

Л.М. КУПЕРШТЕЙН

Вінницький національний технічний університет  
ORCID ID: 0000-0001-6737-7134  
e-mail: kupershtein.lm@gmail.com

М.Д. КРЕНЦІН

Вінницький національний технічний університет  
ORCID ID: 0000-0002-1792-9401  
e-mail: mishatron98@gmail.com

## АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ПІРИНГОВИХ МЕРЕЖ

*Проаналізовано поняття та природу пірингових мереж, досліджено та представлено коротку історію їх розвитку. Розглянуто покоління пірингових мереж та їх архітектурні особливості. Досліджено основні переваги та недоліки однорангових мереж. Виконано порівняльний аналіз однорангових та багаторангових мереж. Досліджено найбільш відомі на сьогодні практики використання пірингових мереж. Визначено перспективні напрямки досліджень та розвитку пірингової технології обміну інформацією.*

*Ключові слова: пірингова мережа; децентралізована архітектура; однорангова мережа; розподілені обчислення.*

LEONID M. KUPERSHTEIN

Vinnitsia National Technical University  
MYKHAILO D. KRENTSIN  
Vinnitsia National Technical University

## ANALYSIS OF PEER-TO-PEER NETWORKS TRENDS

*The concept and nature of peer-to-peer networks are analyzed, a short history of their development is researched and presented. The first network of this type (Usenet), its features and prerequisites are described. Three types of peer-to-peer network architectures are considered - pure, federal and hybrid; advantages and disadvantages of each. The hybrid architecture is the most widely used today, as using a central server to connect nodes is a promising approach. Three generations of peer-to-peer networks are considered and their architectural features are presented. The first generation involved only file sharing, its feature was the use of a central server, which had information about which node contains which file. The second generation was characterized by the absence of a central server, but there was no indexing of nodes and data, which caused long delays in finding a node to connect. The third generation is more advanced, because it provides storage in each node of hash tables with information about other network members. The main advantages and disadvantages of peer-to-peer network architectures are investigated. A comparative analysis of peer-to-peer and multi-peer networks is performed. It is determined that it is more expedient to use decentralized networks in comparison with centralized ones, especially in cases where anonymity, confidentiality, fault tolerance and scalability are a priority. The most known directions of practical use of peer-to-peer networks are investigated. Today they are used in chat systems, banks, cryptocurrency systems, video communication systems. Decentralized systems are also used when working with digital wallets, because it makes online payments more effective.*

*Keywords: peer-to-peer network; decentralized architecture; distributed computing.*

### Вступ

Використання комп'ютерної техніки почалось із ЕОМ, що були розміром з будівлю. Вони були призначені лише для швидкої обробки даних. Згодом обчислювальна техніка почала широко використовуватися у наукових дослідженнях, виробництві, освіті [1]. У користувачів віддалених один від одного комп'ютерів з'явилася потреба у швидкому обміні даних. Для цього було запропоновано об'єднати комп'ютери у єдину систему (мережу) і таким чином передавати дані від одного комп'ютера до іншого. Комп'ютерні мережі (КМ) – це поширена техніка застосування інформаційно-комунікаційних технологій, що зараз використовуються для різних цілей [2]. Використання мереж допомагає використовувати зменшену кількість апаратного забезпечення, такого як принтери, сканери, камери, жорсткі диски тощо за рахунок однієї із основних передумов створення КМ – сумісне використання ресурсів. Крім того, ресурсами мереж можуть бути не тільки обладнання, а й нематеріальне, наприклад, Інтернет-з'єднання, база даних, web-додаток. При цьому КМ допомагають створювати та обробляти дані на пристроях окремих осіб, зберігати та захищати ці дані в унікальній системі.

