціональності для подальшого удосконалення також може бути легко забезпечена, використовуючи можливості віртуальної Java машини.



Враховуючи усі представлені вимоги до програмного МПАП, була розроблена схема алгоритму його функціонування, яка представлена на рисунку 3.8.

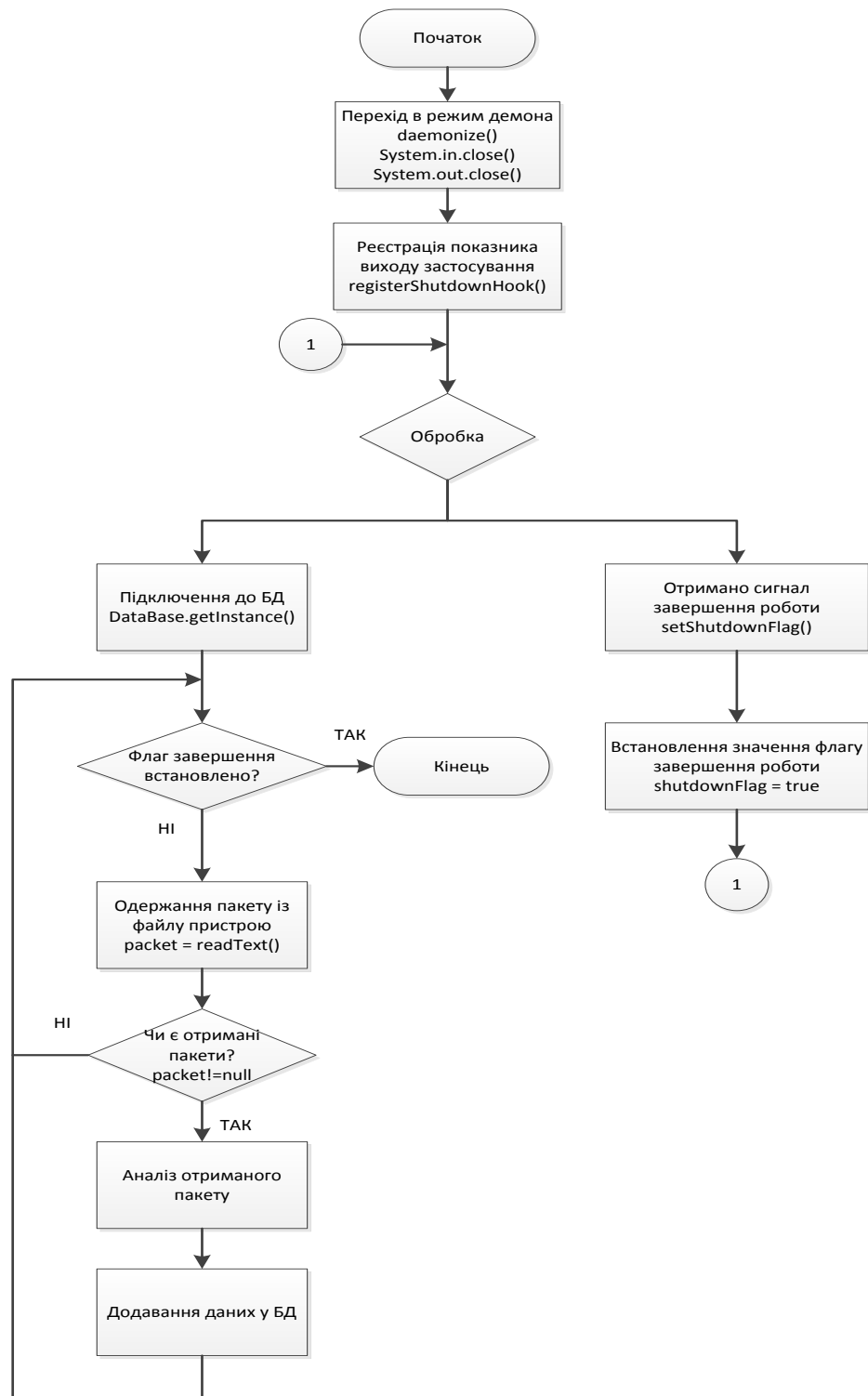


Рис. 3.8 Алгоритм функціонування модулю первинного аналізу пакетів

Проаналізувавши представлену на рисунку схему, можна зробити висновок, що алгоритм функціонування модулю складається із трьох ключових частин: запуск модулю, зупинка модуля та обробка даних.

Під час запуску програми виконуються дії, які переводять МПАП в режим демона, тобто відключають STDIN і STDOUT. Також виконується реєстрація обробника події, який викликається при отриманні сигналу зупинки програми.

При одержанні сигналу зупинки додатку відбувається виклик обробника, який встановлює прапор про необхідність завершення роботи.

Обробка даних виконується в циклі до тих пір, поки не буде встановлено прапор про необхідність завершення роботи програми. На кожному проході в циклі виконується операція читання даних з файлу пристрою, перевірка на те, що дані отримані, подальша їх обробка та запис результатів в базу даних.

Діаграма класів розробленого МПАП представлена на рис. 3.9.

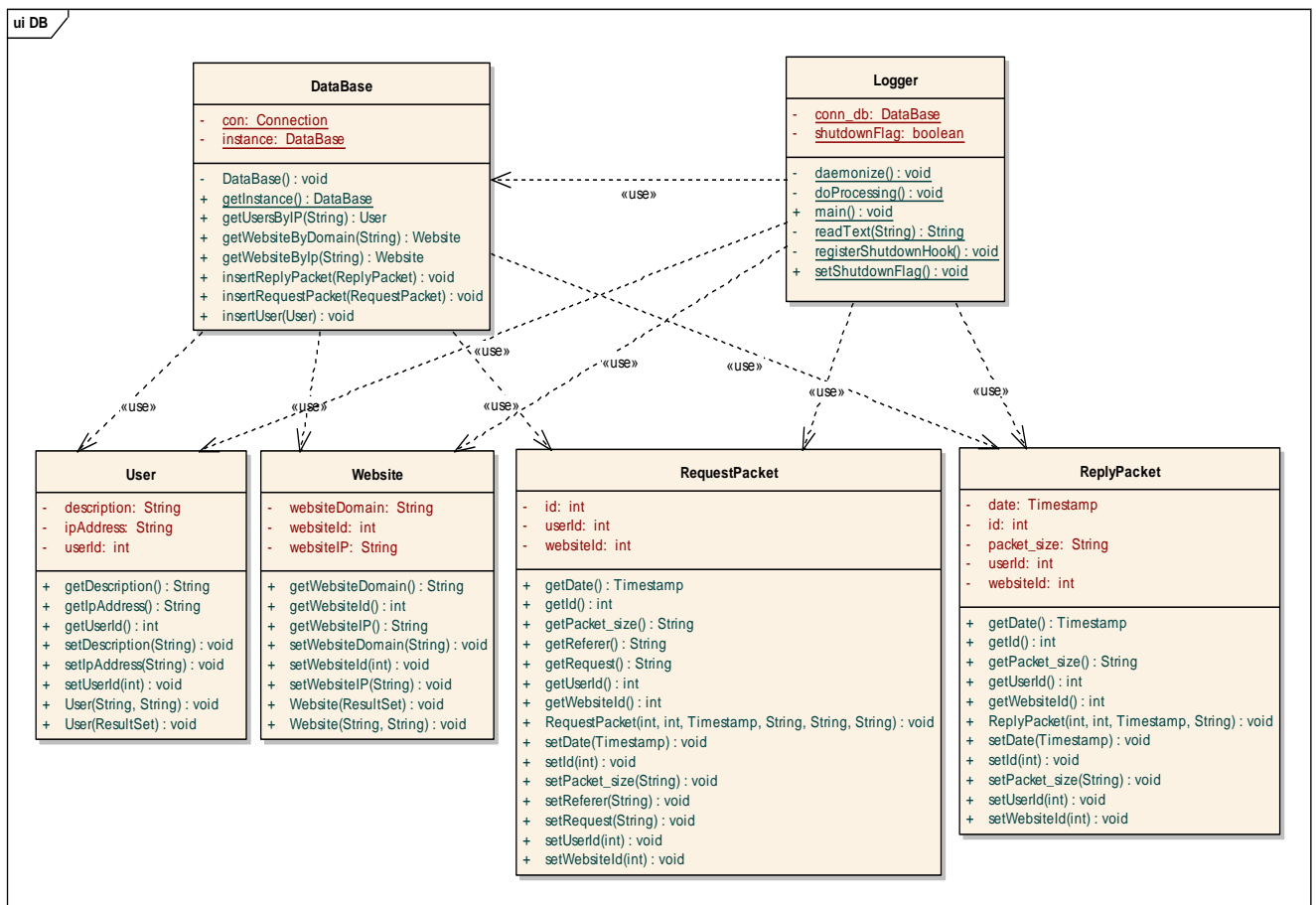


Рис. 3.9. Діаграма класів МПАП

Як видно із рис. 3.9 були розроблені класи для чотирьох ключових сутностей процесу передачі даних при дистанційному навчанні в режимі онлайн, а саме користувач, веб-ресурс, HTTP-запит, HTTP-відповідь. У якості окремого класу реалізований процес та необхідні методи роботи із базою даних. Запуск модулю та логіка аналізу пакетів також реалізовані у вигляді окремого Java-класу. Представлена структура модулю, що включає в себе розбиття на Java-класи, дозволяє реалізувати всю необхідну функціональність модуля первинного аналізу пакетів та значно спрощує процеси тестування, налагодження і доопрацювання функціональності додатку.

#### **3.3.4. База даних про динаміку процесу дистанційного навчання**

У результаті проведеного аналізу та відповідно до поставлених функціональних вимог ключовими сутностями предметної області є:

- користувач;
- навчальний ресурс;
- HTTP запит;
- HTTP відповідь.

За допомогою представлених сутностей будується процес взаємодії користувачів із елементами ЕСДН, тобто процес дистанційного навчання в режимі онлайн. Із даних, що ілюструють представлену взаємодію, отримуються значення динамічних характеристик, а потім – коефіцієнтів динаміки дистанційного навчання в режимі онлайн.

Із врахуванням представлених даних була розроблена база даних про динаміку дистанційного навчання в режимі онлайн, яка зберігає первинні дані із мережного трафіку, а також розраховані на їх основі характеристики та коефіцієнти динаміки. Із базою даних взаємодіють два елементи системи, а саме МПАП та Web-аналізатор.

Схема розробленої реляційної бази даних представлена на рис. 3.10.

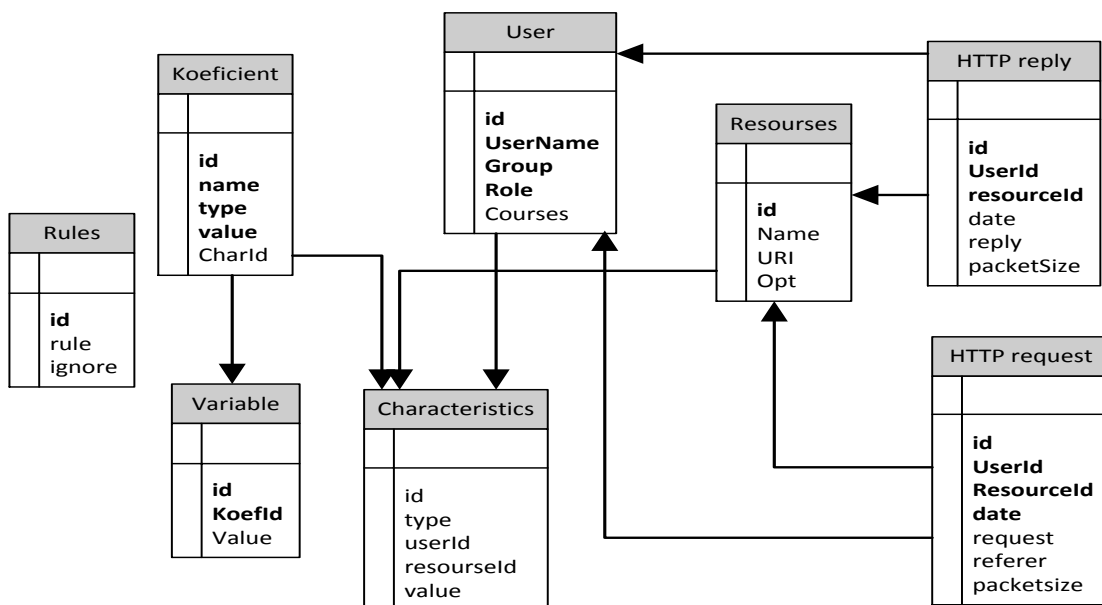


Рис. 3.10 Схема бази даних системи моніторингу дистанційного навчання

На рис. 3.11 зображена схема потоків даних системи моніторингу дистанційного навчання, яка ілюструє взаємодію різних частин системи, а також процес модифікації даних, що нею використовуються.

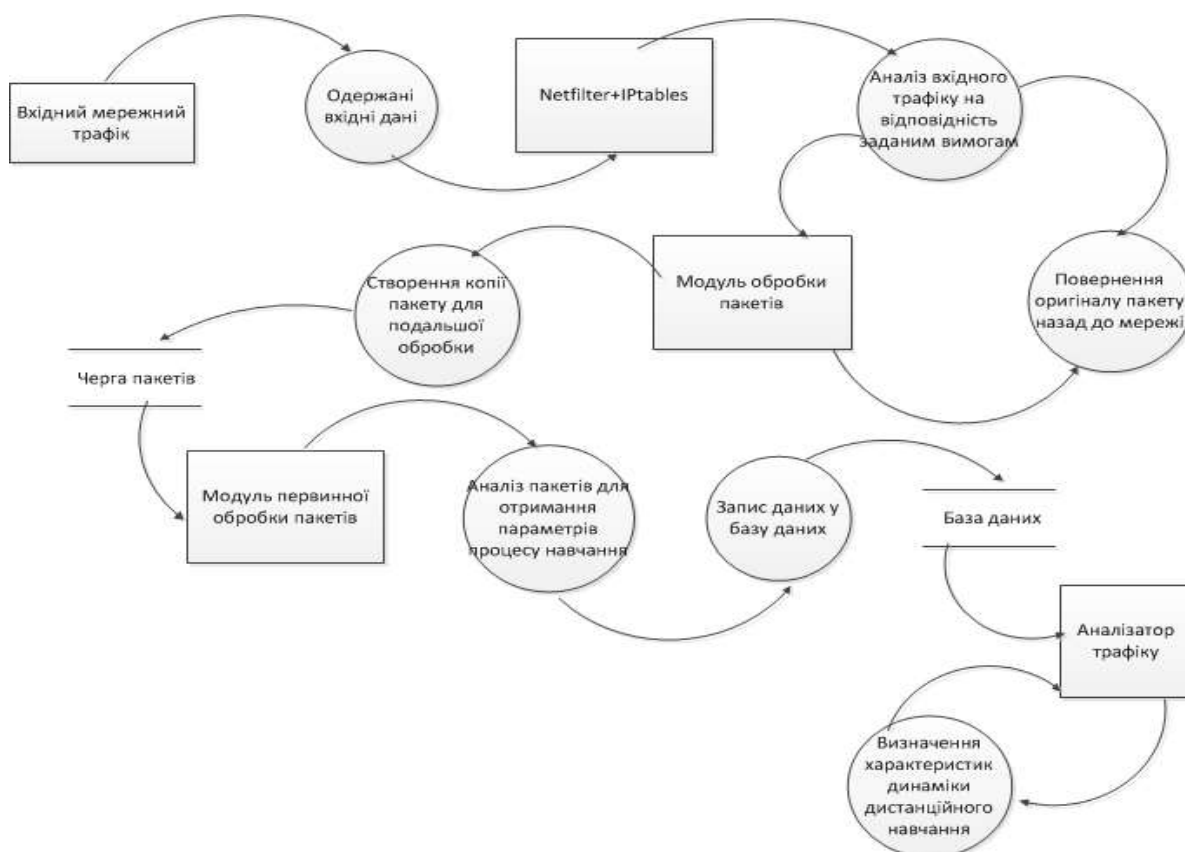


Рис. 3.11 Схема потоків даних системи моніторингу дистанційного навчання

### 3.3.5. Web- аналізатор

Web-аналізатор є частиною системи, за допомогою якої виконується аналіз даних, накопичених у базі даних, та визначається значення динамічних характеристик із подальшим збереженням результатів у БД та виводом на інтерфейс користувача.

