



Шинкарчук Н. В. [1; ORCID ID: 0000-0001-9811-2497],

к.т.н., доцент

¹Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

ШЛЯХИ МІГРАЦІЇ ВІД ТРАДИЦІЙНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ ДО АРХІТЕКТУРИ SDN

Розглянуто методи трансформації основних класів традиційних мереж до SDN-архітектури, що базується на стандарті OpenFlow. Описано можливі сценарії розгортання SDN-мереж. Наведено інструментальні засоби для вирішення завдань міграції. Досліджено питання мережевої безпеки в умовах зростаючого використання програмно-визначених мереж.

Ключові слова: програмно-визначена мережа; SDN; архітектура; площина управління, площина даних, OpenFlow, міграція.

Постановка проблеми. Класичні мережі, які побудовані на ієрархічній топології, повинні самі оперативно знаходити маршрути при зміні топології мережі та приймати рішення щодо подальшого руху трафіку. Такі мережі мають надзвичайно низьку автоматизацію при впровадженні або зміні мережевих сервісів. Зі збільшенням обсягу трафіку та кількості підключених до мережі пристроїв, конфігурація обладнання WAN стає дуже складним завданням. Інтеграція мережевих пристроїв, які реалізують передачу даних різних видів, призводить до ускладнення функцій управління потоками даних і не завжди дозволяє забезпечити необхідну якість сервісів. Велика кількість протоколів і технологій, що потребують налаштування, обмежений функціонал існуючих систем управління та їхня прив'язка до конкретного виробника вимагають постійної наявності в штаті кваліфікованих кадрів, які вирішують мережеві завдання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В роботі [1] наведено основні напрямки впровадження та використання мереж SDN, подано динаміку розвитку телекомунікаційних мереж. У статті [2] представлено концепцію Software-Defined Networking та становлення програмованих мереж, детально розглянуто основні принципи OpenFlow. Методику розробки програмного забезпечення, яке спростить процес управління та обслуговування комп'ютерної

мережі, описано в [3]. Робота [4] присвячена аналізу та вдосконаленню методів і засобів розбудови архітектури програмно-визначених мереж.

Мета статті. Розглянути і дослідити основні способи трансформації традиційних мереж до SDN-архітектури, описати сценарії розгортання SDN-мереж.

Вступ. Розвиток мереж передачі даних не стоїть на місці та супроводжується неминучою зміною протоколів і технологій. Вони мають підвищити швидкість та прозорість передачі даних, забезпечити надійність мереж, спростити і автоматизувати управління. Традиційна мережева архітектура, побудована на автономних пристроях передачі даних, потребує величезних ресурсів для передачі зростаючих обсягів інформації, а існуючі мережеві протоколи мають обмежені можливості щодо управління трафіком та оптимізації пропускної здатності.

Програмно-визначена мережа (software-defined networking, SDN) це парадигма побудови та експлуатації мереж передачі даних, яка дозволяє забезпечити належну безпеку і гнучкість в управлінні потоками. Архітектура SDN-мережі відокремлює функції контролю і передачі даних, що дозволяє зробити контроль над мережею – програмованим. При такому підході керуючі функції перенесені на окремий пристрій – контролер, а мережа працює на базі додатків, які дозволяють у реальному часі гнучко і швидко вносити зміни в конфігурацію мережі відповідно до динамічно змінюваних потреб кінцевого користувача і адміністратора мережі, тим самим суттєво знижуючи навантаження на комутатори та маршрутизатори.

Відповідно до концепції SDN, вся логіка управління мережею має бути вилучена з мережевих пристроїв і реалізована на окремому сервері – SDN-контролері, а мережеві пристрої повинні обмежитись функціоналом data-plane і спеціальним програмним інтерфейсом, що дозволяє SDN-контролеру керувати їх роботою.

Виклад основного матеріалу. *Поняття програмно-визначеної мережі (SDN).* Програмно-визначена мережа – це метод адміністрування комп'ютерних мереж, який дозволяє керувати послугами мережі, коли функціонал управління (control plane) абстрагований від нижчого рівня надсилання пакетів (data plane). Планування мережі та управління трафіком при цьому здійснюються програмним шляхом завдяки логічному програмному компоненту – контролеру. Контролер здійснює моніторинг мережевих пакетів, а взаємодію між площиною керування та мережевими пристроями



забезпечує стандарт OpenFlow [5].