Із плином часу люди створювали різноманітні програми обміну даними, що були необхідні користувачам по усьому світу. Проте зберігання їх на центральному сервері дуже обмежувало можливості їх передачі, адже пропускна здатність одного сервера була невелика. Це призвело до появи пірингових (peer-to-peer, P2P) мереж [3], суть яких полягає у рівноправності учасників. У таких мережах відсутній виділений сервер і кожен вузол (peer) являється як клієнтом, так і сервером. Отже, навіть якщо деякі комп'ютери/вузли вийдуть з ладу, мережа та зв'язок все одно працюватимуть. Також обчислювальні ресурси є збалансованими між учасниками мережі [4].

Станом на 2009 рік відео-трафік через пірингові мережі складав одну третю всього трафіку на той час. За останні роки кількість P2P трафіку значно зросла – 60–80% усього Інтернет-трафіку [5]. Така популярність забезпечена рядом переваг P2P мереж. Але разом з тим необхідно чітко розуміти перспективність напрямів використання цієї технології, складності в організації та розгортанні, можливі загрози та атаки. Розуміння основних особливостей та принципи функціонування однорангових (пірингових) мереж дозволить усвідомити доцільність їх ефективно використовувати для розв'язання прикладних задач.

Метою роботи є аналіз розвитку та сучасного стану пірингових мереж та перспективних напрямків їх використання.

### Виклад основного матеріалу

Поняття пірингової (P2P) мережі вперше було використано в 1969 році. P2P – це мережевий протокол, що забезпечує можливість створення та функціонування мережі рівноправних вузлів, їх взаємодії [6]. У багатьох випадках P2P є накладеними мережами, що використовують існуючі транспортні протоколи (TCP або UDP) стека TCP/IP. Проте першою справжньою реалізацією мережі P2P стала «Usenet», розроблена в 1979 р [7]. У Usenet, в той час як клієнти – кінцеві користувачі – все ще отримують доступ до ресурсів через сервери, самі сервери взаємодіють між собою як P2P-мережа, комунікуючи між собою без центрального органу. Тобто суть однорангової мережі полягає у тому, що мережа не має центрального вузла управління, а всі її учасники є рівноправними між собою (рис. 1,а) [8]. Хоча статус кожного вузла є однаковим, але можливості їх можуть істотно відрізнятись. Однорангова мережа, де кожен вузол є в дійсності рівноправним, називається чистою мережею. Але такий підхід має недоліки, пов'язані з пошуком інших вузлів та встановленням з'єднання між ними, адже необхідно отримати інформацію про самі вузли.

Оскільки учасники P2P мережі повинні певним чином отримувати інформацію про наявність інших вузлів цієї ж мережі та спосіб зв'язку з ними, з'явилися модифіковані пірингові мережі, які прийнято називати гібридними. У цьому випадку присутній центральний сервер, який просто містить інформацію про усіх учасників мережі та дозволяє здійснити пошук необхідного вузла [9]. Наступним кроком клієнти встановлюють зв'язок безпосередньо один з одним (рис. 1,б). Централізована система також дозволяє отримати найновіші відомості про те, які ресурси можна використовувати в даний момент. Гібридна архітектура P2P мереж є найбільш вживаною на сьогоднішній день, адже використання сервера для допомоги з'єднання вузлів є досить зручним.

Ще одним способом знаходження нових вузлів у мережі є використання трансляції дейтаграм «в нікуди». Інші вузли можуть прослухати ці дейтаграми та обробити. Проте цей метод працює в невеликій мережі, де учасникам не заважають інші потоки даних.

Існують також федеративні P2P системи, суть яких полягає в тому, що взаємодія між вузлами відбувається всередині попередньо визначених доменів, таких як організація (рис. 1,в).

Після створення «Usenet» однорангові мережі почали стрімко розвиватись. Змінилось кілька поколінь мереж, поки вони не набули поточного стану. Перше покоління передбачало лише звичайний обмін файлами. У 1999р. з'явилась мережа «Napster», яка перетворювала комп'ютер користувача у вузол обміну файлами [10]. Ця мережа передбачала наявність центрального сервера, що зберігав дані про те, які файли є в учасників мережі та як їм з'єднатись один з одним. «Napster» припинив своє існування в 2001 році через юридичні проблеми.