Web-застосування аналізатор має відповідати наступним функціональним вимогам:

- відображення значень динамічних характеристик процесу дистанційного навчання в режимі онлайн у режимі реального часу;
- відображення значень динамічних характеристик процесу дистанційного навчання в режимі онлайн за певний проміжок часу;
- відображення значень динамічних характеристик процесу дистанційного навчання в режимі онлайн для конкретного студента або вибраної групи студентів;
- відображення значень динамічних характеристик процесу дистанційного навчання в режимі онлайн для вибраних курсів або ресурсів;
- відображення рейтингових показників ресурсів та користувачів за вибраний проміжок часу;
- виконання ретроспективного аналізу процесу дистанційного навчання в режимі онлайн на вимогу користувача;
- додаткова фільтрація даних за вимогою.

Вибір Web-аналізатора у якості клієнтського застосування дозволяє реалізувати можливість віддаленого перегляду статистичних даних без необхідності встановлення клієнтського програмного забезпечення на віддалених комп'ютерах. Для реалізації Web- аналізатора в даній системі була обрана мова Perl у зв'язку з наявністю perl інтерпретатора в операційній системі GNU / Linux за замовчуванням.

Діаграма варіантів використання розроблюваного Web-аналізатора представлена на рис. 3.12.

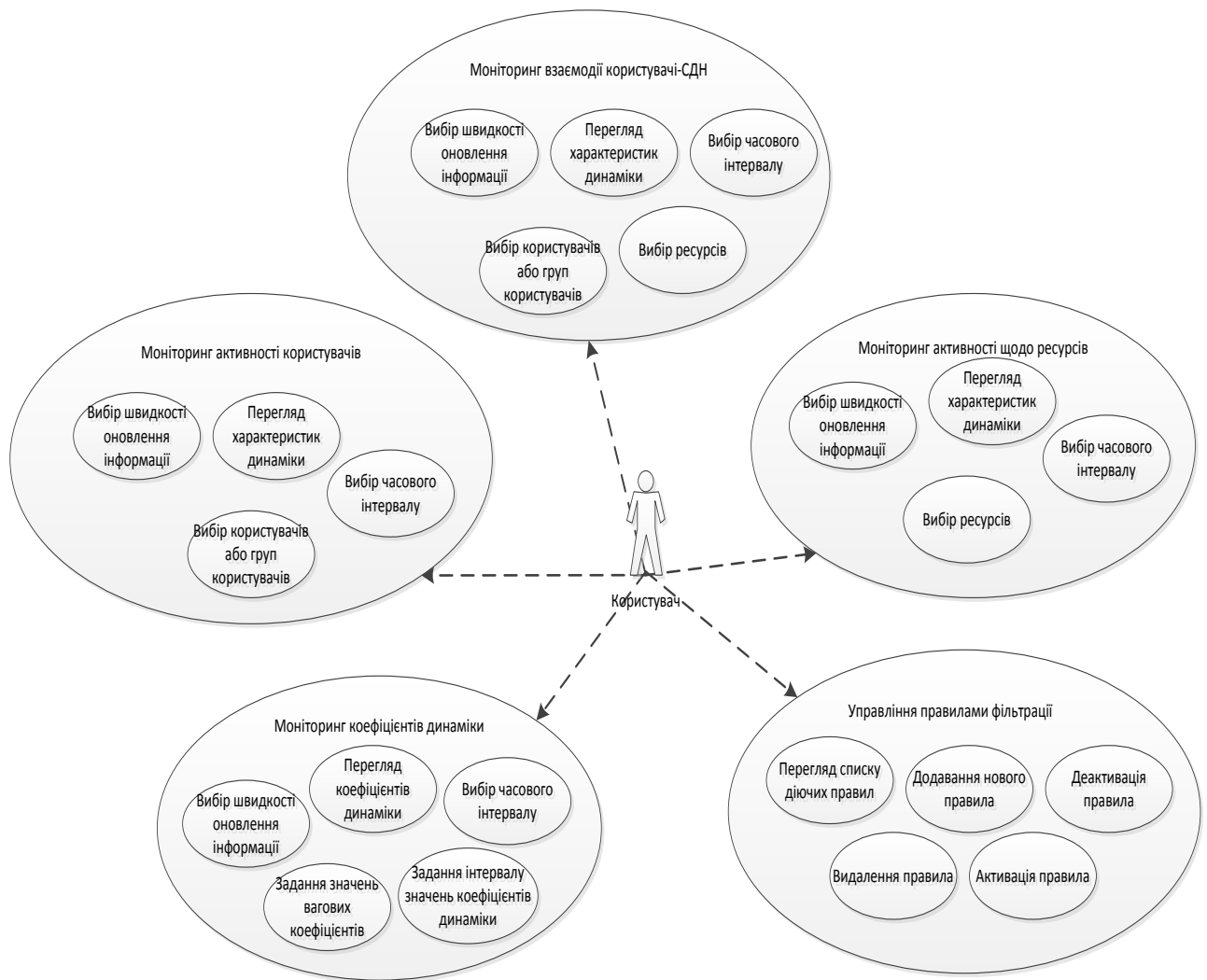


Рис. 3.12. Діаграма варіантів використання Web-аналізатора

Враховуючи перераховані вимоги до Web-аналізатора сформовано список сторінок, що мають бути реалізовані:

- сторінка загальних характеристик процесу дистанційного навчання в режимі онлайн у режимі реального часу;
- сторінка історії навчального процесу за певний проміжок часу;
- сторінка показників активності конкретного студента або вибраної групи студентів;
- сторінка показників ефективності вибраних курсів або ресурсів;
- сторінка для відображення рейтингових показників ресурсів та користувачів за вибраний проміжок часу;

- сторінка для розрахунку коефіцієнтів динаміки процесу дистанційного навчання із реалізованим вводом додаткових параметрів для розрахунку;
- сторінка із налаштуваннями правил фільтрації.

Інтерфейс розробленого Web-аналізатора представлений на рис. 3.13.

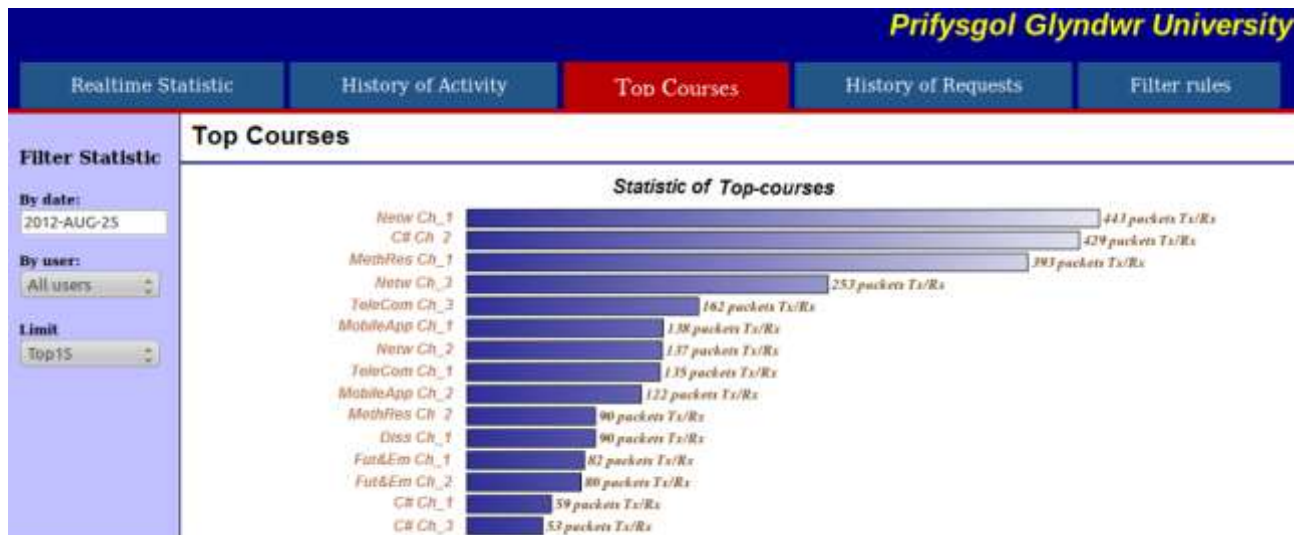


Рис. 3.13. Інтерфейс Web-аналізатора

На даному рисунку показана сторінка статистики популярності курсів університету Glyndwr, отримана за допомогою системи моніторингу. Дані отримані для всіх користувачів, що проходили навчання 25 серпня 2012 року. Статистика отримана на основі кількості пакетів HTTP-request, направлених до ресурсів курсу.

#### 3.4. Корегування процесу дистанційного навчання в режимі онлайн за динамічними характеристикам

Головним завданням моніторингу дистанційного навчання є отримання даних, що дозволять своєчасно вдосконалити курс, забезпечити актуальність навчальних матеріалів, визначити оптимальні форми і методи навчання, тобто реалізувати індивідуалізацію навчального процесу.

Динамічні характеристики дистанційного навчання в режимі онлайн, отримані за допомогою запропонованого методу, можуть бути використані не лише для отримання результуючої інформації про перебіг навчального процесу, а й для внесення коректив у процес дистанційного навчання в режимі онлайн.

Значення представлених динамічних характеристик можуть бути враховані при прийнятті тих чи інших управлінських рішень, що вплинуть на перебіг навчального процесу, а саме використання додаткових навчальних матеріалів, проведення повторних тестів, корегування презентаційної форми матеріалів, впровадження додаткових етапів у навчання деяких учнів, проведення додаткового контролю достовірності результатів учнів тощо.

Варіанти використання значень деяких динамічних характеристик для корегування процесу дистанційного навчання в режимі онлайн представлені далі:

1) Базуючись на значеннях динамічних характеристик активності учнів: використані ресурси ЕСДН із необхідних для засвоєння курсу ( $u_6$ ), виконані завдання ( $u_7$ ) та виконані завдання серед необхідних на даний час ( $u_8$ ); динамічних характеристик активності щодо навчальних ресурсів: ким із учасників курсу, що мали використовувати, використовувався ( $r_6$ ); характеристик взаємодії учень-система: користувачі системи у вибраний час або за проміжок часу ( $i_2$ ), використання ресурсів системи у вибраний час або за проміжок часу ( $i_3$ ) можна зробити висновки щодо необхідності повторної демонстрації деякого навчального матеріалу або демонстрації додаткового матеріалу з певними поясненнями та роз'ясненнями, не розкритими в базовому варіанті онлайн-курсу і зробити необхідні корегування навчального процесу під час онлайн-заняття.

2) На основі значень динамічних характеристик активності учнів: дати та час усіх використань ЕСДН ( $u_2$ ), усі використані ресурси ЕСДН ( $u_4$ ), виконані завдання ( $u_7$ ), виконані завдання серед необхідних на даний час ( $u_8$ ) та характеристик взаємодії учень-система: користувачі системи у вибраний час або за проміжок часу ( $i_2$ ), найактивніші користувачі за вибраний час або за



проміжок часу ( $i_5$ ), учасники вибраних заходів у встановлений час або за проміжок часу ( $i_7$ ) можна зробити висновок щодо необхідності індивідуалізації програми навчання певного учня, що може включати в себе додавання додаткових елементів у навчальну базу та проведення тестів для учнів з високими показниками, спрощення навчальної програми певного учня до найпростішої базової через низьку активність та низькі проміжні результати, використання додаткових тестових перевірок для учнів, що показують високий результат при низькій активності роботи та застосуванню матеріалів.

3) Використовуючи моніторинг під час та після планових занять та значеннях динамічних характеристик активності учнів: дата та час останнього використання ЕСДН ( $u_1$ ), дати та час усіх використань ЕСДН ( $u_2$ ), остання консультація з викладачем ( $u_9$ ), усі консультації з викладачем ( $u_{10}$ ) є можливість підбору найбільш зручного графіку проведення занять та консультацій.

4) Базуючись на значеннях динамічних характеристик активності учнів: усі використані ресурси ЕСДН ( $u_4$ ), найчастіше використовуваний ресурс ЕСДН ( $u_5$ ), виконані завдання ( $u_7$ ), виконані завдання серед необхідних на даний час ( $u_8$ ) та характеристики взаємодії учень-система найпопулярніші ресурси за вибраний час або за проміжок часу ( $i_4$ ) є можливість визначити найбільш ефективні та популярні ресурси, і, виконавши їх подальший аналіз, встановити найбільш зручну та ефективну презентаційну форму подачі матеріалу, а також найбільш популярні напрями навчання для модифікації існуючих та розробки нових курсів.

Динамічний аналіз процесу дистанційного навчання в режимі онлайн, виконаний за допомогою характеристик динаміки дистанційного навчання, дозволить не лише отримати дані про перебіг навчального процесу, а й провести своєчасні корегування як навчальних ресурсів, так і індивідуального процесу навчання деяких учнів та студентів.

### 3.5. Висновки до розділу 3

1. Для вирішення задачі вимірювання динамічних характеристик дистанційного навчання може бути використана технологія «Активних мереж» з додаванням механізмів «інтелектуалізації» в проміжні вузли комп'ютерної мережі (комутатори та маршрутизатори) для виконання задач обробки даних на етапі їх передачі по мережі. Це може бути досягнуто шляхом заміни стандартного вузла комп'ютерної мережі (маршрутизатора), через який проходить трафік до СДН, на активний вузол мережі (АВМ), який окрім традиційних функцій маршрутизації, також виконуватиме функцію моніторингу мережного трафіку.

2. Суть розробленого методу моніторингу мережного трафіку полягає у перехопленні трафіку під час його проходження через АВМ, виявленні пакетів, що адресовані СДН, та одержанні з них даних множини характеристик мережного трафіку.

3. За допомогою «інтелектуальної» частини АВМ із усього мережного трафіку визначаються пакети, що передаються за допомогою протоколу HTTP з URI, що відповідає СДН. Зазначені пакети використовуються для одержання даних щодо процесу дистанційного навчання в режимі онлайн. Інші пакети, що не задовольняють представленим вимогам, передаються далі у мережу без додаткової обробки.

4. Для реалізації запропонованого методу моніторингу була розроблена програмна система моніторингу мережного трафіку, що була додана у якості додаткової «інтелектуальної» частини маршрутизатора, модифікуючи при цьому стандартний процес передачі даних по мережі шляхом включення додаткових етапів обробки мережного трафіку програмними засобами АВМ.