До головних переваг SDN можна віднести: централізоване управління мультивендорним середовищем, спрощення обслуговування і модернізація мереж, скорочення часу на оновлення програмного коду комутаторів та маршрутизаторів і впровадження нових сервісів.

Компоненти архітектури програмно-визначеної мережі. Метою розгортання та підтримки SDN є прагнення спростити основні мережеві компоненти, такі як маршрутизатори і комутатори, знизити їхню ціну та вартість обслуговування, а також збільшити пропускну здатність мережі. Однією з важливих цілей впровадження SDN є забезпечення централізованого управління мережевим трафіком. Вважається, що використання SDN має значно покращити топологічну цілісність мережі при будь-яких її змінах.

Концепція SDN дозволяє скоротити витрати на супровід мережі за рахунок тієї ж централізації управління на програмному контролері, підвищити частку використовуваних ресурсів мережі завдяки динамічному керуванню [6].

Основна ідея технології SDN полягає в тому, щоб:

- відокремити управління мережевим обладнанням від управління передачею даних, шляхом використання спеціального програмного забезпечення, яке може працювати на звичайній робочій станції;
- перейти від управління окремими екземплярами мережевого обладнання до управління мережею загалом;
- створити програмно-визначений інтерфейс між мережевим застосунком і транспортним середовищем мережі.

На рисунку, проілюстровано загальний вигляд і компоненти архітектури SDN [7].

У такій архітектурі виділено площину даних, управління та застосунків [7]:

- SDN Application є програмою, яка явно програмним способом повідомляє SDN-контролеру свої вимоги до мережі та її бажану поведінку, використовуючи так званий NBI-інтерфейс. Крім того, вона має можливість отримувати від SDN-контролера інформацію, що забезпечує цілісний погляд на мережу. SDN-застосунок складається з одного компонента, який визначає його логіку та одного або кількох NBI-драйверів, які забезпечують взаємодію застосунку з контролером і іншими SDN-застосунками.

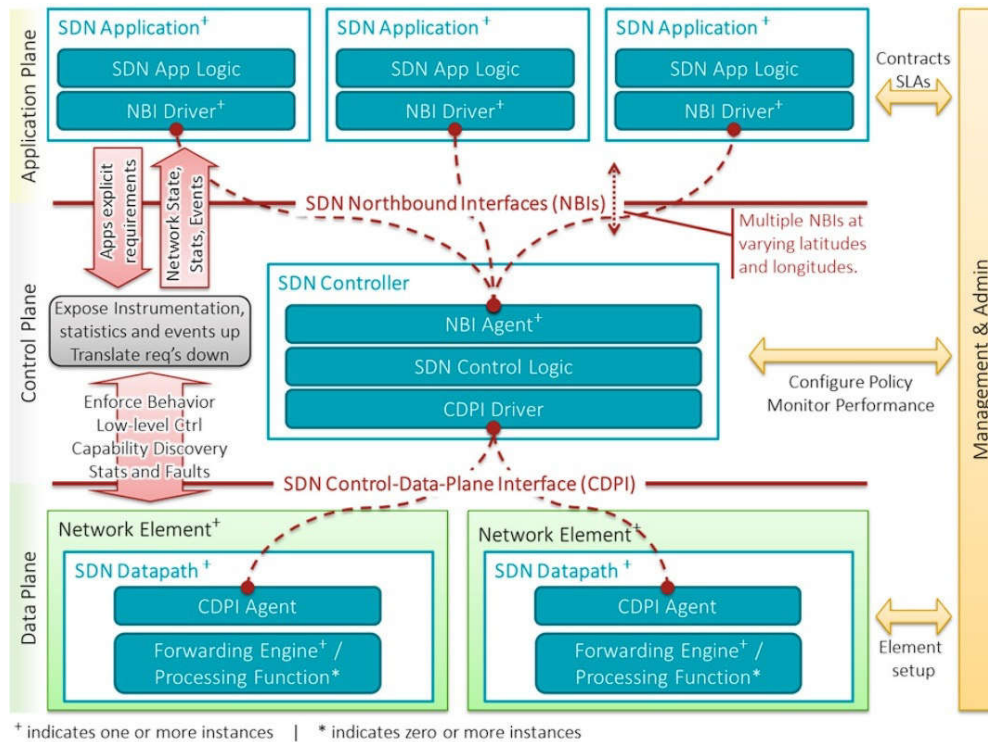


Рисунок. Загальна архітектура SDN

- SDN Controller є логічно централізованою системою, яка: перетворює запити рівня SDN-застосунку в команди для пристроїв, що виконують пересилання даних; надає SDN-застосунку інформацію про мережу, зокрема інформацію про події та різноманітні статистичні дані. SDN-контролер складається з одного або кількох NBI-агентів, керуючої логіки та CDPI-драйвера.