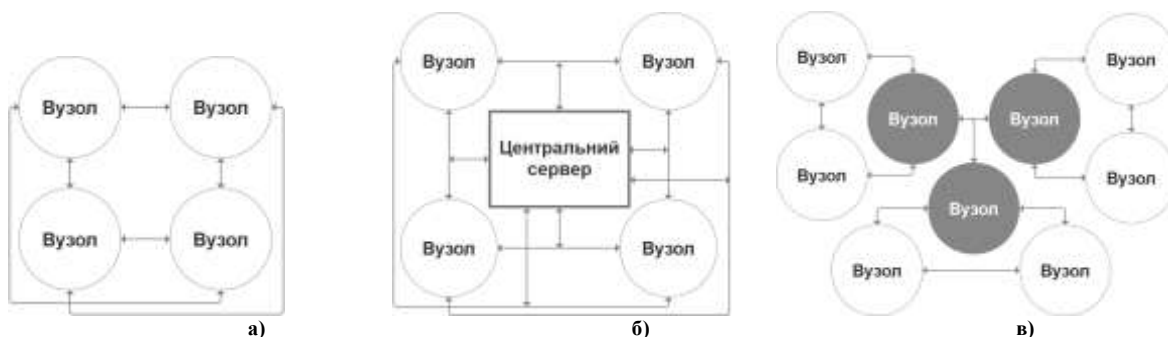


Рис. 1. Структура пірингової мережі: а) чиста; б) гібридна; в) федеративна

Головною рисою другого покоління P2P-мереж є відсутність центральних серверів та «хвильовий» алгоритм пошуку інших учасників мережі. Прикладом такої мережі була Gnutella [11]. Проте розроблений алгоритм пошуку був досить неефективним при зростанні кількості учасників мережі, адже він працював доволі повільно. Причиною цього було те, що мережа була неструктурованою, тобто без індексації вузлів. А це в свою чергу визначало часову складність пошуку вузла як  $O(n)$ . Перевагою цієї мережі було те, що знищити її можливо лише вивівши з ладу кожен вузол. Але недоліком є те, що для того, щоб під'єднатись до існуючої мережі, необхідно один раз знати IP-адресу будь-якого працюючого вузла.

Відмінною рисою третього покоління пірингових мереж було те, що тут не використовувався центральний сервер, але при цьому алгоритм пошуку був більш досконалий. Він базувався на використанні розподілених хеш-таблиць, що підтримуються кожним учасником мережі. Такі мережі є структурованими, адже використовують індексацію даних. Клієнтом, що використовував таку мережу був Edonkey2000 [12]. Файли з однаковими іменами, але різним вмістом розглядаються, як різні файли, а файли з різними іменами та однаковим вмістом – як однакові. Edonkey2000 також дозволяв здійснювати пошук за складними логічними формулюваннями. Проте ця мережа мала великий недолік – малу пропускну здатність. А також була припинена її робота через юридичні проблеми. На основі Edonkey2000 було створено ряд нових вдосконалених однорангових мереж.

Оскільки пірингові (однорангові) мережі є досить перспективною технологією сьогодення, доцільно дослідити їх переваги та недоліки у порівнянні з клієнт-серверними (багаторанговими). Багаторангова

мережа – це мережа на основі виділеного сервера. В мережу підключається виділений комп'ютер, який працює як сервер, а інші вузли є клієнтами і звертаються до сервера [13]. Такі мережі створюються тоді, коли однорангові мережі є недостатньо продуктивними. Така продуктивність забезпечується за рахунок використання потужніших компонентів комп'ютера та спеціального програмного забезпечення [14]. В P2P мережі кожен вузол може працювати як сервер, так і як клієнт. Переваги такого підходу досягаються за рахунок відсутності сервера, що відповідає за адміністрування всієї мережі. У таблиці 1 наведено результати порівняльного аналізу вищеописаних типів мереж у бальній шкалі:

- 1 бал – характеристика присутня;
- 0,5 балів – характеристика присутня за деяких умов
- 0 балів – характеристика відсутня.

