

Магістранти КУЩ М. Ю.,
АББАСОВ О. О.

(Український державний університет залізничного транспорту)

Розроблення розумного нічника із світло-звуковою модуляцією



Анотація: Робота присвячена створенню інноваційного розумного нічника, що використовує світло-звукову модуляцію для покращення сну та релаксації. Дослідження аналізує вплив акустичних стимулів (білий, рожевий, коричневий шуми, природні звуки, емоційна музика) і світлових параметрів (колір, інтенсивність, пульсація) на людину. Пристрій інтегрує адаптивні алгоритми, регулюючи освітлення та звук відповідно до часу, стану користувача і його переваг. Розроблення включало апаратну частину для модуляції та програмну – вбудоване ПЗ і мобільний додаток. Експерименти підтвердили значне покращення якості сну: скорочення латентності, збільшення тривалості та глибини сну, зменшення пробуджень і зниження частоти серцевих скорочень.

Ключові слова: розумний нічник, світло-звукова модуляція, якість сну, релаксація.

Вступ

В умовах сучасних технологічних змін і зростання рівня стресових факторів проблема підтримання фізичного та психічного здоров'я набуває особливої актуальності. Прискорення темпу життя, спричинене глобалізацією та інформаційним тиском, ставить перед науковою спільнотою завдання з розроблення ефективних методів збереження здоров'я населення. У цьому контексті створення інноваційних підходів для забезпечення якісного відпочинку та релаксації стає пріоритетним напрямом наукових досліджень. Формування комфортних умов для відновлення організму сприяє підвищенню працездатності та загального рівня життя, що свідчить про значущість цієї проблеми для сучасної науки та інженерної практики.

Повноцінний сон та ефективне розслаблення є фундаментальними складовими фізичного і психологічного здоров'я індивіда. Сон відіграє центральну роль у відновленні енергетичного балансу організму. Протягом сну відбувається оптимізація гормональних процесів, включно із синтезом мелатоніну, відповідального за регуляцію біологічних ритмів. Крім того, сон позитивно впливає на функціонування імунної системи, когнітивні функції, такі як пам'ять і увага, а також стимулює процеси регенерації тканин. Релаксація також є критично важливою для здоров'я. Вона сприяє зниженню концентрації кортизолу – гормону, асоційованого зі стресом, який має негативний вплив на серцево-судинну та нервову системи.

М'язове розслаблення і нормалізація дихальних патернів під час релаксації оптимізують кровообіг і покращують оксигенацію тканин. Додатково релаксаційні практики сприяють підвищенню концентрації, зниженню рівня тривожності, стабілізації психоемоційного фону. Недостатня тривалість сну або відсутність можливостей для якісної релаксації можуть призвести до значних негативних наслідків для здоров'я. Хронічний дефіцит сну асоціюють зі збільшеним ризиком виникнення серцево-судинних патологій, цукрового діабету, ожиріння та депресивних розладів. Тривалий стрес може спричинити дисфункції нервової системи, погіршення когнітивних здібностей та емоційну лабільність [1–9].

Світлові та звукові стимули є важливими факторами у формуванні оптимального середовища для ініціації сну, підтримання його якості та досягнення стану релаксації. Ці стимули модулюють фізіологічні процеси, сприяючи регуляції біоритмів, покращенню психоемоційного стану та підвищенню загального рівня комфорту. Світло є основним екзогенним синхронізатором циркадних ритмів. Спектральні характеристики та інтенсивність світлового потоку впливають на продукцію мелатоніну [10]. Наприклад, світло теплого спектра (жовті та червоні відтінки) сприяє розслабленню, імітуючи природне вечірнє освітлення, що готує організм до відпочинку. Навпаки, холодне біле світло підвищує рівень бадьорості, тому його доцільно застосовувати для полегшення пробудження. Частота модуляції світла також має значення: неякісне мерехтливе освітлення може викликати зоровий дискомфорт і почуття занепокоєння, тоді як стабільне або ритмічно пульсуюче світло сприяє створенню спокійної атмосфери [11].

Звук є другим значущим фактором, що впливає на процеси релаксації та засинання. Наукові дані свідчать, що широкосмугові шуми, такі як білий або рожевий шум, а також природні звуки (наприклад шум дощу, морських хвиль, лісу) ефективно маскують зовнішні акустичні подразники, формуючи сприятливий для розслаблення звуковий фон [12]. Крім того, музичні композиції з повільним темпом і низькочастотним діапазоном здатні знижувати частоту серцевих скорочень і стимулювати альфа-активність мозку, що корелює зі станом спокою [13]. Комбінований вплив світлових і звукових стимулів продемонстрував свою ефективність у створенні заспокійливого середовища [14]. Наприклад, поєднання теплого освітлення з природними звуками або музикою підсилює релаксацийний ефект, забезпечуючи комфортні умови для сну. Це не тільки полегшує процес засинання, але й сприяє глибшому та більш відновлювальному сну, що є важливим для загального фізіологічного та психологічного благополуччя.

Сучасний ринок пропонує широкий спектр технологічних засобів, спрямованих на покращення якості сну і створення комфортної атмосфери, виділяючи пристрої, що використовують світлові та звукові впливи. Світлотехнічні рішення включають нічні світильники, лампи з можливістю регулювання колірної температури світла і світлодіодні панелі, які імітують природний цикл зміни освітленості. Їхнє основне призначення полягає у впливі на циркадні ритми для гармонізації циклу «сон-безсоння». Проте такі пристрої часто мають обмежений набір фіксованих налаштувань і не враховують індивідуальні особливості користувачів, такі як адаптація до змін у навколишньому середовищі або специфічні фізіологічні потреби. Аудіопристрої, що генерують фонові звуки (білий або рожевий шум, звуки природи, мелодії), використовують для зменшення рівня тривожності, поліпшення концентрації уваги і створення акустично комфортних умов для засинання. Актуальні дослідження підтверджують позитивний вплив таких звукових рішень на сон, однак наголошують на важливості індивідуалізованого підходу.

Загалом сучасні пристрої мають певні недоліки, зокрема недостатню адаптивність до динамічних змін умов, низький ступінь персоналізації налаштувань і відсутність комплексного підходу щодо впливу на сон шляхом поєднання світлових і звукових стимулів. Більшість рішень орієнтовані на виконання вузькоспеціалізованих завдань, не забезпечуючи інтегрованого впливу на фізіологічний і психологічний стан користувача. Окрім того, відсутність науково обґрунтованих алгоритмів, що враховують індивідуальні потреби, і недостатня інтеграція різних аспектів стимуляції суттєво обмежують ефективність таких пристроїв.

