

*В.С. ЧУМАК, О.Г. АВРУНІН, Є.А. ЧУГУЙ, І.В. СВИД*

## **АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ТЕЛЕМЕДИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ШИРОКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Враховуючи сучасні тенденції, у роботі наведено аналіз принципів побудови телемедичних систем, мереж та комплексів. Розроблено загальну структуру надання телемедичних послуг. Запропоновано структури реалізації портативного та мобільного телемедичного комплексу. Проаналізовано інфокомунікаційні системи та мережі стосовно впровадження в мобільних телемедичних комплексах. Обґрунтовано переваги застосування сенсорної мобільної натільної мережі стандарту IEEE 802.15.6 WBAN в мобільних телемедичних комплексах. Дослідження надійності сенсорної мережі проведено з використанням випадкового UDG-графа, що, у свою чергу, дозволяє визначити оптимальні параметри робочого циклу сенсорів.

### **1. Вступ**

Телемедицина - новий напрямок медичних послуг, який охоплює кілька різномірних областей - медицина, телекомунікації, інформаційні технології. У сучасному суспільстві внаслідок поточної епідеміологічної ситуації спричиненої COVID-19, телемедицина набула широкого розвитку та впровадження, як у світовому просторі, та, зокрема, і в Україні.

Ця сфера медичних послуг дозволяє пацієнту і лікарю заощадити час і сили, тому що спілкування відбувається онлайн. Це актуально, як для жителів мегаполісів, так і для людей, які живуть у сільській місцевості, і такий підхід забезпечує рівні можливості доступу до якісного медичного обслуговування для пацієнтів у всіх куточках країни. Крім того, телемедицина значно скорочує витрати на лікування, підвищує якість діагностики і реалізує можливість віддаленого моніторингу стану здоров'я, що, в свою чергу, є економічно ощадливим, як для пацієнта, так і для країни в цілому.

Існує декілька визначень терміну «телемедицина», зокрема, згідно з [1], «телемедицина - це напрям медицини, а саме, комплекс дій, технологій та заходів, що застосовуються при наданні медичної допомоги з використанням засобів дистанційного зв'язку у вигляді обміну електронними повідомленнями (у випадках, коли відстань є критичним чинником, наприклад, в сільській місцевості). Важливо: повідомленнями обмінюються не пацієнт і лікар, а лікарі між собою. Так лікарі первинної ланки мають можливість швидко отримати фахову консультацію вузькопрофільних колег».

У рамках політики Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я (ВООЗ) в області телемедицини 1997 року було запропоновано наступне визначення. Телемедицина - це метод надання послуг з медичного обслуговування там, де відстань є критичним чинником. Послуги здійснюються медичними працівниками з використанням інформаційно-комунікаційних технологій з метою отримання інформації, необхідної для діагностики, лікування і профілактики захворювання [2].

Найпоширеніше визначення поняття «телемедицина» надано Американською асоціацією телемедицини: «Предмет телемедицини полягає в передаванні медичної інформації між віддаленими один від одного пунктами, де знаходяться пацієнти, лікарі, інші провайдери медичної допомоги, між окремими медичними закладами» [3].

### **2. Телемедицина в Україні**

На сьогодні телемедицина в Україні - це, в першу чергу, телемедичні консультації (консультації онлайн) сімейних лікарів, терапевтів або педіатрів, які працюють у віддалених районах фахівцями вищого рівня, наприклад, лікарями обласних лікарень [3].

Законопроект «Про телемедицину» (№ 10196 від 14.03.2012 р.) визначає її як комплекс організаційних, фінансових і технологічних заходів, що забезпечують надання дистанційної консультаційної медичної послуги, за якої пацієнт або лікар, що безпосередньо проводить обстеження та/або лікування пацієнта, отримує дистанційну консультацію іншого лікаря з використанням телекомунікацій.

