

## АРХІТЕКТУРА СУЧАСНИХ СИСТЕМ МАСОВОГО ТЕСТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

*У статті розглянуто розв'язання задачі тестування абонентського телекомунікаційного обладнання, що використовується споживачами інтернет-послуг. Запропонований підхід до тестування базується на результатах аналізу структури пристроїв, що тестуються. Окрему увагу приділено забезпеченню можливості масового тестування за рахунок паралельного тестування декількох пристроїв.*

**Ключові слова:** телекомунікації, Інтернет, абонентське обладнання, тестування, паралельність.

### Вступ

Проникнення Інтернету в усі галузі людської діяльності є ознакою сучасності. Споживачів інтернет-послуг умовно можна розподілити на два сегменти – корпоративний та SOHO-сегмент. До першого належать користувачі в середніх та великих підприємствах, до другого – користувачі в малих офісах та домашні користувачі.

Для корпоративних користувачів характерною є наявність власної розвинутої мережевої інфраструктури, до якої, зокрема, входять кордонний вузол для з'єднання з провайдером та кампусна мережа, до якої під'єднуються всі кінцеві пристрої підприємства [2]. Мережа зазвичай є власністю підприємства й обслуговується власною групою адміністраторів.

Користувачі SOHO-сегменту використовують мережу найпростішої конфігурації, яка з'єднується з провайдером за допомогою пристрою CPE – недорогого пристрою, що поєднує в собі функції надання всіх основних інформаційних послуг користувачеві. До цих послуг входять доступ до Інтернету, IP-телефонія, IP-телебачення тощо.

Значно численніший SOHO-сегмент споживачів інтернет-послуг значною мірою визначає прибутковість бізнесу провайдерів. З огляду на те, що повна потенційна база SOHO користувачів у розвинутих країнах на сьогодні охоплена інтернет-послугами на 70–80 % [3], ресурс збільшення кількості SOHO підключень до провайдерів за рахунок нових користувачів практично вичерпаний. Нові підключення здебільшого здійснюються за рахунок користувачів, які змінюють провайдера. Має місце churn – процес міграції користувачів від провайдера до провайдера. Запобігти впливу своїх клієнтів провайдер може за рахунок підтримання високого QoE – рівня задоволення користувачів.

Ключовим фактором для забезпечення QoE є високий рівень якості послуг. Своєю чергою, якість послуг значною мірою залежить від роботоздатності та продуктивності пристроїв CPE, які використовують клієнти провайдера – абоненти. Поширеною практикою є надання абонентам пристроїв CPE самим провайдером. У цьому випадку існує можливість гарантувати використання моделей CPE, які найбільше відповідають технічним вимогам та найкраще узгоджені з системою керування мережею, яку використовує провайдер.

Вочевидь, провайдер має високу мотивацію для забезпечення абонентів гарантовано роботоздатним обладнанням, на яке встановлено програмне забезпечення (ПЗ) потрібної версії, виконано налаштування, що забезпечують роботу обладнання в мережі провайдера. Задля досягнення зазначеної мети та уникнення необхідності абонентам власноруч виконувати технічні дії з обладнанням провайдер бере ці дії на себе.

Для провайдерів створюються системи, які здатні автоматизовано тестувати роботоздатність пристроїв CPE, контролювати версії ПЗ, здійснювати налаштування конфігурацій пристроїв. Тестуванню на таких системах підлягає як нове обладнання, оскільки певний відсоток пристроїв має виробничі дефекти, так і обладнання, яке було у вжитку – те, що вийшло з ладу або має на це підозру, пристрої, повернуті абонентами, які припинили споживання послуг. З огляду на те, що кількість абонентів сучасного великого провайдера може становити сотні тисяч або навіть мільйони, обсяги тестування можуть становити десятки тисяч за місяць. З метою оптимізації власних бізнес-процесів провайдер може передати тестування пристроїв партнерським компаніям, для яких задача тестування є основною спеціалізацією [7]. Розгляду

архітектури сучасних систем масового тестування пристроїв CPE присвячено цю статтю.