Розроблення нових технологічних рішень передбачає створення інтегрованого пристрою, що поєднає світлові та звукові функції, базуючись на сучасних уявленнях про фізіологію сну і вплив зовнішніх факторів на організм людини. Перспективним напрямом досліджень є включення адаптивних алгоритмів, здатних автоматично корегувати параметри роботи пристрою залежно від часу доби, стану користувача або умов навколишнього середовища. Такий пристрій може бути використаний для поглибленого вивчення взаємодії світлових і звукових стимулів із біоритмами людини, відкриваючи нові можливості для оптимізації якості сну та процесів релаксації.

Дослідження впливу світлових та акустичних стимулів

Акустична стимуляція є значущим екзогенним фактором, здатним модулювати психофізіологічний стан індивіда, зокрема впливати на процеси сну та релаксації. Різні звукові сигнали можуть індукувати широкий діапазон реакцій, від активації мозкової діяльності до заспокоєння та синхронізації біологічних ритмів. Характер впливу акустичних стимулів визначений їхніми фізичними параметрами, такими як частотний спектр, інтенсивність, ритмічна структура, а також особливостями їх сприйняття слуховою системою.

Світлові стимули також відіграють суттєву роль у регуляції фізіологічних функцій, особливо в контексті циркадної ритміки та сну. Світло є одним із первинних зовнішніх синхронізаторів біологічного годинника людини. Неадекватне освітлення, його нестача або надлишок, може спричиняти порушення сну та фізіологічного балансу. Спектральний склад світла, його інтенсивність і частота мерехтіння є важливими характеристиками, що можуть впливати на ступінь релаксації та готовність до сну.

Проте для об'єктивного аналізу впливу акустичних і світлових сигналів на організм людини необхідна чітка систематизація підходів для їх класифікації. Відсутність структурованого поділу призводить до фрагментарності досліджень та ускладнює формулювання однозначних висновків щодо природи та специфіки впливу окремих звукових і світлових стимулів. Упровадження чіткої класифікаційної системи дає змогу врахувати різноманітність ефектів аудіовізуальної стимуляції, що є критично важливим для аналізу як ізольованих характеристик звуку та світла, так і їхньої синергетичної дії на процеси сну та релаксації.

У зв'язку з цим виникає необхідність застосовувати методологію розглядати аудіо- та світлові стимули з урахуванням їхніх основних

параметрів. Така класифікація забезпечить можливість проведення комплексного аналізу ефективності та характеру впливу різних типів звукових і світлових сигналів на процес засинання та загальну якість сну. Далі буде наведено структурований підхід для класифікації аудіо- та світлових стимулів за науково обґрунтованими критеріями, що враховує їхні фізичні та психофізіологічні властивості.

Аналіз звукових стимулів. Діапазони частот

Інфразвукові хвилі, що охоплюють діапазон частот від 0 до 20 Гц, мають здатність проникати крізь тверді матеріали та взаємодіяти з людським організмом на рівнях, які не досягають свідомого сприйняття. Потенційний вплив інфразвуку є особливо значущим у контексті процесів сну та релаксації. Фізіологічні та резонансні властивості цих хвиль можуть як сприяти гармонізації біологічних ритмів, так і провокувати негативні стани, зокрема тривожність або дезорієнтацію. Хоча деякі наукові праці вказують на можливий позитивний ефект низькоамплітудного інфразвуку на процеси сну та релаксації [15], переважна частина досліджень свідчить про негативний вплив наднизьких звукових частот, що знаходяться поза межами слухового сприйняття людини. Особливо це стосується високих амплітуд, які можуть призводити до підвищення артеріального тиску, розвитку тахікардії та зростання рівня тривожності. Попри значну кількість спроб оцінити ефекти інфразвуку, його довгостроковий вплив на організм залишається недостатньо вивченим. Це зумовлено складністю адекватного моделювання реальних умов експозиції та наявністю індивідуальних відмінностей у сприйнятті таких стимулів.

Звукові коливання низькочастотного діапазону (20–200 Гц) є основним компонентом акустичного оточення, що впливає на емоційний фон, фізіологічні реакції та якість сну індивіда. Зазначені частоти перебувають у межах слухового сприйняття людини та часто корелюють із природними звуками, такими як віддалений грім, низькочастотний гул морських хвиль або серцебиття. Завдяки своїм фізичним властивостям низькочастотні звуки здатні вступати в резонанс із тканинами та органами людського тіла, що може зумовлювати заспокійливий або стабілізуючий ефект [16]. Ритмічно організовані низькочастотні звуки можуть викликати відчуття безпеки, що часто пов'язують із серцебиттям матері в період пренатального розвитку. Цей механізм пояснює їхній виражений релаксаційний потенціал, особливо для немовлят і осіб із підвищеним рівнем стресу. Низькочастотні звуки демонструють помітний седативний вплив, сприяючи швидшому переходу зі стану бадьорості до фази повільнохвильового сну.

Застосування низьких частот є поширеним у медитативних практиках, наприклад використання тибетських співочих чаш або глибоких басових тонів традиційних музичних інструментів. Їх монотонне повторення сприяє формуванню стану «зміщеної уваги», що посилює релаксацію.

Звукові коливання середньочастотного діапазону (200–2000 Гц) займають головне місце в акустичному спектрі, оскільки більшість звуків природного та побутового середовища належать саме до цього діапазону. Слухова система людини демонструє максимальну чутливість до зазначених частот, що зумовлено еволюційними адаптаціями: у цьому діапазоні локалізовані звуки людського мовлення, спів птахів, шум води, шелест листя та інші значущі сигнали.

У контексті забезпечення сну і релаксації середньочастотні звуки мають специфічну здатність формувати комфортне акустичне тло, сприяти розслабленню і стабілізації емоційного стану [17]. Чутливість людського вуха є найвищою в діапазоні 500–4000 Гц, де середньочастотні звуки займають центральну позицію. Це забезпечує їх легке та природне сприйняття, а також мінімізує навантаження на слуховий аналізатор навіть за тривалої експозиції. Такі звуки є оптимальним фоном для засинання, оскільки не викликають дискомфорту чи подразнення слухової системи. Наприклад, звуки дощу або шелесту листя мають заспокійливий ефект і сприяють плавному переходу до сну. Крім того, середньочастотні звуки можуть ефективно маскувати різкі зміни рівня гучності навколишнього середовища, такі як транспортний шум або гучні розмови [17].