На прохання Міністерства охорони здоров'я України та Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України в межах проекту «Підтримка реформ та ефективного урядування в сфері охорони здоров'я в Україні», що фінансується Трастовим фондом за підтримки Швейцарської агенції з розвитку й співробітництва, Світовим банком було ініційоване дослідження. В рамках цього дослідження було проведено онлайн-анкетування 1108 лікарів первинної ланки, які працюють у населених пунктах з чисельністю населення до 100 тисяч осіб у п'яти областях України (Дніпропетровській - 245, Кіровоградській - 196, Полтавській - 237, Рівненській - 214, Харківській - 216). За результатами анкетування з'ясували, що лікар в середньому витрачає на відвідування пацієнтів на дому 2,5 години на день. Частина цього часу можна заощадити, якщо така послуга буде надаватися з застосуванням телемедицини технологій. Середня кількість випадків, коли у лікарів первинної ланки виникала потреба у телеконсультуванні, на місяць становила майже п'ять разів - тобто частіше, ніж раз на тиждень [1].

Головною метою використання телемедицини методів є забезпечення рівного доступу до медичних послуг належної якості, наприклад, при необхідності надання медичної допомоги пацієнту у випадках, коли відстань і час є критичними чинниками. Крім того, застосування телемедицини забезпечить формування цілісності медичної інформації про стан здоров'я пацієнтів та сприятиме створенню єдиного медичного простору в країні.

Найбільш прийнятними формами телеконсультування, за результатами дослідження, є: отримання висновку в електронному вигляді після перенаправлення пацієнта до вузького спеціаліста (54%); телеконсультування в режимі реального часу у присутності пацієнта (38%); отримання експертних порад на запит лікаря у режимі, відкладеному в часі (28%) [1]. Опитування також спростувало поширену тезу про те, що впровадження телемедицини є неможливим в Україні, особливо в сільській місцевості, через погане забезпечення комп'ютерами і недоступність Інтернету. Насправді, за свідченнями лікарів, 94% з них мають персональний комп'ютер на своєму робочому місці, а 90% мають доступ в Інтернет з комп'ютера на своєму робочому місці постійно або більшу частину часу [1].

Фахівці експертної групи МОЗ України, проаналізувавши результати дослідження, розробили «Методичні рекомендації з діагностики та лікування деяких захворювань при наданні телемедицини послуг для лікарів загальної практики - сімейної медицини» [4]. Цей документ містить детальні інструкції із застосування методів телемедицини для діагностики і лікування за напрямками, найбільш затребуваними лікарями первинної ланки, визначених дослідженням: пульмонологія та алергологія (бронхіальна астма, обструктивне захворювання легень); дерматологія (доброякісні і злоякісні новоутворення шкіри); кардіологія (гострий коронарний синдром); ендокринологія (цукровий діабет).

До основних телемедицини сервісів, що вже функціонують в Україні, можна віднести: телемедицину мережу Medinet [2, 5]; модуль «Телемедицина» РІМС «Медстар» [6]; проект «Телемедицина» [7, 8]; телемедицини сервіс для пацієнтів Doctor Online [9]; платформу для онлайн- зв'язку з лікарем Medikit [10]; телемедицини сервіс для пацієнтів «Поліклініка без черг» [11]; електронну систему охорони здоров'я eHealth [12].

Метою даної роботи є розробка узагальненої структурної схеми надання телемедицини послуг з урахуванням чинних нормативно-правових документів та стандартів. Згідно з цією метою, необхідно розробити структурну схему мобільного/портативного телемедицини комплексу, провести обґрунтування вибору мережі передачі даних у телемедицини комплексі та надати рекомендації щодо надійності запропонованої мережі.

### **3. Принципи побудови телемедицини систем та мереж**

Принципи побудови телемедицини систем та мереж, насамперед, визначаються інструментами телемедицини [4, 13, 14].

Основними інструментами телемедицини є:

- телемедицини консультування - надання медичної допомоги пацієнту лікарем із застосуванням телемедицини;

- телемедицини консиліум - надання медичної допомоги пацієнту із залученням декількох лікарів у складних випадках постановки діагнозу, лікування або проведення операцій, для передачі досвіду.

- телеметрія - сукупність технологій, що дають змогу проводити дистанційне вимірювання, збір і передачу інформації про показники діяльності (фізіологічні параметри) організму пацієнта;

- домашнє телеконсультування - процес спостереження за станом здоров'я пацієнта, який перебуває за межами закладу охорони здоров'я, із застосуванням телемедицини.

