

# ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ЯКОСТІ СНУ

*Іванова Я.О.*, студентка

[yana.anova@gmail.com](mailto:yana.anova@gmail.com)

*Федорін І.В.*, к.ф.-м.н., доцент

[fedorin.ilya@gmail.com](mailto:fedorin.ilya@gmail.com)

*Вдовиченко О.В.*, к.ф.-м.н.

[olga.v.vdovychenko@gmail.com](mailto:olga.v.vdovychenko@gmail.com)

Кафедра біомедичної кібернетики

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

м. Київ, Україна

**Реферат** – Сон - це складний психофізіологічний стан, який безпосередньо визначає психічну і біологічну активність людини. Важливість сну обумовлена в першу чергу його необхідністю для організму. Сон – унікальний механізм відновлення та адаптації до умов життя. Одна безсонна ніч знижує стійкість імунітету до інфекційних захворювань і швидкість реакції на зовнішні імпульси. У віддаленій перспективі постійний дефіцит і зниження якості сну підвищують ризик розвитку серцево-судинних і ендокринних захворювань. Золотий стандарт об'єктивної оцінки сну, полісомнографія, зазвичай виконується в лабораторії сну, і дані вручну оцінюються фахівцем зі сну, що робить цей процес незручним, дорогим і менш придатним для довготривалих досліджень. Тому існує потреба в перевіреному недорогому обладнанні для оцінки сну, яке було б зручним і точним. З клінічної та дослідницької точки зору можливість отримання даних про безсоння, може персоналізувати рішення про лікування та оптимізацію здоров'я, а також поліпшити фенотипування захворювання. Мета даної статті – дослідження сучасних методів аналізу якості сну, визначення їх переваг та недоліків, та пошук альтернативних засобів для моніторингу сну. В роботі наведені результати порівняльного аналізу технологій для відстеження сну, а також запропоновано альтернативу полісомнографії, яка може використовуватися для надійного та довгострокового моніторингу. Зокрема, проаналізовані роботи, що вивчали застосування біорадара як засобу аналізу фізіологічного стану людини. Біорадар - це новий вид радіолокатора, що поєднує технології біомедичної інженерії та радіолокації. Його ціль – безконтактне виявлення життєво важливих ознак через неметалеві перешкоди, такі як одяг та стіни, передаючи спеціальну електромагнітну хвилю. Дана технологія може стати кроком вперед в індустрії відстеження сну.

**Ключові слова:** полісомнографія, моніторинг сну, актиграфія, дистанційний моніторинг, біорадари.

## I. ВСТУП

Полісомнографія (ПСГ) є золотим стандартом моніторингу сну, але вимагає, щоб пацієнти спали в лікарняних умовах, з великою кількістю електродів, та знаходилися під контролем експертного клінічного персоналу. Всі ці фактори роблять даний метод не дуже зручним, дорогим та недієздатним для щоденного моніторингу. Крім того, так званий ефект першої ночі при ПСГ може зменшити тривалість та ефективність сну [1].

У клінічній практиці для оцінки тривалості та якості сну часто використовують опитувальники. Але результати досліджень не дозволяють однозначно рекомендувати такі методи, оскільки суб'єктивно час сну багатьма пацієнтами сприймається як час знаходження в ліжку [2]. Тому щоденники сну або анкети зазвичай мають нижчий рейтинг щодо точності, ніж інші пристрої для відстеження сну [3].

Через вказані недоліки та труднощі об'єктивної оцінки сну в амбулаторних умовах

за допомогою ПСГ, альтернативним методом аналізу сну є актиграфія. Актиграф, який накладають на зап'ястя пацієнта, це менш обтяжлива альтернатива ПСГ в клінічних умовах. Його можна використовувати для довготривалого моніторингу сну в повсякденному житті. В основному він використовується для діагностики порушень сну, пов'язаних з циркадним ритмом [4]. Актиграфія показує хорошу чутливість при виявленні стану сну, але має меншу специфічність при виявленні періодів неспанья, невірно класифікуючи періоди нерухомості як сон, також актиграфія має тенденцію переоцінювати сон [5].

Більшість сучасних носимих пристроїв споживчого класу (розумні годинники, браслети, реміні, кільця, тощо) можуть використовуватися для відстеження сну. Вони зазвичай застосовують акселерометр (АСС) для відстеження рівня активності, щоб імітувати функції дорожчих актиграфів [6]. Останні

моделі споживчих трекерів сну використовують кілька датчиків для збору фізіологічних даних, щоб розпізнавати періоди сну на основі руху. Наприклад, для вимірювання частоти серцевих скорочень і варіабельності серцевого ритму часто використовується фотоплетизмографія, яка поліпшує процес виявлення періодів сну/неспанья та розпізнавання стадій сну [7-10]. Зазвичай, такі пристрої зв'язані з додатками для смартфонів і забезпечують зручне відображення і аналіз отриманої інформації про сон.