Звукові коливання високочастотного діапазону (2000–20000 Гц) становлять верхню межу сприйняття слуховою системою людини. Ці звуки, залежно від їхніх інтенсивності, природи та контекстуальних умов, можуть як стимулювати когнітивні процеси, так і сприяти досягненню стану релаксації. Оскільки вони локалізовані поблизу верхнього порогу слухового сприйняття, їхній вплив на організм часто є менш дослідженим порівняно з низькими та середніми частотами. У контексті сну та релаксації високочастотні звуки демонструють складний і неоднозначний характер впливу, що залежить від їхніх акустичних характеристик. Нервова система людини еволюційно адаптована до певних високочастотних природних звуків, наприклад співу птахів, який може сигналізувати про безпечне середовище [18]. Водночас різкі високочастотні звуки (такі як писк або скрип) здатні активувати захисні механізми, викликаючи, наприклад, почуття тривоги. Тривалий вплив високих частот, особливо якщо звуки мають різкий характер, може призводити до швидкого стомлення слухової системи, спричиняючи дискомфорт або навіть збудження нервової системи.

Однак, маючи плавний характер і помірну інтенсивність, високочастотні звуки можуть бути корисними для релаксації та формування заспокійливої акустичної обстановки.

сприяє зниженню суб'єктивного сприйняття шуму у вухах.

Аналіз звукових стимулів. Шуми та природні звуки, їх поєднання

Білий шум визначено як стаціонарний шумовий сигнал, спектральна щільність потужності якого є рівномірною в усьому частотному діапазоні (рис. 1). Він має високу ефективність маскування інших звукових сигналів, особливо з обмеженим частотним спектром. Ця властивість дає змогу мінімізувати вплив несподіваних акустичних подразників (наприклад шуму транспортних засобів, гучних розмов), здатних порушувати процес сну. Однак тривала експозиція білого шуму може призвести до слухової втоми внаслідок одночасного навантаження на весь діапазон аудіальних частот [19].

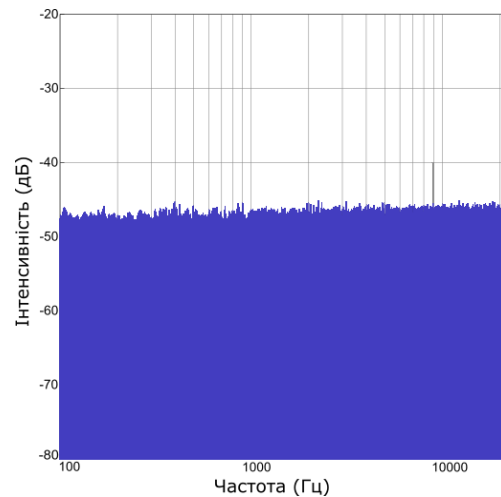


Рис. 1. Спектр білого шуму

Рожевий шум є модифікацією білого шуму з рівномірним спадом інтенсивності зі зростанням частоти (залежність типу $1/f$) (рис. 2). Завдяки такій спектральній характеристиці людський слух сприймає рожевий шум як «м'якший» і більш природний. У систематичному огляді «Systematic review: auditory stimulation and sleep» [20] продемонстровано, що застосування рожевого шуму під час сну сприяє покращенню його якості. Рожевий шум, аналогічно білому, ефективно маскує зовнішні акустичні подразники, проте, на відміну від білого шуму, не викликає відчуття акустичного перенавантаження. Ця особливість робить його оптимальним для тривалого використання.

Для коричневого шуму (червоного шуму) характерний ще більш значний спад інтенсивності високочастотних компонентів порівняно з рожевим шумом (рис. 3). У спектрі коричневого шуму домінують низькі частоти, що формує глибоке, м'яке акустичне тло. Такий тип шуму є більш прийнятним для досягнення заспокійливого ефекту, однак може бути менш ефективним для осіб, які потребують маскування високочастотних звукових подразників [21].

Сірий шум є спектрально модифікованим типом шуму, гучність якого регульована відповідно до кривої чутливості людського слуху (рис. 4). Цей вид шуму розроблений для забезпечення максимально комфортного сприйняття, оскільки враховує фізіологічні особливості слухового аналізатора, що робить його оптимальним для осіб із підвищеною чутливістю. Завдяки адаптації до аудіальної кривої людини сірий шум ефективно маскує сторонні звуки, створюючи суб'єктивне відчуття тиші. Сірий шум часто застосовують у терапії тинітусу, оскільки він