В результаті аналізу було виділено 18 характеристик для порівняння. Із даних таблиці 1 можна зробити висновок, що використання пірингових мереж є більш доцільним, адже вони мають більше переваг, ніж багаторангові (13>8). Проте використання централізованих мереж є доцільним тоді, коли не вистачає обчислювальних потужностей P2P, а також організації контролю доступу до даних (коли треба обмежувати доступ до даних окремим вузлам, доступ до певних даних, а також їх фільтрація та резервне копіювання в єдиному місці).

Таблиця 1

## Порівняльна характеристика типів мереж

№	Характеристика	Пірингова	Багаторангова
1	Відсутність витрат на зберігання даних та пропускну здатність	1	0
2	Відсутність системного адміністрування	1	0
3	Користувацький контроль ресурсів	1	0
4	Можливість отримати доступ до будь-якого файлу в бідь-який момент часу	0,5	0
5	Немає необхідності в спеціально навченому персоналі	0,5	0
6	Відмовостійкість	1	0,5
7	Незалежність вузлів	1	0
8	Організація контролю доступу	0,5	1
9	Стабільність швидкості обміну даними	0,5	1
10	Контроль над розповсюдженням захищеного авторським правом контенту	0	1
11	Простота створення	0	1
12	Анонімність та конфіденційність	1	0,5
13	Балансування навантаження	0,5	1
14	Легка масштабованість	1	0,5
15	Простота конфігурації	1	0,5
16	Резервне копіювання даних	0,5	1
17	Високий ступінь доступності інформації	1	0
18	Відсутність спеціального обладнання	1	0
<b>Разом</b>		<b>13</b>	<b>8</b>

Мережі типу P2P розвиваються і до сьогодні. Їх використання необмежене лише обміном файлів, як це було раніше. Найбільшого поширення такі мережі набули в сферах, де важливий конфіденційний обмін даними між людьми. Це є системи відеозв'язку, трансляції відео (P2PTV), IP-телефонії, системи інтернет-телебачення тощо [15]. В P2PTV системі кожен користувач, завантажуючи відео потік одночасно вивантажує його для інших користувачів. Це дозволяє постачальникам послуг витратити менше коштів на підтримку всього технічного обладнання, необхідного для традиційного підходу. А це, в свою чергу, робить вище вказані послуги більш доступними для кінцевого користувача.

Пірингові мережі знайшли своє використання також у технології Blockchain [16]. Однорангова архітектура Blockchain надає користувачам безліч переваг. На відміну від стандартних банківських рахунків, криптовалюти гаманці не можуть бути заморожені або анульовані урядом. Також розподіл даних в Blockchain серед великої кількості вузлів робить мережу практично несприйнятливою до атак типу «відмова в обслуговуванні» (DoS/DDoS), від яких страждає велика частина систем [17]. В результаті, розподілена мережа, в поєднанні з обов'язковим погодженням більшості учасників забезпечує Blockchain системам відносно високу ступінь стійкості до зловмисної активності. Найпершою криптовалютою, що була побудована на технології Blockchain був Bitcoin. Транзакції з цифровим підписом між двома адресами передаються до всіх вузлів P2P мережі, а самі дані про переміщення Bitcoin зберігаються у дубльованій базі даних. Для запобігання можливості втрати чужих Bitcoin або подвійного використання своїх власних використовуються криптографічні методи.

Ще однією областю застосування децентралізованих мереж є системи, що працюють зі звичайними грошима [18]. Вони використовуються в таких операціях, як виконання грошових транзакцій, відправка рахунків, безпечного адміністрування даних тощо. P2P мережі використовуються ще й при роботі з цифровими гаманцями, не пов'язаними з банками (PayPal, Venmo) та в додатках, що призначені для

безконтактної оплати (ApplePay, GooglePay) [19].