5. Архітектура запропонованої системи моніторингу розроблена таким чином, що система використовує визначені функції стандартних програмних засобів для роботи з мережним трафіком ОС Unix, а також виконує додаткові функції отримання та аналізу мережних даних за допомогою додатково

розроблених програмних модулів, включаючи Web-аналізатор, що отримує значення характеристик динаміки та виводить їх на інтерфейс користувача, а також база даних для зберігання результатів моніторингу.

Результати проведених досліджень опубліковані в роботах [17, 19-24].

## РОЗДІЛ 4

### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НА ЯКІСТЬ ОЦІНЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

#### 4.1. Використання запропонованої технології для оцінювання процесу дистанційного навчання у межах вебінарів TEMPUS INSITOR

Визначення впливу застосування запропонованої інформаційної технології моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку на якість оцінювання процесу навчання було проведено експериментально. Шляхом порівняння результатів експериментів по оцінюванню процесу дистанційного навчання із використанням стандартної та розширеної систем критеріїв була проведена оцінка якості оцінювання процесу дистанційного навчання із використанням запропонованої розширеної системи критеріїв оцінювання дистанційного навчання.

Експерименти виконувалися у Чернігівському національному технологічному університеті (ЧНТУ) для навчальних вебінарів, що проводилися у рамках проекту TEMPUS INSITOR 530319-TEMPUS-1-2012-1-DE-TEMPUS-JPHES «Інноваційна гібридна стратегія ІТ-аутсорсингового партнерства з підприємствами».

Було проведено два цикли вебінарів, у яких в якості тьюторів виступали викладачі кафедри інформаційних та комп'ютерних систем та кафедри програмної інженерії ЧНТУ, аспіранти ЧНТУ, що проходять стажування у м. Честер, Великобританія, а також спеціалісти із м. Києва. Експерименти виконувалися для вебінарів, що проводилися в режимі онлайн. Лекції, що транслювалися за допомогою відеозапису, не досліджувалися. У проведених вебінарах прийняли участь 102 студенти, що були поділені на 2 групи, кількістю по 49 та 53 чоловік відповідно.

Вебінари походилися за допомогою розробленої у ЧНТУ системи дистанційного навчання та вебінарів (WAS), яка є частиною «Єдиної

інформаційної системи навчальних науково-виробничих центрів аутсорсингу IIS OSTPC (Outsourcing Training and Production Center)» проекту TEMPUS IHSITOP. Інтерфейс системи дистанційного навчання та вебінарів представлений на рис. 4.1 [111].



Рис. 4.1. Система дистанційного навчання та вебінарів IIS OSTPS

Експерименти проводилися у два етапи, перший з яких відповідав першому циклу вебінарів, другий – другому. На першому етапі за допомогою запропонованої інформаційної технології моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку та розробленого для її практичної реалізації програмного забезпечення були отримані числові значення критеріїв динаміки дистанційного навчання та загального критерія динаміки дистанційного навчання. Дані числові значення були отримані в кінці після проходження всього циклу на основі даних, що збиралися під час всього процесу проведення вебінарів. На основі отриманих числових значень була встановлена відповідність значення загального критерія динаміки дистанційного навчання та значення оцінки результатів навчання, що були отримані учнями за перший цикл.

Другий етап експерименту, що виконувався під час другого циклу вебінарів, полягав у визначенні числових значень критеріїв динаміки дистанційного навчання та загального критерія динаміки дистанційного навчання до завершення процесу дистанційного навчання. Одержані числові значення загального критерія динаміки дистанційного навчання використовувалися для прогнозування результуючої оцінки студентів за навчання, значення якої визначали за допомогою встановленої на першому етапі експерименту відповідності значення загального критерія динаміки дистанційного навчання та значення оцінки результатів навчання.

Числові значення критеріїв динаміки дистанційного навчання були встановлені за допомогою методу, описаного у розділі 2. Відповідно до запропонованого методу, експертами були визначені наступні умови:

5. Оскільки динамічні характеристики дистанційного навчання мають значення різних типів (список студентів, логічний тип, список дат та часу, числовий тип), значення кожного із критеріїв динаміки встановлюється за 20-бальною числовою шкалою за допомогою експертного висновку на основі значень динамічних характеристик.

6. Для визначення числових значень кожного із множини критеріїв динаміки дистанційного навчання  $\{K_{ua}, K_{mi}, K_{mp}, K_{su}, K_{up}\}$  значення вагових коефіцієнтів для критеріїв динаміки задані множиною  $[0.15, 0.05, 0.05, 0.1, 0.15]$  відповідно.

7. Враховуючи вище зазначені пункти, отримані числові значення загального критерія динаміки дистанційного навчання в режимі онлайн належатимуть множині  $[0,10]$ .

Під час першого циклу вебінарів була використана розроблена система моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку, отримані значення динамічних характеристик та відповідно до встановлених умов розраховані числові значення загального критерія динаміки дистанційного навчання для кожного із 49 студентів, що проходили процес дистанційного навчання в режимі онлайн.

Після завершення першого циклу вебінарів, кожний із студентів отримав результуючу оцінку, значення якої були співставленні значенню загального критерію динаміки дистанційного навчання в режимі онлайн. Отримане співвідношення значень критеріїв динаміки та результуючих оцінок представлено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Співвідношення отриманих значень критеріїв динаміки та результуючих оцінок студентів

Традиційна шкала	100-бальна шкала	ESTC	Загальний критерій динаміки	Кількість студентів
Відмінно	90 - 100	A	7.9 - 9.2	9
Добре	82 - 89	B	6.5 - 7.8	5
Добре	75 - 81	C	4.7 - 6.4	14
Задовільно	67 - 70	D	3.8 - 4.6	4
Задовільно	60 - 66	E	2.9 - 3.7	11
Незадовільно	0 - 59	F-FX	1.1 - 2.8	6

Було отримані наступні статистичні характеристики отриманих даних по критеріям:

- для оцінки «відмінно» A середнє статистичне значення критерію  $\bar{X} = 8.53$  з довірчим інтервалом  $I_{0.9545} = (8.27; 8.79)$  при довірчій імовірності  $P = 0.9545$ , отримані по виборці розміром 9 елементів;

- для оцінки «добре» B середнє статистичне значення критерію  $\bar{X} = 7.1$  з довірчим інтервалом  $I_{0.9545} = (6.72; 7.48)$  при довірчій імовірності  $P = 0.9545$ , отримані по виборці розміром 5 елементів;

- для оцінки «добре» C середнє статистичне значення критерію  $\bar{X} = 5.47$  з довірчим інтервалом  $I_{0.9545} = (5.17; 5.77)$  при довірчій імовірності  $P = 0.9545$ , отримані по виборці розміром 14 елементів;

- для оцінки «задовільно» D середнє статистичне значення критерію  $\bar{X} = 4.2$  з довірчим інтервалом  $I_{0.9545} = (3.88; 4.52)$  при довірчій імовірності  $P = 0.9545$ , отримані по виборці розміром 4 елементів;

- для оцінки «задовільно» E середнє статистичне значення критерію  $\bar{X} = 3.24$  з довірчим інтервалом  $I_{0.9545} = (3.07; 3.41)$  при довірчій імовірності  $P = 0.9545$ , отримані по виборці розміром 11 елементів;

- для оцінки «незадовільно» F середнє статистичне значення критерію  $\bar{X} = 1.91$  з довірчим інтервалом  $I_{0.9545} = (1.46; 2.36)$  при довірчій імовірності  $P = 0.9545$ , отримані по виборці розміром 6 елементів.

Базуючись на експериментально отриманих для першого циклу вебінарів даних та встановленій відповідності значення загального критерія динаміки дистанційного навчання в режимі онлайн та значень оцінки результатів навчання, що були отримані учнями, був сформований набір правил виду:

*Якщо <умова>, То <наслідок>*,

де <умова> – чисельне значення загального критерія динаміки дистанційного навчання в режимі онлайн  $K$ , визначене для студента,

<наслідок> – результуюча оцінка студента за навчальний курс.

Сформований на основі експериментальних даних набір правил має наступний вигляд:

- Якщо  $K \in [7.9, 9.2]$ , то оцінка – «відмінно» А.
- Якщо  $K \in [6.5, 7.8]$ , то оцінка – «добре» В.
- Якщо  $K \in [4.7, 6.4]$ , то оцінка – «добре» С.
- Якщо  $K \in [3.8, 4.6]$ , то оцінка – «задовільно» D.
- Якщо  $K \in [2.9, 3.7]$ , то оцінка – «задовільно» E.
- Якщо  $K \in [1.1, 2.8]$ , то оцінка – «незадовільно» F.

Представлений набір правил дає можливість виконати прогнозування результатів навчання студентів по значенню їх загального критерію динаміки дистанційного навчання. Оскільки значення даного критерію може бути визначено на будь-якому етапі навчання в режимі реального часу, то і



прогнозування може бути виконаним на різних етапах навчання. Такий підхід дає можливість виявити «слабкі ланки» процесу дистанційного навчання (неякісний навчальний матеріал, проблемні для засвоєння теми, поведінку студентів та їх відношення до навчання) ще до його завершення та відкоригувати їх за для зменшення вірогідності отримання низьких результатів студентами.

Адекватність застосування запропонованого підходу прогнозування результатів на основі значень загального критерію динаміки дистанційного навчання визначалася експериментально під час другого циклу вебінарів, у якому взяло участь 53 студенти.

Під час проведення другого циклу вебінарів розрахунок значення загального критерію динаміки дистанційного навчання кожного студента був виконаний до завершення процесу навчання. На основі одержаних чисельних значень критерію динаміки було виконано прогнозування результатів навчання студентів за допомогою представлених раніше правил, сформованих в результаті першого експерименту (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Прогнозовані результати навчання відповідно до значень критерію динаміки

Значення критерія динаміки	Кількість студентів	100-бальна шкала	ESTC	Традиційна шкала
7.9 - 9.2	9	90 - 100	A	Відмінно
6.5 - 7.8	5	82 - 89	B	Добре
4.7 - 6.4	16	75 - 81	C	Добре
3.8 - 4.6	8	67 - 70	D	Задовільно
2.9 - 3.7	11	60 - 66	E	Задовільно
1.1 - 2.8	4	0 - 59	F-FX	Незадовільно

Для визначення адекватності запропонованого підходу було виконане порівняння результатів навчання учнів, отриманих за допомогою прогнозування по значенню загального критерію динаміки дистанційного навчання, із реальними результатами, що отримали студенти. Реальні

результати студентів, згруповані відповідно до отриманої оцінки, представлені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

## Результати навчання, отримані студентами

Кількість студентів	100-бальна шкала	ESTC	Традиційна шкала
10	90 - 100	A	Відмінно
5	82 - 89	B	Добре
15	75 - 81	C	Добре
9	67 - 70	D	Задовільно
9	60 - 66	E	Задовільно
5	0 - 59	F-FX	Незадовільно

Як видно із таблиць 4.2 та 4.3 очікувані результати та результати, що були одержані студентами після процесу навчання мають певні відмінності. У табл. 4.4 наведені результати студентів, що, відповідно до отриманого для них значення загального коефіцієнта динаміки дистанційного навчання в режимі онлайн, по прогнозам мали отримати інші результати, а ніж ті, що були ними одержані реально.

Таблиця 4.4

## Результати студентів, що не відповідають очікуваним

Значення критерія динаміки	Очікуваний результат		Реальний результат	
	ESTC	Традиційна шкала	ESTC	Традиційна шкала
6.3	75 – 81 (C)	Добре	90 – 100 (A)	Відмінно
6.0	75 – 81 (C)	Добре	82 – 89 (B)	Добре
3.5	60 – 66 (E)	Задовільно	67 – 70 (D)	Задовільно
3.1	60 – 66 (E)	Задовільно	0 – 59 (F)	Незадовільно

Як видно із таблиці 4.4, лише один студент показав значну (два бали) відмінність між очікуваними та реальними результатами. Результати інших студентів відрізнялись лише на один бал. На рис. 4.2 представлено порівняння результатів навчання, отриманих за допомогою прогнозування (1) та реальних (2).

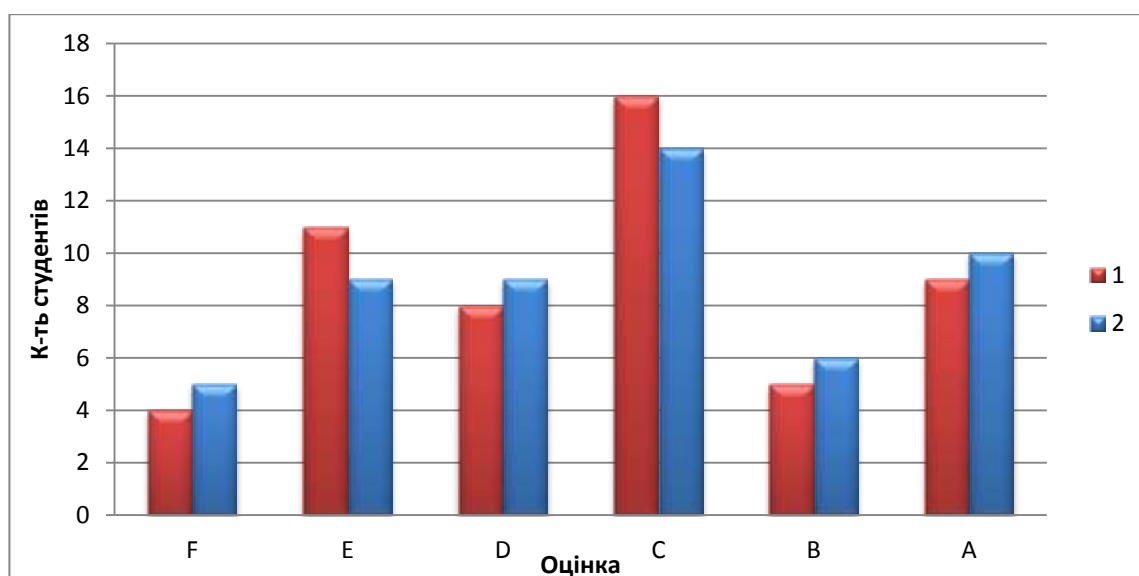


Рис. 4.2. Прогнозовані та експериментально отримані значення результатів навчання

Порівняння виконувалося за кількістю студентів, що отримали та мали отримати той чи інший результат. Середня похибка очікуваних результатів порівняно із отриманими становить  $\bar{\varepsilon} = 0.16$ , що доводить адекватність застосування запропонованого методу для оцінювання процесу дистанційного навчання в режимі онлайн.

На основі проведеного експериментального дослідження можна зробити висновок, що використання розробленої технології дозволяє підвищити якість оцінювання процесу дистанційного навчання, оскільки дозволяє оцінювати якість перебігу навчального процесу у динаміці. Слід також зазначити, що використання запропонованого методу дозволяє виконувати прогнозування результатів у динаміці до моменту завершення навчання та на основі прогнозів вносити корегування у план навчання для їх поліпшення.

#### **4.2. Визначення впливу запропонованого методу моніторингу мережного трафіку на процес передачі даних по мережі**

Оскільки метод моніторингу дистанційного навчання реалізований за допомогою технології «Активних мереж», що передбачає втручання у

традиційний процес передачі даних, то постає питання про вплив використання запропонованого методу моніторингу мережного трафіку та системи моніторингу, яка його реалізує, на процес передачі даних та на роботу і продуктивність комп'ютерної мережі, що використовується для навчального процесу, загалом.

Для визначення впливу використання методу моніторингу мережного трафіку на основі технологій «Активних мереж» на продуктивність роботи мережі, було експериментально виконано порівняння продуктивності роботи комп'ютерної мережі із використанням запропонованої технології та без, а також визначено, чи задовольняє якість роботи мережі вимогам QoS.