В останні роки споживчі технології відстеження сну стають все більш популярними серед окремих користувачів і дослідників, оскільки вони необтяжливі, доступні за ціною і прості у використанні [11]. Як і клінічні контролери сну, споживчі технології відстеження сну в цілому діляться на два типи: пристрої на основі ЕЕГ і пристрої на основі актиграфів. До пристроїв на основі ЕЕГ відносяться маски для очей і пов'язки на голову. Вони використовують вбудований одноканальний або багатоканальний ЕЕГ для вимірювання мозкових хвиль користувачів під час сну, які потім зіставляються з фазами сну. Тип пристроїв на основі актиграфів включає популярні трекери активності, розумні годинники, а також додатки для смартфонів [9]. Вони використовують вбудований акселерометр для вимірювання рухів кінцівок користувачів, а деякі носимі браслети вимірюють частоту серцевих скорочень. Ці дані використовуються для визначення структури сну і якості сну з використанням запатентованих алгоритмів.

В останні роки проводяться дослідження по застосуванню носимих пристроїв при різних хворобливих станах, таких як порушення сну та аритмія. Однак ці дослідження показують, що дані технології мають недостатню точність для клінічних умов [12, 13].

Разом з тим існують переконливі докази того, що відстеження сну підвищує увагу людей до гігієни сну і сприяє її покращенню. Проте використання носимих пристроїв для цього завдання може знизити якість сну [14].

## II. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета статті полягає у дослідженні сучасних методів відстеження сну, визначення їх переваг

та недоліків, та пошук альтернативних засобів для моніторингу сну.

## III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

ПСГ забезпечує неперевершену точність вимірювання сну протягом однієї ночі для клінічного використання. Однак нові технології, які використовують різноманітні датчики, та які навчені на великих наборах даних, забезпечують доступ до даних про сон протягом довгих періодів, які досі були неможливі.

Носимі технологічні пристрої - це додатки для моніторингу та відстеження показників пульсу, артеріального тиску, фізичної підготовки (кількість пройдених кроків, пройдена відстань, затрачені калорії, моніторинг частоти серцевих скорочень під час фізичної активності, тощо). Ці пристрої стають все більш популярними завдяки досягненням в області технологій і підвищеної уваги населення до свого здоров'я. Відповідно до списків The American College of Sports Medicine (ACSM), носимі пристрої є трендом № 1 з моменту їх появи у 2016 році і з того часу займають перші позиції: перше місце – у 2016 та 2017 роках, друге – у 2020 [15].

Такі прилади стрімко набули популярності серед споживачів та надали порівняно недорогою альтернативу медичним пристроям для відстеження сну. Їх дані можна використовувати для спостереження за сном та розробки методів для покращення його якості. Однак, перш ніж це станеться, життєво важливо, щоб отримані вимірювання сну були перевірені на основі надійних пристроїв.

Одним із прикладів таких пристроїв є каблучка Oura, яка вимірює сон на основі варіабельності серцевого ритму і руху за допомогою плетизмографії (PPG) та акселерометра. Каблучка Oura класифікує епохи сну на чотири стадії: неспанья, легкий, глибокий і швидкий сон. Каблучка Oura включає тривісний акселерометр і гіроскоп для відстеження фізичної активності, два інфрачервоних світлодіодних фотоплетизмографа для вимірювання оптичних імпульсів і датчик температури в водонепроникній 4-грамовій упаковці. Для оцінки придатності каблучки як інструмента для довготривалих спостережень за сном проводилися відповідні дослідження [16]. Порівнювалися дані ПСГ, актиграфа Actiwatch 2

(Philips Respironics Inc.) та каблучки Oura. Дослідження проводилося протягом 15 днів в напівлабораторних умовах в гуртожитку школи-інтернату. Учасники були рандомізовані на групи з розділеним (укорочений нічний сон плюс денний сон) і безперервним (тільки нічний сон) режимом сну. Обидві групи мали одну 9-годинну ніч адаптації і одну 9-годинну базову ніч перед маніпуляціями зі сном.

Дані ПСГ проаналізовані в цьому дослідженні, одночасно реєструвалися протягом восьми ночей: 3 ночі по 9 годин нічного сну, і 5 ночей маніпуляції [17]. Учасники носили каблучку Oura протягом усього дослідження на одному із пальців будь-якої руки. Дані Actiwatch збиралися за 30-секундні періоди і оцінювалися за допомогою відповідного програмного забезпечення. З початкових 59 учасників дослідження, 53 зробили свій внесок в остаточну вибірку. Через технічні проблеми 27 записів ПСГ, 27 записів Oura і 13 записів Actiwatch були виключені з аналізу. Записи ПСГ були виключені через проблеми із пристроєм, які привели до передчасного припинення запису, а також через недостатню якість даних для визначення стадії сну через падіння електродів протягом ночі. Виключені записи Oura були пов'язані з відсутністю даних про стадії сну – як вважають автори дослідження, через погану підгонку каблучки або руху протягом ночі, що заважало правильному запису. Виключення записів Actiwatch було викликано пошкодженням даних, що призвело до повної втрати даних за період їх збору. Результати дослідження показали, що каблучка Oura недооцінила загальний час спання і переоцінила час пробудження після початку сну (WASO – wake after sleep onset). Oura значно знизила загальну тривалість сну в середньому на 32.8-47.3 хвилини і переоцінила WASO в середньому на 30.7-46.3 хвилини. У порівнянні з ПСГ, Oura значно недооцінила швидкий та легкий сон і переоцінила час, проведений в глибокому сні. Стадія швидкого сну була недооцінена в середньому на 12.8-19.5 хвилин. Було визначено, що Oura найчастіше помилково класифікує легкий сон як глибокий. Глибокий та швидкий сон – як легкий. Коефіцієнт каппа Коена показав помірні значення узгодження  $0.45 \pm 0.07$  в умовах тривалості сну 6.5 та 8 годин, і  $0.44 \pm 0.08$  в умовах тривалості сну 9 годин.