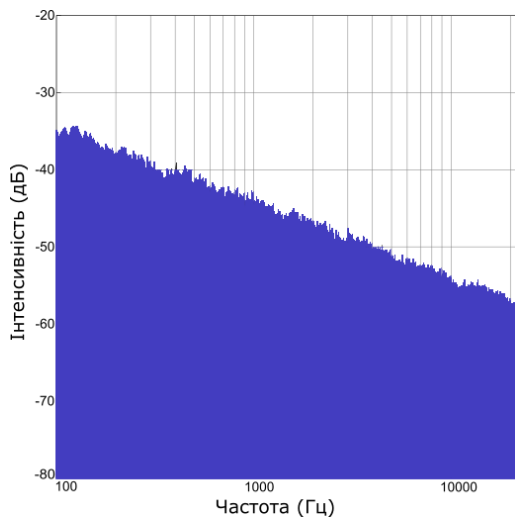


Рис. 2. Спектр рожевого шуму

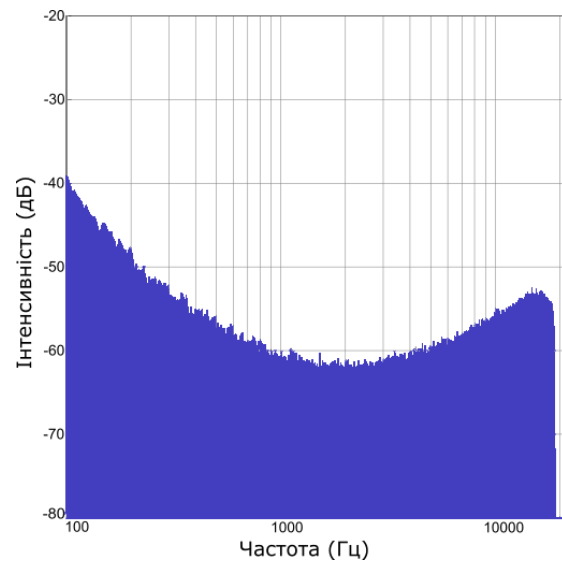


Рис. 4. Спектр сірого шуму

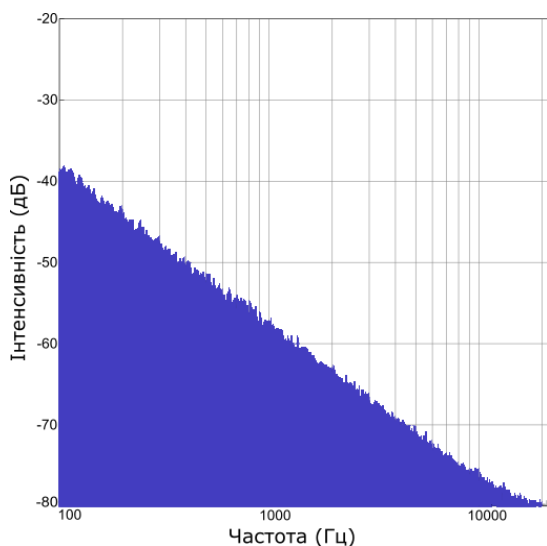


Рис. 3. Спектр коричневого шуму

Природні акустичні стимули, такі як шум дощу, морських хвиль або шелест листя, часто демонструють характеристики, властиві певним типам шуму (наприклад рожевому або білому), формуючи в такий спосіб комфортне та натуральне звукове тло. Еволюційно закріплені реакції на ці звуки викликають асоціації з безпечним середовищем, що сприяє зниженню рівня тривожності. Крім того, вони зазвичай мають м'який спектральний склад, як, наприклад, шум дощу, що забезпечує комфортне маскування інших акустичних подразників.

Комбінування різних типів шумів дає можливість для створення багатошарових акустичних середовищ, які можуть бути адаптовані до специфічних потреб користувача.

Аналіз звукових стимулів. Ембійентні композиції

Ембійентна музика є специфічним жанром, що формує звукове середовище, орієнтоване на занурення слухача в атмосферу релаксації, спокою або медитативного стану. Характерною ознакою цього жанру є мінімальний акцент на мелодичній чи ритмічній складовій; натомість основну увагу приділено текстурі звуку, його тональним характеристикам і глибині. Завдяки цим особливостям ембійентна музика може бути ефективнішим засобом для покращення сну та відпочинку порівняно з різними типами шуму, оскільки вона здатна створювати стабільне і мінімалістичне акустичне середовище, позбавлене чітко виражених ритмів чи різких коливань інтенсивності. На відміну від білого, рожевого чи коричневого шуму, які можуть мати рівномірний частотний спектр, ембійентна музика має

потенціал адаптуватися до природних флуктуацій уваги та настрою слухача, що сприяє глибокій релаксації. Вона може плавно трансформувати звукові текстури, імітуючи природні звуки або створюючи гармонійні звукові пейзажі, які налаштовують на спокій і сприяють підготовці до сну. Крім того, ембійентні композиції зазвичай не містять різких переходів або подразнюючих елементів, що знижує ймовірність виникнення неспокою чи пробудження під час сну [22]. Широкий спектр піджанрів ембійентної музики дає змогу застосовувати індивідуалізований підхід, ураховуючи особисті переваги та потреби слухача, що підвищує ефективність її використання для поліпшення якості сну та релаксації.

Аналіз світлових стимулів

Теплі відтінки світлового спектра, зокрема жовтий, оранжевий і червоний, мають значний вплив на психофізіологічний стан людини. Жовтий і оранжевий кольори часто асоціюються з відчуттям тепла, комфорту і спокою. Вони здатні знижувати рівень стресу, формуючи сприятливу атмосферу, особливо в терапевтичних або релаксаційних зонах.

Наприклад, жовте освітлення часто застосовують у дизайні інтер'єрів для створення затишку, оскільки воно імітує природне світло заходу сонця, що сприяє розслабленню. Проте червоний колір, незважаючи на свою належність до теплої гами, може викликати протилежний ефект. Він асоціюється з енергією, активністю і навіть потенційною небезпекою. Надмірна експозиція червоного світла може спричинити збудження, підвищити рівень стресу та навіть призвести до порушень сну. Це пояснюють тим, що червоний колір стимулює симпатичну нервову систему, що може перешкоджати процесам релаксації та підготовки до сну [23, 24].

Холодні кольори, такі як синій, блакитний і зелений, відіграють важливу роль у регуляції циркадних ритмів та емоційного стану. Синє та блакитне світло, зокрема, впливають на секрецію мелатоніну. Наукові дані свідчать, що експозиція синього світла у вечірній час може пригнічувати продукцію мелатоніну, що призводить до порушень сну. Однак у денний час синє світло здатне підвищувати рівень концентрації та продуктивності, оскільки воно імітує природне денне освітлення [10, 25]. Зелене світло, навпаки, сприяє досягненню емоційної рівноваги та релаксації. Його часто використовують у медитативних практиках і терапевтичних середовищах, оскільки допомагає знизити рівень тривожності та покращити концентрацію уваги. Холодні кольори є оптимальними для приміщень, де необхідні спокій і зосередженість, таких як медичні заклади, офісні простори або зони для медитації [26].

Нейтральні кольори, зокрема білий і сірий, забезпечують функціональне освітлення, що має мінімальний емоційний або фізіологічний вплив. Їх часто застосовують у сучасних інтер'єрних рішеннях, де пріоритетними є універсальність і нейтральність. Біле світло може мати як теплу, так і холодну кольорну температуру залежно від його спектрального складу, що дає змогу адаптувати його до різних потреб. Сірий колір зазвичай використовують для створення візуального балансу та виділення інших кольорів, не привертаючи до сірого надмірної уваги.

Інтенсивність світлового потоку є одним із основних факторів, що впливають на циркадні ритми та загальний стан організму. Уранці яскраве освітлення сприяє пробудженню, активізує мозкову діяльність і підвищує рівень енергії. Це пов'язано з тим, що висока інтенсивність світла стимулює синтез кортизолу – гормону, що відповідає за стан бадьорості. У вечірній час, навпаки, зниження інтенсивності освітлення сприяє виробленню мелатоніну, що готує організм до переходу в стан сну.