- SDN Datapath є мережевим пристроєм, який забезпечує перенаправлення пакетів і обробку даних, поведінка якого не може бути змінена жодними іншими мережевими пристроями чи компонентами, окрім SDN-контролера. Він складається з CDPI-агента та набору з одного або кількох двигунів (engine) перенаправлення трафіку. Цей пристрій може виконувати пересилання пакетів між своїми зовнішніми інтерфейсами або виконувати необхідну обробку трафіку. Один або кілька SDN Datapath можуть бути реалізовані в єдиному фізичному мережевому пристрої або єдиний SDN Datapath може об'єднувати кілька фізичних мережевих пристроїв. Взаємодія між SDN-контролером та SDN Datapath відбувається за протоколом OpenFlow, тому часто такі пристрої називають OpenFlow-пристроями або OpenFlow-комутаторами.

- SDN Interface є інтерфейсом між SDN-контролером і SDN Datapath. Цей інтерфейс повинен забезпечувати наступні можливості: програмне управління всіма операціями



перенаправлення даних, отримання всіх можливих статистичних звітів від OpenFlow-комутаторів, отримання повідомлення про події.

- SDN Northbound (NBI) є інтерфейсами між SDN-застосунками та SDN-контролерами, які надають абстрактний погляд на мережу та безпосередньо забезпечують необхідну мережеву поведінку. Вони можуть бути реалізовані на будь-якому рівні абстракції та з різним набором функціоналу. NBI реалізовано відкритим і незалежним способом від виробника.

Площина даних складається з елементів мережі, чиї SDN Datapath (OpenFlow-комутатори) мають параметри, які встановлюються агентом інтерфейсу площини управління даними (CDPI). SDN-застосунки виконуються в площині застосунків та взаємодіють між собою за допомогою драйверів Northbound інтерфейсу. На середньому рівні SDN-контролер перетворює інформацію від NBI в площину даних Datapath і надає відповідну інформацію SDN-застосункам. Площина управління та адміністрування (Management & Admin) відповідає за конфігурування мережевих елементів рівнів SDN Datapath і SDN-контролера. В SDN площина управління функціонує як єдина, логічно централізована мережева операційна система, SDN-контролер повністю керує SDN Datapath, що спрощує планування та розподіл ресурсів. Така архітектура SDN може співіснувати з не SDN-мережею, особливо на етапі трансформації традиційної мережі в SDN.

У процесі роботи SDN-контролер інформує застосунки про стан мережі та перетворює їхні вимоги у низькорівневі правила для OpenFlow-комутаторів. Проте це не означає, що контролер фізично централізований. Для забезпечення продуктивності, масштабованості або надійності логічно централізований контролер може бути розподілений таким чином, щоб кілька екземплярів фізичних контролерів співпрацювали для управління мережею.

Категорії традиційних мереж. Якщо узагальнити, то мережі можна умовно поділити на наступні категорії: глобальні мережі або WAN (Wide Area Networks), мережі центрів обробки даних (ЦОД), мережі підприємств і кампусні мережі. Розглянемо основні характеристики кожного класу мереж і окреслимо підходи до їхньої трансформації в SDN.

- WAN-мережі та мережі сервіс-провайдерів (ISP) характеризуються тим, що вимоги до них можуть суттєво відрізнятися. Однак, тенденція переходу мереж ISP на технологію SDN є очевидною. Наприклад, такий ISP як Google, використовує

саме технологію SDN і OpenFlow-комутатори для управління своїми внутрішніми ресурсами.

- ЦОДи отримують значні переваги від впровадження SDN. У ЦОД віртуалізація обчислювальних ресурсів є необхідністю. У таких мережах важливими компонентами архітектури є комутатори, які забезпечують як гнучкість, так і продуктивність ЦОДів.

- Мережі підприємств, складаються з мережевих ресурсів, які використовуються для підключення різних підмереж до серверів (фізичних або віртуальних), а також до сховищ даних. Для цих мереж має забезпечуватися високий рівень інформаційної безпеки та захисту, а також надання спеціальних мережевих функцій, таких як балансування навантаження.