В роботі було зазначено, що обидва пристрої (Oura та Actiwatch) значно недооцінили сон, але причиною міг бути вік учасників дослідження (15-19 років). Як зазначають автори, подібна недооцінка кільця Oura і Actiwatch може бути пов'язана з тим, що обидва пристрої оптимізовані для дорослих.

У іншому дослідженні запросили 22 учасники (середній вік – 25 років) для відстеження сну протягом 3 ночей, одночасно використовуючи три пристрої: два споживчих пристрої (браслет Fitbit Charge 2 (Google), маска Neuroon) і один медичний пристрій (SleepScore (SleepWell Co, Ltd) - портативна медична ЕЕГ). Всі три пристрої генерували схожі типи інформації, такі як загальний час сну, кількість пробуджень і стадії сну. Учасників попросили використовувати ці пристрої паралельно.

Fitbit Charge 2, Neuroon і медичний пристрій SleepScore були вибрані тому, що, хоча вони надають в основному однакову інформацію про сон, вони розрізняються за іншими факторами, які можуть вплинути на їх правдивість. Fitbit Charge 2 вдягається на зап'ястя, інформація відображається на панелі мобільного додатка, і ця інформація заснована на даних, вимірних акселерометром і оптичним датчиком серцевого ритму. Для порівняння, маска Neuroon вдягається на очі, відображає інформацію через панель інструментів мобільного додатка, і інформація заснована на даних, вимірних за допомогою ЕЕГ. Медичний пристрій SleepScore було надано як орієнтир для порівняння інформації від двох інших пристроїв.

Результати виявили розбіжності між даними з різних пристроїв. Медичний пристрій і Fitbit майже у всіх учасників показали близькі значення про загальний час сну. Однак у 15 з 22 учасників були суперечливі дані відносно Neuroon в порівнянні з медичним пристроєм. Багато в чому це було пов'язано з тим, що маска для очей Neuroon легко зісковзувала з учасників, що для 16 учасників призвело до погіршення даних про сон. Учасники визнали ці проблеми і відзначили, що «Neuroon не можна зафіксувати на обличчі, тому дані не є надійними» [18].

У дослідженні було виявлено збіг загального часу сну між Fitbit і медичним пристроєм. Однак були виявлені значні розбіжності для пробуджень і стадій сну (особливо глибокого сну). Дані медичного пристрою враховували всі пробудження, як

тривалі, про які знали учасники, так і мікропробудження, про які вони не знали. Fitbit і Neuroon, з іншого боку, записували тільки серйозні пробудження тривалістю більш як 2 хвилини. Neuroon повністю ігнорував коротші пробудження в той час, як Fitbit відзначав їх як занепокоєння. Хоча занепокоєння Fitbit визначається рухом зап'ястя, а не сигналами мозкових хвиль, воно досить добре узгоджується з мікрозбудженням ЕЕГ в медичних даних, як показує кількісне порівняння [18].

У дослідженнях, що проводилися компанією Samsung Electronics, взяли участь 165 учасників із середнім віком 39 років, індексом маси тіла – 24 кг/м<sup>2</sup> та індексом апное-гіпноное – 12 подій/год [8-10]. Всі учасники провели три ночі у медичному центрі Самсунг, де були записані дані ПСГ та одночасно на лівій або правій руці записані дані сенсорів розумного годинника Samsung Galaxy Watch (тривісний акселерометр та плетизмографія зеленого кольору). У роботах було показано високий рівень відповідності результатів вимірювань якості сну та аналізу дихання між ПСГ та розумним годинником з використанням алгоритмів штучного інтелекту, зокрема рекурентних нейронних мереж. Так точність класифікації фаз сну складала біля 80 % для респондентів без порушень сну (апное або гіпноное), та 75 % для респондентів з порушеннями сну. Коефіцієнт каппа Коена мав значення 0.65, що говорить про достатній рівень відповідності. Алгоритми, побудовані на даних сенсорів розумних годинників, дуже добре класифікували фази легкого та швидкого сну (точність класифікації більше 80 %), та показали трохи меншу точність при класифікації фази глибокого сну та фази неспання. Крім того, авторами доведено можливість класифікації патологічних станів пов'язаних із диханням під час сну на помірному рівні, придатному для скринінгу патологічних станів. Так точність класифікації відповідних станів була на рівні 77 %, в той час, як коефіцієнт каппа Коена мав значення 0.44, що говорить про помірну відповідність результатів. Оцінки ефективності сну та тривалості кожної з окремих фаз сну досить добре корелюють із даними ПСГ. При цьому, вказана точність є недостатньою для медичного застосування таких годинників.

Точність споживчих пристроїв для відстеження сну є серйозною проблемою для окремих користувачів і дослідників [19, 20]. У багатьох дослідженнях перевірялася надійність цих пристроїв в лабораторіях [21, 23] і в середовищі проживання учасників [21]. Дослідження носимих браслетів, таких як Fitbit Charge HR і Jawbone UP [22], показали, що ці пристрої зазвичай недооцінюють час неспання, а також переоцінюють час та ефективність сну, а вимірювання стадій сну не корелюють з даними медичних пристроїв [24].