Надмірна експозиція яскравого світла вночі, особливо синьої частини спектра, може призводити до порушень сну, зниження якості відпочинку та навіть розвитку хронічних розладів, таких як інсомнія. Тому важливо адаптувати інтенсивність освітлення до часу доби, використовуючи, наприклад, димовані або теплі світлодіодні джерела світла у вечірні години [10].

Частота пульсацій світла також впливає на стан нервової системи. Високочастотне мерехтіння світла може викликати відчуття напруженості, дратівливості та навіть головний біль. Це особливо помітно, якщо використано низькоякісні світлодіодні лампи або дисплеї із низькою частотою оновлення. Навпаки, світло з низькою частотою пульсацій або стабільне, немерехтливе світло сприяє релаксації та комфорту. У терапевтичних цілях пульсуюче світло застосовують для лікування сезонних афективних розладів (САР) та інших психоемоційних станів. Однак для досягнення позитивного терапевтичного ефекту необхідний ретельний підбір частоти і тривалості експозиції.

Тривалість впливу світла є визначальним фактором у регуляції циркадних ритмів. Короткочасна експозиція яскравого світла вранці може бути достатньою для пробудження та підвищення рівня концентрації. Наприклад, 20-30 хвилин яскравого освітлення вранці можуть значно покращити рівень енергії та продуктивність протягом дня. Проте довготривала експозиція світла у вечірній час, особливо яскравого або синього спектра, може негативно вплинути на якість сну. Навіть незначна кількість світла від екранів смартфонів або комп'ютерів здатна призводити до затримки синтезу мелатоніну, що ускладнює процес засинання та

погіршує якість сну. Тому рекомендовано обмежувати вплив яскравого світла у вечірні години та використовувати режими «нічного освітлення» на електронних пристроях [27].

Градiєнтні змiни колiрної температури та яскравостi освiтлення є перспективним методом iмiтацiї природних циклiв денного свiтла. Такий пiдхiд сприяє пiдтриманню циркадних ритмiв людини та покращенню загального фiзiологiчного i психологiчного стану. Перехiд вiд холодних, високоiнтенсивних спектрiв у денний час до теплих, приглушених вiдтiнкiв увечерi сприяє оптимiзацiї секретiї мелатонiну, забезпечуючи релаксацiю та пiдготовку органiзму до сну. Такий поступовий спектральний зсув також мiнiмiзує негативний вплив синього свiтла у вечiрнi години.

Поєднання градiєнтних змiн освiтлення зi звуковими ефектами, такими як ембiєнтна музика або звуки природи, може значно посилити ефект розслаблення та покращити концентрацiю уваги, створюючи гармонiйний мультисенсорний досвiд. Синхронiзацiя переходу вiд яскравого до тмiяного освiтлення зi змiною вiд енергiйної до спокiйної музики дає змогу досягти глибшого стану релаксацiї або зосередженостi. Наприклад, тепле освiтлення в поєднаннi зi звуками природи, такими як шум океану, може створити сприятливу атмосферу в спальнi, сприяючи сну, тодi як холодне освiтлення разом з ембiєнтною музикою може забезпечити робочу атмосферу в домашньому офiсi. Така комбiнацiя використовує психологiчнi переваги як вiзуальних, так i слухових стимулiв, потенцiйно покращуючи настрiй i знижуючи рiвень стресу. Практичнi застосування вмикають системи «розумного будинку», якi iнтегрують регулювання освiтлення та звуку, налаштовуючи персоналiзованi параметри вiдповiдно до iндивiдуальних уподобань. Однак важливо збалансувати iнтенсивнiсть обох типiв стимулiв, щоб уникнути сенсорного перевантаження, забезпечуючи персоналiзований та ефективний досвiд.

Розроблення пристрою

На пiдставi проведених дослiджень впливу свiтлових i звукових стимулiв на психофiзiологiчний стан людини встановлено, що цiлеспрямовано пiдбране поєднання параметрiв кольору, яскравостi, iнтенсивностi освiтлення та аудіосупроводу може дуже позитивно впливати на рiзнi аспекти здоров'я. Зокрема, виявлено, що такi стимули сприяють полiпшенню якостi сну, зниженню рiвня стресу, а також пiдвищенню загального емоцiйного та фiзичного тону.

Ураховуючи зазначенi висновки, було ухвалено рiшення про розроблення iнновацiйного розумного нiчника, оснащеного системою модуляцiї свiтлових i звукових характеристик. Це забезпечить можливiсть автоматичного налаштування рiвня освiтленостi, колiрної температури та акустичного супроводу вiдповiдно до iндивiдуальних потреб користувача. Такий пiдхiд спрямований не лише на створення комфортних умов, але i гармонiзацiю бiологiчних ритмiв через адаптацiю навколишнього середовища до природних циклiв людського органiзму. Окрiм того, розумний нiчник передбачатиме можливiсть персоналiзацiї з урахуванням змiнних факторiв, таких як час доби, рiвень денної активностi користувача та його iндивiдуальнi преференцiї. Отже, пристрiй не тiльки сприятиме полегшенню процесу засинання, але й допоможе створити оптимальнi умови для релаксацiї, що робить його унiверсальним рiшенням для рiзних сценарiїв застосування, виходячи за межi стандартних функцiй нiчника.

Усi функцiональнi можливостi iнтелектуального нiчника зображенi в деталiзованiй i структурованiй формi у виглядi дерева функцiй (рис. 5). Таке подання дає змогу чiтко вiзуалiзувати взаємозв'язок мiж основними та додатковими функцiями пристрою, забезпечує повне розумiння архiтектури його функцiоналу, спрощує планування етапiв розроблення та сприяє ефективному внесенню необхідних модифiкацiй чи доповнень.