У межах проведеного дослідження були визначені показники продуктивності різних типів IP-мереж та проведений порівняльний аналіз їх роботи.

#### **4.2.1. Експериментальний метод визначення продуктивності комп'ютерної мережі**

Продуктивність роботи комп'ютерних мереж визначалася на основі значень затримок у передачі даних, що були викликані роботою компонентів мережі із різними налаштуваннями. Дослідження проводилося із використанням реального обладнання у лабораторних умовах для уникнення появи надлишкових даних. Усі тестові вимірювання проводилися із використанням одного обладнання із однаковою ОС маршрутизаторів та відрізнялися лише налаштуваннями роутерів, що змінювалися для забезпечення маршрутизації у різних типах мереж.

Окрім стандартної IPv4 мережі, проводилося дослідження у мережах із застосуваннями сучасних мережних технологій, а саме IPv6, списки контролю доступу ACL та мережна трансляція адрес NAT. IPv6 є новітньою технологією, розробленою на заміну IPv4, що з кожним днем набуває популярності. ACL та NAT є невід'ємною складовою сучасних комп'ютерних мереж, побудованих на

IPv4, оскільки забезпечують політики безпеки, а також можливість використання локального пулу адрес [112-115].

У дослідженні використовувалися списки контролю доступу ACL, налаштовані на різну кількість правил – 1, 100, 500, 1000, 2000, 3000. У результаті аналізу отриманих результатів було визначено, що на продуктивність будь-якого типу із досліджуваних мереж впливає наявність налаштованого списку контролю доступу, однак вона не залежить від кількості правил у ACL. Для подальшого аналізу та порівняння використовувалися результати, що були отримані для мереж із налаштованим ACL на 3000 правил.

Досліджувалися такі типи комп'ютерних мереж:

- комп'ютерна мережа на основі четвертої версії IP-протоколу IPv4;
- комп'ютерна мережа на основі четвертої версії IP-протоколу IPv4 із налаштуванням трансляції мережних адрес NAT;
- комп'ютерна мережа на основі четвертої версії IP-протоколу IPv4 із налаштованими списками контролю доступу ACL;
- комп'ютерна мережа на основі четвертої версії IP-протоколу IPv4 із використанням активного вузла мережі із налаштованою системою моніторингу замість одного із маршрутизаторів;
- комп'ютерна мережа на основі четвертої версії IP-протоколу IPv4 із використанням активного вузла мережі із налаштованою системою моніторингу замість одного із маршрутизаторів та з налаштуванням трансляції мережних адрес NAT;
- комп'ютерна мережа на основі четвертої версії IP-протоколу IPv4 із використанням активного вузла мережі із налаштованою системою моніторингу замість одного із маршрутизаторів та налаштованими списками контролю доступу ACL;
- комп'ютерна мережа на основі шостої версії IP-протоколу IPv6;
- комп'ютерна мережа на основі шостої версії IP-протоколу IPv6 із налаштованими списками контролю доступу ACL;

- комп'ютерна мережа на основі шостої версії IP-протоколу IPv6 із використанням активного вузла мережі із налаштованою системою моніторингу замість одного із маршрутизаторів;

- комп'ютерна мережа на основі шостої версії IP-протоколу IPv6 із використанням активного вузла мережі із налаштованою системою моніторингу замість одного із маршрутизаторів та із налаштованими списками контролю доступу ACL.

Схема комп'ютерної мережі, що була використана для досліджень, представлена на рис. 4.3.

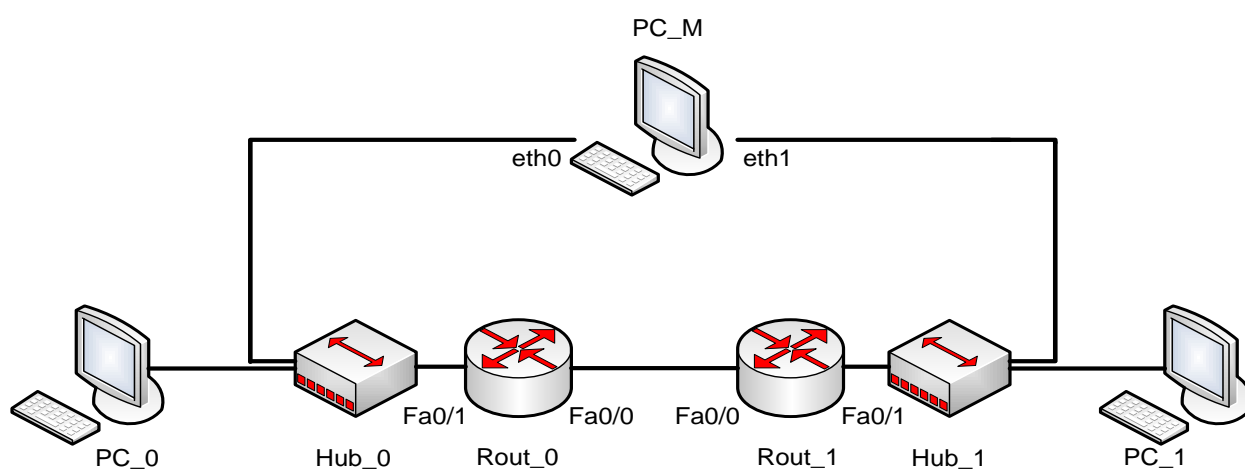


Рис.4.3. Схема комп'ютерної мережі лабораторного дослідження

Для проведення експериментального дослідження із врахуванням усіх вимог було використано три набори IP-адрес. IP-адреси, що використовуються у експерименті із IPv4 мережами, представлені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5

#### Адреси мережі IPv4, використані в експериментах

	IPv4 адреса вузла	Маска мережі	Шлюз
PC_0	192.168.0.2	255.255.255.0	192.168.0.1
PC_1	192.168.2.2	255.255.255.0	192.168.2.1
Rout_0 fa0/0	192.168.1.1	255.255.255.252	-
Rout_0 fa0/1	192.168.0.1	255.255.255.0	-
Rout_1 fa0/0	192.168.1.2	255.255.255.252	-
Rout_1 fa0/1	192.168.2.1	255.255.255.0	-
PC_M eth0	192.168.0.3	255.255.255.0	192.168.0.1
PC_M eth1	192.168.2.3	255.255.255.0	192.168.2.1

IP-адреси, що використовуються у експерименті в мережі IPv4 з NAT, представлені у табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Адреси мережі IPv4, використані в експериментах в мережі IPv4 з NAT

	<b>IPv4 адреса вузла</b>	<b>Маска мережі</b>	<b>Шлюз</b>	<b>Тип адреси</b>
PC_0	10.0.0.2	255.255.255.0	10.0.0.1	Публічна
PC_1	192.168.2.2	255.255.255.0	192.168.2.1	Приватна
Rout_0 fa0/0	172.16.3.1	255.255.255.252	-	Публічна
Rout_0 fa0/1	10.0.0.1	255.255.255.0	-	Публічна
Rout_0 Loopback 0	66.122.33.98	255.255.255.0	-	Публічна
Rout_1 fa0/0	172.16.3.2	255.255.255.252	-	Публічна / NAT outside
Rout_1 fa0/1	192.168.2.1	255.255.255.0	-	Публічна / NAT inside
PC_M eth0	10.0.0.3	255.255.255.0	10.0.0.1	Публічна
PC_M eth1	192.168.2.3	255.255.255.0	192.168.2.1	Приватна

Згідно з представленими налаштуваннями адреси мережі 192.168.2.0 транслиювалися в адреси мережі 66.122.33.96/27.

Третій набір експериментів у мережі, представлений на рис. 4.4, виконався із мережею, побудованою на основі IPv6 протоколу. IP-адреси, що використовуються у даному експерименті, представлені у табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Адреси мережі IPv6, використані в експериментах

	<b>IPv6 адреса вузла</b>	<b>Шлюз</b>
PC_0	FEC0::1:2/112	FEC0::1:1
PC_1	FEC0::3:2/112	FEC0::3:1
Rout_0 fa0/0	FEC0::2:1/112	-
Rout_0 fa0/1	FEC0::1:1/112	-
Rout_1 fa0/0	FEC0::2:2/112	-
Rout_1 fa0/1	FEC0::3:1/112	-
PC_M eth0	FEC0::1:3/112	FEC0::1:1
PC_M eth1	FEC0::3:3/112	FEC0::3:1

Мережний трафік було згенеровано за допомогою утиліти ping, що відправляла пакет ICMP Request від комп'ютера PC\_0 до комп'ютера PC\_1 та

одержувала пакет ICMP Response у відповідь від комп'ютера PC\_1. Зазначені пакети перехоплювалися за допомогою утиліти Wireshark, що була запущена одночасно на двох портах комп'ютера PC\_M із операційною системою Linux. Використання такої техніки одержання інформації забезпечувало синхронізацію налаштувань часових характеристик, і, як наслідок, синхронізацію часових значень, що отримувалися із різних сторін мережі.

Комп'ютер PC\_M підключений до мережі за допомогою концентраторів. Концентратор не виконує жодної обробки даних, тож затримка, яку він створює теоретично має складати 0 мкс. Однак практичні експерименти зазвичай показують, що існує невелика затримка, яку створює концентратор. Тож було проведено додатковий стартовий експеримент, покликаний визначити точність вимірювань шляхом визначення реального значення затримки, що створюється концентраторами в умовах функціонування реальної мережі. Структура мережі, що була використана для експериментального вирішення поставленого завдання, представлена на рис. 4.4.

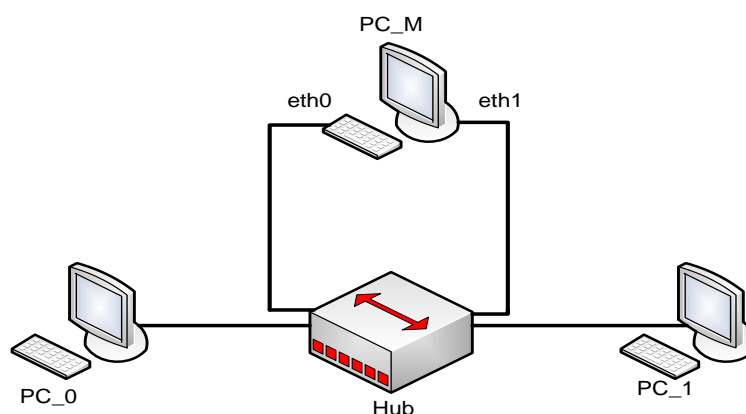


Рис. 4.4. Мережа для експериментального визначення затримок, створених концентратором

У якості даних для порівняльної характеристики результатів були обчислені та використані наступні статистичні параметри: мінімальне значення затримки передачі даних у мережі, максимальне значення затримки передачі даних у мережі, середнє арифметичне значення затримки передачі даних у мережі та стандартне відхилення.



#### 4.2.2. Результати експерименту по визначенню впливу методу моніторингу мережного трафіку на процес передачі даних по мережі

За допомогою стартового експерименту, який було проведено для того, щоб визначити точність вимірювань шляхом визначення реального значення затримки, що створюється концентраторами, було встановлено, що значення затримки, яке теоретично повинно бути рівним 0 мкс, в умовах функціонування реальної мережі становить в середньому 6 мкс. Отримане значення було спочатку прийнято у якості похибки для результатів, одержаних у дослідженні, однак пізніше проігнороване через свою не значимість порівняно із числовими затримками, одержаними при повноцінному функціонуванні налаштованої мережі.

Значення затримок, одержані за допомогою проведених експериментів, були проаналізовані за допомогою статистичних характеристик. Також був виконаний аналіз частоти появи того чи іншого значення затримки відповідно до заданих часових інтервалів.

Числові результати дослідження для мереж протоколу IPv4, представлені у мікросекундах, наведені у табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Числові значення затримок передачі пакетів через різні типи IPv4 мереж

Тип мережі	Середнє	Стандартне відхилення	Додаткова затримка	Клас якості обслуговування
IPv4 мережа	256	33	0	Клас 0
IPv4 мережа із NAT	459	38	203	Клас 0
IPv4 мережа із ACL	449	36	193	Клас 0
IPv4 мережа із АВМ	382	34	126	Клас 0
IPv4 мережа із NAT та АВМ	583	43	327	Клас 0
IPv4 мережа із ACL та АВМ	572	41	316	Клас 0

Отримані результати, зображені у вигляді графіків, що з'єднують середні стовпчиків гістограм, представлені на рис. 4.5. Вісь абсцис ілюструє затримки, а вісь ординат показує скільки раз значення затримки зустрічалося у вибірці розміром 1000 пакетів.

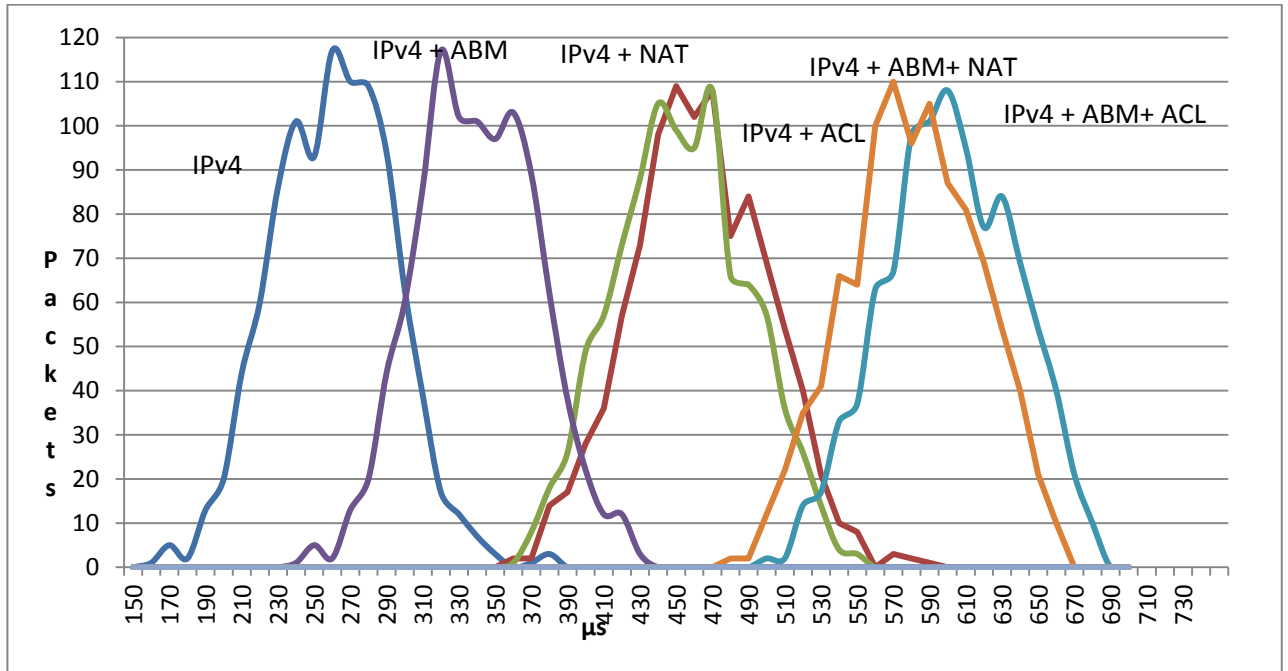


Рис. 4.5. Графіки затримок пакетів для різних типів мереж на основі IPv4

Як видно із табл. 4.8, використання ABM створює певну затримку передачі даних, однак значення цієї затримки не впливає на Клас QoS.