Враховуючи викладене вище, радарні технології мають величезний потенціал для оцінки сну, оскільки вони абсолютно безконтактні. Біорадіолокація (БРЛ) - це метод дистанційного виявлення і діагностики біологічних об'єктів, заснований на модуляції радіолокаційного сигналу коливальними рухами і переміщеннями органів [25]. Методологія, заснована на технології імпульсних радіолокаційних надширококутних радарних датчиків, довела, що надійно відстежує життєво важливі показники в реальному часі [26, 27]. Було показано, що дихання і рух, які можуть відстежуватися за допомогою БРЛ, корелюють зі швидкими та повільними фазами сну [28].

Радар випромінює імпульси, які відбиваються об'єктами і повертаються в приймач. Радар може виявляти кілька об'єктів і розділяти їх по відстані. Це дозволяє точно виміряти поведінку конкретної людини навіть в присутності кількох людей в ліжку, руху техніки або інших предметів в кімнаті. Дана радарна технологія нешкідлива для людей, оскільки висока частота дискретизації і велика смуга пропускання дозволяють використовувати хвилі, які передають менше енергії, ніж допустимий фоновий шум. Використовувані частоти дозволяють імпульсам проходити через м'який матеріал, такий як простирадла та одяг, і відбиватися тільки від більш щільних матеріалів, таких як людське тіло.

У 2018 році для оцінки сну був розроблений радар IR-UWB [29]. Результати дослідження виявили невелику загальну розбіжність з ПСГ відносно загального часу сну, а середня чутливість і специфічність були вище або рівні подібним актиграфічним дослідженням [30].

Останнім часом можливість використання БРЛ в медицині сну досліджується безліччю наукових груп по всьому світу, більшість з яких

знаходиться тільки на початку шляху створення експериментального прототипу. Але є кілька колективів, які вже провели тестування пристроїв в клінічних умовах і приступили до серійного випуску. Так, компанія ResMed випускає біорадіолокатор S+, який позиціонується виробником як придатний для моніторингу сну. Багаторічні розробки норвезької компанії Nowelda також привели до створення біорадіолокатора для сну. Радар пройшов клінічні випробування і випускається компанією VitalThings під назвою Somnofy [31]. У Росії біорадіолокатор для виявлення порушень сну розроблений колективом лабораторії дистанційного зондування МДТУ імені М. Е. Баумана [32].

Для підтвердження спроможності радарної технології ефективно аналізувати фізіологічний стан людини під час сну проводилися ряд досліджень.

Так, в роботі [31] проводилися дослідження, щоб з'ясувати, чи може Somnofy надати точну і надійну класифікацію стадій сну в порівнянні з ПСГ. Дослідження було направлене на перевірку як загальних параметрів сну, так і кожної стадії сну та періоду неспанья. Остаточний набір даних склав 71 запис людей з середнім віком 28.9 років. Оцінки проводилися у двох різних локаціях: в клініці, де учасники спали у звукоізолюваних кімнатах, і вдома, де учасники спали у звичних умовах. У кожній кімнаті розміщувалося по два блоки Somnofy. Один блок ставили на тумбочку (біля голови), а інший – кріпився на стіні (над узголів'ям). Обидва блоки були націлені в груди учасників. ПСГ виконували відповідно до технічних вимог Американської академії медицини сну (AASM) за допомогою SOMNOscreen plus. Стадії сну оцінювалися в 30-секундні епохи відповідно до критеріїв AASM [33]. Кожен запис був оцінений окремо двома фахівцями зі сну. Для кожного запису були розраховані параметри, що мають центральне значення для клінічної медицини і досліджень сну (час знаходження в ліжку, загальний час сну, затримка початку сну, затримка стадії швидкого сну, WASO, ефективність сну, загальний час неспанья і окремих час, проведений у фазах). Оцінки, отримані для кожної стадії за допомогою Somnofy і ПСГ були зведені в крос-таблицю, і ступінь згоди між оцінками, які отримали за допомогою Somnofy і ПСГ, була кількісно

визначена за допомогою коефіцієнта каппа Коена, а також чутливості, специфічності для виявлення неспанья і точності для класифікації окремих фаз сну.

Ефективність Somnofy щодо даних, зібраних в домашніх умовах та в клініці сну, не розрізнялася, оскільки значення каппа Коена були близькі (домашнє середовище – 0.62; клініка – 0.61). Також положення Somnofy в кімнаті не відрізнялося з точки зору визначення фаз (тумбочка – 0.61; кріплення до стіни – 0.62).

Це дослідження демонструє здатність Somnofy оцінювати сон/неспанья у здорового населення. В порівнянні з результатами ПСГ Somnofy правильно оцінив 97% випадків сну та 72% – неспанья. Порівняння показали, що Somnofy точно виявив фази N1/N2 (легкий сон) в 75% випадках, N3 (глибокий сон) – 74% і стадію швидкого сну – 78%. Різниця в стадіях сну в Somnofy була меншою, ніж в інших не-ЕЕГ-технологій. Somnofy демонструє найвищу специфічність у порівнянні з іншими системами без ЕЕГ, включаючи інші пристрої безконтактного моніторингу, в яких використовуються технології, засновані на пасивному інфрачервоному випромінюванні, сонографії або сприйнятті тиску [34]. Перевірка радара Resmed S+ показала аналогічну специфічність [35].