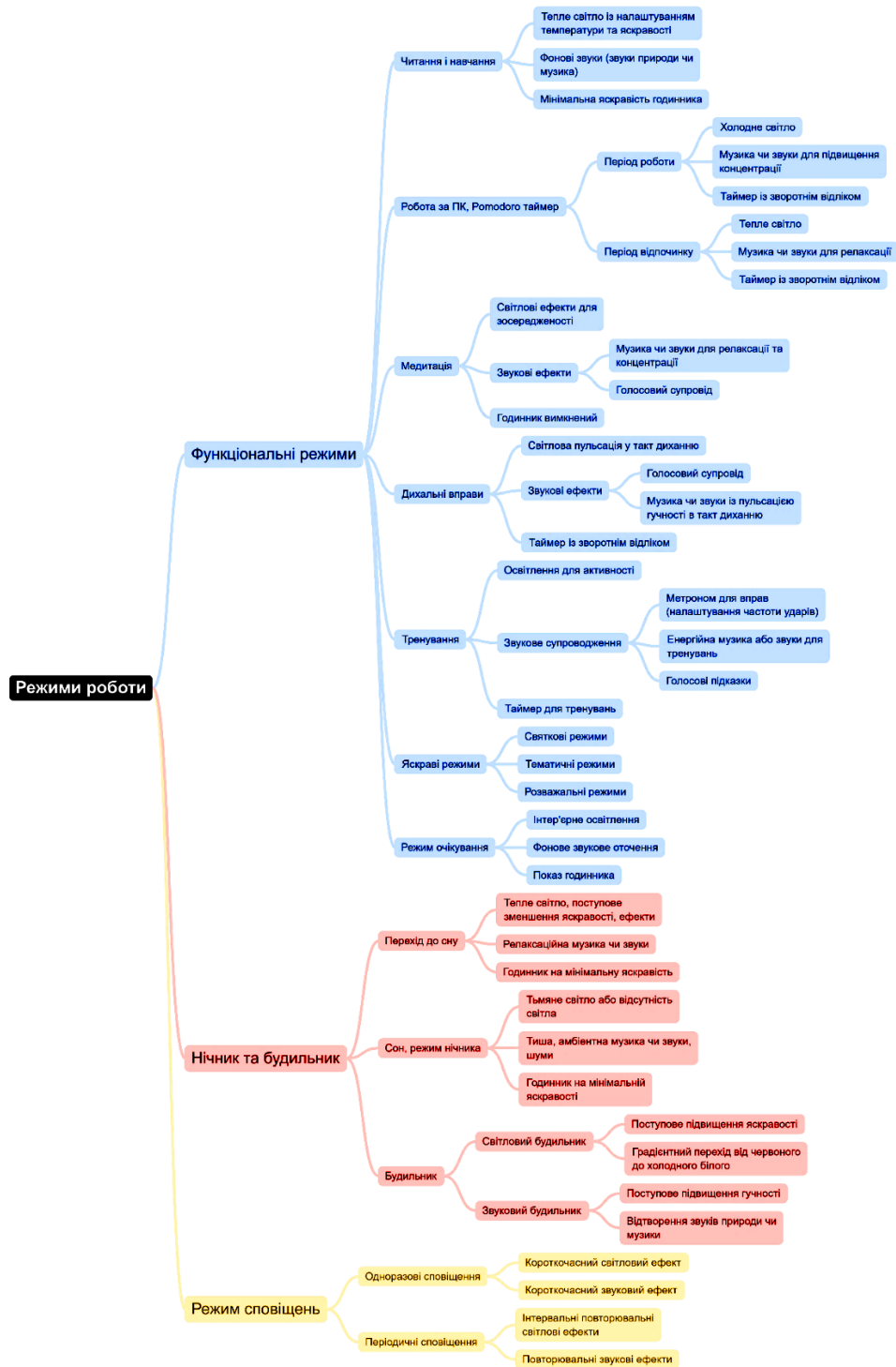


Рис. 5. Дерево функцій розумного нічника

Розроблення апаратної частини пристрою. За визначеним деревом функцій пристрою, наступним етапом є проектування апаратної платформи, здатної реалізувати весь запланований функціонал. У процесі вибору компонентної бази враховували технічні характеристики, показники енергоефективності, взаємну сумісність елементів і потенціал для майбутньої модернізації. Особливу увагу було

приділено інтеграції системних компонентів для забезпечення стабільної та синхронізованої роботи пристрою.

Основні компоненти і їхні технічні характеристики:

- **мікроконтролер ESP32-C6:** вибраний як центральний обчислювальний модуль, оснащений 32-

бітним RISC-V процесором із тактовою частотою до 160 МГц. Він забезпечує підключення периферійних пристроїв через 38 програмованих виводів загального призначення (GPIO) і підтримує сучасні бездротові стандарти зв'язку: Wi-Fi 6, Bluetooth 5 (Low Energy), Thread та Zigbee;

- **цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) PCM5102:** високоякісний аудіо ЦАП, що забезпечує співвідношення сигнал/шум (SNR) на рівні 112 дБ і вихідну напругу 2VRMS. Підтримує аудіоформати з розрядністю 16, 24 і 32 біти і взаємодіє через інтерфейс I2S;

- **підсилювач потужності PAM8403:** високоефективний стереофонічний аудіопідсилювач класу D. Забезпечує вихідну потужність 3 Вт на канал за напруги живлення 2.5-5.5 В, має низький рівень спотворень і високу ефективність (до 90 %). Можна підключати динаміки без необхідності використання зовнішніх фільтрів низьких частот;

- **аудіодинаміки:** два широкосмугові динаміки діаметром 60 мм і номінальною потужністю 5 Вт, побудовані на основі неодимових магнітів для покращеної якості звуку;

- **світлодіодна стрічка ARGB:** використовують стрічку з адресними світлодіодами типу WS2812B, загальною кількістю 64 світлодіоди для створення динамічних кольорних ефектів;

- **світлодіодна стрічка білого світла:** стрічка на базі світлодіодів SMD2835 з колірною температурою 5500 К і загальною кількістю 84 світлодіоди для основного освітлення;

- **MOSFET-транзистор AO3400:** використовують для керування яскравістю білої світлодіодної стрічки за допомогою методу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ);

- **перетворювач логічних рівнів BOB-11978:** забезпечує узгодження логічних рівнів із 3.3 В (вихід мікроконтролера) до 5 В (вхід ARGB стрічки);

- **дисплей HW-069:** чотирирозрядний семисегментний індикатор з інтегрованим контролером TM1637, призначений для відображення цифрової інформації, такої як поточний час, значення таймерів та інші службові індикатори;

- **модуль реального часу (RTC) HW-111:** реалізований на базі мікросхеми DS1307 з інтерфейсом I2C. Забезпечує відлік секунд, хвилин, годин, днів тижня, дат, місяців і років. Містить 56 байтів статичної пам'яті (SRAM) із резервним живленням від батареї та споживанням менше 500 нА в режимі резервного живлення;

- **модуль SD-карти:** призначений для зберігання файлів конфігурації пристрою та аудіотреків;

- **сенсорні кнопки TTP223:** емнісні сенсорні кнопки, використовувані для спрощеного керування основними функціями пристрою без необхідності використання мобільного застосунку.