Незважаючи на швидкість, конфіденційність, відмовостійкість та інші переваги пірингових мереж, вони також піддаються атакам. Децентралізовану мережу захистити набагато складніше, ніж централізовану. Деяка частина інформації може передаватись в незашифрованому вигляді (для збільшення швидкості), існує проблема підробки IP-адреси вузла (можлива фальсифікація даних). До P2P мережі можуть підключатись неавторизовані клієнти і створювати навантаження, що не несе ніякої корисної інформації. Для вирішення вище описаних проблем безпеки створюють різноманітні методи, що базуються на періодичній зміні ключів, списку контролю доступу, шифруванні даних тощо [20, 21].

За даними досліджень на сьогоднішній день спостерігаються такі тенденції в розвитку пірингових мереж [22, 23]:

- Еволюція існуючих концепцій. Відбувається вдосконалення алгоритмів пошуку контенту, застосування нових методів забезпечення безпеки, вдосконалення методів взаємодії вузлів мережі.

- Ажіотаж – переконання в тому, що пірингові мережі є кращими за централізовані. Хоча такі мережі мають велику кількість переваг, але вони часто використовуються без оцінки доцільності їх використання для вирішення конкретної задачі.

- Створення нових та вдосконалення існуючих протоколів обміну даними.

Технологія P2P мереж стає все більш популярною, але сьогоднішні P2P – це не те саме, що було на початку їх розробки. Однорангові мережі неодноразово мали технологічні прориви та можуть знайти своє застосування у таких сферах:

- Мультимедіа P2P. Відбуватиметься покращення протоколів обміну даними для збільшення пропускну здатності та швидкості передачі без втрати якості контенту.

- Хмара P2P. Технологія децентралізованих мереж зробить хмару більш надійним середовищем обміну даними за рахунок гібридної інфраструктури.

- Пошукові системи на основі P2P. Кожен вузол здійснюватиме пошук окремо, тим самим пришвидшуючи цей процес.

- Вдосконалення програм для обміну миттєвими повідомленнями. Поєднання сучасних криптографічних протоколів обміну даними із технологією P2P мереж дозволить вивести обмін повідомленнями на новий рівень.

- Машинне навчання. P2P мережі дозволять нейронним мережам швидше навчатись та покращувати бажаний результат.

- Більш ефективне використання глобальних обчислювальних ресурсів. Комп'ютери, що не виконують ніяких задач, у певний момент часу зможуть брати участь у розв'язанні задач, які потребують значних обчислювальних потужностей.

- Створення автономних систем, які зможуть вирішувати певні задачі без втручання користувача, а також адаптуватись до змін.

### Висновки

Проаналізовано базові поняття та особливості пірингових мереж, досліджено основні етапи їх розвитку та покоління. Виконано багатокритеріальне порівняння однорангових та багаторангових мереж. Визначено, що децентралізовані мережі більш доцільно використовувати у порівнянні з централізованими особливо у тих випадках, де пріоритетною є анонімність, конфіденційність, відмовостійкість та масштабованість.

Найбільшого поширення однорангові мереж набули в системах, що обробляють великі обсяги даних і забезпечують індивідуальний обмін інформацією між користувачами. Пірингові мережі почали свій розвиток із звичайного обміну файлами, а на сьогоднішній день вони використовуються у чат-системах, банках, криптовалютних системах, системах відеозв'язку тощо. Динамічне зростання обсягу Інтернет-трафіку, що охоплює пірингова технологія із року в рік підтверджує її актуальність та перспективність. Це пояснюється меншими витратами на трафік, зменшенням затримок при передачі даних, підвищенням якості трафіку та кіберзахистеності в цілому. Пірингові мережі можуть знайти своє застосування у машинному навчанні, пошукових системах, хмарних обчисленнях. Крім того, відбуватиметься покращення існуючих та створення нових захищених високопродуктивних протоколів обміну даними для охоплення більшої кількості сфер застосування децентралізованих мереж.

