

РОЗДІЛ II. ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

УДК 004.7

DOI <https://doi.org/10.26661/2786-6254-2023-1-04>

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ, ОБЛІКУ ТА ДОСТУПУ ДО МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ АБОНЕНТІВ ОПЕРАТОРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кірей К. О.

кандидат педагогічних наук, доцент,

доцент кафедри інженерії програмного забезпечення

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

вул. 68 Десантників, 10, Миколаїв, Україна

orcid.org/0000-0002-9338-2380

kirey.kea@gmail.com

Ключові слова:

*автоматизована система
розрахунків, мережа,
Інтернет, RADIUS, Point-to-
Point Protocol over Ethernet,
доступ до мережі Інтернет,
оператор електронних
комунікацій.*

У статті розглядається один з напрямів організації доступу та тарифікації абонентів оператора телекомунікацій з урахуванням сучасних вимог та розвитку мережевих технологій. В Україні організацією доступу абонентів до мережі Інтернет займаються оператори електронних телекомунікацій (оператори). Організація доступу інтегрує у собі процеси авторизації, автентифікації та тарифікації абонентів і має задовольняти певним технічним, користувацьким та законодавчим вимогам. З огляду на те, що ці вимоги можуть змінюватися організація доступу є актуальним завданням. Метою дослідження є поліпшення організації доступу до мережі Інтернет абонентів оператора телекомунікацій з урахування сучасних вимог та розвитку мережевих технологій. На основі аналізу технологій організації доступу абонентів до мережі Інтернет було виокремлено технології, що дають змогу організувати такий доступ у контексті сучасних вимог. На основі аналізу предметної галузі, відповідних технологій та дослідження наявних автоматизованих систем розрахунків (АСР) сформовані вимоги щодо програмної системи контролю, обліку та доступу до мережі Інтернет абонентів оператора телекомунікацій. Емпіричним шляхом виконано тестування та дослідження працездатності АСР. Наукова новизна полягає у розробленні вдосконаленого алгоритму тарифікації пакетів абонентів оператора телекомунікацій та додаткових можливостей щодо керування доступом абонентів до мережі Інтернет. Практична значимість розробленої системи полягає у наявності необхідного функціоналу для організації доступу та тарифікації абонентів оператора телекомунікацій з урахуванням сучасних вимог та розвитку мережевих технологій.

IMPROVEMENT OF THE BILLING SYSTEM FOR A TELECOMMUNICATION OPERATOR

Kirei K. O.

*Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Software Engineering
Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv
68 Desantnykiv str., 10, Mykolaiv, Ukraine
orcid.org/0000-0002-9338-2380
kirey.kea@gmail.com*

Key words: *Billing System,
Network, Internet, RADIUS,
Point-to-Point Protocol over
Ethernet, Internet Access,
Operators of Electronic
Communications.*

The article considers one of the directions of charging, accounting, and billing mechanisms of a telecommunications operator, taking into account modern requirements and the development of network technologies. Electronic telecommunications operators (operators) is an organization that provides services for accessing, using, managing in the Internet in Ukraine. Internet access integrates the processes of authorization, authentication and billing of subscribers and must meet certain technical, user and legal requirements. Given that these requirements may change, the organization of access is an actual task. Purpose of research is to improve the Internet access for subscribers of a telecommunications operator, taking into account modern requirements and the development of network technologies. Based on the analysis of technologies for organizing user Internet access technologies that allow organizing Internet access in the context of modern requirements were identified. Based on the analysis of the subject area, relevant technologies and research of existing billing systems, requirements for a software system for monitoring, accounting and Internet access of telecommunications operator subscribers are formed. Empirically, testing and research of the operability of the billing system was performed. The practical significance of the developed system lies in the availability of the necessary functionality for organizing access and billing of subscribers of a telecommunications operator, taking into account modern requirements and the development of network technologies. Scientific novelty consists in the development of an improved algorithm for charging packages of telecommunications operator subscribers and additional features for controlling Internet access. The practical significance of the developed system lies in the availability of the necessary functionality for charging, accounting, and billing mechanisms of a telecommunications operator, taking into account modern requirements and the development of network technologies.

Вступ. Одним із покликань людства є комунікація. Про це свідчить розвиток засобів комунікації впродовж усієї історії людства від появи писемності й до сучасних технічних засобів, таких як смартфони, комп'ютери тощо. Значний стрибок у цьому процесі був зумовлений появою і розвитком мережі Інтернет. Нині можна стверджувати, що мережа Інтернет є потужним джерелом інформації. Отже, все більше й більше людей прагнуть отримати доступ до мережі, а ще більша частина людства вже не уявляє свого існування без мережі. В Україні діяльність у сфері телекомунікацій регламентується Законом України «Про електронні комунікації» [1] та низкою нормативних актів. Організацією доступу абонентів до мережі Інтер-

нет займаються оператори електронних телекомунікацій (оператори). Зокрема, до їхніх обов'язків входить організація доступу абонентів до мережі Інтернет. Організація доступу інтегрує у собі процеси авторизації, автентифікації та тарифікації абонентів і має задовольняти певним технічним, користувацьким та законодавчим вимогам. З огляду на те, що ці вимоги можуть змінюватися організація доступу є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемами організації доступу наука активно переймається з кінця 1980-х років. Формування глобальної мережі відбувалося поступово, проходячи певні етапи, пов'язані з розвитком тих чи інших технологій [2]. За цей період доступ до