- Кампусні мережі поєднують локальні мережі на географічно обмеженому просторі, наприклад, університетського містечка чи військової частини. Компоненти такої мережі зазвичай з'єднані магістральною мережею, яка підключена до одного або кількох ЦОДів через WAN.

Вимоги до способу міграції на SDN. Згідно з розробленою концепцією мереж майбутнього (Future Networks) організацією ISO [8], перехід до нових мережевих технологій може зайняти певний час. Тому центральну роль в побудові нової мережевої інфраструктури відіграватимуть методи віртуалізації. Консолідація мережевих технологій з різною архітектурою, забезпечує необхідні умови для міграції (переносу) сервісів і додатків. При цьому міграція передбачає двосторонній процес: перехід застарілих рішень на нові мережеві технології, перехід нових мережевих технологій на застарілі або спеціалізовані рішення. Кінцевою метою такого переходу є міграція використовуваних сервісів і додатків у нове мережеве середовище.

Процес міграції на SDN-мережу, може бути пов'язаний зі значними ризиками. Простої під час міграції, знецінення інструментальних засобів діагностики та моніторингу або складність та продуктивність нової технології – всі ці можливі ризики повинні бути попередньо розглянуті та проаналізовані. Припускається, що при міграції з традиційної мережі на програмно-визначену мережу, повинні бути виконані наступні вимоги:

- мережа повинна підтримувати гетерогенність, забезпечуючи спільне використання численних пристроїв від різних виробників;



- мережа повинна бути орієнтованою на виконання сервісів для яких забезпечується відмовостійкість та автоматичне виконання оновлень програмного забезпечення;

- мережа повинна підтримувати необхідне програмне забезпечення, інструментальні засоби та різноманітні симулятори.

Основні способи розгортання SDN. Трансформація традиційної мережі до SDN, реалізується поетапно [9]. Протягом цього процесу в мережу будуть вводитися OpenFlow-пристрої, які працюватимуть з вже існуючими пристроями, при цьому мережеві операції здійснюватимуться як з наявними пристроями управління, так і з контролерами та конфігураторами OpenFlow. Для реалізації процедури міграції можна запропонувати такі способи:

- розгортання «з чистого аркуша», у цьому випадку немає необхідності підтримувати та зберігати застаріле обладнання;

- змішане розгортання, цей спосіб міграції передбачає, що нові OpenFlow-пристрої вводяться та співіснують разом з традиційними комутаторами і маршрутизаторами та повинні взаємодіяти з застарілими способами управління. При цьому, OpenFlow-пристрої і традиційні пристрої повинні обмінюватися між собою інформацією;

- гібридне розгортання, у цьому випадку повинні співіснувати як пристрої, що беруть участь у змішаному розгортанні, так і гібридні OpenFlow-пристрої.

Змішані та гібридні способи міграції є прикладами міграційних підходів, що виконуються в кілька етапів. У будь-якому разі при таких підходах передбачається, що міграція здійснюється в межах одного мережевого домену.

Потенційні сценарії міграції. Розглянемо три можливі сценарії міграції, виділяючи пристрої або рівні, що зачіпаються.

- Міграція 1 – міграція на рівні кінцевих точок («з чистого аркуша»), реалізується коли всі пристрої функціонують на одному й тому ж рівні (рівнях). Всі пристрої, що беруть участь у міграції є пристроями, які повністю підтримують OpenFlow і керуються єдиним OpenFlow-контролером.

- Міграція 2 – міграція частини стеку, тільки певна частина рівнів пристрою мігрує на OpenFlow (як правило, це рівні Ethernet), при цьому рівні вище і нижче (MPLS) можуть продовжувати використовувати існуючі системи керування та протоколи, але обрані рівні замінюються на OpenFlow.

- Міграція 3 – міграція всього стеку, це приклад реалізації гібридної міграції мережі.

Розгортання програмно-визначеної мережі, заснованої на OpenFlow, передбачає наявність одного або кількох пристроїв, які мають агентів, що підтримують протокол OpenFlow і керуються логічно централізованим OpenFlow-контролером. Фізично, контролер і агент можуть бути централізованими та встановленими на сервері або бути вбудованими у кілька або у всі OpenFlow-пристрої.