Ресурсне забезпечення телемедицини визначається такими особливостями [14]:

- технічні та інформаційно-програмні засоби телемедицини включають спеціалізоване програмне та програмно-апаратне забезпечення для реалізації функцій Порталу телемедицини; програмне та програмно-апаратне забезпечення відеозв'язку та аудіозв'язку; технічні прилади, оснащені засобами збереження і передачі даних та зображень у вигляді електронних повідомлень; засоби телеметрії; спеціалізоване програмне забезпечення для передавання, збереження та інтерпретації знімків і зображень, зафіксованих цифровими носіями, у тому числі у променевій діагностиці, обов'язково застосовує стандарт DICOM: ДСТУ ISO 17432:2009. Інформатика в охороні здоров'я. Повідомлення та пересилання даних. Web-доступ до файлових об'єктів системи DICOM (ISO 17432:2004, IDT);

- аудіо- та відеозв'язок самостійно використовуються при проведенні відеоконференцій,

відеосемінарів, відеолекцій та інших заходів, де передбачається візуальний контакт. Під час телемедичного консультування аудіо- та відеозв'язок може застосовуватись як додатковий інструмент комунікацій;

- під час надання медичної допомоги із застосуванням телемедицини забезпечується виконання вимог законодавства України щодо захисту персональних даних та дотримання норм етики та дентології надання медичної допомоги.

Враховуючи загальні принципи побудови телемедичних систем, комплексів та мереж затверджені в [14], запропоновано один з варіантів загальної структури надання телемедичних послуг (рис. 1).

Аналіз загальної структури надання телемедичних послуг показує, що вагоме місце у наведеній структурі займають інфокомунікаційні системи (мережі).



Рис. 1. Один з варіантів загальної структури надання телемедичних послуг

#### 4. Проектування структури телемедичного комплексу широкого призначення

Функціональне призначення телемедичного комплексу визначається відповідно до необхідних і достатніх вимог відстеження стану пацієнта, а для пацієнтів з хронічними захворюваннями і літніх людей це вкрай важливо. Крім того, телемедичний комплекс може використовуватися для відстеження стану спортсменів під час тренування, фітнес-тренування, реабілітації тощо.

Моніторинг можна класифікувати за метою (цільовим об'єктом) моніторингу, включаючи: моніторинг серця; гемодинамічний моніторинг; моніторинг дихання; неврологічний моніторинг; моніторинг рівня глюкози в крові; контроль температури тіла та інше.

Телемедичний комплекс може мати мобільну або портативну структуру. Запропоновані загальні структурні схеми побудови портативного/мобільного телемедичних комплексів наведено на рис. 2-3.

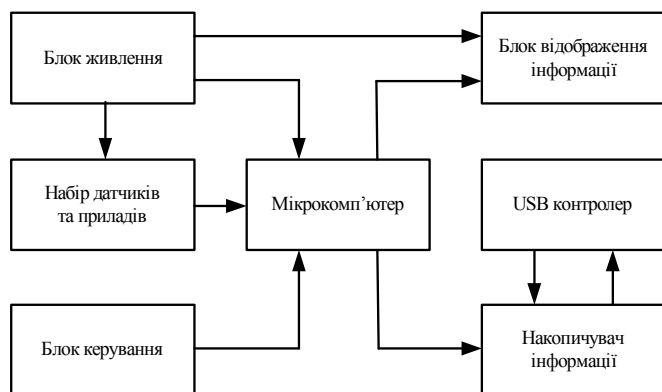


Рис. 2. Портативний телемедичний комплекс

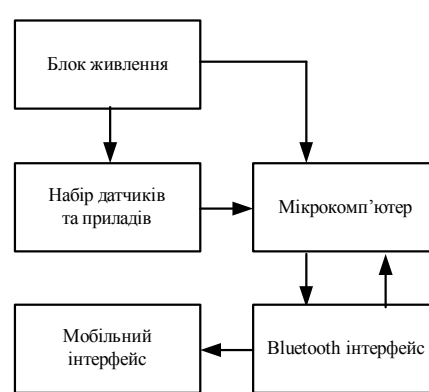


Рис. 3. Мобільний телемедичний комплекс

Все частіше у телемедичних комплексах і системах використовуються сенсорні мережі [19-22].

В наведеній структурі мобільного телемедичного комплексу (рис. 2) запропоновано використовувати сенсорну мобільну натільну мережу технології WBAN.