мережі Інтернет стандартизовано, що знайшло відображення у розробці чисельних протоколів та стандартів зв'язку [3; 4; 5; 6; 7; 8; 9] та ін., наукової та технічної літератури [10; 11; 12] та ін., досліджень керування доступом [13; 14; 15] та ін. Протоколи, що відповідають за це, містяться на другому рівні семирівневої моделі OSI – каналному. Прикладами стандартів та протоколів каналу передачі даних є Ethernet, двоточковий протокол PPP, HDLC і ADCCP. У пакеті інтернет-протоколів TCP/IP функціональність каналного рівня міститься в каналному рівні, найнижчому рівні описової моделі, який вважається незалежним від фізичної інфраструктури.

Ethernet – сімейство дротових комп'ютерних мережевих технологій, які зазвичай використовуються в локальних обчислювальних мережах (LAN), міських мережах (MAN) і глобальних мережах (WAN) [3]. Стандарт Ethernet було комерційно представлено в 1980 році і вперше стандартизовано в 1983 році, відомий під назвою IEEE 802.3. Відтоді Ethernet було вдосконалено щодо підтримки більш високих швидкостей передачі даних, більшої кількості вузлів і більш довгих відстаней з'єднання, проте збережено велику зворотну сумісність. Із часом Ethernet значною мірою замінив конкуруючі технології дротової локальної мережі, такі як Token Ring, FDDI і ARCNET. Станом на 2016 рік приблизно 85% усіх комп'ютерів у світі були підключені до комп'ютерних мереж за технологіями Ethernet. Часто використовуваним протоколом для підключення за стандартом Ethernet є різновид протоколу PPP – PPPoE.

Протокол PPPoE – це мережевий протокол для інкапсуляції кадрів протоколу PPP усередині кадрів Ethernet [5]. PPPoE розроблено UUNET, Redback Networks і RouterWare та описано в RFC 2516 [6]. У стандарті, зокрема, зазначено та обґрунтовано функціональні можливості цього протоколу. Автори стандарту RFC 2516 звертають увагу на те, що вимоги до сучасних технологій доступу деякою мірою суперечливі. Бажано підключити безліч хостів віддаленого сайту через один пристрій доступу, що розташовується на цьому сайті. Бажано також забезпечити контроль доступу і функціональність, подібні наданням послуг через комутовані канали на базі PPP. Здебільшого економічно найефективнішим є метод підключення багатьох хостів до одного пристрою доступу на стороні абонента через мережу Ethernet. Вельми бажано також забезпечити невисоку ціну для пристрою доступу, вкупі з простотою налаштування або можливістю обійтися взагалі без налаштування конфігурації цього пристрою.

Сеанс зв'язку має забезпечувати процеси авторизації, автентифікації та обліку (Authorization, Authentication and Accounting, AAA). Зокрема, для

цього розроблено мережевий протокол RADIUS [7]. Цей протокол описано у стандартах RFC 2865 і RFC 2866 [8; 9]. Концепція RADIUS networking народилася на початку 90-х років. Некомерційна організація Merit Network, що надає якісні мережеві послуги освітнім, державним медичним установам, запросила рішення, яке скоротило б їхні системи автентифікації, авторизації та обліку. У відповідь компанія Livingston Enterprises розробила першу версію служби віддаленої автентифікації для користувачів [16]. Спочатку RADIUS був тільки протоколом AAA для користувачів із комутованим доступом. Пізніше, з розвитком методів доступу користувачів, RADIUS було адаптовано до інших методів доступу, таких як доступ через Ethernet. Він надає доступ за автентифікації та авторизації, а також збирає і записує дані використання мережевих ресурсів користувачами для стягування плати. Отже, RADIUS набув широке застосування в різних галузях промисловості. Зокрема, цей протокол застосовується операторами для системи тарифікації використаних ресурсів конкретним користувачем/абонентом.

Метою дослідження є поліпшення організації доступу в Інтернет абонентів оператора телекомунікацій з урахуванням сучасних вимог та розвитку мережевих технологій.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Для досягнення мети на основі аналізу технологій організації доступу користувачів до мережі Інтернет було виокремлено технології, що дають змогу організувати доступ абонентів до мережі Інтернет у контексті сучасних вимог. На основі аналізу предметної галузі, відповідних технологій та дослідження наявних автоматизованих систем розрахунків (АСР) сформовані вимоги щодо програмної системи контролю, обліку та доступу до мережі Інтернет абонентів оператора телекомунікацій. Емпіричним шляхом виконано тестування та дослідження працездатності АСР.

Об'єктом дослідження є методи контролю, обліку та доступу до мережі Інтернет абонентів оператора телекомунікацій.

Предметом дослідження є організація контролю, обліку та доступу до мережі Інтернет абонентів оператора телекомунікацій із використанням PPPoE-з'єднання та RADIUS протоколу.