Числові результати дослідження для мереж протоколу IPv6, представлені у мікросекундах, наведені у табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Числові значення затримок передачі пакетів через різні типи IPv6 мереж

Тип мережі	Середнє	Стандартне відхилення	Додаткова затримка	Клас якості обслуговування
IPv6 мережа	1318	232	0	Клас 1
IPv6 мережа із ACL	1452	390	134	Клас 1
IPv6 мережа із ABM	1408	353	90	Клас 1
IPv6 мережа із ACL та ABM	1539	404	221	Клас 1

Отримані результати, зображені у вигляді графіків, що з'єднують середні стовпчиків гістограм, представлені на рис. 4.6.

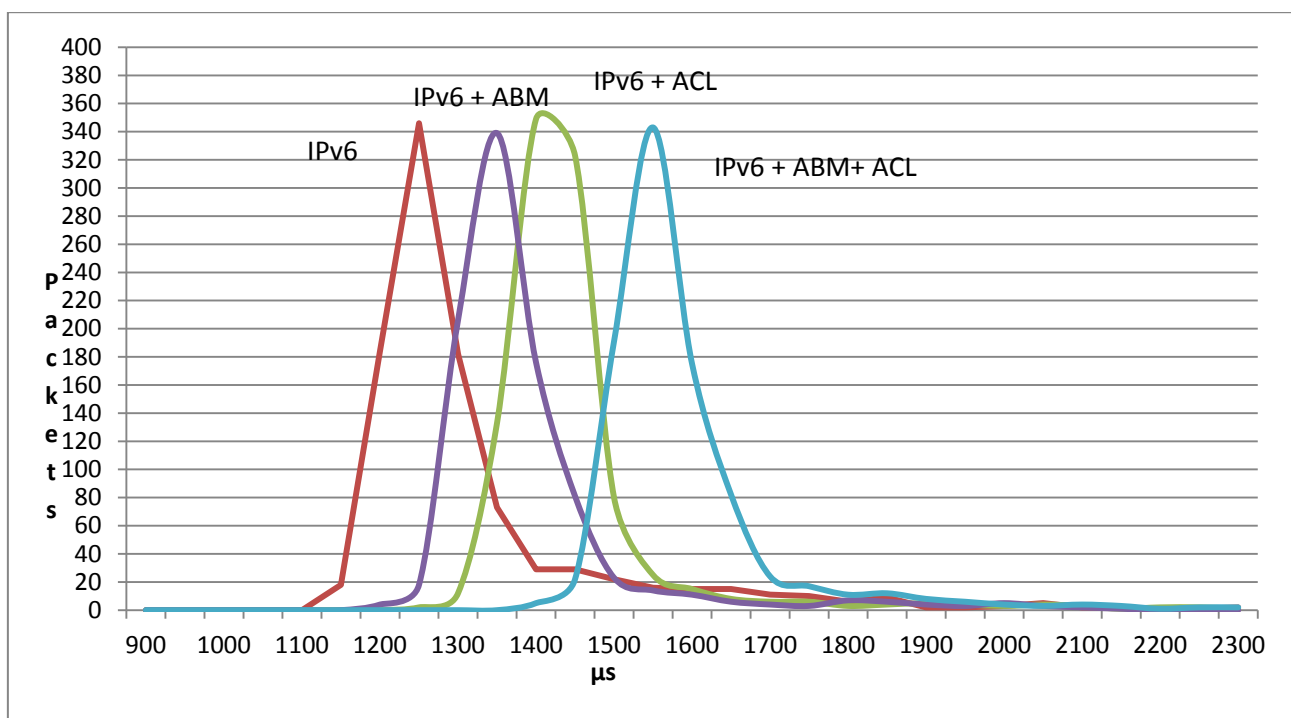


Рис. 4.6. Графіки затримок пакетів для різних типів мереж на основі IPv6

Як видно із табл. 4.9, використання ABM створює певну затримку передачі даних для IPv6 мереж, однак значення цієї затримки не змінює Клас QoS.

Як було сказано вище, графіки з'єднують середні стовпчиків гістограм. Дані гістограми були побудовані з метою аналізу частоти появи того чи іншого значення затримки відповідно до заданих часових інтервалів. Таблиці, що містять в собі дані щодо розподілення значень затримок відповідно до заданих часових інтервалів, наведені у додатку Б.

Зазначене розподілення було побудовано для всіх типів мереж, а його результати проаналізовані для встановлення підпорядкування тому чи іншому закону розподілення. Для одержаних результатів було розраховано значення критерія згоди Пірсона, та встановлено, що затримки у різних типах IPv4 мереж підпорядковані нормальному закону розподілення. Значення критерію згоди Пірсона та перевірка підпорядкування вибірки нормальному закону розподілення представлені у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10

Перевірка підпорядкування затримок у різних типах мереж нормальному закону розподілення

Тип мережі	$K_{кр}$	$K_{набл}$	$K_{набл} < K_{кр}$
IPv4 мережа	31.41	18.16	Так
IPv4 мережа із NAT	28.87	21.37	Так
IPv4 мережа із ACL	28.87	23.26	Так
IPv4 мережа із АВМ	37.65	23.91	Так
IPv4 мережа із NAT та АВМ	31.41	30.91	Так
IPv4 мережа із ACL та АВМ	33.92	32.31	Так

Так для IPv4 мережі  $K_{кр}(0.05; 20) = 31.41$ ,  $K_{набл} = 18.16$ . Так як  $K_{набл} < K_{кр}$ , тож дані вибірки підпорядковуються нормальному закону розподілення. Розрахунок критерія згоди Пірсона для IPv4 мережі представлений у додатку В.

Відповідно до стандартизації QoS якісну роботу інтегративних застосувань, що використовують технології відеоконференцз'язку, забезпечують мережі Класу 0 та Класу 1. На основі отриманих експериментальних значень зроблено висновок, що використання АВМ не впливає на клас мережі та забезпечення стандартів QoS дотримується.

#### 4.3. Напівнатурна імітаційна модель процесу дистанційного навчання із АВМ за допомогою мережного симулятора NS-3

При використанні СДН у навчальному процесі кількість користувачів, і, як результат, навантаження на систему моніторингу будуть значно більшими, ніж при проведеному лабораторному експерименті. Проведення аналогічних експериментів для більшої кількості користувачів потребує значних затрат програмних ресурсів та апаратного забезпечення. Для вирішення завдання визначення впливу розробленої системи моніторингу на процес передачі даних при значно більшій кількості користувачів було вирішено використати мережний симулятор.

### 4.3.1. Аналіз можливості застосування існуючих мережних симуляторів для побудови моделі

Використання симуляторів для створення мережі для дослідження набуло широкого розповсюдження при проведенні досліджень у галузі комп'ютерних мереж. Завдання вибору симулятора, що є найбільш підходящим для конкретних досліджень, є досить складним, оскільки існує велика кількість мережних симуляторів, що мають високі стандарти якості та пройшли перевірку часом. Завдання вибору симулятора також ускладнюється необхідністю усвідомлення достовірності отриманих результатів.

Для вирішення завдання дослідження процесу передачі даних по мережі під час навчання із використанням СДН з інтегрованим АВМ було розглянуто можливість використання таких симуляторів мереж, як Ns-2/Ns-3/ Gns3, Opnet та Matlab.

Ns-2 є найбільш популярним симулятором мереж, який застосовується для академічних досліджень у науковому товаристві, що вільно розповсюджується [116]. У зв'язку із появою значної кількості нових мережних технологій, можливості дослідження яких не передбачено у Ns-2, зараз замінений оновленою версією Ns-3. Мережний симулятор Ns-3 має значно ширший спектр можливостей для дослідження і роботи з IP мережами, які є об'єктом даного дослідження. На відміну від Ns-2, Ns-3 має функціональні можливості для роботи з IPv6, а також поліпшене керування декількома мережними інтерфейсами. Ns-3 забезпечує більш точне відображення роботи реального комп'ютера. Враховуючи представлені переваги, реалізацію роботи моделі IP мережі із процесом моніторингу може забезпечити лише Ns-3. Окрім базової класичної версії Ns-3 існує можливість застосування графічного симулятора gns3, який є надбудовою класичного Ns-3, має графічний інтерфейс і додатково дозволяє проводити тестування роботи конфігурацій реального обладнання Cisco та Juniper. Додатковою опцією також є підтримка інтеграції із Wireshark.

Opnet є комерційним продуктом, однак існує можливість вільно отримати освітню ліцензію за умови, що результати науково-дослідної роботи із використанням Opnet подаються постачальникам. Opnet підтримує можливість роботи IP мереж та протоколів, а також емуляцію роботи великої кількості варіантів комерційного обладнання. Робота із Opnet може виконуватися як із командного рядка, так і за допомогою графічного інтерфейсу. Результати моделювання можуть бути також отримані в різних форматах, серед яких графічний.

Для академічних цілей моделювання, зокрема моделювання роботи мережі, досить часто використовується Matlab. Зручний для створення математичних моделей, Matlab однак не має широкого спектру можливостей для дослідження IP мереж. Тож застосування Matlab для вирішення поставленої задачі не є можливим.

Окрім базових параметрів, вибір симулятора виконувався на основі достовірності результатів, отриманих за допомогою мережних симуляторів, та їх відповідності показниками реального обладнання. Порівняння роботи симуляторів проводилося на основі продуктивності IP-мереж із налаштованим захистом. Для отримання справедливих висновків результати роботи симуляторів порівнювались із результатами реальних фізичних мереж.

Продуктивність роботи мереж оцінювалася за допомогою методики, що представлена та використана у пункті 4.2 даного розділу. Робота симуляторів оцінювалася для двох мереж, що відрізнялися складністю. Схеми досліджуваних мереж представлені на рисунках 4.7 та 4.8.

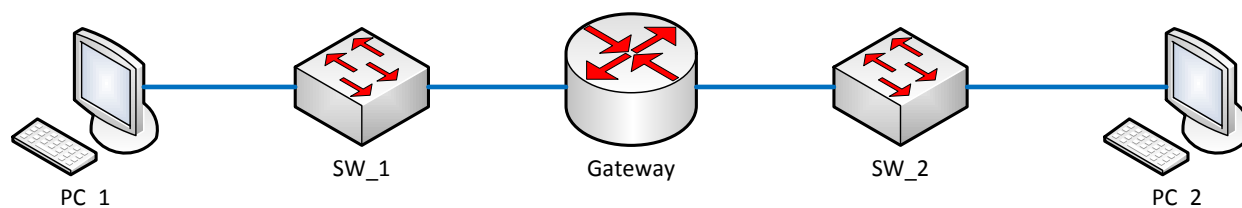


Рис. 4.7. Схема першої експериментальної мережі

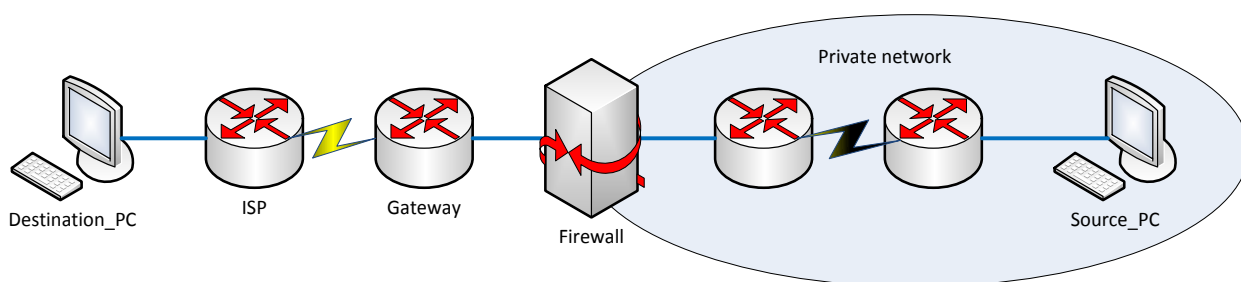


Рис. 4.8. Схема другої експериментальної мережі

Результати продуктивності моделей мереж, створених за допомогою мережних симуляторів NS-3/ Gns3 та Opnet, а також реальної лабораторної мережі, створеної із використанням обладнання, заданого у моделі (Cisco 2600), представлені у таблицях 4.11 та 4.12 відповідно. Результати представлені у вигляді середніх значень затримок передачі пакетів у мікросекундах.

Таблиця 4.11

Середні значення затримок передачі пакетів реальної мережі та моделей (перша мережа)

Тип мережі	Середнє	Стандартне відхилення	Додаткова затримка
Лабораторна мережа	320	33	0
NS-3/ Gns3 модель	438	38	118
Opnet мережа	600	56	280

Таблиця 4.12

Середні значення затримок передачі пакетів реальної мережі та моделей (друга мережа)

Тип мережі	Середнє	Стандартне відхилення	Додаткова затримка
Лабораторна мережа	920	123	0
NS-3/ Gns3 модель	1073	127	153
Opnet мережа	-	-	-

При виконанні експерименту для другого типу мережі встановлено, що вбудована додаткова можливість симулятора Opnet контролю якості та порцій

трафіку не дає можливості провести експеримент у таких самих умовах, що і реальна передача даних.

Проаналізувавши можливості, що забезпечують мережні симулятори, а також адекватність результатів їх роботи, було зроблено наступні висновки:

1. Показники продуктивності роботи мережі, одержані при використанні мережного симулятора, відрізняються від показників, отриманих при використанні лабораторного обладнання.

2. Мережний симулятор NS-3/ Gns3 дає більшу адекватність результатів при більш складній топології мережі.

3. Мережний симулятор Ornet не дає можливості провести експеримент у таких самих умовах, що і реальна передача даних при складній топології мережі.

4. Застосування Matlab для вирішення поставленої задачі не є можливим через відсутність функціональних можливостей для повноцінного дослідження IP мереж.

Отже мережний симулятор NS-3/ Gns3 був вибраний для побудови імітаційної моделі.

#### **4.3.2. Дослідження процесу дистанційного навчання із АВМ за допомогою напівнатурної імітаційної моделі на основі мережного симулятора NS-3**

Враховуючи результати попереднього дослідження для моделювання процесу моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн був вибраний мережний симулятор Ns-3.

Перевагами Ns-3 є:

- відкритий код, що дозволяє програмувати роботу пристроїв за допомогою C++;
- наявність графічного інтерфейсу;
- можливість інтеграції із Wireshark.



За допомогою симулятора роботи мережі Ns-3 була створена напівнатурна імітаційна модель процесу моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн із використанням активного вузла мережі. Використовуючи розширення функціоналу мережних пристроїв за допомогою коду C++, для мережного симулятора Ns-3 був створений активний вузол мережі за допомогою додавання ПО, що використане у реальному вузлі мережі.

Схема мережі, використаної для моделювання, представлена на рисунку 4.9.