Безпека мережі під час міграції на SDN. Безпека мереж є важливим фактором, особливо в умовах зростаючої міграції на SDN. Програмно-визначені мережі характеризуються централізованою моделлю управління, яка має достатню гнучкість для запобігання мережевим загрозам. Підхід SDN може бути використаний для зміни шляху проходження трафіку, базуючись на його аналізі та статистичних даних, які надає контролер. У процесі міграції, включаючи той період, коли успадкована мережа та SDN-мережа співіснують разом, потрібно забезпечити інформаційну безпеку мережесих процесів і пристроїв. Необхідно, щоб наявні засоби та інструменти захищали і SDN-мережу.

Вибір інструментальних засобів і метрик. На різних етапах міграції можуть використовуватися різні інструментальні засоби, які забезпечують моніторинг, конфігурування, управління, тестування та перевірку працездатності всієї мережі протягом усіх етапів міграції [10].

Моніторинг включає збір метрик в початковій та цільовій мережі. Для програмно-визначених мереж, розроблено нові метрики, які стосуються функціонування протоколу OpenFlow, OpenFlow-контролерів і OpenFlow-комутаторів [7].

Існує кілька функціональних характеристик інструментальних засобів за допомогою яких можна визначити успішність міграції з традиційної мережі на програмно-визначену мережу. Ці інструментальні засоби аналізують проблеми, пов'язані з безпекою, масштабованістю та надлишковістю. Метрики, які розробляються мають збирати інформацію про такі характеристики SDN-мережі: оркестрація, управління, резервування, надійність, масштабованість, аутентифікація, симуляція.

Висновок. Архітектура програмно-визначених мереж суттєво змінює уявлення про побудову мереж передачі даних і в деяких моментах потребує більш детальних досліджень, але вже зараз стає очевидним, що перехід до SDN є необхідним і логічним етапом розвитку традиційних мереж, здатним спростити управління нею,



підвищити пропускну здатність каналів і перерозподілити навантаження, реалізувати можливість автоматизації та програмування, забезпечити належний рівень безпеки.

В даній статті розглянуто, досліджено і описано способи трансформації класичної мережі до програмно-визначеної з метою міграції її технологій у середовище OpenFlow, проведено огляд можливих сценаріїв розгортання SDN та запропоновано три методи міграції.

1. Єфанова К. О., Пономаренко З. М., Масесов М. О. Актуальність впровадження та використання мережі SDN. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2018. № 2. С. 147–150. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2018_2_25 (дата звернення: 18.08.2025).
2. Кононенко А. В., Кучма І. М., Перетятко М. В., Кацалап В. О., Размыслов Д. О. Концепція software-defined-networking та основні принципи openflow. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2018. № 3. С. 51–58. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzundiz_2018_3_10 (дата звернення: 18.08.2025).
3. Даков С. Ю. Метод підвищення ефективності SDN мережі за допомогою керуючого програмного забезпечення. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 6 (2). С. 216–223. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2018_6\(2\)_42](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2018_6(2)_42) (дата звернення: 19.08.2025).
4. Савицька Л. А., Коробейнікова Т. І., Леонтьєв І. В., Богомолів С. В. Методи та засоби захисту ресурсів в комп'ютерній SDN-мережі. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2023. № 3. С. 41–52. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Itki_2023_3_7 (дата звернення: 19.08.2025).
5. Тимченко І. О., Скулиш М. А., Глоба Л. С. Концепції побудови сучасних мереж. *Радіоелектроніка та інформатика*. 2018. № 1. С. 25–29.
6. Лунтовський А. О., Семенко А. І. Застосування технологій SDN для програмної реалізації провайдерського ядра систем мобільного зв'язку 5G майбутнього покоління. *Зв'язок*. 2014. № 3. С. 13–19. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zvjazok_2014_3_5 (дата звернення: 10.09.2025).
7. Software-defined networking. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_networking (дата звернення: 15.09.2025).
8. ISO/IEC TR 29181-1:2012. Information technology – Future Network: Problem statement and requirements – Part 1: Overall aspects, IDT.
9. Open Networking Foundation «Migration Use Cases and Methods». URL: <https://opennetworking.org/news-and-events/press-releases/open-networking-foundation-publishes-open-sdn-migration-use-cases-and-methods/> (дата звернення: 22.09.2025).
10. Open Networking Foundation «Migration Tools and Metrics». URL: <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2013/04/migration-tools-and-metrics.pdf> (дата звернення: 27.09.2025).