Основний матеріал. Як вже було зазначено, в Україні діяльність у сфері телекомунікацій регламентується Законом України «Про електронні комунікації». Організацією доступу абонентів до мережі Інтернет займаються оператори електронних телекомунікацій (оператори). Згідно із цим законом оператор електронних комунікацій (оператор) – це суб'єкт господарювання, який володіє, здійснює експлуатацію та управління електронними комунікаційними мережами та/або пов'я-

заними засобами. Законом України «Про електронні комунікації» також визначено, що:

– послуга доступу до мережі Інтернет – це електронна комунікаційна послуга, що забезпечує доступ до мережі Інтернет і можливість логічного з'єднання з кінцевими точками мережі Інтернет незалежно від технології, що застосовується в електронній комунікаційній мережі, і кінцевого (термінального) обладнання, що використовується;

– доступ – це надання відповідно до цього Закону права та можливості доступу до електронних комунікаційних мереж, інфраструктури, засобів та/або послуг іншим постачальникам електронних комунікаційних мереж та/або послуг з метою надання ними електронних комунікаційних мереж та/або послуг, у тому числі для розповсюдження програм телерадіомовлення [1].

Аналіз технологій організації доступу користувачів до мережі Інтернет дав можливість виокремити технології, що дають змогу організувати доступ абонентів в Інтернет у контексті сучасних вимог: Ethernet, PPPoE, RADIUS.

Для тарифікації послуг, що надаються оператором електронних комунікацій, необхідно мати спеціалізовану АСР (Billing). АСР (білінг, billing) у деяких видах бізнесу, зокрема, в телекомунікаціях – автоматизована система обліку наданих послуг, їхньої тарифікації і виставлення рахунків для оплати. У сфері телекомунікацій білінг офіційно іменується «Автоматизована Система Розрахунків» [17]. Також білінгом називають системи обліку й оплати інтернет-трафіку та супутніх послуг (сервісів). Такі системи часто суміщені з технічними засобами, що автоматично обмежують доступ до послуг у разі нульового балансу рахунку і дають можливість надати деталізацію витрачених коштів.

Функції АСР сфери телекомунікацій групуються у два основні блоки: розрахункові операції та інформаційне обслуговування. Розрахункові операції поділяють на два різновиди: передплата (Prepaid) та післяплата (Postpaid). Інформаційне обслуговування включає функції підтримки операційної інформації про абонентів, про продукти й послуги, включно з їхніми тарифами, обмеженнями, можливими комбінаціями, а також конфігураційних даних про АСР загалом.

На ринку телекомунікацій є пропозиції щодо готових АСР інтернет-абонентів оператора телекомунікацій. Найбільш цікавими з них є: ABills (Advanced Billing Solutions), NoDeny, Stargazer, ETBill. Їхній детальний аналіз дав можливість виявити поряд із перевагами та вдалим рішеннями ще і слабкі сторони. Зокрема, всі розглядані системи мали брак такого важливого функціоналу щодо адміністрування мережі оператора та

швидкого пошуку локалізації проблеми, як моніторинг усіх активних сесій клієнтів.

Отже, на основі аналізу предметної галузі, відповідних технологій та дослідження наявних АСР сформовані вимоги щодо програмної системи контролю, обліку та доступу до мережі Інтернет абонентів оператора телекомунікацій, що є описом функціональних вимог та функцій розроблюваної АСР. Для наочного розуміння цього наведено діаграми варіантів використання, діяльності та розгортання.

На рис. 1 наведено діаграму варіантів використання для розроблюваної АСР.

Адміністратор системи може виконувати всі зазначені дії, крім оплати готівкою, картою передплати та банківським платежем. Ці дії виконує абонент із допомогою своєї готівки або своєї банківської карти. Менеджер може виконувати тільки частину дій адміністратора, а саме формування карток абонентів та примусове відключення активної сесії абонента. Тобто в разі підключення до мережі оператора нового абонента менеджер створює запис у БД із відповідними даними про абонента та в процесі роботи може змінювати за зверненням абонента певні значення (тарифний план, особисті дані). Також менеджеру доступна функція примусового відключення активної сесії абонента, що необхідно для примусового перепідключення обладнання абонента у разі активації певних змін у налаштуваннях картки абонента.

Абонент має функцію перегляду своєї особистої картки абонента, тобто кабінету користувача, у якому він може дивитися статистику своїх сесій, платежів, а також виконати оплату послуги всіма зазначеними способами.

На рис. 2 наведено діаграму взаємодії клієнта з АСР. Процес загалом можна розділити на три складники: авторизацію, автентифікацію та облік. Авторизація – це валідація тільки логіну та паролю. Цей процес використовує мінімальний обсяг обчислювальних ресурсів. Далі виконується автентифікація, за результатами якої створюється PPPoE-з'єднання згідно з налаштуваннями АСР (швидкість доступу, обмеження доступу тощо). Після цього з'єднання підтримується та керується функцією обліку.

Для отримання доступу до мережі Інтернет абоненту необхідно налаштувати своє обладнання на PPPoE-авторизацію. У процесі авторизації буде виконана низка правил згідно з налаштуваннями RADIUS-сервера. Однак не всі наявні налаштування RADIUS-сервера задовольняють вимогам оператора. Особливістю роботи інтернет-оператора, для якого призначена ця АСР, є надання послуги за публічним договором приєднання. Угода за цим договором виконується в електронному вигляді на спеціально створеній вебсторінці.