### Класифікація обладнання CPE

Різновиди абонентського обладнання CPE для отримання інтернет-послуг передовсім визначаються технологіями побудови мережі доступу – сегменту транспортної мережі провайдера, до якого безпосередньо здійснюється під'єднання абонентського обладнання. Спільною рисою сучасних технологій доступу є висока швидкість передачі даних – від 1–2 Мбіт/с до 1 Гбіт/с, унаслідок чого вони отримали назву технологій широкосмугового доступу. До найпоширеніших на сьогодні технологій широкосмугового доступу належать:

- Digital Subscriber Line (DSL) – використання традиційної телефонної дводротової пари. За наявності численних різновидів DSL технологій нині найпоширенішими є технологія асиметричного DSL (ADSL) та надшвидкісного DSL (VDSL);
- Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) – використання для передачі даних мереж кабельного телебачення [1];
- Carrier Ethernet – використання для передачі даних технології локальних мереж Ethernet [5].

Протягом останнього десятиріччя серед абонентського обладнання CPE відрізнялися пристрої, які дозволяли під'єднати до мережі провайдера лише один пристрій (зазвичай

комп'ютер) – мости, та пристрої, через які можливо було під'єднання мережі з декількома пристроями – маршрутизатори. На сьогодні мости використовуються хіба що при підключеннях за технологією DOCSIS, причому їхня частка в загальній сукупності пристроїв CPE значно скоротилася і наближається до нуля. При підключеннях за технологіями DSL та Carrier Ethernet мости вже тривалий час не використовуються. З огляду на зазначене, класифікацію пристроїв CPE за ознакою моста чи маршрутизатора наразі слід вважати неактуальною.

Сучасні абонентські пристрої CPE здебільшого є багатофункціональним обладнанням, тобто, окрім маршрутизації (а також супутніх їй функцій, як-от сервер DHCP, трансляція мережових адрес NAT, захисний пакетний фільтр тощо), вони здатні виконувати такі додаткові функції:

- точка доступу для бездротової мережі;
- абонентський голосовий шлюз для IP-телефонії;
- інші функції на кшталт сервера друку, файлового сервера та ін.

Зазначені додаткові функції однаковою мірою притаманні пристроям CPE, які використовуються в абонентських підключеннях за допомогою всіх основних технологій доступу.

На основі проведеного аналізу можна скласти структурну схему узагальненого абонентського пристрою CPE (див. рис. 1).

Зауважимо, що іншими сервісними компонентами пристрою CPE можуть бути, наприклад, контролер зовнішніх запам'ятовуючих