WBAN - це сенсорна мобільна натільна мережа стандарту IEEE 802.15.6, який було введено з метою забезпечити міжнародний стандарт малопотужного, малого радіусу дії й надзвичайно надійного бездротового зв'язку в межах навколишнього середовища людського тіла, підтримуючи великий діапазон швидкостей передачі даних для різних додатків. У цьому стандарті описано бездротовий зв'язок ближньої дії поблизу або всередині людського тіла (але не обмежуючись людьми). Він використовує існуючі промислово-наукові медичні (ISM) діапазони, а також діапазони частот, затверджені національними медичними та/або регулюючими органами. Необхідна підтримка якості обслуговування (QoS), надзвичайно низького енергоспоживання і швидкості передачі даних до 10 Мбіт/с при одночасному дотриманні суворих правил невтручання в разі потреби. У цьому стандарті розглядається вплив на портативні антени через присутність людини (в залежності від того, чи є ця людина чоловіком, жінкою, худю, повною тощо). Застосовується форма діаграми спрямованості для мінімізації питомого коефіцієнту поглинання (SAR) в організмі, а також зміни характеристик в результаті дій користувача. Загальна структура мережі WBAN наведена на рис. 4.

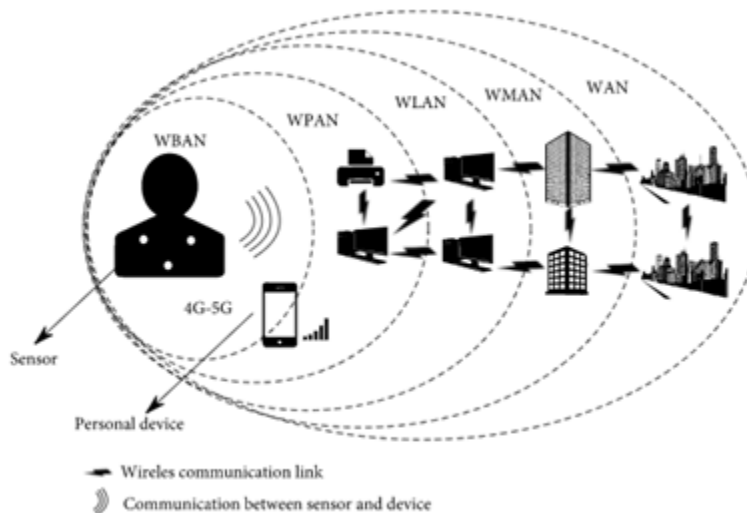


Рис. 4. Загальна структура мережі WBAN

Стандарт IEEE 802.15.6 націлений на забезпечення конфіденційності, аутентифікації, цілісності, захисту конфіденційності та захисту від відтворення. Всі вузли та концентратори повинні вибрати три рівня безпеки: незахищений зв'язок (рівень 0); аутентифікація, але без шифрування (рівень 1); а також аутентифікація і шифрування (рівень 2). У процесі зіставлення безпеки вузол і концентратор повинні спільно вибрати відповідний рівень безпеки. При одноадресній передачі активується попередньо розділений або новий загальний ключ (МК). Потім створюється парний тимчасовий ключ (РТК), який використовується тільки один раз на сеанс.

При багатоадресній передачі створюється тимчасовий ключ групи (ГТК), який використовується спільно з відповідною групою. Всі вузли та концентратори в WBAN повинні пройти певні етапи на рівні MAC перед обміном даними. Використовується процедура «асоціація безпеки» - процедура для ідентифікації вузла і концентратора один для одного; для встановлення нового загального ключа (МК), спільно використовуваного між ними, або для активації існуючого МК, попередньо спільно використовуваного між ними. Асоціація безпеки в стандарті IEEE 802.15.6 заснована на чотирьох протоколах узгодження ключів.

У стандарті IEEE 802.15.6 в якості носіїв інформації запропоновано використовувати імпульсні сигнали трьох типів: імпульси з лінійною частотною модуляцією (chirp pulses); хаотичні імпульси (chaotic pulses); короткі імпульси (short pulses shape).

При побудові сенсорних мереж стандарту IEEE 802.15.6, як і для подібних мереж стандартів IEEE 802.x, існує нагальна проблема - енергоефективність використовуваних датчиків, яка залежить від параметрів робочого циклу датчика, надійності мережі (ймовірності наявності можливості обміну даними між двома вузлами в визначений проміжок часу) і радіусу передачі повідомлення.