REFERENCES:

1. Yefanova K. O., Ponomarenko Z. M., Masesov M. O. Aktualnist vprovadzhennia ta vykorystannia merezhi SDN. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony*. 2018. № 2. S. 147–150. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2018_2_25 (data zvernennia: 18.08.2025).
2. Kononenko A. V., Kuchma I. M., Peretiatko M. V., Katsalap V. O., Razmyslov D. O. Kontseptsiia software-defined-networking ta osnovni

pryntsyru openflow. *Naukovi zapysky Ukrainського naukovo-doslidnoho instytutu zviazku*. 2018. № 3. S. 51–58. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzundiz_2018_3_10 (data zvernennia: 18.08.2025). **3.** Dakov S. Yu. Metod pidvyshchennia efektyvnosti SDN merezhi za dopomohoiu keruiuchoho prohramnoho zabezpechennia. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. 2018. № 6 (2). S. 216–223. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2018_6\(2\)_42](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2018_6(2)_42) (data zvernennia: 19.08.2025). **4.** Savytska L. A., Korobeinikova T. I., Leontiev I. V., Bohomolov S. V. Metody ta zasoby zakhystu resursiv v kompiuternii SDN-merezhi. *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*. 2023. № 3. S. 41–52. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Itki_2023_3_7 (data zvernennia: 19.08.2025). **5.** Tymchenko I. O., Skulysh M. A., Hloba L. S. Kontseptsii pobudovy suchasnykh merezh. *Radioelektronika ta informatyka*. 2018. № 1. S. 25–29. **6.** Luntovskiy A. O., Semenko A. I. Zastosuvannia tekhnologii SDN dlia prohramnoi realizatsii provaiderskoho yadra system mobilnoho zviazku 5G maibutnoho pokolinnia. *Zviazok*. 2014. № 3. S. 13–19. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zvjazok_2014_3_5 (data zvernennia: 10.09.2025). **7.** Software-defined networking. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_networking (data zvernennia: 15.09.2025). **8.** ISO/IEC TR 29181-1:2012. Information technology – Future Network: Problem statement and requirements – Part 1: Overall aspects, IDT. **9.** Open Networking Foundation «Migration Use Cases and Methods». URL: <https://opennetworking.org/news-and-events/press-releases/open-networking-foundation-publishes-open-sdn-migration-use-cases-and-methods/> (data zvernennia: 22.09.2025). **10.** Open Networking Foundation «Migration Tools and Metrics». URL: <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2013/04/migration-tools-and-metrics.pdf> (data zvernennia: 27.09.2025).

Shynkarchuk N. V. ^[1; ORCID ID: 0000-0001-9811-2497],

Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor

¹Rivne State University of Humanities, Rivne

MIGRATION PATHS FROM TRADITIONAL COMPUTER NETWORKS TO SDN ARCHITECTURE

Software-defined networking is an approach to network management that uses abstraction to provide dynamic and programmatically efficient network configuration to create grouping and segmentation, while improving network performance and monitoring. SDN is designed to improve the static architecture of traditional networks and can be used to centralize network intelligence in a single network component by separating the process of forwarding network packets (data plane) from the process of routing (control plane). The control plane consists of one or more controllers, which are considered the brains of the SDN network. SDN is an architecture that separates network management and data forwarding functions, allowing network management to be directly programmed and the underlying infrastructure to be abstracted away for applications and network services.



SDN capabilities include the ability to more efficiently and dynamically manage network traffic, providing increased control and flexibility in the network. SDN allows the creation of multiple logical networks based on a single physical infrastructure, enabling network virtualization. In addition, SDN helps automate many network functions, which can reduce physical device usage and enable faster deployment and efficient use of network resources. In addition, SDN provides a centralized view of the entire network, providing better visibility and control. To configure an SDN network, you simply add a software controller, rather than editing large amounts of code across multiple network devices. The behavior of an SDN network can be controlled in real time, and new solutions can be implemented much faster than in a traditional architecture. Centralizing network state in a single point of control allows SDN networks to be configured using software tools. Network controllers also include a set of software interfaces that implement standard routing tasks such as multipathing, security, access control, bandwidth management, and quality of service, while they can be specialized and customized to meet specific user needs. The article considers methods for transforming the main classes of traditional networks into an SDN architecture based on the OpenFlow standard; describes possible scenarios for deploying SDN networks; provides tools for solving migration problems; investigates the issue of network security in the context of the growing use of software-defined networks.

Keywords: software-defined networking, SDN, architecture, control plane, data plane, OpenFlow, migration.

Отримано: 17 червня 2025 року
Прорецензовано: 02 вересня 2025 року
Прийнято до друку: 25 вересня 2025 року