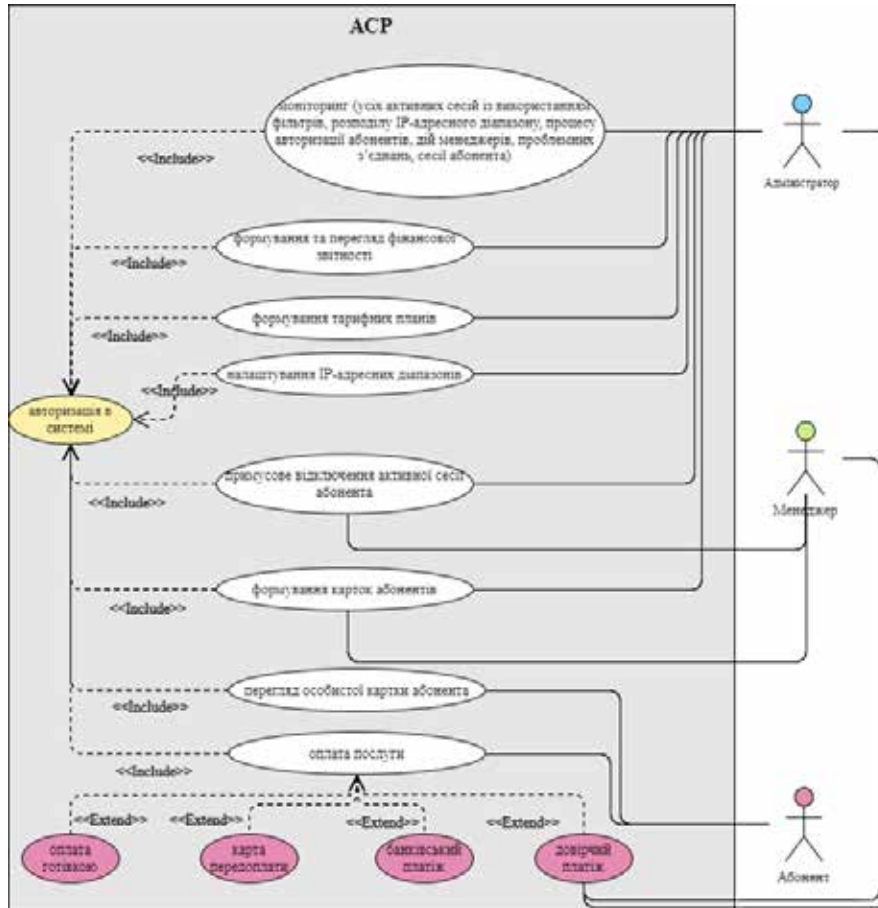


Рис. 1. Діаграма варіантів використання розроблюваної АСР

Діаграму розгортання розроблюваної АСР наведено на рис. 3. Ця діаграма відображає фізичну архітектуру системи з урахуванням вимог та наявного обладнання замовника (ТОВ Телекомунікаційна компанія «НЕОН»).

Діаграма містить такі вузли:

- Border GW – прикордонний маршрутизатор, що забезпечує динамічну маршрутизацію протоколу TCP/IP між внутрішніми й зовнішніми вузлами Інтернету;
- Core network – фізична частина мережі, що відповідає за взаємодію вузлів ядра мережі;
- Сервер віртуальних машин Linux KVM, на якому встановлені віртуальні машини. Застосування сервера віртуальних машин скорочує час для модернізації, портування та тестування серверів послуг, збільшує швидкість взаємодії між віртуальними серверами, а також дозволяє робити резервне копіювання системи у режимі «Hot Backup»;
- RADIUS-Server – сервер зі встановленою системою FreeRADIUS і модулями розширення;
- Server DB – сервер зі встановленою СУБД MySQL і БД;
- Server Web – сервер, що надає доступ до управління системою за протоколом HTTPS зі

встановленими відповідними модулями і службами;

- NAS – мережевий сервер доступу, який забезпечує з'єднання клієнтів за протоколом PPPoE, зі встановленим RADIUS-клієнтом і іншими необхідними модулями;
- Access network – фізична частина мережі, що відповідає за з'єднання абонентів із їхнім безпосереднім постачальником послуг;
- ПК – комп'ютер абонента, який може підключатися без використання роутера, використовуючи клієнт PPPoE, або з використанням роутера та без використання PPPoE. Для роботи з особистим кабінетом абонент мусить мати встановлений веббраузер;
- Router – програмно-апаратний пристрій, здатний підключатися через протокол PPPoE, що забезпечує доступ вузлів (ПК, smartphone, smartTV тощо) CPN до глобальної мережі Інтернет і до ресурсів оператора.

У процесі реалізації АСР оператора телекомунікацій було проаналізовано середовище функціонування системи та інструментарій її розроблення. Отже, з огляду на функціональні можливості найбільш популярних серверних ОС та вимоги замовника, було вибрано дистрибутив Linux – Ubuntu.