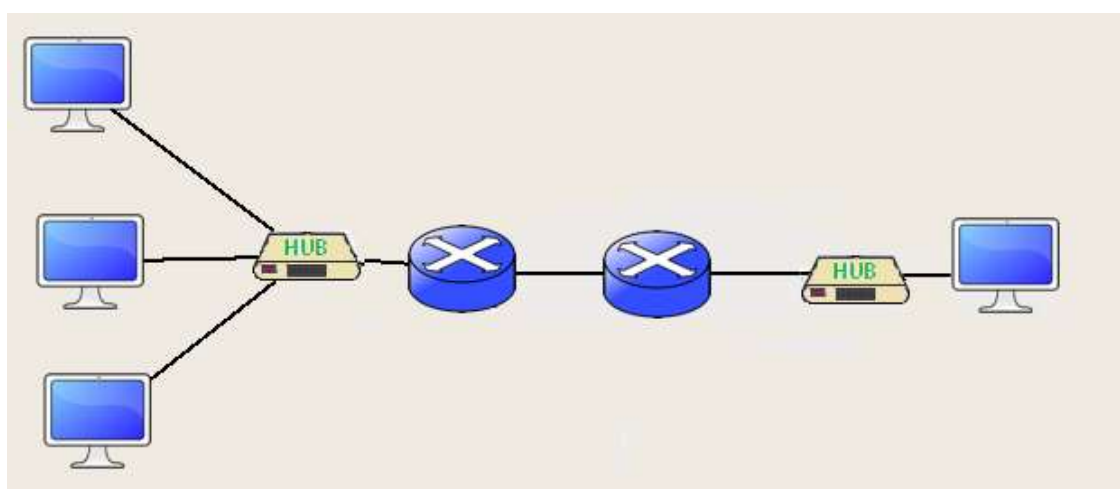


Рис. 4.9. Схема комп'ютерної мережі, що була використана для моделювання процесу дистанційного навчання із моніторингом

Використовуючи розроблену модель, було визначено середнє значення затримок передачі даних для IPv4 мережі та IPv4 мережі із АВМ для одного користувача та проведено їх порівняння із значеннями, одержаними експериментально. Результати наведені у табл. 4.13.

Таблиця 4.13

Числові значення результатів затримок передачі пакетів, отримані в результаті моделювання та експериментально

Тип мережі	Серед нє	Стандартне відхилення	Додаткова затримка	Клас якості обслуговування
IPv4 мережа (експ.)	256	33	0	Клас 0
IPv4 мережа із АВМ (експ.)	382	34	126	Клас 0
IPv4 мережа (мод.)	261	36	0	Клас 0
IPv4 мережа із АВМ (мод.)	379	38	118	Клас 0

Середня похибка результатів, отриманих в результаті моделювання порівняно із експериментальними, становить  $\bar{\varepsilon} = 0.014$ , що доводить адекватність запропонованої моделі.

Використання моделі дозволило визначити залежність середнього значення затримки від кількості користувачів СДН.

Отримані результати дослідження представлені на рис. 4.10.



Рис. 4.10. Залежність середнього значення затримки від кількості користувачів СДН

Визначено, що із збільшенням кількості користувачів зростала затримка, що створює АВМ. Встановлено, що максимальне середнє значення затримки 482 мікросекунди, отримане для 450 користувачів, майже в 20 разів менше за максимально допустиме значення середньої затримки передачі даних по мережі, встановлене QoS. Отримані значення показують, що використання системи моніторингу дистанційного навчання не призводить до зміни QoS класу мережі, що використовується для забезпечення роботи СДН.

#### 4.4. Висновки до розділу 4

1. Досліджено вплив використання запропонованої інформаційної технології моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку на якість оцінювання процесу дистанційного навчання в режимі онлайн. Встановлена відповідність значень загального критерія динаміки дистанційного навчання в режимі онлайн значенням оцінок результатів навчання, що були отримані учнями, та виконано прогнозування результатів навчання учнів із подальшим їх порівнянням із реально отриманими результатами. Середня похибка очікуваних результатів порівняно із реально отриманими результатами проведених вебінарів становить  $\bar{\varepsilon} = 0.16$ .

2. Використання розробленої інформаційної технології моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку дозволяє підвищити якість оцінювання процесу дистанційного навчання, оскільки надає можливість оцінити перебіг навчального процесу у динаміці в режимі реального часу за рахунок вимірювання 23-х додаткових характеристик.

3. Використання запропонованого методу моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн по даним мережного трафіку дозволяє виконувати прогнозування результатів навчання у динаміці, до моменту завершення навчання, та на основі прогнозів вносити корегування у план навчання для їх поліпшення за окремою методикою.

4. Вплив використання запропонованого методу моніторингу мережного трафіку, реалізованого за допомогою технології «Активних мереж», на процес передачі даних та на продуктивність комп'ютерної мережі, що використовується для навчального процесу, є незначним та не впливає на QoS клас мережі.

5. Для визначення впливу запропонованого методу вимірювання динамічних характеристик процесу навчання при великій кількості користувачів використано розроблену напівнатурну імітаційну модель процесу дистанційного навчання, яка базується на мережному симуляторі NS-3 та

включає програмний модуль АВМ. Дана модель дозволяє програмно змінювати поведінку мережних пристроїв та розширювати набір елементів розробленими. За допомогою моделі встановлено, що із збільшенням кількості користувачів зростає затримка, що створює АВМ, однак її величина, як і в попередньому висновку, не призводить до зміни QoS класу мережі.

б. Розроблені методи та технології моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку дозволяють підвищити якість оцінювання процесу навчання без погіршення технічних характеристик комп'ютерної мережі.

Результати проведених досліджень опубліковані в роботах [15, 18, 25-26].

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі сформульовано та виконано науково-практичне завдання розробки інформаційної технології моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку.

Для досягнення поставленої мети, яка полягає у підвищенні якості оцінювання процесу дистанційного навчання, у процесі дослідження були отримані такі наукові та практичні результати:

1. Досліджено сучасний стан процесу дистанційного навчання та існуючу систему критеріїв його оцінювання. Запропоновано розширену систему критеріїв оцінювання дистанційного навчання в режимі онлайн, яка враховує 23 динамічні характеристики навчального процесу.

2. Запропоновано метод вимірювання динамічних характеристик дистанційного навчання по даним мережного трафіку для одержання даних щодо динаміки процесу дистанційного навчання в режимі онлайн.

3. Розроблено метод моніторингу мережного трафіку, побудований по технології «Активних мереж», що виконує обробку даних безпосередньо у вузлах мережі під час їх передачі.

4. Розроблено систему моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн по даним мережного трафіку, використання якої дозволяє одержувати значення критеріїв та характеристик динаміки навчання на різних його етапах та на їх основі вносити корегування у план навчання для поліпшення результатів.

5. Розширено інструментарій системи дистанційного навчання за рахунок використання системи моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн по даним мережного трафіку.

6. Встановлена відповідність значень загального критерія динаміки дистанційного навчання в режимі онлайн значенням оцінок результатів навчання, що були отримані учнями, та виконано прогнозування результатів навчання учнів із подальшим їх порівнянням із реально отриманими

результатами. Середня похибка очікуваних результатів порівняно із реально отриманими становить  $\bar{\varepsilon} = 0.16$ .

7. Визначено, що використання запропонованої технології моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку дозволяє виконувати прогнозування результатів у динаміці до моменту завершення навчання та на основі прогнозів вносити корегування у план навчання для їх поліпшення.

8. Розроблено імітаційну напівнатурну модель процесу дистанційного навчання в режимі онлайн із використанням розробленої системи моніторингу, яка дозволяє проаналізувати вплив запропонованої системи на продуктивність комп'ютерної мережі, що використовується в навчальному процесі.

9. Експериментально та за допомогою розробленої моделі визначено середнє значення затримок передачі даних у комп'ютерній мережі, що створюються при використанні запропонованих методів та системи. Встановлено, що застосування розроблених методів та системи моніторингу, яка їх реалізує, вносять затримки у процес передачі даних, однак продуктивність мереж все ж задовольняє вимогам QoS.

10. Із використанням розробленої інформаційної технології розроблено підсистеми Сервісів Web-застосувань (WAS) та Комунікацій (SCS) для Єдиної інформаційної системи центрів ІТ-аутсорснгу, розробленої в рамках проекту Tempus «Інноваційна гібридна стратегія ІТ-аутсорсингового партнерства з підприємствами (Tempus IHSITOP)», № 530319-TEMPUS-1-2012-1-DE-TEMPUS-JPHES, що дозволило підвищити якість оцінювання процесу дистанційного навчання за рахунок використання динамічних характеристик.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Довгялло А.М. Технология проектирования и разработки гибких дистанционных обучающих курсов на основе телематики / А. М. Довгялло, В. В. Колос, С. П. Кудрявцева // Управляющие системы и машины. – 1999. – № 1. – С. 79-95.
2. Довгялло А.М. Опыт дистанционного обучения на основе телекоммуникационных технологий в Украине / А. М. Довгялло, В. В. Колос, С. П. Кудрявцева, А. Ф. Манако, Ю. В. Цыбенко // Управляющие системы и машины. – 1999. – № 5. – С. 84-91.
3. Мінцер О.П. Автоматизація адаптивних процесів в системі дистанційного навчання та контролю знань / Озар Петрович Мінцер, Павло Іваноич Федорук // Електроніка і зв'язь. – 2006. – №3. – С. 87-91.
4. Теслер Г.С. Новая кибернетика / Теслер Г.С. – К.: Логос, 2004. – 404 с.
5. Федорук П.І. Засоби, інструменти та можливості сучасних систем дистанційного навчання / П.І.Федорук // Моделювання та інформаційні технології : зб. Наук. Праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К.,2005. – С. 63-67.
6. Федорук П.І. Інтелектуальна система дистанційного навчання та контролю знань / П.І. Федорук // Штучний інтелект. – 2005. – №3. – С.541-548.
7. Федорук П.И. Стандарты в дистанционном обучении / Павел Федорук, Оксана Гуцало // УСиМ. – 2008. – №5. – С.82-87.
8. Holmberg, Börje. The evolution, principles and practices of distance education. Volume 11 in Studien und Berichte der Arbeitsstelle Fernstudienforschung der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg [ASF] (in German) / Börje Holmberg – Bibliotheks und Informations system der Universitat Oldenburg, 2005. – 171 p.
9. Distance Education: A Systems View / Michael G. Moore, Greg Kearsley. – 2nd ed. – Belmont, CA: Wadsworth, Cengage Learning, 2005. – 349 p.

10. Distance Education: A Systems View of Online learning // Michael G. Moore, Greg Kearsley. – 3rd ed. – Belmont, CA: Wadsworth, Cengage Learning, 2012. – 349 p.
11. Burton R.R. An investigation of computer coaching for informal learning activities / R.R. Burton, J.S. Brown // International Journal on the Man-Machine Studies. – 1979. – №11. – P. 5-24.
12. Byrne T.C. Athabasca University: The Evolution of Distance Education / Byrne, T.C. – Calgary, Alberta: University of Calgary Press, 1989. – 135 p.
13. Connolly K. J. Law of Internet Security and Privacy / Kevin J. Connolly. - Aspen Publishers, 2003 – 131 p.
14. Kurose, J. F. Computer Networking: A Top-Down Approach / James F. Kurose, Kieth W. Ross. . – 6th edition. – Pearson Education, 2005. – 733 p.
15. Davies J.N. Comparison of the performance of IPv4 & IPv6 / V. Kazymyr, M. Tevkun, J. N. Davies, P. Comerford // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. наук. праць. – Чернігів: ЧДТУ, – 2012.– №. 61. – С. 191-196. – (Серія «Технічні науки»).
16. Tevkun M.V. Technologies of data transmission in video conferencing systems / V.V. Kazymyr, M.V. Tevkun, O.P. Drozd // Математичні машини і системи. – 2013. – № 4. – С. 64-69.
17. Тевкун М.В. Огляд та характеристика вільного програмного забезпечення для задачі аналізу мережного трафіку / М. Тевкун, І. Посадська // Вільне програмне забезпечення в освіті, науці та бізнесі: тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 22-23 травня 2014 р.). – Чернігів, ЧНТУ, 2014. – С. 72-74.
18. Verovko M.V. Simulation of monitoring of online distance learning using Ns-3 etwork simulator. / Mariya Verovko // Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС 2015: тези доповідей Десятої міжнародної науково-практичної конференції (Чернігів, 22-26 червня 2015 р.). – Чернігів, ЧНТУ, 2015. – С. 353-357.



19. Tevkun M.V. Network traffic monitoring system using active network techniques / M. Tevkun, O. Verovko, J.N. Davies, V. Kazymyr and N. Rvachova // Proceedings of the Fifth International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA 13). – Wrexham: Glyndwr University, – 2013. – С. 161-168.

20. Tevkun M.V. Methods of collection data to evaluate the quality of distance learning system / V.V. Kazymyr, M.V. Tevkun, I.S. Posadska, O.P. Drozd // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. наук. праць. – Чернігів: ЧНТУ, – 2013.– № 69. – С. 144-153. – (Серія «Технічні науки»).

21. Тевкун М.В. Использование сетевого фильтра Netfilter/Iptables для разработки активного узла сети / А. Верёвко, Д. Дэвис, М. Тевкун // Вільне програмне забезпечення в освіті, науці та бізнесі: тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 22-23 травня 2014 р.). – Чернігів, ЧНТУ, 2014. – С. 30-32.

22. Tevkun M.V. Estimation of e-learning system quality using traffic monitoring / M.V. Tevkun, I.S. Posadska // Сучасні інформаційно-правові та соціально-економічні тенденції впливу на розвиток бізнесу. Комп'ютерні та інформаційні технології в програмній інженерії: матеріали X Міжвузівської науково-практичної конференції (м. Чернігів, 24 квітня 2014 р.). – Чернігів, ЧНТУ імені академіка Ю. Бугрова, 2014. – С. 114-116.

23. Tevkun M.V. Usage of traffic monitoring in e-learning system quality assessment / M.V. Tevkun, I.S. Posadska // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі: матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених (м. Чернігів, 23-24 квітня 2014 р.). – Чернігів, ЧНТУ, 2014. – С. 148-150.

24. Казимир В.В. Системы видеоконференций для гибридной стратегии IT-аутсорсинга в Украине / В.В. Казимир, А.П. Дрозд, Тевкун М.В. // Radioelectronics & Informatics: Scientific and Technical Journal. – Харків: ХНУРЕ, - 2013. – №.60. – С. 22-25.

25. Davies J.N. Comparison of network simulators in IP networks / J.N. Davies, P. Comerford, V. Grout, M.V. Verovko, S.S. Stasiuk // Математичні машини і системи. – 2014. – № 4. – С. 3-11.

26. Davies J.N. Comparison of network simulators in IP networks / John N. Davies, Paul Comerford, Vic Grout, Mariya Tevkun // Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС 2014: тези доповідей Дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції (Київ - Жукін, 23-27 червня 2014 р.). – Чернігів, ЧДІЕУ, 2014. – С. 259-263.

27. Verovko M.V. Formalization of knowledge representation in ELearning systems / V.V. Lytvynov, I.S.Posadska, M.V. Verovko // IX-th International Conference Modern (e-) Learning (Kyiv, Ukraine, 11 – 13 September 2014.). - Kyiv, ITNEA, 2014. – С. 88-89.

28. Мигович С. М. Інформатизація освіти як основа її реформування / С. М. Мигович // Педагогічні концепції технологічної та професійної освіти в умовах європейського співробітництва. Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка. – Чернігів: ЧНПУ, – 2012.– № 97. – (Серія «Педагогічні науки»).

29. Струк О.О. Деякі рекомендації щодо організації дистанційного навчання у вищих навчальних закладах [Електронний ресурс] / Струк О.О., Струк С. П. // Матеріали міжнародної інтернет-конференції. – Режим доступу : <http://conf.fizmat.tnpu.edu.ua/?p=599>.

30. Кремень В.Г. Освіта і наука України – інноваційні аспекти. Стратегія. Реалізація. Результати. / Кремень В.Г. – К.: Грамота, 2005. – 448 с.