### Література

1. Мартинюк Т. Б. Аналіз тенденцій розвитку сучасних комп'ютерних систем / Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, Л. М. Куперштейн // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2016. – № 2. – С. 5–13.
2. Скачиваем фильмы, музыку и программы из интернета. пиринговые сети: eDONKEY BitTorrent, KaZaA, DirectConnect / под ред. М. В. Финкова ; пер. с чеш. – СПб : Наука и Техника, 2006. – 272 с. – (Серия «Просто о сложном»).
3. Гуркин Ю.Н. Файлообменные сети P2P: основные принципы, протоколы, безопасность / Ю.Н. Гуркин, Ю.А. Семенов // Сети и системы связи, – 2006. – № 11. – С. 62.
4. Secure Peer-to-peer Networks for Trusted Collaboration [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://core.ac.uk/download/pdf/192229218.pdf>
5. Cisco Systems, “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2009-2014” White Paper.

2010. P. 17.

6. Ландэ Д.В. Интернетика: Навигация в сложных сетях: модели и алгоритмы / Ландэ Д.В., Снарский А.А., Безсуднов И.А. – М. : Либроком, 2009. – 264 с.
7. Michael Hauben, Ronda Hauben, Thomas Truscott. Netizens: On the History and Impact of Usenet and the Internet (Perspectives). Wiley-IEEE Computer Society P. ISBN 978-0-8186-7706-9
8. P2P Networking. URL: <https://nakamoto.com/p2p-networking/>
9. Zhang, H. Architecture of Network and Client-Server model. arXiv:1307.6665
10. Giesler, Marku., Consumer Gift Systems. Consumer Research. 2006. P. 283–290.
11. Gnutella Protocol Development. URL: [http://rfc-gnutella.sourceforge.net/src/rfc-0\\_6-draft.html](http://rfc-gnutella.sourceforge.net/src/rfc-0_6-draft.html).
12. Saddi W., Guillemin F. Measurement based modeling of edonkey peer-to-peer file sharing system. International Teletraffic Congress. 2007. P. 974–985.
13. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Таненбаум Э., Уэзеролл Д. – СПб : Питер, 2020. – 960 с.
14. Datar, M. Butterflies and peer-to-peer networks. ESA 2002, 10th Annual European Symposium. 2002, P. 310–320.
15. Peer-To-Peer VOiP. URL: <https://www.tmcnet.com/voip/0907/feature-articles-peer-to-peer-voip.htm>.
16. Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2009. P. 9.
17. Voytovych O.P. Investigation of denial-of-service attacks / O.P. Voytovych, L.M. Kupershtein, E.I. Kolibabchuk // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 3. – С. 129–133.
18. King S. and S. Nadal, Ppcoin. Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. 2019. P. 6.
19. PayPal vs. Google Pay vs. Venmo vs. Cash App vs. Apple Pay Cash | Digital Trends. URL: <https://www.digitaltrends.com/mobile/paypal-vs-google-wallet-vs-venmo-vs-square-cash/>
20. Ruffo G., Schifanella R. A peer-to-peer recommender system based on spontaneous affinities. ACM Trans. Internet Technol, 2009. P. 1–34.
21. Balfe S., Lakhani A. D. and Paterson K. G. Trusted computing: providing security for peer-to-peer networks. Fifth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P'05). 2005. P. 117–124, DOI: 10.1109/P2P.2005.40.
22. Trends in P2P Networks and Computing. Wittenburg. URL: <http://page.mi.fuberlin.de/wittenbu/studies/p2ptrends.pdf>
23. Shah M., M. Shaikh, V. Mishra and G. Tuscano. Decentralized Cloud Storage Using Blockchain. 2020 4th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI) (48184). 2020, P. 384–389.