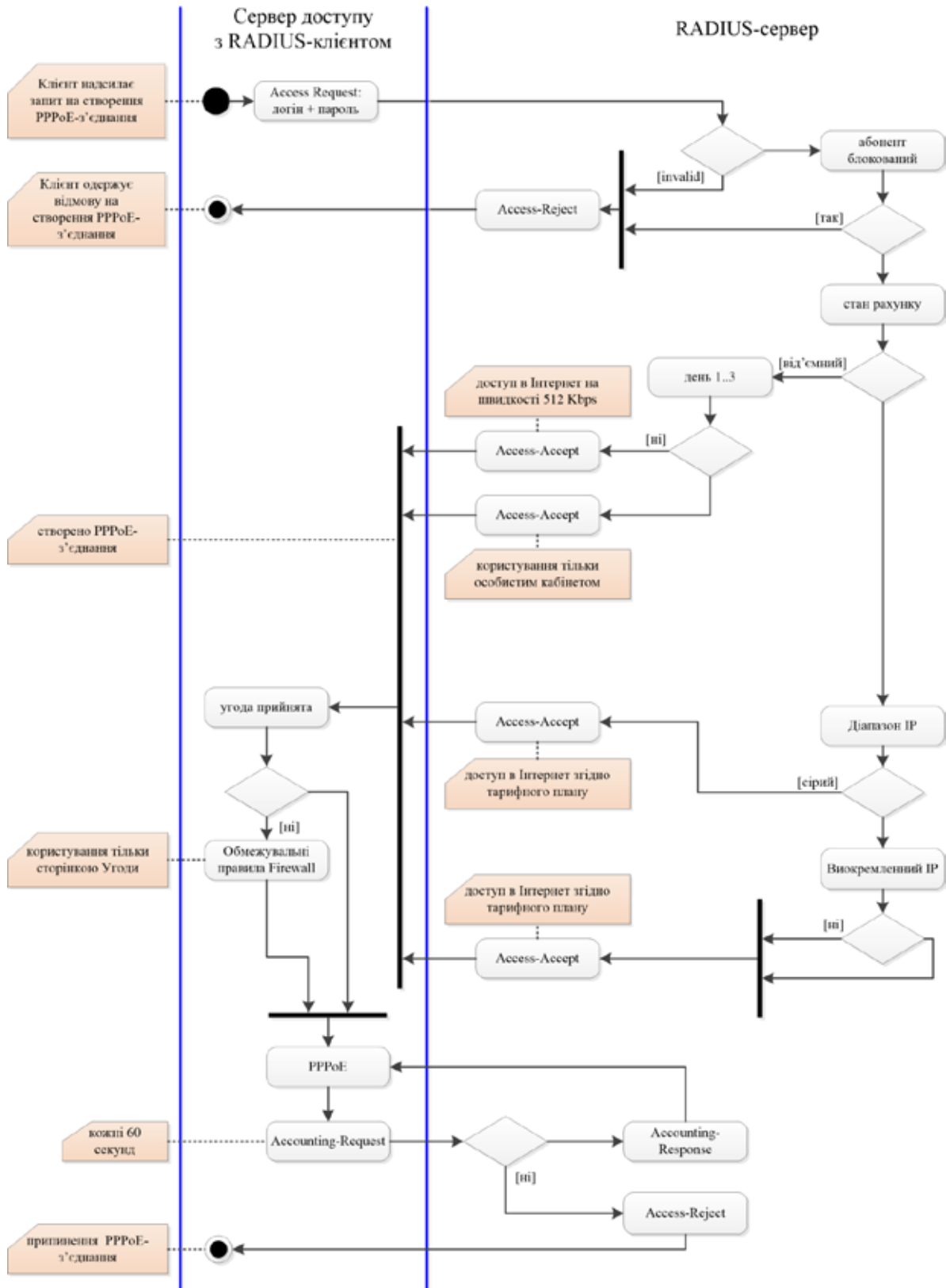


Рис. 2. Діаграма взаємодії клієнта з АСП

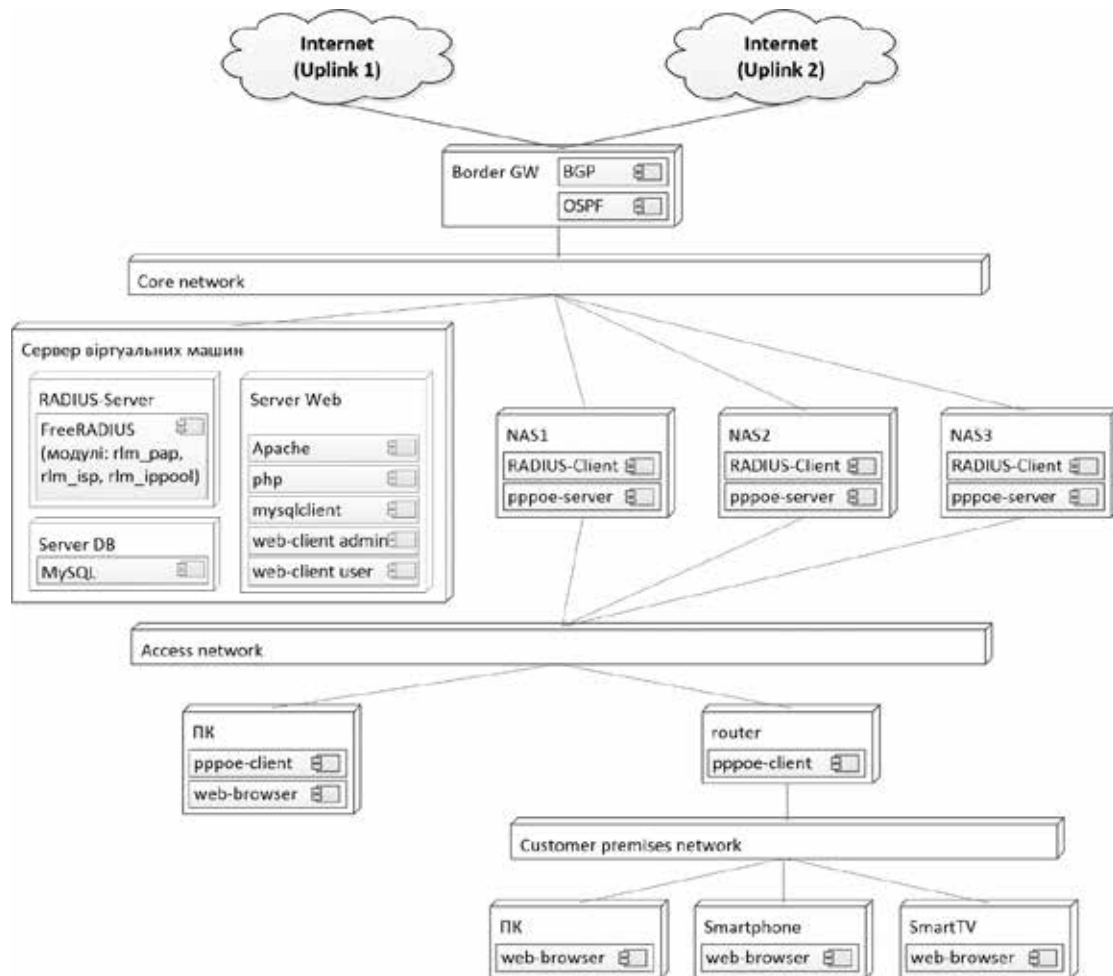


Рис. 3. Діаграма розгортання АСР оператора телекомунікацій з урахуванням вимог замовника (ТОВ Телекомунікаційна компанія «НЕОН»)

Для реалізації логіки взаємодії клієнта з АСР було вибрано як RADIUS-сервер – FreeRADIUS. Розроблено модуль розширення RADIUS-сервера, що виконує логіку процесу AAA (рис. 2) та скрипт, що реалізує процедуру перевірки прийняття Угоди. Модуль розширення RADIUS-сервера написано на мові С, скрипт перевірки прийняття Угоди – на мові Python.

Для збереження інформації, що використовується в АСР, було створено БД, яка використовує реляційну модель даних та СУБД MySQL. БД відповідає предметній галузі та бізнес-процесам оператора. Для процесу перевірки прийняття Угоди організовано кешування головної БД із використанням локальної БД, розміщеної на NAS-сервері. Така організація запитів дає змогу пришвидшити весь процес перевірки та розподіляє робоче навантаження запиту із головної бази на інші.

Обговорення результатів. Отже, ґрунтуючись на специфікації вимог та діаграму варіантів використання АСР для перевірки правильності її

функціонування було створено тестовий користувач Test_user та тестовий тарифний план із такими налаштуваннями:

```
INSERT INTO users (user, password, crypt_method, deposit, gid, add_date) VALUES ('Test_user', '*****', 0, 0.1, 48, NOW());
```

```
mysql> INSERT INTO packets (num, packet, gid, other_params, prim, month, fixed_cost, white_ip) VALUES (0, 'Тестовый', 1, 'Acct-Interim-Interval=60, Service-Type=Framed-User, Framed-Protocol=PPP, Framed-Compression=Van-Jacobson-TCP-IP, PPPD-Downstream-Speed-Limit=10240, PPPD-Upstream-Speed-Limit=10240', 'Пакет для тестов', 50.000000, 0);
```

В останньому запиті:

– поле other_params містить пари: атрибут та його значення розділені комами. Ці параметри надалі будуть передаватися серверу доступу модулем RADIUS-сервера. У такий спосіб будемо

встановлювати, наприклад, Acct-Interim-Interval – періодичність у секундах, із якою сервер доступу буде надсилати RADIUS-серверу інформацію про сесію користувача, скільки було передано або прийнято даних, тривалість сесії тощо;

– з допомогою атрибутів PPPD-Downstream-Speed-Limit і PPPD-Upstream-Speed-Limit переда-

ються значення максимальної швидкості в кілобайтах для цієї сесії.

Коли надходить запит на підключення (Access-Request) від клієнта в логфайлі можна побачити його коректне оброблення створеним модулем (рис. 4–5).