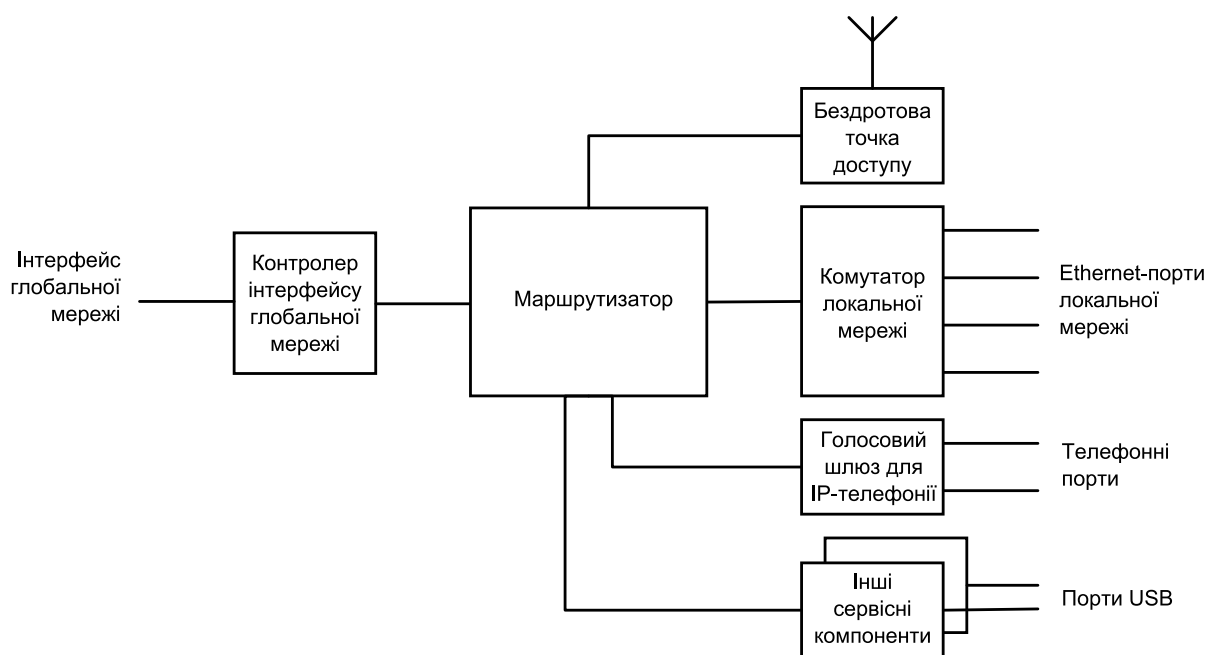


Рис. 1. Структурна схема узагальненого абонентського пристрою CPE

пристроїв, адаптер принтера, підключені через інтерфейс USB. Деякі компоненти (маршрутизатор, контролер інтерфейсу глобальної мережі) є обов'язковими, тоді як інші є опціональними і можуть бути відсутніми.

Важливою рисою пристроїв CPE є здатність автоматично налаштовуватися для функціонування в мережі провайдера. До неї відносяться, зокрема, отримання налаштувань для інтерфейсу глобальної мережі за протоколами DHCP або PPPoE. Після того, як IP-параметри для інтерфейсу глобальної мережі встановлено, пристрій здатен отримати додаткові налаштування від сервера автоматичного налаштування (ACS) за протоколом CWMP [8] або шляхом завантаження файлу конфігурації з сервера TFTP.

### Формулювання задачі тестування абонентського телекомунікаційного обладнання

Основною метою тестування абонентського обладнання CPE є визначення придатності конкретних пристроїв для передачі у використання

абонентом. Пристрої, які провайдер передає своїм абонентам, повинні реалізовувати в повному обсязі всю функціональність, закладену в конкретні моделі виробником, та мати задовільну продуктивність. Для пристроїв, які непридатні для передачі абонентам, необхідною є діагностика несправностей на тому рівні, який дозволяє скласти запит для їх ремонту силами виробника або сервісних центрів.

Загальну процедуру тестування пристрою можна сформулювати як перевірку робоздатності всіх його компонентів, тобто правильності виконання ними всіх функцій, а також вимірювання критичних параметрів функціонування компонентів. До таблиці зведено основні функції компонентів та можливий склад тестів, що становлять процедуру тестування типового абонентського пристрою CPE.

### Структура системи тестування

Для максимальної достовірності тестування пристрою CPE важливо забезпечити умови його функціонування, які максимально наближені до