В іншому дослідженні для створення клінічно верифікованої бази записів БРЛ-сигналів нічного моніторингу сну були проведені експериментальні дослідження по спільній реєстрації БРЛ-сигналів і ПСГ [36]. В експериментах взяли участь 32 добровольців. ПСГ-дослідження проводили за допомогою полісомнографічної системи Embla N7000 (Natus Neurology Inc.). Кожна епоха класифікувалась лікарем на основі візуального аналізу сигналів відповідно до рекомендацій AASM. Результати класифікації епох лікарем використовували при навчанні і тестуванні алгоритму. БРЛ-моніторинг проводили паралельно з ПСГ за допомогою БРЛ-системи "БіоРаскан", розробленої в Лабораторії дистанційного зондування МГТУ ім. Н.Е. Баумана. Середні значення чутливості, специфічності і точності в задачі визначення структури сну склали 90%, середні значення точності – 96%, середні значення чутливості визначення циклів дихання – 98%. Середня якість визначення структури сну склало 0.5 капи

Коена як для випробовуваних з безсонням, так і для практично здорових випробовуваних. Якість визначення структури сну для всієї вибірки склало  $0.50 \pm 0.11$ .

Хоча такі пристрої, як Fitbit, Samsung і Smart Eye Mask, відрізняються за технологією, вони надають користувачам схожу інформацію про тривалість сну, пробудження протягом ночі, або стадії сну (легкий сон, глибокий сон і швидкий сон). Ця інформація створюється на основі даних від різних датчиків: пристрої, які носять на зап'ясті (наприклад, Fitbit або Samsung), часто містять акселерометри і оптичні датчики серцевого ритму, тоді як пристрої, які носять як маски для сну (наприклад, Neuroon), містять електроенцефалографію для реєстрації електричної активності мозку. Електроенцефалографія може дати більш точне уявлення про стадії сну, але недоліком є те, що датчики на голові можуть бути відчутними і, отже, заважати сну [41]. Каблучка Oura і, ймовірно, інші подібні пристрої нового покоління з декількома датчиками, мають явні переваги перед ПСГ і дослідницькими актиграфами. Вони здатні збирати дані за тижні, місяці і навіть роки в домашніх умовах, не вимагаючи від користувачів відвідування лабораторії для отримання даних, однак дослідження показали, що користувачі зустрічаються з деякими незручностями, при виборі таких пристроїв. Ще більше ускладнює ситуацію те, що точність навіть найпередовіших споживчих пристроїв для відстеження сну обмежена в порівнянні з медичними пристроями.

Традиційні медичні пристрої збирають дані за допомогою датчиків, прикріплених до тіла. Але ці системи створюють труднощі з точки зору мобільності для пацієнта та його діяльності в повсякденному житті. Оскільки такого роду пристрої впливають на комфорт пацієнта, чутливі фізіологічні дані отримують сторонній вплив. Таким чином, ця інформація може представляти не реальну хворобу пацієнта, а скоріше показники дискомфорту, що пацієнт відчуває під час фізіологічних досліджень. З метою усунення таких незручностей протягом останніх декількох років активно вивчаються безконтактні методи [42]. Результати показують, що метод БЛР має переваги в порівнянні з іншими пристроями і може використовуватися пацієнтом вдома для безконтактного

моніторингу сну. Моніторинг сну за допомогою безконтактних методів може забезпечити користувачу максимально можливий комфорт, тому БРЛ-моніторинг дихальних рухів і рухової активності пацієнта має значні переваги.

**Таблиця 1.** Точність технологій для діагностики якості сну

Пристрій	Сенсор	Точність	<i>k</i>
Fitbit [8]	PPG, ACC	0.69	0.52
Samsung [8]	PPG, ACC	0.77	0.58
Oura [17]	PPG, ACC	0.88	0.44
BioPаскан [32]	біорадар	0.96	0.50
Somnofy [33]	біорадар	0.76	0.63
Resmed S+ [35]	біорадар	0.70	0.53
Smart Eye Mask [38]	інфрачервоний датчик	0.80	-

У таблиці 1 представлено точність та значення каппи Коена, які були отримані у дослідженнях при оцінці якості сну різними пристроями.

#### IV. ВИСНОВКИ

Існує широкий спектр досліджень, що вивчають точність споживчих пристроїв в порівнянні з медичними пристроями за допомогою контрольованих експериментів. Такі дослідження показують, що споживчі пристрої схильні переоцінювати сон і недооцінювати період неспання, а точність вимірювання може бути пов'язана з віком користувача, якістю і режимами сну [40].

Результати показують, що хоча ПСГ залишається еталонним методом для оцінки сну, радарні технології продемонстрували високу точність серед автоматизованих і неінвазивних способів. Це може зробити їх альтернативою ПСГ для довгострокових досліджень, оскільки його вартість, масштабованість і простота використання лояльніші ніж в ПСГ.