Аналіз системних логів показав, що в процесі старту АСР отримує конфігурацію правильно,

```
Sat Jan 14 15:12:30 2023 : Debug: Listening on authentication *:1812
Sat Jan 14 15:12:30 2023 : Debug: Listening on accounting *:1813
Sat Jan 14 15:12:30 2023 : Info: Ready to process requests.
rad recv: Access-Request packet from host 93.171.170.240:34689, id=1, length=153
  User-Name = "Test user"
  NAS-Identifier = "accel-ppp"
  NAS-IP-Address = 93.171.170.240
  NAS-Port = 0
  NAS-Port-Id = "ppp0"
  NAS-Port-Type = Virtual
  Service-Type = Framed-User
  Framed-Protocol = PPP
  Calling-Station-Id = "52:54:00:30:d4:a2"
  Called-Station-Id = "52:54:00:c9:85:8c"
  CHAP-Challenge = 0xc69858ad5e47923c55371b4c01508fc2
  CHAP-Password = 0x01d4a62371c6ddal6a8cbd53ce75aacde4
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: Processing the authorize section of radiusd.conf
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall: entering group authorize for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authorize]: calling preprocess (rlm_preprocess) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authorize]: returned from preprocess (rlm_preprocess) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall[authorize]: module "preprocess" returns ok for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authorize]: calling chap (rlm_chap) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_chap: Setting 'Auth-Type := CHAP'
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authorize]: returned from chap (rlm_chap) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall[authorize]: module "chap" returns ok for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authorize]: calling mschap (rlm_mschap) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authorize]: returned from mschap (rlm_mschap) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall[authorize]: module "mschap" returns noop for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authorize]: calling files (rlm_files) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: users: Matched entry DEFAULT at line 215
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authorize]: returned from files (rlm_files) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall[authorize]: module "files" returns ok for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authorize]: calling isp (rlm_isp) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: radius_xlat: 'Test user'
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (sql_set_user): sql_set user escaped user --> 'Test user'
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (isp_fill_user): begin for user 'Test user' -----
```

Рис. 4. Запит на підключення Access-Request абонента Test_user

```
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (isp_fill_user): ----- prof mode begin for user 'Test user' -----
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: sql_als->sql_get_socket (isp): Reserving sql socket id: 226
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: sql_als->sql_release_socket: Released sql socket id: 226
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (isp_fill_user): ----- prof mode end for user 'Test user' -----
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (isp_fill_user): end for user 'Test user' -----
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (isp_add_attr): begin for user 'Test user' -----
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (isp_add_attr): add PW_PASSWORD
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (isp_add_attr): add PW_SIMULTANEOUS_USE
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (isp_add_attr): add PW_SESSION_TIMEOUT
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (isp_add_attr): add all other params
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_isp (isp_add_attr): end for user 'Test user' -----
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authorize]: returned from isp (rlm_isp) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall[authorize]: module "isp" returns noop for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall: leaving group authorize (returns ok) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rad_check_password: Found Auth-Type CHAP
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: auth: type "CHAP"
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: Processing the authenticate section of radiusd.conf
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall: entering group CHAP for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authenticate]: calling chap (rlm_chap) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_chap: login attempt by "Test user" with CHAP password
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_chap: Using clear text password " " for user Test user authentication.
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_chap: chap user test user authenticated successfully
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[authenticate]: returned from chap (rlm_chap) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall[authenticate]: module "chap" returns ok for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall: leaving group CHAP (returns ok) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: Processing the session section of radiusd.conf
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall: entering group session for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[session]: calling sql (rlm_sql) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: radius_xlat: 'Test user'
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_sql (sql): sql_set user escaped user --> 'Test user'
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: radius_xlat: 'SELECT COUNT(*) FROM actions WHERE user = 'Test user' AND terminate_cause = 'Online''
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_sql (sql): Reserving sql socket id: 255
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: rlm_sql (sql): Released sql socket id: 255
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modsingle[session]: returned from sql (rlm_sql) for request 0
Sat Jan 14 15:12:57 2023 : Debug: modcall[session]: module "sql" returns ok for request 0
```

Рис. 5. Оброблення створеним модулем запиту Access-Request абонента Test_user

модуль успішно підключається до БД, структуру модуля успішно ініціалізовано, помилки не виникають. У процесі авторизації тестового користувача створюється PPPoE-сесія з відповідними налаштуваннями. Помилки також не виникають.

Висновки. Запропонований підхід щодо організації контролю, обліку та доступу до мережі Інтернет абонентів оператора телекомунікацій із використанням PPPoE-з'єднання та RADIUS протоколу дозволяє організувати цей процес з урахуванням технічних, користуваць-