Таблиця. Основні функції компонентів CPE та відповідні тести

№ з/п	Компоненти	Функції компонентів	Тести
1	Контролери інтерфейсів глобальної мережі	<ul style="list-style-type: none"> <li>Формування каналу зв'язку з обладнанням провайдера на фізичному та каналному рівнях</li> <li>Отримання налаштувань для інтерфейсів (зокрема, за протоколом DHCP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Перевірка робоздатності каналу зв'язку</li> <li>Вимірювання фізичних параметрів каналу зв'язку</li> <li>Вимірювання продуктивності каналу зв'язку</li> </ul>
2	Маршрутизатор	<ul style="list-style-type: none"> <li>Передача пакетів між інтерфейсами</li> <li>Сервер DHCP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Перевірка робоздатності маршрутизації пакетів між інтерфейсами</li> <li>Вимірювання продуктивності маршрутизатора</li> <li>Обслуговування за протоколом DHCP пристроїв, під'єднаних до Ethernet-портів локальної мережі та бездротової точки доступу</li> </ul>
3	Бездротова точка доступу	<ul style="list-style-type: none"> <li>Формування зв'язку з бездротовими пристроями-клієнтами згідно зі стандартами сімейства IEEE 802.11</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Перевірка робоздатності бездротового зв'язку</li> <li>Вимірювання фізичних параметрів бездротового зв'язку</li> <li>Вимірювання продуктивності бездротового зв'язку</li> </ul>
4	Комутатор локальної мережі	<ul style="list-style-type: none"> <li>Формування каналів зв'язку з пакетів між інтерфейсами</li> <li>Сервер DHCP з абонентськими пристроями</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Перевірка робоздатності каналів зв'язку</li> </ul>
5	Голосовий шлюз для IP-телефонії	<ul style="list-style-type: none"> <li>Формування сигналів у портах підключення телефонних апаратів</li> <li>Передача телефонних викликів між телефонними апаратами та телефонним комутатором провайдера</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Перевірка робоздатності зв'язку з телефонними апаратами</li> <li>Перевірка передачі вхідних викликів від телефонного комутатора провайдера до телефонних апаратів</li> <li>Перевірка передачі вихідних викликів від телефонних апаратів у бік телефонного комутатора провайдера</li> <li>Перевірка передачі цифрових тональних даних (DTMF)</li> <li>Вимірювання якості телефонного голосового зв'язку</li> </ul>
6	Інші сервісні компоненти	<ul style="list-style-type: none"> <li>Адаптер потокового відео IPTV</li> <li>Контролер запам'ятовуючих пристроїв</li> <li>Контролер принтера</li> <li>Інші</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Перевірки робоздатності пристроїв відповідно до їх функціональності</li> </ul>