Радарні технології мають великий потенціал для клінічного використання. Дослідження показали, що використовуючи радарні

технології і машинне навчання, можна отримати інформацію не тільки про сон/неспання, але і про стадії сну, що робить їх перспективним для епідеміологічних досліджень.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Agnew, H. W., Webb, W. B., Williams, R. L. The first night effect: an EEG study of sleep. *Psychophysiology*. 1966. Vol.2, Iss.3. pp. 263–266. DOI: 10.1111/j.1469-8986.1966.tb02650.x
- [2] Горцева, А. Ю., Коростовцева, Л. С., Бочкарев, М. В. и др. Определение роли субъективных методов обследования в диагностике нарушений дыхания во сне. *Артериальная гипертензия*. 2017. Т.22. №6. pp. 34–41. DOI: 10.18705/1607-419X-2016-22-6-629-637
- [3] Ibáñez, V., Silva, J., Cauli, O. A survey on sleep assessment methods. *PeerJ*. 2018. DOI:10.7717/peerj.4849
- [4] Natale, V., Léger, D., Martoni, M. et al. The role of actigraphy in the assessment of primary insomnia: a retrospective study. *Sleep Medicine*. 2014. Vol.15. pp. 111–115. DOI: 10.1016/j.sleep.2013.08.792
- [5] Ancoli-Israel, S., Cole, R., Alessi, C. et al. The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep*. 2003. Vol.23, Iss.3. pp. 342–392. DOI: 10.1093/sleep/26.3.342
- [6] Haghayegh, S., Khoshnevis, S., Smolensky, M. H. et al. Accuracy of wristband fitbit models in assessing sleep: systematic review and meta-analysis. *J Med Internet Res*. 2019. Vol.21, №11. DOI: 10.2196/16273
- [7] Depner, C. M., Cheng, P. C., Devine, J. K. et al. Wearable technologies for developing sleep and circadian biomarkers: a summary of workshop discussions. *Sleep*. 2020. Vol.43, Iss.2. DOI: 10.1093/sleep/zsz254
- [8] Fedorin, I., Slyusarenko, K., Lee, W., Sakhnenko, N. Sleep stages classification in a healthy people based on optical plethysmography and accelerometer signals via wearable devices. 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). 2019. pp. 1201–1204. DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879875.
- [9] Havriushenko, A., Slyusarenko, K., Fedorin, I. Smartwatch based respiratory rate estimation during sleep using CNN/LSTM neural network. 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). 2020. pp. 584–587. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088913
- [10] Fedorin, I., Slyusarenko, K., Nastenka, M. Respiratory events screening using consumer smartwatches. *Adjunct Proceedings of the 2020 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2020 ACM International Symposium on Wearable Computers*. 2020. pp. 25–28. DOI: 10.1145/3410530.3414399
- [11] Haghayegh, S., Khoshnevis, S., Smolensky, M. H., Diller, K. R. et al. Accuracy of wristband fitbit models in assessing sleep: systematic review and meta-analysis. *J Med Internet Res*. 2019. Vol.21, №11. DOI: 10.2196/16273.
- [12] Al-Kaisey, A. M., Koshy, A. N., Ha, F. J. Accuracy of wrist-worn heart rate monitors for rate control assessment in atrial fibrillation. *Int J Cardiol*. 2020. Vol.300. pp. 161–164. DOI: 10.1016/j.ijcard.2019.11.120
- [13] Moreno-Pino, F., Porras-Segovia, A., López-Esteban, P. et al. Validation of Fitbit Charge 2 and Fitbit Alta HR against polysomnography for assessing sleep in adults with obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med*. 2019. Vol.15, Iss.11. pp. 1645–1653. DOI: 10.5664/jcsm.8032
- [14] Liang, Z., Ploderer, B. Sleep Tracking in the Real World: A Qualitative Study into Barriers for Improving Sleep. *Proc. of the 28th Australian Conference on Computer-Human Interaction*. – 2016. pp. 537–541. DOI: 10.1145/3010915.3010988
- [15] Online Training is New Top Fitness Trend for 2021 according to ACSM Annual Forecast. *ACSM&Membership*. ACSM's Health & Fitness Journal. 2020. URL: <https://www.acsm.org/read-research/newsroom/news-releases/news-detail/2020/12/29/online-training-is-new-top-fitness-trend-for-2021-according-to-acsm-annual-forecast>
- [16] de Zambotti, M., Rosas, L., Colrain, I. M. The sleep of the ring: comparison of the OURA sleep tracker against polysomnography. *Behav Sleep Med*. 2019. Vol.17, Iss.2. pp. 124–136. DOI: 10.1080/15402002.2017.1300587
- [17] Chee, N., Ghorbani, S., Golkashani, H. A. et al. Multi-Night Validation of a Sleep Tracking Ring in Adolescents Compared with a Research Actigraph and Polysomnography. *Nat Sci Sleep*. 2021. Vol.13. pp. 177–190. DOI: 10.2147/NSS.S286070
- [18] Liang, Z., Ploderer, B. How Does Fitbit Measure Brainwaves: A Qualitative Study into the Credibility of Sleep-tracking Technologies. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol*. 2020. pp. 1–29. DOI:10.1145/3380994
- [19] Ravichandran, R., Sien, S. W., Patel, S. N., Kientz, J. A. et al. Making Sense of Sleep Sensors. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2017. pp. 6864–6875. DOI: 10.1145/3025453.3025557
- [20] Liu, W., Ploderer, B., Hoang, T. In bed with technology: challenges and opportunities for sleep tracking. *Proceedings of the Annual Meeting of the Australian Special Interest Group for Computer Human Interaction*. 2017. pp. 142–151. DOI: 10.1145/2838739.2838742
- [21] de Zambotti, M., Goldstone, A., Claudatos, S. et al. A validation study of Fitbit Charge 2 compared with polysomnography in adults. *Chronobiology International*. 2018. pp. 465–476. DOI: 10.1080/07420528.2017.1413578
- [22] Liang, Z., Chapa-Martell, M. A. Validity of consumer activity wristbands and wearable EEG for measuring overall sleep parameters and sleep structure in free-living conditions. *J Healthc Inform Res*. 2018. pp. 152–178. DOI: 10.1007/s41666-018-0013-1
- [23] Kang, S. G., Kang, J. M., Ko, K. P. et al. Validity of a commercial wearable sleep tracker in adult insomnia disorder patients and good sleepers. *J of Psychosomatic Research* 97. 2017. pp. 38–44. DOI: 10.1016/j.jpsychores.2017.03.009
- [24] Liang, Z., Chapa-Martell, M. A. Combining numerical and visual approaches in validating sleep data quality of consumer wearable wristbands. *Proceedings of the 17th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*. 2019. pp. 777–782. DOI: 10.1109/PERCOMW.2019.8730805
- [25] Биорадиолокация / А.В. Абрамов, А.И. Амосова, Л.Н. Анищенко и др. 2-е изд. Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. 396с.: ил. ISBN 978-5-7038-4815-9
- [26] Kang, S., Lee, Y., Lim, Y. H. et al. Validation of noncontact cardiorespiratory monitoring using impulse-radio ultra-wideband radar against nocturnal polysomnography. *Sleep and Breathing*. 2019. Vol.24, Iss.3. pp. 841–848. DOI: 10.1007/s11325-019-01908-1
- [27] Yim, D., Lee, W., Kim, J. et al. Quantified Activity Measurement for Medical Use in Movement Disorders through IR-UWB Radar Sensor. *Sensors*. 2019. Vol.19, Iss.3. P. 688. DOI: 10.3390/s19030688
- [28] Stefani, A., Gabelia, D., Mitterling, T. et al. A Prospective Video-Polysomnographic Analysis of Movements during Physiological Sleep in 100 Healthy Sleepers. *Sleep*. 2015. Vol.38, Iss.9. pp. 1479–1487. DOI: 10.5665/sleep.4994
- [29] Palleen, S., Gronli, J., Myhre, K. A pilot study of impulse radio ultra wideband radar technology as a new tool for sleep assessment. *J Clin Sleep Med*. 2018. Vol.14, Iss.7. pp. 1249–1254. DOI: 10.5664/jcsm.7236
- [30] Nakazaki, K., Kitamura, S., Motomura, Y. Validity of an algorithm for determining sleep/wake states using a new actigraph. *J Physiol Anthropol*. 2014. Vol.33. P. 31. DOI: 10.1186/1880-6805-33-31