#### References

1. Martyniuk T. B. Analiz tendentsii rozvytku suchasnykh kompiuternykh system / T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, L. M. Kupershtein // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2016. – № 2. – С. 5–13.
2. Skachivaem filmy, muzyku i programy iz interneta. piringovye seti: eDONKEY BitTorrent, KaZaA, DirectConnect / pod red. M. V. Finkova ; per. s chesh. – Spb : Nauka i Tehnika, 2006. – 272 s. – (Seriya «Prosto o slozhnom»).
3. Gurkin Yu.N. Fajloobmennye seti R2R: osnovnye principy, protokoly, bezopasnost / Yu.N. Gurkin, Yu.A. Semenov // Seti i sistemy svyazi, – 2006. – № 11. – С. 62.
4. Secure Peer-to-peer Networks for Trusted Collaboration [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://core.ac.uk/download/pdf/192229218.pdf>.
5. Cisco Systems, “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2009-2014” White Paper. 2010. R. 17.
6. Lande D.V. Internetika: Navigaciya v slozhnyh setyah: modeli i algoritmy / Lande D.V., Snarskiy A.A., Bezsudnov I.A. – М. : Librokom, 2009. – 264 с.
7. Michael Hauben, Ronda Hauben, Thomas Truscott. Netizens: On the History and Impact of Usenet and the Internet (Perspectives). Wiley-IEEE Computer Society P. ISBN 978-0-8186-7706-9
8. P2P Networking. URL: <https://nakamoto.com/p2p-networking/>
9. Zhang, H. Architecture of Network and Client-Server model. arXiv:1307.6665
10. Giesler, Marku., Consumer Gift Systems. Consumer Research. 2006. P. 283–290.
11. Gnutella Protocol Development. URL: [http://rfc-gnutella.sourceforge.net/src/rfc-0\\_6-draft.html](http://rfc-gnutella.sourceforge.net/src/rfc-0_6-draft.html).
12. Saddi W., Guillemin F. Measurement based modeling of edonkey peer-to-peer file sharing system. International Teletraffic Congress. 2007. P. 974–985.
13. Tanenbaum E. Kompyuternye seti / Tanenbaum E., Uezeroll D. – Spb : Piter, 2020. – 960 s.
14. Datar, M. Butterflies and peer-to-peer networks. ESA 2002, 10th Annual European Symposium. 2002, P. 310–320.
15. Peer-To-Peer VOiP. URL: <https://www.tmcnet.com/voip/0907/feature-articles-peer-to-peer-voip.htm>.
16. Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2009. P. 9.
17. Voytovych O.P. Investigation of denial-of-service attacks / O.P. Voytovych, L.M. Kupershtein, E.I. Kolibabchuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2016. – № 3. – P. 129–133.
18. King S. and S. Nadal, Ppcoin. Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. 2019. P. 6.
19. PayPal vs. Google Pay vs. Venmo vs. Cash App vs. Apple Pay Cash | Digital Trends. URL: <https://www.digitaltrends.com/mobile/paypal-vs-google-wallet-vs-venmo-vs-square-cash/>
20. Ruffo G., Schifanella R. A peer-to-peer recommender system based on spontaneous affinities. ACM Trans. Internet Technol, 2009. P. 1–34.
21. Balfe S., Lakhani A. D. and Paterson K. G. Trusted computing: providing security for peer-to-peer networks. Fifth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P'05). 2005. P. 117–124, DOI: 10.1109/P2P.2005.40.
22. Trends in P2P Networks and Computing. Wittenburg. URL: <http://page.mi.fuberlin.de/wittenbu/studies/p2ptrends.pdf>
23. Shah M., M. Shaikh, V. Mishra and G. Tuscano. Decentralized Cloud Storage Using Blockchain. 2020 4th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI) (48184). 2020, P. 384–389.