Інтеграція зазначених компонентів є наступним критичним етапом у розробленні апаратної частини пристрою. Цей процес передбачає не лише фізичне з'єднання елементів, але й ретельне налагодження їхньої взаємодії для досягнення оптимальної продуктивності та повної реалізації функціональних можливостей. Контролер ESP32-C6 виконує роль центрального координуючого елемента, що керує роботою всіх підключених периферійних пристроїв, забезпечуючи їхню синхронізацію та обмін даними через відповідні інтерфейси. Принципова електрична схема розробленого пристрою подана на рис. 6.

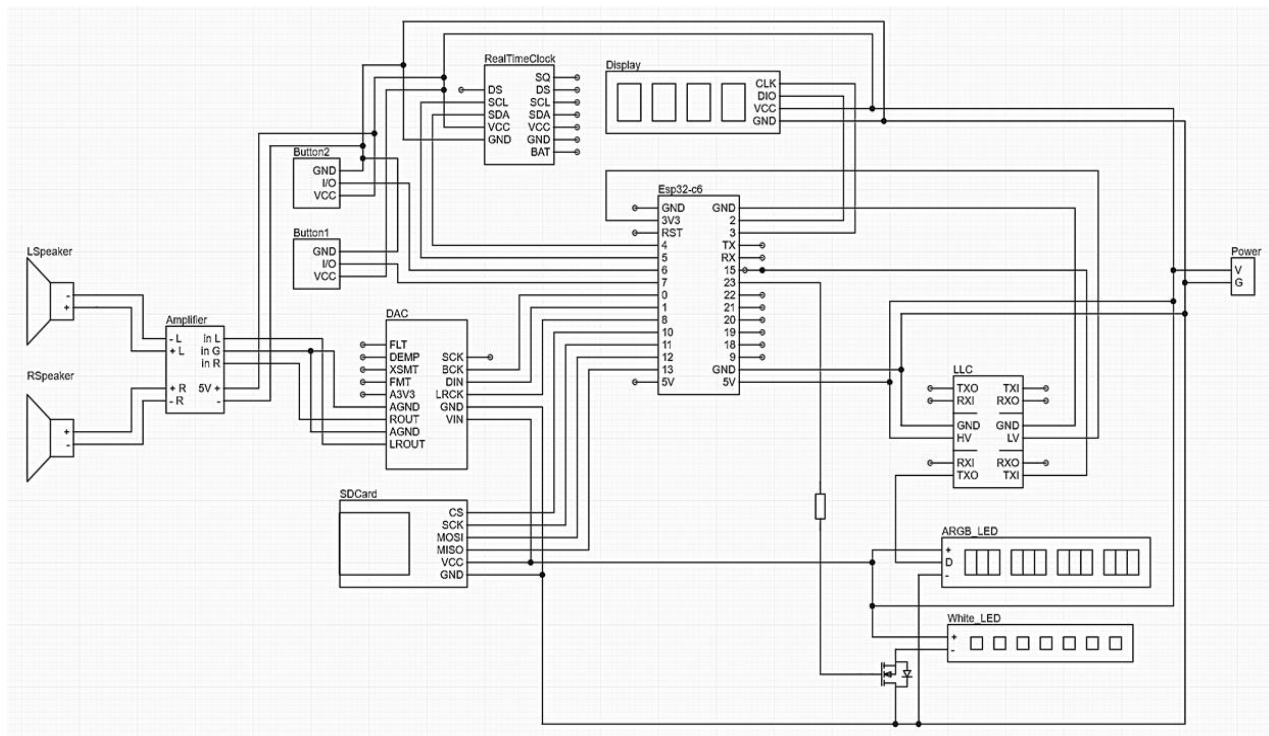


Рис. 6. Принципова схема розумного нічника

Апаратні модулі: відповідають за взаємодію з периферійними пристроями, такими як дисплей, світлодіодні стрічки та аудіосистема.

Розроблення програмної частини пристрою Програмне забезпечення відіграє головну роль у забезпеченні належного функціонування всіх апаратних компонентів системи. Воно структуроване на два основні рівні: вбудоване програмне забезпечення (прошивка), що безпосередньо керує апаратною частиною пристрою, і мобільний застосунок, призначений для взаємодії з користувачем та керування пристроєм.

Вбудоване програмне забезпечення має модульну архітектуру, де кожен програмний модуль відповідає за певні аспекти функціонування системи. Такий підхід забезпечує високий рівень гнучкості, полегшує адаптацію та розширення функціоналу з упровадженням нових можливостей. Схема модульної структури програмного забезпечення наведена на рис. 7. Ця структура є ієрархічною та складається з чотирьох основних груп модулів.

Комунікаційні модулі: забезпечують обмін даними зі смартфоном (для налаштування пристрою, передавання біометричних даних), зв'язок із серверами (для завантаження аудіотреків та оновлень програмного забезпечення), а також інтеграцію з системами «розумного будинку».

Ядро системи: містить критично важливі компоненти, включаючи менеджери процесів (для загального керування пристроєм), конфігурацій, станів, оновлень, сховища даних, а також обробники подій і команд. Цей модуль контролює загальну продуктивність системи та забезпечує узгоджену роботу всіх інших програмних модулів.

Функціональні модулі: реалізують специфічні функції пристрою, такі як керування освітленням, відтворення звукових ефектів та обробка часових параметрів, що дає змогу пристрою виконувати свою основну роль розумного нічника.