- [31] Toften, S., Pallesen, S., Hrozanova, M. et al. Validation of sleep stage classification using non-contact radar technology and machine learning (Somnofy®). *Sleep Medicine*. 2020. DOI: 10.1016/j.sleep.2020.02.022
- [32] Tataraidze, A., Korostovtseva, L., Anishchenko, L. et al. Bioradiolocation-based sleep stage classification. 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2016. pp. 2839–2842. DOI: 10.1109/EMBC.2016.7591321
- [33] Berry, R. B. The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications. *Am Acad Sleep Med*. 2018
- [34] Walch, O., Huang, Y., Forger, D. Sleep stage prediction with raw acceleration and photoplethysmography heart rate data derived from a consumer wearable device. *Sleep*. 2019. Vol.42, Iss.12. DOI: 10.1093/sleep/zsz180
- [35] Schade, M. M., Bauer, C. E., Murray, B. R. Sleep validity of a non-contact bedside movement and respiration-sensing device. *J Clin Sleep Med*. 2019. Vol.15, Iss.7. pp. 1051–1061. DOI: 10.5664/jcsm.7892
- [36] Анищенко, Л. Н., Бугаев, А. С., Ивашов, С. И., Татарайдзе, А. Б. и др. Определение структуры сна посредством радиолокационного мониторинга дыхательных движений и двигательной активности человека. “Радиотехника и электроника.” *Радиотехника и Электроника*. 2017. pp. 787–794. DOI: 10.7868/s0033849417080022
- [37] Anishchenko, L. N., Korostovtseva, L. S., Bochkarev, M. V., Sviryaev, Y. V. Benefits of bioradar sleep monitoring in self-isolation. “Arterial'naya Gipertenziya” (“Arterial Hypertension”). 2020. Vol.26. pp. 230–233. DOI: 10.18705/1607-419x-2020-26-2-230-233
- [38] Matsui, S., Terada, T., Tsukamoto, M. Smart eye mask. Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers. 2017. pp. 58–61. DOI:10.1145/3123021.3123061
- [39] Мінрегіон, МОЗ, Світовий банк та Міністерство закордонних справ, торгівлі та розвитку Канади підписали Меморандум щодо впровадження телемедицини. Урядовий Портал. 2018. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/>
- [40] Liang, Z., Chapa-Martell, M. A. Accuracy of Fitbit wristbands in measuring sleep stage transitions and the effect of user-specific factors. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2019. Vol.7, Iss.6:13384. DOI:10.2196/13384
- [41] Ravichandran, R., Sien, S., Patel, S. N., Kientz, J. A. et al. Making sense of sleep sensors: how sleep sensing technologies support and undermine sleep health. Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'17). 2017. pp. 6864–6875. DOI: 10.1145/3025453.3025557
- [42] Шевченко, Я. А. Стратегічні основи дистанційного оцінювання стану пацієнтів у мобільній медицині. Інформативність, точність, надійність. *Medical Informatics and Engineering*. 2020. Вип.4. pp. 83–85. DOI: 10.11603/mie.1996-1960.2019.4.11026