ких та законодавчих вимог. Провайдер отримує гнучку АСР, що задовольняє таким вимогам: у разі збільшення абонентської бази і зростання навантаження на NAS-сервери передбачена можливість підключення додаткових NAS-серверів; час авторизації всіх абонентів оператора не перевищує 10 хв.; АСР залишається працездатною в разі масового підключення абонентів із від'ємним балансом на рахунок; є можливість розширення функціоналу АСР завдяки використанню додаткових модулів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про електронні комунікації : Закон України від 16 груд. 2020 р. № 1089-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#top>.
2. History of the Internet. *From Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_Internet (дата звернення: 08.02.2023).
3. Ethernet. *From Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet> (дата звернення: 08.02.2023).
4. Point-to-Point Protocol. *From Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Point-to-Point_Protocol (дата звернення: 08.02.2023).
5. Point-to-Point Protocol over Ethernet. *From Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Point-to-Point_Protocol_over_Ethernet (дата звернення: 08.02.2023).
6. RFC 2516. A Method for Transmitting PPP Over Ethernet (PPPoE). <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2516> (дата звернення: 08.02.2023).
7. RADIUS. *From Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/RADIUS> (дата звернення: 08.02.2023).
8. RFC 2865. Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS). URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc2865.txt> (дата звернення: 08.02.2023).
9. RFC 2866. RADIUS Accounting. URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc2866.txt> (дата звернення: 08.02.2023).
10. Goralski W. The Illustrated Network: How TCP/IP Works in a Modern Network. Morgan Kaufmann, 2017. 937 p.
11. Kozierok C.M. The TCP/IP Guide. No Starch Press, 2005. 1616 p.
12. Matheus K., Königseder T. Automotive Ethernet. Cambridge University Press, 2021. 275 p. URL: <https://doi.org/10.1017/9781316869543>.
13. Maudoux C., Boumerdassi S. LemonLDAP::NG A Full AAA Free Open Source WebSSO Solution. *IEEE 11th International Conference on Cloud Networking (CloudNet), IEEE ComSoc*; Cnam, Nov 2022, Paris, France. pp. 277–281. URL: <https://doi:10.1109/CloudNet55617.2022.9978777>.
14. Liaskos C., Nie S., Tsioliaridou A., Pitsillides A., Ioannidis S., Akyildiz I. A new wireless communication paradigm through softwarecontrolled metasurfaces. *IEEE Communications Magazine*. Vol. 56. No. 9, Sep. 2018, pp. 162–169. URL: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700659>.
15. Zhang J., Guo Y., Chen Y., Ma J. Research of AAA messages Based on 802.1x authentication. *IEEE 2015 IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*. Dec. 2015. Pp. 618–622 URL: <https://doi.org/10.1109/IAEAC.2015.7428627>.
16. RADIUS Servers for Noobs: Everything You Need to Know. URL: <https://www.cloudradius.com/a-complete-guide-to-radius-servers> (дата звернення: 08.02.2023).
17. Автоматизована система розрахунків. *Матеріал з Вікіпедії – вільної енциклопедії*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автоматизована_система_розрахунків (дата звернення: 08.02.2023).

REFERENCES

1. Pro elektronni komunikatsii: Zakon Ukrainy vid 19 grud. 2022 r. № 1089-IX [About electronic communications: LAW OF UKRAINE of December 16, 2020 No. 1089-IX]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#top> [in Ukrainian].
2. Wikipedia. (2023). History of the Internet. *From Wikipedia, the free encyclopedia*. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_Internet.
3. Wikipedia. (2023) Ethernet. *From Wikipedia, the free encyclopedia*. Retrieved from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet>.

4. Wikipedia. (2023). Point-to-Point Protocol. *From Wikipedia, the free encyclopedia*. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/Point-to-Point_Protocol.
5. Wikipedia. (2023). Point-to-Point Protocol over Ethernet. *From Wikipedia, the free encyclopedia*. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/Point-to-Point_Protocol_over_Ethernet.
6. RFC 2516. (1999, February). A Method for Transmitting PPP Over Ethernet (PPPoE). Retrieved from: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2516>.
7. Wikipedia. (2023). RADIUS. *From Wikipedia, the free encyclopedia*. Retrieved from: <https://en.wikipedia.org/wiki/RADIUS>.
8. RFC 2865. (2000, June). Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS). Retrieved from: <https://www.ietf.org/rfc/rfc2865.txt>.
9. RFC 2866. (2000, June). RADIUS Accounting. Retrieved from: <https://www.ietf.org/rfc/rfc2866.txt>.
10. Goralski, W. (2017). *The Illustrated Network: How TCP/IP Works in a Modern Network*. Morgan Kaufmann. ISBN: 978-0-12-811027-0.
11. Kozierok, C.M. (2005). *The TCP/IP Guide*. No Starch Press. ISBN13: 978-1-59327-047-6.
12. Matheus, K. & Königseder, T. (2021). *Automotive Ethernet*. Cambridge University Press. ISBN: 9781108841955.
13. Maudoux, C. & Boumerdassi, S. (2023, Jan). LemonLDAP::NG A Full AAA Free Open Source WebSSO Solution. *arXiv*. DOI: 10.1109/CloudNet55617.2022.9978777.
14. Liaskos, C., Nie, S., Tsioliaridou, A., Pitsillides, A., Ioannidis, S. & Akyildiz, I. (2018). A new wireless communication paradigm through softwarecontrolled metasurfaces. *IEEE Communications Magazine*. Vol. 56. No. 9, pp. 162–169. DOI: 10.1109/mcom.2018.1700659.
15. Zhang, J., Guo, Y., Chen, Y. & Ma, J. (2015, December). Research of AAA messages Based on 802.1x authentication. *IEEE 2015 IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*. DOI: 10.1109/IAEAC.2015.7428627.
16. Cloud RADIUS. (2023). RADIUS Servers for Noobs: Everything You Need to Know. Retrieved from: <https://www.cloudradius.com/a-complete-guide-to-radius-servers>.
17. Wikipedia. (2022). Avtomatyzovana systema rozrakhunkiv [Automated payment system]. *In Wikipedia – The Free Encyclopedia*. Retrieved from: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автоматизована_система_розрахунків [in Ukrainian].