31. Моїсєєва Ю.Ю. Дистанційне навчання: інноваційна форма вищої освіти / Моїсєєва Ю.Ю. // Актуальні проблеми економічного і соціального розвитку регіону: Збірник матеріалів регіональної науково-практичної конференції. – Красноармійськ: КП ДонНТУ, 2010. – 408 с.

32. Сатунина А.Е. Электронное обучение: плюсы и минусы / Сатунина А.Е. // Современные проблемы науки и образования. – Издательский Дом «Академия Естествознания», 2006. – № 1 – С. 89-90.

33. Концепція розвитку дистанційної освіти в Україні [Електронний ресурс] // Освітній портал™ — освіта в Україні, освіта за кордоном. – Режим доступу: <http://www.osvita.org.ua>.
34. Honeyman M. Agriculture distance education: A valid alternative for higher education / Honeyman M., Miller G. // Proceedings of the 20th Annual National Agricultural Education Research Meeting. – Nashville, TN, 2003 – P. 67–73.
35. Tait Alan. Reflections on Student Support in Open and Distance Learning [Електронний ресурс] / Alan Tait // The International Review of Research in Open and Distance Learning. – Режим доступу: <http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/issue/view/15>
36. Rothblatt S. Review: Supply and Demand: The Two Histories of English Education / Sheldon Rothblatt // History of Education Quarterly. – Vol. 28, No. 4. – History of Education Society, 1988. – p. 627-644.
37. Pittman V.V. Correspondence Study in the American University: A Second Historiographical Perspective / Michael Grahame Moore, William G. Anderson eds. // Handbook of Distance Education. – N.Y., 2007. – p. 21-36.
38. Lee Francis. Technopedagogies of mass-individualization: correspondence education in the mid twentieth century / Francis Lee // History & Technology. – Taylor&Francis, 2008. – p. 239-253.
39. Bunker E.L. The History of Distance Education through the Eyes of the International Council for Distance Education / Michael Grahame Moore, William G. Anderson eds. // Handbook of Distance Education. – N.Y., 2007. – p. 49-66.
40. Nasseh B. A Brief History of Distance Education [Електронний ресурс] / Bizhan Nasseh – 1997. – Режим доступу: <http://www.seniornet.org/edu/art/history.html>
41. Radford W. Learning at a Distance: Undergraduate Enrollment in Distance Education Courses and Degree Programs [Електронний ресурс] / Walton Radford // National Center for Education Statistics. – Режим доступу: <http://nces.ed.gov/pubs2012/2012154.pdf>

42. Brown S. W. A comparison of distance education instructional methods in occupational therapy / Jedlicka, J. S., Brown, S. W., Bunch, A. E., & Jaffe, L. E. // *Journal of Allied Health*. – 31(4). – 2002. – P. 247-251.
43. Crompton H. A historical overview of mobile learning: Toward learner-centered education. / H. Crompton // *Handbook of mobile learning*. – Florence, KY: Routledge In Z. L. Berge & L. Y. Muilenburg (Eds.), 2013. – P. 3-14.
44. Agostinho S. Naturalistic inquiry in e-learning research. International [Електронний ресурс] / Agostinho S. // *Journal of Qualitative methods*. – 2004. – Режим доступу: [http://www.ualberta.ca/~iiqm/backissues/4\\_1/pdf/agostinho.pdf](http://www.ualberta.ca/~iiqm/backissues/4_1/pdf/agostinho.pdf)
45. Collis B. Implementing innovative teaching across the faculty via the WWW / Collis B. // *Proceedings of SITE'98, Society for Information Technology and Teacher Education, 9th International Conference*. – DC: Association for the Advancement of Computing in Education, 1998. – P. 1328-1335.
46. Дмитренко П.В. Дистанційна освіта / Дмитренко П.В., Пасічна Ю.А. – К. : НПУ, 1999. – 25 с.
47. Компьютерные технологии в высшем образовании / Редакционная коллегия: А.Н. Тихонов, В.А. Садовничий и др. - М.: Изд-во МГУ, 1994. – 370 с.
48. Дистанційне навчання: Умови застосування. Дистанційний курс: Навч. посібник. / Кухаренко В.М., Рибалко О.В., Сиротенко Н.Г. За ред. В.М. Кухаренка.– Харків : Торсінг, 2002.– 320 с.
49. Гутгарц Р.Д. Компьютерная технология обучения / Гутгарц Р.Д., Чебышева В.П. // *Информатика и образование*. – М.: Образование и Информатика, 2000. – №5. – С. 44-45.
50. Дуплик С.В. К вопросу о терминологии в области компьютерных средств обучения [Електронний ресурс] / С.В. Дуплик. // *Компьютерные учебные программы и инновации*. – 2003. – №6. – С. 58-65. – Режим доступу: [http://vlib.ustu.ru/comp\\_uch/index.html](http://vlib.ustu.ru/comp_uch/index.html).
51. Галеев И.Х. О систематизации учебных компьютерных средств. [Електронний ресурс] / Галеев И.Х. – 2000. – Режим доступу: <http://ifets.ieee.org>.

52. Жевакіна Н. З історії дистанційної освіти / Н. Жевакіна // Вісник Львівського університету. – Львів, 2003.– № 17. – С. 135-141. – (Серія педагогічна).
53. Перспективы программированного обучения / Томас К., Девис Дж., Опеншоу Д., Берд Дж. – М: Мир, 1966. – 247с.
54. Sharable Content Object Reference Model (SCORM®) 2004 [Електронний ресурс] / Advanced Distributed Learning (ADL). – 2nd Edition. – Режим доступу: <http://www.adlnet.org/>
55. Szabo M. CMI Theory and Practice: Historical Roots of Learning Management Systems / Szabo M., Flesher K. // Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2002. – Montreal, Canada: In M. Driscoll & T. Reeves (Eds.), 2002. – P. 929-936.
56. Korcuska M. Sakai Courseware Management: The Official Guide / Michael Korcuska, Alan Mark Berg. – 1st ed. – Packt Publishing, 2009 – 504 p.
57. Moodle website. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://moodle.net/stats/>
58. LinguaLeo. Покори язык [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lingualeo.com/>
59. English Online. Изучение английского языка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.abc-english-grammar.com/>
60. The Institute of Informational and Management Technologies. Английский язык: дистанционное обучение, тестирование, сертификация. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.5english.com/>
61. Tin Can Api website. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tincanapi.com/>
62. Experience API (xAPI) - Advanced Distributed Learning [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://adlnet.gov/capabilities/tla/experience-api.html>
63. International Organization for Standardization. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://standards.iso.org/>

64. Leiner V. M. A Brief History of Internet. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.internetsociety.org>.
65. Oxford dictionary. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oxforddictionaries.com>.
66. Vaughan Tay. Multimedia: Making It Work / Vaughan, Tay. – Osborne/McGraw-Hill, Berkeley. – 1993. – 3р.
67. Stewart C. Media: New Ways and Meanings / Stewart, C and Kowaltzke // JACARANDA, Milton, Queensland, Australia. – 1997. – 102 p.
68. Schulzrinne H. The IETF Internet Telephony Architecture and Protocols / H. Schulzrinne, J. Rosenberg // IEEE Network. – 1999. – P. 18-23.
69. H.323: Packet Based Multimedia Communications Systems. [Электронный ресурс]. – 125 p. – Режим доступа: <http://www.itu.int>.
70. Toga J. ITU-T Standardization activities for interactive multimedia communications on packet-based networks: H.323 and related recommendations / J. Toga, J. Ott // IEEE Computer Networks. – 1999. – P. 205-223.
71. Minsky M. TelePresence / M. Minsky // OMNI. – № 2 (6). - 1980. – P. 45-52.
72. PC Magazine Encyclopedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pcmag.com>
73. Macromedia Flash MX 2004 ActionScript Reference Guide/ Jody Bleyle et al. – Macromedia, Inc. – September, 2003. – 816 p.
74. Adobe's Real Time Messaging Protocol Specification. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.adobe.com>.
75. The Binary Floor Control Protocol (BFCP) (RFC 4582). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tools.ietf.org>.
76. Дистанционное обучение и его развитие. Обобщение методологии и практики использования / В.А. Трайнев, В.Ф. Гуркин, О.В. Трайнев. - М.: Дашков и Ко, 2007. – 284 с.
77. Luxton A. Quality Management in Higher Education / A. Luxton. – Higher Education Management Series, 2005. – Num.2 – 44 p.

78. Зайченко Т.П. Основы дистанционного обучения: теоретико-практический базис. Учебное пособие / Т.П. Зайченко. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2004. – 167 с.

79. Майоров А. Н. Теория и практика создания тестов для системы образования / Майоров А. Н. – Интеллект-центр, 2002. – 296 с.

80. Вербицкая Н. Мониторинг результативности ученого процесса / Вербицкая Н., Бодряков В. // Директор школы. –1997. – № 1. – С. 33-37.

81. Єльнікова Г. В. Освітній моніторинг в управлінні загальною середньою освітою / Г. В. Єльнікова // Управління національною освітою в умовах становлення і розвитку української державності: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – К.: МО України, АПН України, ДАККО, ІЗМН, 1998. – С. 83-86.

82. Веліканова О.Г. Використання даних моніторингу в загальноосвітньому навчальному закладі [Електронний ресурс] / О. Г. Веліканова // Педагогічний дискурс. – 2009. – Вип. 5. – С. 36-40. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/peddysk\\_2009\\_5\\_10.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/peddysk_2009_5_10.pdf)

83. Василенко Ю.М. Моніторинг якості дистанційної освіти: зарубіжний досвід [Електронний ресурс] / Ю. М. Василенко // Педагогічний дискурс. – 2009. – Вип. 5. – С. 32-36. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/peddysk\\_2009\\_5\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/peddysk_2009_5_9.pdf)

84. Мониторинг развития системы образования. Часть 1. Теоретические аспекты: Учебное пособие. / Боровкова Т. И., Морев И. А. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 2004. – 150 с.

85. Дульнева Е.В. Использование мониторинга в оценке качества образования / Дульнева Е.В., Позднякова И.Р. // Международный журнал экспериментального образования. – М.:РАЕ,2010. – № 4. – С. 24-27.

86. Коновальчик В.В. Девять основных моделей оценки эффективности обучения. [Електронний ресурс] / Коновальчик В.В. – 2014. – Режим доступу: <http://www.ubo.ru/articles/?cat=111&pub=965>

87. Zheng, G. Web Analytics Overview / Zheng, G. & Peltsverger S. // Encyclopedia of Information Science and Technology. – Third Edition. – IGI Global, Editors: Mehdi Khosrow-Pour, 2015. – 12 p.
88. Sterne J. Web metrics: Proven Methods for Measuring Web Site Success / Jim Sterne. – London: John Wiley & Sons, 2002. – 448 p.
89. Bradley N. Marketing Research: Tools and Techniques / Nigel Bradley. – Oxford University Press, Oxford, 2007. – 517 p.
90. Actionable Web Analytics: Using Data to Make Smart Business Decisions / Jason Burby and Shane Atchison. – Wiley Publishing Inc., 2007. – 288 p.
91. Davis J. A. Marketing Metrics: How to create Accountable Marketing plans that really work / John A. Davis. – John Wiley & Sons, 2006. – 440 p.
92. Google Analytics Website. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.google.com/analytics/>
93. Яндекс.Метрика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metrika.yandex.ru/>
94. Open Web Analytics Website. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.openwebanalytics.com/>
95. Home of the Webalizer. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.webalizer.org/>
96. Piwik Website. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://piwik.org/>
97. Clifton B. Advanced Web Metrics with Google Analytics / Brian Clifton. – 2nd edition. – Sybex, 2010. – 561 p.
98. Подходы к оценке качества курсов и программ дистанционного обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://dl.nw.ru/process/quality\\_dist\\_course/index.shtml](http://dl.nw.ru/process/quality_dist_course/index.shtml).
99. Кузнецова И.А. Оценка качества систем дистанционного обучения [Электронный ресурс]. / Кузнецова И.А. // Наукovedение. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru>.



100. Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.0 (RFC 1945). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tools.ietf.org>.
101. Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1 (RFC 2616). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tools.ietf.org>.
102. Standard for the format of ARPA Internet text (RFC 0822). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tools.ietf.org>.
103. Улучшения в версии Moodle 1.9 [Электронный ресурс] // Официальный сайт LMS Moodle. – 2011. – Режим доступа: [http://docs.moodle.org/en/Release\\_Notes#Moodle\\_1.9.1](http://docs.moodle.org/en/Release_Notes#Moodle_1.9.1)
104. SCORM 2004 Структура метаданных [Электронный ресурс] // Rustici Software. – 2009. – Режим доступа: <http://scorm.com/ru>.
105. DARPA researches [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.darpa.mil>.
106. Active Network Monitoring and Control: The SENCComm Architecture and Implementation / A. W. Jackson, J. P.G. Sterbenz, M. N. Condell and R. Rosales Hain // Proceedings of the DARPA Active Networks Conference and Exposition (DANCE'02). – IEEE, 2002. – P. 379 -393.
107. Panda: Middleware to Provide the Benefits of Active Networks to Legacy Applications / V. Ferreria, A. Rudenko, K. Eustice, R. Guy, V. Ramakrishna, and P. Reiher// Proceedings of the DARPA Active Networks Conference and Exposition (DANCE'02). – IEEE, 2002. – P. 319 -332.
108. Calvert K. L. Architectural Framework for Active Networks / Active Networks Working Group DRAFT, K. L. Calvert, ed. – University of Kentucky, 1998. – 16 p.
109. Smart Packets for Active Networks / B. Schwartz, A. Jackson, T. Strayer, W. Zhou, D. Rockwell, and C. Partridge // Proceedings of the IEEE Open Architectures and Network Programming (OPENARCH'99). – IEEE, 1999. – P. 90 -97.
110. The netfilter.org project Website. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.netfilter.org>.

111. Webinars of IIS OSTPC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://webinars.stu.cn.ua/index.php/uk/proekt-ihsitop-ua.html>
112. IPv6 protocol (RFC1883) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tools.ietf.org>.
113. Mohamed S. Performance Comparison of Packet Transmission over IPv6 Network on Different Platforms / S. Mohamed, M. Buhari, and H. Saleem // IEEE Proceedings Communications. – IEEE, 2006. – P. 425-433.
114. Performance-Comparison Testing of IPv4 and IPv6 Throughput and Latency on Key Cisco Router Platforms, Cisco Systems Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cisco.com>.
115. Configuring IPv4 and IPv6 Access Control Lists, Cisco Systems Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cisco.com>
116. Ns-3 Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nsnam.org/docs/tutorial/html/introduction.html#for-ns-2-users>

## ДОДАТКИ

Додаток А  
Акти впровадження

PRIFYSGOL  
**glyndwr**  
UNIVERSITY

Campws Plas Coch,  
Ffordd yr Wyddigrug,  
Wrecsam, Cymru.  
LL11 2AW

Plas Coch Campus,  
Mold Road,  
Wrexham, Wales.  
LL11 2AW

☎ +44(0)1978 290888  
☎ +44(0)1978 290008  
🌐 www.glyndwr.ac.uk

12<sup>th</sup> May 2015

Subject: M.V. Verovko Technical PhD thesis

This document is to provide confirmation of the introduction of the results reported in the thesis entitled "Information technology of distance learning monitoring based on network traffic data" in Glyndwr University.

The methods and software technologies for collection and analysis of data covering the interaction between students and distance learning system proposed in Mrs. M.V. Verovko's technical PhD thesis results is used in Glyndwr University to evaluate the distance learning process.