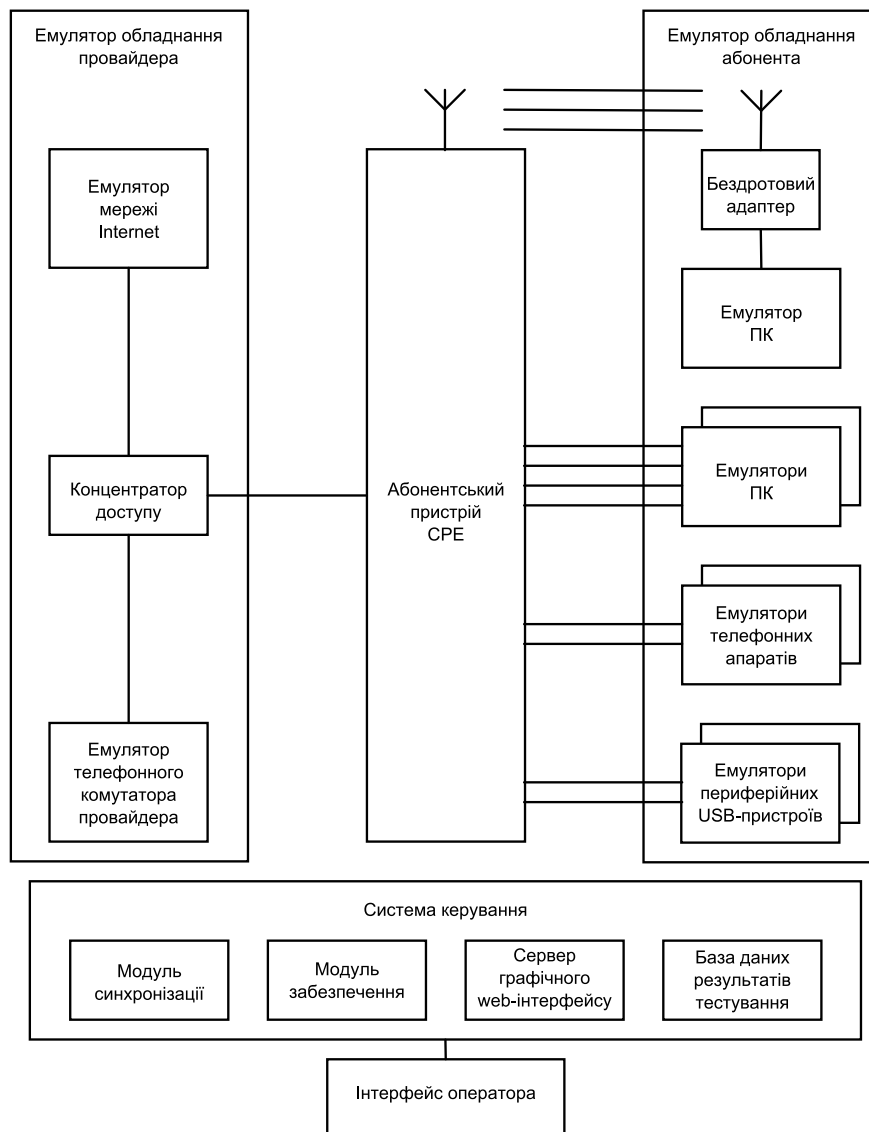


Рис. 2. Узагальнена структура системи тестування абонентських пристроїв CPE

умов його використання в абонента. Оскільки пристрій CPE є посередником між обладнанням провайдера та кінцевими пристроями абонента, система тестування повинна містити в собі вузли, які достовірно емулюють зовнішнє середовище для пристрою CPE. Узагальнену структуру системи тестування наведено на рис. 2.

Концентратор доступу, який входить до складу емулятора обладнання провайдера, є компонентом, до якого безпосередньо під'єднується інтерфейс глобальної мережі абонентського пристрою CPE. У разі тестування xDSL пристроїв це DSL концентратор – DSLAM, для DOCSIS пристроїв – CMTS, для Carrier Ethernet – Ethernet-комутатор.

Емулятор мережі Internet являє собою тестові інформаційні ресурси або застосування, до яких мають змогу звертатися абонентські кінцеві

пристрої. Емулятор телефонного комутатора провайдера реалізує надсилання тестових телефонних викликів за технологією IP-телефонії до абонентських телефонних апаратів та прийняття викликів від них. Обидва компоненти – емулятор мережі Internet та емулятор телефонного комутатора провайдера – мають програмну реалізацію та не потребують спеціального апаратного обладнання.

Емулятори персональних комп'ютерів (ПК), які входять до емулятора обладнання абонента, імітують кінцеві пристрої, за допомогою яких абонент здійснює доступ до ресурсів мережі Internet, – звичайні персональні комп'ютери, планшети, смартфони тощо. Для тестування бездротового з'єднання з пристроєм CPE до одного з емуляторів ПК під'єднано бездротовий адаптер.

Для вимірювання параметрів взаємодії абонентських кінцевих пристроїв з ресурсами Internet (наприклад, швидкість передачі даних, рівень втрати пакетів тощо) на емуляторах ПК та емуляторі мережі Internet доречним є використання спеціалізованого програмного забезпечення. Прикладом спеціалізованого програмного забезпечення для вимірювання швидкості передачі даних та рівня втрати пакетів є програма *iperf* [4].

До складу емуляторів телефонних апаратів надходять апаратні голосові шлюзи з інтерфейсами типу FXO, які під'єднуються до телефонних портів типу FXS абонентського пристрою CPE. Як емулятори периферійних USB-пристроїв можуть використовуватися апаратні пристрої пам'яті або контролери.