Запропоновано використовувати графові моделі для визначення надійності сенсорної мережі, і, як наслідок, визначення оптимальних параметрів робочого циклу сенсорів. Припустимо, що топологія мережі моделюється випадковим геометричним графом. Випадковий геометричний граф з параметрами  $m$  і  $r$  будується шляхом розміщення на площині (випадковим чином і незалежно один від одного)  $m$  вершин і додаванням ребер між тими вершинами, які знаходяться на відстані не більше  $r$  один від одного. Моделювання сенсорних мереж таким графом вважається більш правдоподібним, ніж випадковим графом. Серед геометричних графів виділяють важливий підклас - Unit Disk Graphs (UDG-графи) (рис. 5). У такому графі, розміщеному в Евклідовій площині, ребро між двома вершинами існує, якщо евклідова відстань між цими вершинами менше або дорівнює 1. Якщо вершини розподілені на площині випадковим чином і незалежно одна від одної, то такий UDG-граф називається випадковим UDG-графом [24].

Запропоновано використовувати випадковий UDG-граф  $G = (M, R)$ , де  $M$  - множина вершин,  $R$  - множина ребер, у якості моделі для аналізу сенсорної мережі. Припустимо, що ребра випадкового геометричного графу абсолютно надійні, оскільки у даному випадку, не розглядаються питання, пов'язані з затуханням сигналу, інтерференцією, екрануванням тощо. Надійність вершини графу (доступність сенсора) можна визначити за формулою:

$$p = 1 - S/T, \quad (1)$$

де  $S$  - середній час перебування сенсора в неактивному стані впродовж робочого циклу;  $T$  - період (довжина) робочого циклу.

Зазначимо, що надійність сенсора  $p$  є монотонно спадаючою функцією від радіуса передачі  $r$ :

$$r_1 > r_2 \Rightarrow p(r_1) < p(r_2). \quad (2)$$

Кількість ребер у графі ( $m$ ) має прямо пропорційну залежність від радіуса передачі.

$$r_1 > r_2 \Rightarrow m(r_1) > m(r_2). \quad (3)$$

В загальному виді задачу оптимізації надійності сенсорної мережі можна представити наступним чином [24]:

$$R(G(n, m(p), p(S))) \rightarrow \max(S), \quad (4)$$

де  $n$  - ваговий коефіцієнт вартості (надійності) вузла сенсорної мережі.

Використовуючи наведені вище властивості, отримаємо:

$$r = \arg \max_{r \in \Omega_r} R(G(n, m(r), p(r))), \quad (5)$$

де  $\Omega_r$  - множина допустимих відстаней для  $r$  між вузлами сенсорної мережі.

В деяких випадках доцільно обмежити максимальну кількість вершин у графі через специфіку протоколів MAC або інтерференцію.

Запропонований метод дослідження надійності з використанням випадкового UDG-графа задовольняє основним вимогам моделювання надійності мобільних мереж та, як наслідок, дозволяє визначити оптимальні параметри робочого циклу сенсорів.

## 5. Висновки

Телемедичні системи відповідають сучасним тенденціям розвитку надання медичних послуг та реалізують засобами телемедичних комплексів важливу функцію відстежування біологічних показників у режимі реального часу в різних сферах медицини та спорту, що вказує на актуальність задач розробки телемедичного комплексу автоматизованого контролю. Даний комплекс дозволить вимірювати ізометричну силу, напругу і розслаблення м'язів в режимі реального часу, з огляду на ритм дихання, артеріальний тиск і насичення організму киснем, а також може бути здатним вести запис, передавати і зберігати інформацію. У даному комплексі пропонується використовувати сенсорну мобільну натільну мережу стандарту IEEE 802.15.6 як досить надійний бездротовий зв'язок, що підтримує великий діапазон швидкостей передачі даних, забезпечує чотирирівневу аутентифікацію передачі даних та цілісність отриманої інформації.