Usage of the methods described in the thesis has enabled an improvement to be obtained in the assessment of distance learning. This is obtained by considering additional characteristics of the learning process. To aid this, software technologies have been employed which collect and analyze data concerning the interaction between students using distance learning systems of distance learning dynamics.

Mrs. M.V. Verovko's work in her technical PhD thesis has resulted in the modernization of the assessment of on-line distance learning by considering these dynamic features of learning.



John N. Davies  
Postgraduate Programme Leader  
Computer Science  
j.n.davies@glyndwr.ac.uk

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І  
НАУКИ УКРАЇНИ



MINISTRY OF EDUCATION AND  
SCIENCE OF UKRAINE

ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

CHERNIHIV NATIONAL  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14027  
Україна

тел. +38(04622) 3-16-51;  
факс +38(04622) 3-42-44  
E-mail: [estu@stu.cn.ua](mailto:estu@stu.cn.ua)  
[www.stu.cn.ua](http://www.stu.cn.ua)  
Код ЄДРПОУ 05460798

95, Shevchenko str., Chernihiv, 14027,  
Ukraine

12.05.2015 № 101/10 - 1310

На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

### ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Верьовко М.В., представленої на здобуття  
наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.13.06 – «Інформаційні технології»

Результати дисертаційної роботи Верьовко М.В., що включають методи та програмні засоби для моніторингу дистанційного навчання в режимі онлайн по даним мережного трафіку використовуються на кафедрі інформаційних та комп'ютерних систем при викладанні дисциплін «Комп'ютерні мережі» та «Мережні інформаційні технології» при проведенні лекцій, лабораторних робіт та виконанні курсових проєктів.

Проректор з науково-педагогічної роботи  
та міжнародної діяльності  
Чернігівського національного  
технологічного університету  
к.т.н., доцент



Новомлинєць О.О.


### ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Верьовко Марії Вадимівни на тему «Інформаційна технологія моніторингу дистанційного навчання по даним мережного трафіку», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – «Інформаційні технології»

Верьовко Марія Вадимівна є провідним розробником підсистем сервісів web-застосувань (WAS) та сервісів комунікацій й захисту (SCS) інтегрованої інформаційної системи навчально-виробничого центру аутсорсингу (IIS OSTPC), створеної у рамках проекту Tempus «Інноваційна гібридна стратегія ІТ-аутсорсингового партнерства з підприємствами (Tempus IHSITOP)», № 530319-TEMPUS-1-2012-1-DE-TEMPUS-JPHES.

Підсистеми WAS та SCS IIS OSTPC мають за мету проведення навчання команд розробників за допомогою вебінарів і відеоконференцій у форматі "один-до-одного", "один-до-багатьох" та "багато-до-багатьох" з можливістю віддаленого контролю слухачів. Дані підсистеми забезпечують проведення навчання в режимі реального часу з використанням тестових запитань та відповідей конкретних слухачів.

Застосування в проекті IHSITOP методу моніторингу дистанційного навчання за даними мережного трафіку, розробленого в результаті дисертаційного дослідження Верьовко М.В., дозволило отримати динамічні характеристики процесу навчання в режимі онлайн та забезпечило підвищення якості оцінювання слухачів з урахуванням їх активності під час проведення занять.

Проректор з наукової роботи  
Харківського національного університету радіоелектроніки,  
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,  
доктор ф.-м. наук, професор  М.І. Сліпченко

Координатор проекту Tempus IHSITOP від України,  
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,  
професор кафедри програмної інженерії ХНУРЕ,  
к.т.н., доцент  Н.В. Білоус

## Додаток Б

### Розподілення значень затримок відповідно до часових інтервалів

Таблиця Б.1 — Розподілення значень затримок IPv4 мереж відповідно до заданих часових інтервалів

Частоти	IPv4	IPv4 + ABM	IPv4 + NAT	IPv4 + ACL	IPv4 + ABM + NAT	IPv4 + ABM + ACL
150	0	0	0	0	0	0
160	1	0	0	0	0	0
170	5	0	0	0	0	0
180	2	0	0	0	0	0
190	13	0	0	0	0	0
200	20	0	0	0	0	0
210	44	0	0	0	0	0
220	60	0	0	0	0	0
230	86	0	0	0	0	0
240	101	0	0	1	0	0
250	93	0	0	5	0	0
260	117	0	0	2	0	0
270	110	0	0	13	0	0
280	109	0	0	20	0	0
290	94	0	0	44	0	0
300	63	0	0	60	0	0
310	39	0	0	86	0	0
320	17	0	0	117	0	0
330	12	0	0	102	0	0
340	7	0	0	101	0	0
350	3	0	0	97	0	0
360	0	2	1	103	0	0
370	1	2	8	89	0	0
380	3	14	18	62	0	0
390	0	17	26	38	0	0
400	0	28	49	22	0	0
410	0	36	57	12	0	0
420	0	57	73	12	0	0
430	0	73	88	3	0	0
440	0	98	105	0	0	0
450	0	109	99	0	0	0
460	0	102	95	0	0	0
470	0	108	108	0	0	0
480	0	75	66	0	0	2
490	0	84	64	0	0	2
500	0	69	57	0	2	12
510	0	54	36	0	2	22

## Продовження таблиці Б.1

520	0	40	26	0	14	35
530	0	21	14	0	17	41
540	0	10	4	0	33	66
550	0	8	3	0	37	64
560	0	0	0	0	63	100
570	0	3	0	0	67	110
580	0	2	0	0	98	96
590	0	1	0	0	101	105
600	0	0	0	0	108	87
610	0	0	0	0	95	81
620	0	0	0	0	77	69
630	0	0	0	0	84	54
640	0	0	0	0	69	40
650	0	0	0	0	54	21
660	0	0	0	0	40	10
670	0	0	0	0	21	0
680	0	0	0	0	10	0
690	0	0	0	0	0	0
700	0	0	0	0	0	0

Таблиця Б.2 — Розподілення значень затримок IPv6 мереж відповідно до заданих часових інтервалів

Частоти	IPv6	IPv6+ABM	IPv6+ACL	IPv6+ABM+ACL
0	0	0	0	0
50	0	0	0	0
100	0	0	0	0
150	0	0	0	0
200	0	0	0	0
250	0	0	0	0
300	0	0	0	0
350	0	0	0	0
400	0	0	0	0
450	0	0	0	0
500	0	0	0	0
550	0	0	0	0
600	0	0	0	0
650	0	0	0	0
700	0	0	0	0
750	0	0	0	0
800	0	0	0	0
850	0	0	0	0
900	1	0	0	0
950	1	0	1	0
1000	1	0	0	0



## Продовження таблиці Б.2

1050	3	1	1	0
1100	4	1	1	0
1150	18	1	2	0
1200	184	2	4	1
1250	346	2	18	2
1300	182	12	206	0
1350	73	133	339	3
1400	29	349	176	5
1450	29	323	81	22
1500	22	80	23	191
1550	16	25	14	343
1600	15	15	11	175
1650	15	8	6	82
1700	11	6	4	24
1750	10	6	3	17
1800	6	3	7	11
1850	9	4	6	12
1900	2	5	4	8
1950	2	4	3	6
2000	3	3	5	4
2050	5	4	3	3
2100	2	3	2	4
2150	1	1	1	3
2200	0	2	0	1
2250	0	2	0	2
2300	0	1	0	2
2350	0	0	0	1
2400	0	0	0	0
2450	0	0	0	0
2500	0	0	0	0
2550	0	0	0	0

## Додаток В

### Розрахунок критерія згоди Пірсона для IPv4 мережі

Таблиця В.1 — Таблиця для розрахунку показників

$x_i$	К-сть, $f_i$	$x_i * f_i$	Накопичена частота, S	$ x - x_{cp}  * f$	$(x - x_{cp})^2 * f$	Частота, $f_i/n$
150	0	0	0	0	0	0
160	1	160	1	100.36	10072.13	0.001
170	5	850	6	451.8	40824.65	0.005
180	3	540	9	241.08	19373.19	0.003
190	14	2660	23	985.04	69307.41	0.014
200	20	4000	43	1207.2	72866.59	0.02
210	44	9240	87	2215.84	111589.7	0.044
220	60	13200	147	2421.6	97735.78	0.06
230	86	19780	233	2610.96	79268.75	0.086
240	101	24240	334	2056.36	41867.49	0.1
250	93	23250	427	963.48	9981.65	0.093
260	117	30420	544	42.12	15.16	0.12
270	110	29700	654	1060.4	10222.26	0.11
280	109	30520	763	2140.76	42044.53	0.11
290	94	27260	857	2786.16	82581.78	0.094
300	63	18900	920	2497.32	98993.76	0.063
310	39	12090	959	1935.96	96101.05	0.039
320	17	5440	976	1013.88	60467.8	0.017
330	12	3960	988	835.68	58196.76	0.012
340	7	2380	995	557.48	44397.71	0.007
350	4	1400	999	358.56	32141.32	0.004
360	0	0	999	0	0	0
370	1	370	1000	109.64	12020.93	0.001
Всього	1000	260360		26591.68	1090070.4	1

Для оцінки ряду розподілу були знайдені наступні показники:

#### 1) Показники центру розподілу

*А. Середня зважена*

$$\bar{x} = \frac{\sum x \cdot f}{\sum f}$$

$$\bar{x} = \frac{260360}{1000} = 260.36$$

*Б. Мода* - значення, що найбільш часто зустрічається серед одиниць даної сукупності.

Максимальне значення повторень при  $x = 260$  ( $f = 117$ ). Отже, мода дорівнює 260.

*В. Медіаною (Me)* називається значення ознаки, що припадає на середину ранжируваної (впорядкованої) сукупності. Знаходимо  $x_i$ , при якому накопичена частота  $S$  буде більше  $\sum f/2 = 501$ . Це значення  $x_i = 260$ . Таким чином, медіана дорівнює 260.

## 2) Показники варіації

*А. Абсолютні показники варіації.*

Розмах варіації - різниця між максимальним і мінімальним значеннями ознаки первинного ряду.

$$R = X_{max} - X_{min}$$

$$R = 370 - 150 = 220$$

*Б. Середнє лінійне відхилення* - обчислюють для того, щоб врахувати відмінності всіх одиниць досліджуваної сукупності.

$$d = \frac{\sum |x_i - \bar{x}| \cdot f}{\sum f}$$

$$d = \frac{26591.68}{1000} = 26.59$$

Кожне значення ряду відрізняється від іншого в середньому на 26.44

*В. Дисперсія* - характеризує міру розкидання близько її середнього значення (міра розсіювання, тобто відхилення від середнього).

$$D = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 f}{\sum f}$$

$$D = \frac{1090070.4}{1000} = 1090.07$$

*Г. Незміщена оцінка дисперсії* - спроможна оцінка дисперсії (виправлена дисперсія).

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 f}{\sum f - 1}$$

$$S^2 = \frac{1090070.4}{999} = 1091.16$$

*Д. Середнє квадратичне відхилення* (середня помилка вибірки).

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{1090.07} = 33.02$$

Кожне значення ряду відрізняється від середнього значення 260.36 в середньому на 33.02.

*Е. Оцінка середньоквадратичного відхилення.*

$$s = \sqrt{S^2} = \sqrt{1091.16} = 33.03$$

### 3) Перевірка гіпотези щодо виду розподілу

Була виконана перевірка гіпотези про те, що  $X$  розподілена по нормальному закону за допомогою критерію згоди Пірсона.

$$K = \sum \frac{(n_i - n^*_i)^2}{n^*_i}$$

де  $n^*_i$  – теоретичні частоти:  $n^*_i = \frac{n^*h}{\sigma} \varphi_i$

Обчислимо теоретичні частоти, враховуючи, що:

$n = 1000$ ,  $h=10$  (ширина інтервалу),  $\sigma = 33.02$ ,  $x_{cp} = 260.36$

$$n^*_i = \frac{1000 \cdot 10}{33.02} \varphi_i = 302.88 \varphi_i$$

Таблиця В.2 — Таблиця для розрахунку теоретичних частот

i	$x_i$	$u_i$	$\varphi_i$	$n^*_i$
1	150	-3.34	0,0015	0.45
2	160	-3.04	0,0039	1.18
3	170	-2.74	0,0093	2.82
4	180	-2.43	0,0203	6.15
5	190	-2.13	0,0404	12.24
6	200	-1.83	0,0748	22.66
7	210	-1.53	0,1238	37.5
8	220	-1.22	0,1872	56.7
9	230	-0.92	0,2613	79.14
10	240	-0.62	0,3292	99.71
11	250	-0.31	0,379	114.79
12	260	-0.0109	0,3989	120.82
13	270	0.29	0,3814	115.52
14	280	0.59	0,3332	100.92
15	290	0.9	0,2661	80.6
16	300	1.2	0,1919	58.12
17	310	1.5	0,1276	38.65
18	320	1.81	0,0775	23.47
19	330	2.11	0,0431	13.05
20	340	2.41	0,0213	6.45
21	350	2.72	0,0099	3
22	360	3.02	0,0042	1.27
23	370	3.32	0,0016	0.48

Порівняємо емпіричні і теоретичні частоти. Складемо розрахункову таблицю, з якої знайдемо спостережуване значення критерію:

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - n^*_i)^2}{n^*_i}$$

Таблиця В.3 — Розрахункова таблиця для визначення значення критерію

i	$n_i$	$n^*_i$	$n_i - n^*_i$	$(n_i - n^*_i)^2$	$(n_i - n^*_i)^2 / n^*_i$
1	0	0.45	0.45	0.21	0.45
2	1	1.18	0.18	0.0328	0.0278
3	5	2.82	-2.18	4.77	1.69
4	3	6.15	3.15	9.91	1.61
5	14	12.24	-1.76	3.11	0.25
6	20	22.66	2.66	7.05	0.31
7	44	37.5	-6.5	42.29	1.13
8	60	56.7	-3.3	10.89	0.19
9	86	79.14	-6.86	47.02	0.59
10	101	99.71	-1.29	1.67	0.0167
11	93	114.79	21.79	474.89	4.14
12	117	120.82	3.82	14.59	0.12
13	110	115.52	5.52	30.46	0.26
14	109	100.92	-8.08	65.28	0.65
15	94	80.6	-13.4	179.65	2.23
16	63	58.12	-4.88	23.79	0.41
17	39	38.65	-0.35	0.12	0.00321
18	17	23.47	6.47	41.9	1.79
19	12	13.05	1.05	1.11	0.0851
20	7	6.45	-0.55	0.3	0.0467
21	4	3	-1	1	0.33
22	0	1.27	1.27	1.62	1.27
23	1	0.48	-0.52	0.27	0.55
$\Sigma$	1000	1000			18.16

Визначимо границю критичної області. Так як статистика Пірсона вимірює різницю між емпіричним і теоретичним розподілами, то чим більше її спостережуване значення  $K_{набл}$ , тим сильніший аргумент проти основної гіпотези. Тому критична область для цієї статистики завжди правобічна:  $[K_{кр}; +\infty)$ . Її границю  $K_{кр} = \chi^2(k-r-1; \alpha)$  знаходимо по таблицям розподілення  $\chi^2$  та заданим значенням  $\sigma$ ,  $k = 23$ ,  $r=2$  (параметри  $x_{ср}$  і  $\sigma$  оцінені по виборці).

$K_{кр} (0.05; 20) = 31.41043$ ;  $K_{набл} = 18.16$ . Спостережуване значення критерію Пірсона не потрапляє в критичну область:  $K_{набл} < K_{кр}$ , тому немає підстав відкидати основну гіпотезу. Справедливо припущення про те, що дані вибірки мають **нормальний розподіл**.