Узгоджене функціонування всіх компонентів під час тестування абонентського пристрою CPE здійснює модуль синхронізації у складі системи керування.

Для здійснення тестування абонентського пристрою CPE після під'єднання до системи тестування цей пристрій має бути відповідним чином налаштований. До налаштувань відносяться завантаження до абонентського пристрою CPE вбудованого програмного забезпечення потрібної версії – прошивки, та початкове налаштування пристрою. Для виконання зазначених задач до системи керування входить модуль забезпечення, що виконує, зокрема, такі функції:

- сервери налаштування інтерфейсу глобальної мережі пристрою CPE – DHCP, PPPoE;
- сервер автоматичного налаштування ACS;
- файловий сервер TFTP, на якому зберігаються файли прошивок та конфігураційні файли;
- сервери мережеских послуг, необхідних для функціонування пристрою CPE – DNS, NTP.

Зв'язок системи тестування з оператором, сприйняття його інструкцій та відображення інформації щодо функціонування системи, зокрема результатів тестування, здійснюються через інтерфейс оператора. Оптимальною реалізацією інтерфейсу оператора є графічний web-інтерфейс, доступ до якого можливий з будь-яких пристроїв, здатних до запуску програми web-переглядача – наприклад, персональних комп'ютерів або планшетів. Сервер графічного web-інтерфейсу користувача є компонентом системи керування.

В умовах тривалого використання системи для тестування великої кількості абонентських

пристроїв CPE важливим є детальне документування результатів тестування, яке надає можливість доступу до історії тестів та побудови аналітичних звітів. Для збереження даних та їх обробки до системи керування надходить база даних (БД) результатів тестування.

### **Масове тестування абонентських пристроїв CPE**

Структура системи тестування, яку наведено на рис. 2, забезпечує тестування одного абонентського пристрою CPE. Утім, для масового тестування пристроїв цього недостатньо. Послідовне тестування пристроїв CPE поодиночі в такій системі потребує занадто багато часу, а одночасне використання декількох систем тестування, кожна з яких виконує тестування одного пристрою CPE, вимагає використання надмірної кількості апаратних ресурсів.

На рис. 3 наведено структуру системи тестування, яка забезпечує паралельне тестування декількох пристроїв CPE.

Для паралельного тестування пристроїв CPE використовується спільний емулятор обладнання провайдера, в той час як емулятор обладнання абонента для кожного пристрою має бути окремим. Це пов'язано, зокрема, з необхідністю використання індивідуальних налаштувань протоколу IP – адреси та маршруту за замовчуванням. Вочевидь, використання окремого комп'ютера для кожного емулятора ПК не має сенсу, оскільки призведе до надмірної кількості обладнання. Оптимальною є реалізація емуляторів ПК у вигляді віртуальних машин, створених на сервері з належними технічними параметрами.

Емулятори телефонних апаратів можуть бути реалізовані за допомогою багатопротокових голосових шлюзів, кожен з яких використовується для тестування декількох пристроїв CPE. Наприклад, 24-протоковий голосовий шлюз [6] може бути застосовано для паралельного тестування 12 пристроїв CPE, кожен з яких має 2 телефонні порти.

Використання окремого бездротового адаптера для паралельного тестування пристроїв CPE може потребувати спеціальних заходів для протидії завадам, які виникатимуть унаслідок функціонування великої кількості бездротових пристроїв, розташованих в обмеженому просторі. Зниження рівня завад може бути здійснено шляхом запровадження розкладу проведення бездротових тестів, за якого в кожен проміжок часу тестується лише частина під'єднаних