УДК 616-71

# ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ЯКОСТІ СНУ

*Іванова Я.О.*, студентка[yana.anova@gmail.com](mailto:yana.anova@gmail.com)*Федорін І.В.*, к.ф.-м.н., доцент[fedorin.ilya@gmail.com](mailto:fedorin.ilya@gmail.com)*Вдовиченко О.В.*, к.ф.-м.н.[olga.v.vdovychenko@gmail.com](mailto:olga.v.vdovychenko@gmail.com)

Кафедра біомедичної кібернетики

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

м. Київ, Україна

**Реферат** – Сон - це складний психофізіологічний стан, який безпосередньо визначає психічну і біологічну активність людини. Важливість сну обумовлена в першу чергу його необхідністю для організму. Сон – унікальний механізм відновлення та адаптації до умов життя. Одна безсонна ніч знижує стійкість імунітету до інфекційних захворювань і швидкість реакції на зовнішні імпульси. У віддаленій перспективі постійний дефіцит і зниження якості сну підвищують ризик розвитку серцево-судинних і ендокринних захворювань. Золотий стандарт об'єктивної оцінки сну, полісомнографія, зазвичай виконується в лабораторії сну, і дані вручну оцінюються фахівцем зі сну, що робить цей процес незручним, дорогим і менш придатним для довготривалих досліджень. Тому існує потреба в перевіреному недорогому обладнанні для оцінки сну, яке було б зручним і точним. З клінічної та дослідницької точки зору можливість отримання даних про безсоння, може персоналізувати рішення про лікування та оптимізацію здоров'я, а також поліпшити фенотипування захворювання. Мета даної статті – дослідження сучасних методів аналізу якості сну, визначення їх переваг та недоліків, та пошук альтернативних засобів для моніторингу сну. В роботі наведені результати порівняльного аналізу технологій для відстеження сну, а також запропоновано альтернативу полісомнографії, яка може використовуватися для надійного та довгострокового моніторингу. Зокрема, проаналізовані роботи, що вивчали застосування біорадара як засобу аналізу фізіологічного стану людини. Біорадар - це новий вид радіолокатора, що поєднує технології біомедичної інженерії та радіолокації. Його ціль – безконтактне виявлення життєво важливих ознак через неметалеві перешкоди, такі як одяг та стіни, передаючи спеціальну електромагнітну хвилю. Дана технологія може стати кроком вперед в індустрії відстеження сну.

**Ключові слова:** полісомнографія, моніторинг сну, актиграфія, дистанційний моніторинг, біорадари.

UDC 616-71

# THE REVIEW OF MODERN DEVICES FOR SLEEP QUALITY DIAGNOSING

*Yana Ivanova*, student

[yana.anova@gmail.com](mailto:yana.anova@gmail.com)

*Illia Fedorin*, Ph.D., Associate Professor

[fedorin.ilya@gmail.com](mailto:fedorin.ilya@gmail.com)

*Olga Vdovychenko*, Ph.D.

[olga.v.vdovychenko@gmail.com](mailto:olga.v.vdovychenko@gmail.com)

Department of Biomedical Cybernetics  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,  
Kyiv, Ukraine

**Abstract** – Sleep is a complex psychophysiological state that directly defines a person's mental and biological activity. Sleep is very important for our body. It is a unique mechanism of recovery and adaptation to living conditions. One sleepless night reduces the resistance of the immune system to infectious diseases and the speed of reaction to external impulses. In the longer term, persistent deficits and decline in sleep quality increase the risk of cardiovascular and endocrine diseases. The gold standard for objective sleep assessment is PSG. It is usually performed in a sleep laboratory, and the data must be manually assessed by a sleep specialist, which makes it uncomfortable, expensive, and less suitable for long-term monitoring. So, there is a need for proven, low-cost sleep assessment equipment that is both convenient and accurate. From a clinical and research perspective, the ability to obtain data on insomnia can personalize treatment decisions and optimize health, as well as improve disease phenotyping. This study aims to investigate modern methods of sleep quality tracking, identify their advantages and disadvantages, and search for alternative means of sleep monitoring. The study conducts a comparative analysis of sleep tracking technologies. The paper also suggested a viable alternative to PSG that can allow reliable and long-term sleep monitoring. In particular, the works devoted to the use of bioradars as a means of analyzing the physiological state of a person are analyzed. Bioradar is a new type of radar that combines biomedical engineering and radar technologies. Its purpose is non-contact detection of vital signs through non-metallic obstacles such as clothing and walls by transmitting a special electromagnetic wave. This technology may be a step forward in the sleep tracking industry.

**Key words:** polysomnography, sleep monitoring, actigraphy, remote monitoring, biorad