**Список літератури:** 1. Як застосовувати телемедицину лікарям первинної ланки: методичні рекомендації [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://moz.gov.ua/article/for-medical-staff/jak-zastosovuvati-telemedicinu-likarjam-pervinnoi-lanki-metodichni-rekomendacii> 2. *Телемедична* платформа Medinet [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://medinet.com.ua/> 3. *Зленко С. М., Павлов С. В., Коваль Л. Г., Тимчик І. С.* Основи біомедичного радіоелектронного апаратубудування. Вінниця : ВНТУ, 2011. - 133 с. 4. *Вороненко Ю.В., Орбіна Т.М., Моїсєєнко Р.І. та ін.* Методичні рекомендації з діагностики та лікування деяких захворювань при наданні телемедичних послуг (для лікарів загальної практики - сімейної медицини). НМАПО імені П.Л. Шупика, 2019. - 104 с. 5. *IT4Medicine* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://it4medicine.com.ua/> 6. *MedStar* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://medstar.ua/> 7. *Законопроект "Про телемедицину"* № 10196 від 14.03.2012 р. Закон України "Про телемедицину" [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/JF7V800A.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JF7V800A.html) 8. *Наказ МОЗ України № 261 від 26.03.2010 р.* Про впровадження телемедицини в закладах охорони здоров'я. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0261282-10#Text> 9. *Doctor Online завжди з вами* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://kyivstar.ua/uk/doctor-online> 10. *Medikit* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://medikit.ua/> 11. *Поліклініка без черг* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pb4.com.ua/> 12. *eZdorovya* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ehealth.gov.ua/> 13. *Владзимирський А.В., Мозговой В.В., Попова Т.В.* Телемедицина в діяльності центрів первинної медико-санітарної допомоги: монографія. Донецьк: Вид-во "Ноулідж", 2013. - 185с. 14. *Наказ МОЗ України № 681 від 19.10.2015 р.* Про затвердження нормативних документів щодо застосування телемедицини у сфері охорони здоров'я. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1400-15#Text> 15. *Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І.* Телекомунікаційні та інформаційні мережі. К.: САММІТ-Книга, 2010. 708 с. 16. *Скляр Бернгард.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд. Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. 1104 с. 17. *Фриман Р., Слепова Н. Н.* Волоконно-оптические системы связи. Пер. с англ. М.: Техносфера, 2003. 590 с. 18. *Олифер, В. Г., Олифер Н. А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2010. 944 с. 19. *Лихтциндер Б.Я., Киричек Р.В., Федотов Е.Д., Голубничая Е.Ю., Кочуров А.А.* Беспроводные сенсорные сети. Под общей редакцией Б. Я. Лихтциндера. 2020. 236 с. 20. *Гольдштейн, Б. С., Кучерявый А. Е.* Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 160 с. 21. *Кучерявый, А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А.* Самоорганизующиеся сети. СПб.: Типография Любавич, 2011. 22. *Смельянов В.В., Свид І.В.* Системи стільникового рухомого радіозв'язку. Харків, ТОВ "Компанія СМІТ", 2011. 23. *Huson M. L., Sen A.* Broadcast scheduling algorithms for radionetworks / Military Communications Conf, IEEE MILCOM. 1995. V. 2. P. 647-651. 24. *Zhukovskii M. Raigorodskii A.* Random graphs: models and asymptotic characteristics, Russian Mathematical Surveys. 2015. V. 70. No. 1. P. 33-81.

*Надійшла до редколегії 30.06.2021*

**Чумак Валерія Сергіївна**, магістрант кафедри біомедичної інженерії, лаборант кафедри мікропроцесорних технологій і систем ХНУРЕ. Адреса: Україна, 61166, м. Харків, пр. Науки, 14, e-mail: [valeriia.chumak@nure.ua](mailto:valeriia.chumak@nure.ua), тел. +38 (095) 014 14 16.

**Аврунін Олег Григорович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії ХНУРЕ. Адреса: Україна, 61166, м. Харків, пр. Науки, 14, e-mail: [oleh.avrunin@nure.ua](mailto:oleh.avrunin@nure.ua), тел. (057) 702 13 64.

**Чугуй Євген Анатолійович**, старший викладач кафедри біомедичної інженерії ХНУРЕ. Адреса: Україна, 61166, м. Харків, пр. Науки, 14, e-mail: [yevhen.chuhui@nure.ua](mailto:yevhen.chuhui@nure.ua), тел. +38 (096) 762 65 20.

**Свид Ірина Вікторівна**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри мікропроцесорних технологій і систем ХНУРЕ. Адреса: Україна, 61166, м. Харків, пр. Науки, 14, e-mail: [iryna.svyd@nure.ua](mailto:iryna.svyd@nure.ua), тел. (057) 702 02 29.