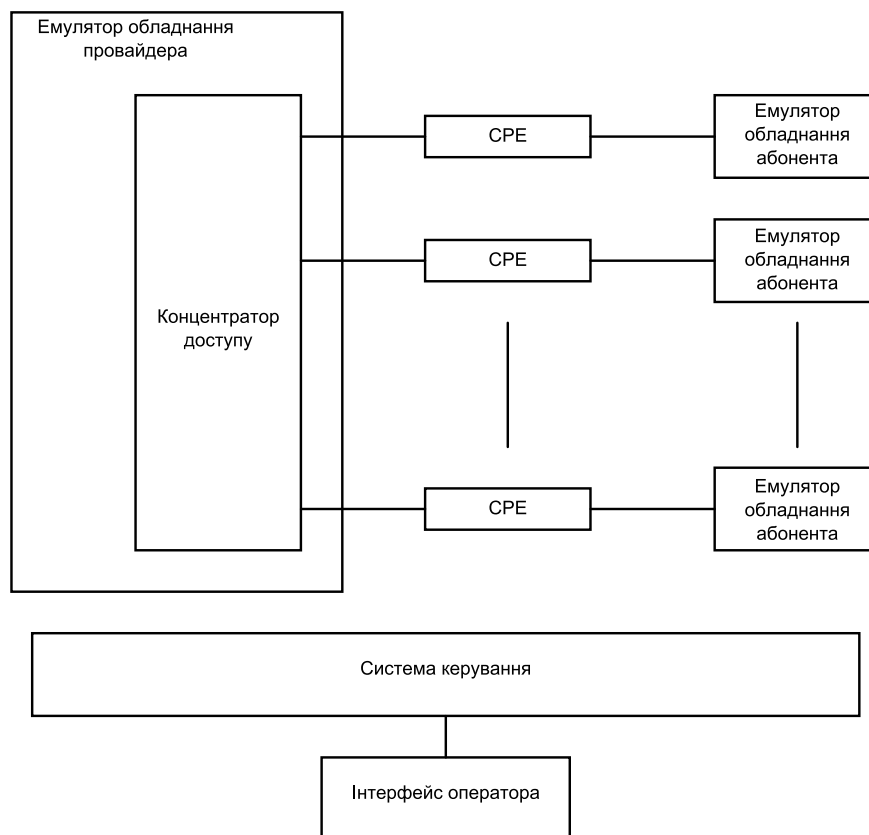


Рис. 3. Структура системи паралельного тестування абонентських пристроїв CPE

до системи пристроїв CPE, а в інших бездротові точки доступу деактивовано.

Як емулятори периферійних пристроїв USB у найпростішому випадку можливе використання флеш-накопичувачів з тестовою інформацією. Тестування полягатиме у випробуванні доступу до цієї інформації з емуляторів ПК.

### Висновки

Обґрунтовано актуальність використання систем масового тестування абонентських пристроїв CPE – найбільш масового типу телекомунікаційного обладнання. Надано класифікацію пристроїв CPE за підтримуваною

технологією широкосмугового доступу. Складено структурну схему узагальненого абонентського пристрою CPE, охарактеризовано її компоненти.

Сформульовано задачу тестування абонентського телекомунікаційного обладнання. Визначено загальну процедуру тестування як добірку тестів усіх компонентів пристрою CPE.

Запропоновано структуру узагальненої системи тестування окремого пристрою CPE, на її прикладі визначено всі базові компоненти.

Наведено розвинуту структуру системи тестування, здатної здійснювати паралельне тестування декількох абонентських пристроїв CPE. Зазначено аспекти її практичної реалізації.

### Використані скорочення

ACS	– Auto Configuration Server, сервер автоконфігурації для керування пристроями CPE з боку провайдера	CWMP	– CPE WAN Management Protocol, протокол для керування пристроями CPE з боку провайдера
ADSL	– Asymmetrical Digital Subscriber Line, технологія передачі даних по телефонній дротовій парі з різними (асиметричними) швидкостями в напрямку до провайдера і до абонента	DHCP	– Dynamic Host Configuration Protocol, протокол для автоматичного налаштування параметрів IP
CMTS	– Cable Modem Termination System, концентратор доступу для під'єднання кабельних модемів та маршрутизаторів до мережі провайдера	DOCSIS	– Data Over Cable Service Interface Specification, технологія передачі даних по мережах кабельного телебачення
CPE	– Customer Premises Equipment, обладнання абонента, використовуване для з'єднання з мережею провайдера	DNS	– Domain Name System, доменна служба імен, використовується для зберігання взаємної відповідності IP-адрес та імен, іншої інформації
		DSL	– Digital Subscriber Line, загальна назва сімейства технологій передачі даних по телефонній дротовій

	парі; для всієї сукупності DSL технологій використовують позначення xDSL	PPPoE	– Point-to-Point Protocol (PPP) over Ethernet, протокол для передачі IP-пакетів через мережу Ethernet, часто використовуваний провайдерами DSL
DSLAM	– DSL Access Multiplexer, концентратор доступу для під'єднання DSL модемів та маршрутизаторів до мережі провайдера	QoE	– Quality of Experience, рівень задоволення абонентів
DTMF	– Dual-Tone Multi-Frequency, технологія передачі цифрових даних через голосовий телефонний канал	SOHO	– Small Office/Home Office, малий або домашній офіс – тип абонентів, які займають проміжне місце між індивідуальними та корпоративними абонентами
FXO	– Foreign Exchange Office, інтерфейс для абонентського телефонного підключення з боку абонента	TFTP	– Trivial File Transfer Protocol, спрощений протокол передачі файлів, часто використовуваний для завантаження в пристрої файлів прошивок і конфігурації
FXS	– Foreign Exchange Service, інтерфейс для абонентського телефонного підключення з боку телефонного оператора	VDSL	– Very-high data rate Digital Subscriber Line, технологія передачі даних по телефонній дротовій парі з високою швидкістю (в порівнянні з іншими xDSL технологіями)
LAN	– Local Area Network, локальна комп'ютерна мережа	WAN	– World Area Network, глобальна мережа, термін позначає з'єднання між віддаленими локальними мережами, зокрема, під'єднання абонентського обладнання до мережі провайдера
NAT	– Network Address Translation, мережева трансляція адрес, яка дозволяє низці пристроїв взаємодіяти з ресурсами Інтернету, використовуючи спільну IP-адресу		
NTP	– Network Time Protocol, протокол синхронізації часу		

#### Список літератури

1. Cable Labs. Specifications Library. DOCSIS [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.cablelabs.com/specs/#tabs-695>. – Title from the screen.
2. Designing Cisco Network Service Architectures (ARCH). Foundation Learning Guide. Third Edition/John Tiso/Cisco Press, 800 East 96th Street, Indianapolis, IN 46240 USA.
3. Internet Usage Statistics. World Internet Users and 2015 Population Stats [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>. – Title from the screen.
4. iPerf – The Network Bandwidth Measurement Tool [Electronic resource]. – Mode of access: <https://iperf.fr/>. – Title from the screen.
5. Metro Ethernet Forum. Carrier Ethernet Services [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.mef.net/carrier-ethernet/carrier-ethernet-services>. – Title from the screen.
6. Sonus. Tenor Series AX [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.sonus.net/en/products/session-border-controllers/sonus-tenor-series-ax/tech-specs>. – Title from the screen.
7. Teleplan. Innovative Services. Screening and Testing [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.teleplan.com/innovative-services/screening-testing/>. – Title from the screen.
8. Tips and Tutorials on CWMP and TR-069 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.axiros.com/knowledge-base/>. – Title from the screen.

*D. Cherkasov, A. Shtikhlaytner, A. Podarevsky*

## ARCHITECTURE OF MODERN SYSTEMS FOR MASSIVE TESTING OF TELECOM EQUIPMENT

*Overview of implementing Internet-customers telecom equipment testing. Suggested approach is based on the results of tested devices structure analysis. Special attention is brought to possibility of massive testing of equipment due to parallel testing of devices.*

**Keywords:** telecommunications, Internet, subscriber equipment, testing, parallelism.

*Матеріал надійшов 20.09.2015*