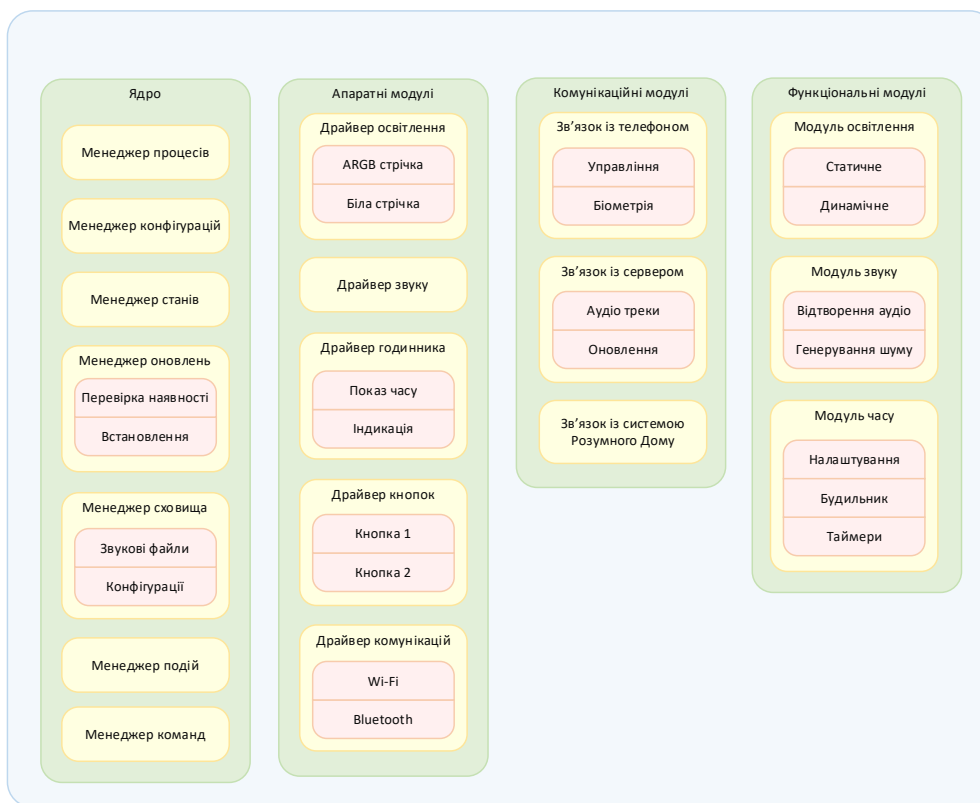


Рис. 7. Модульна структура внутрішнього ПЗ розумного нічника

Мобільний застосунок виконує дві основні функції: керування пристроєм (налаштування параметрів, зміна режимів роботи) і передавання біометричних даних користувача на пристрій для коректної реалізації основного сценарію роботи розумного нічника. Додатково передбачена функція підлаштування параметрів пристрою на основі суб'єктивного оцінювання якості сну користувачем. Принцип роботи сценарію сну детально описаний на

рис. 8. Демонстраційні знімки екранів мобільного застосунку подані на рис. 9. Загалом за допомогою мобільного застосунку користувач отримує можливість легко та зручно взаємодіяти з розумним нічником, налаштовуючи його відповідно до своїх індивідуальних потреб та отримуючи максимальну користь від його функціональних можливостей.

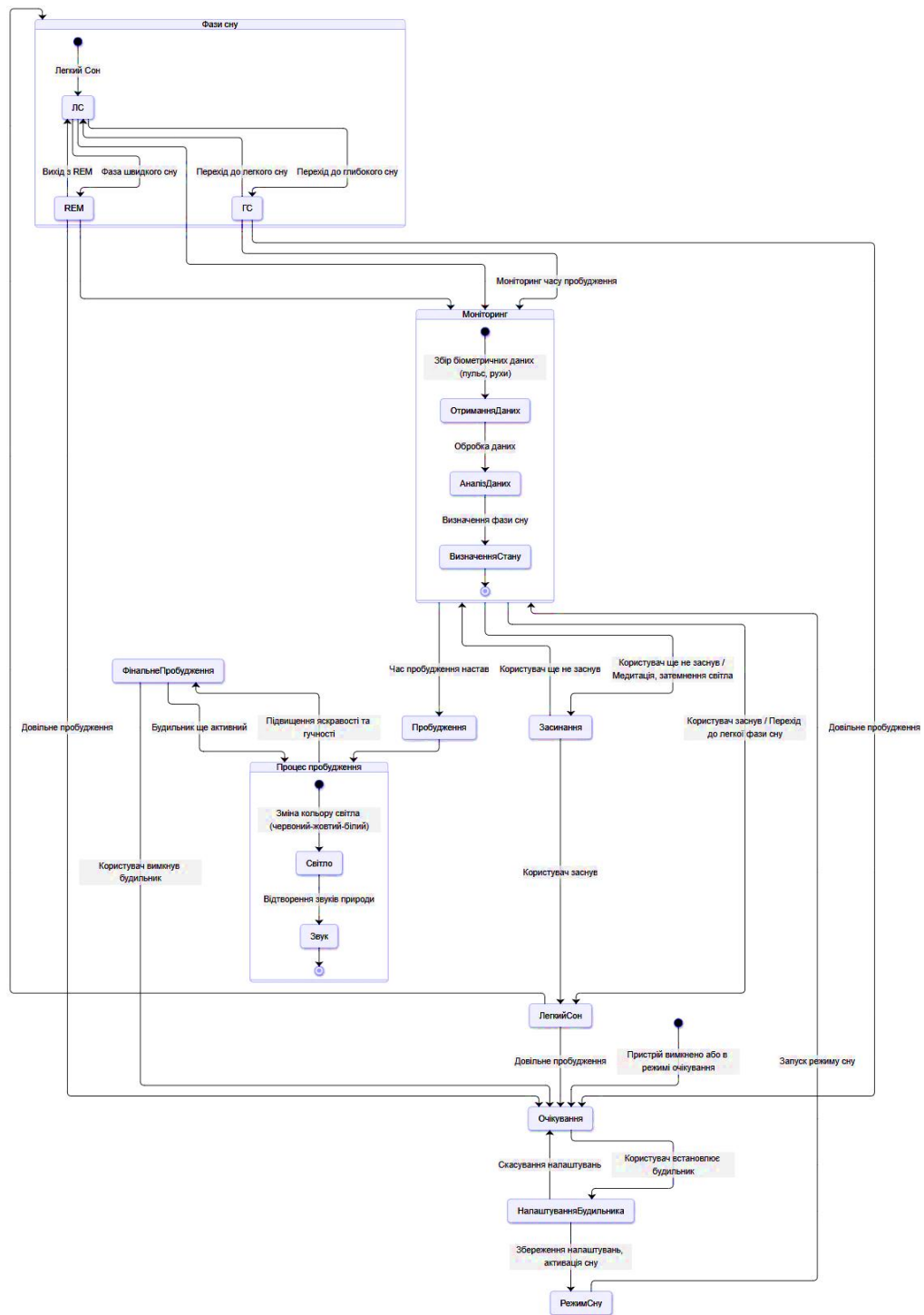


Рис. 8. Діаграма станів основного профілю роботи розумного нічника

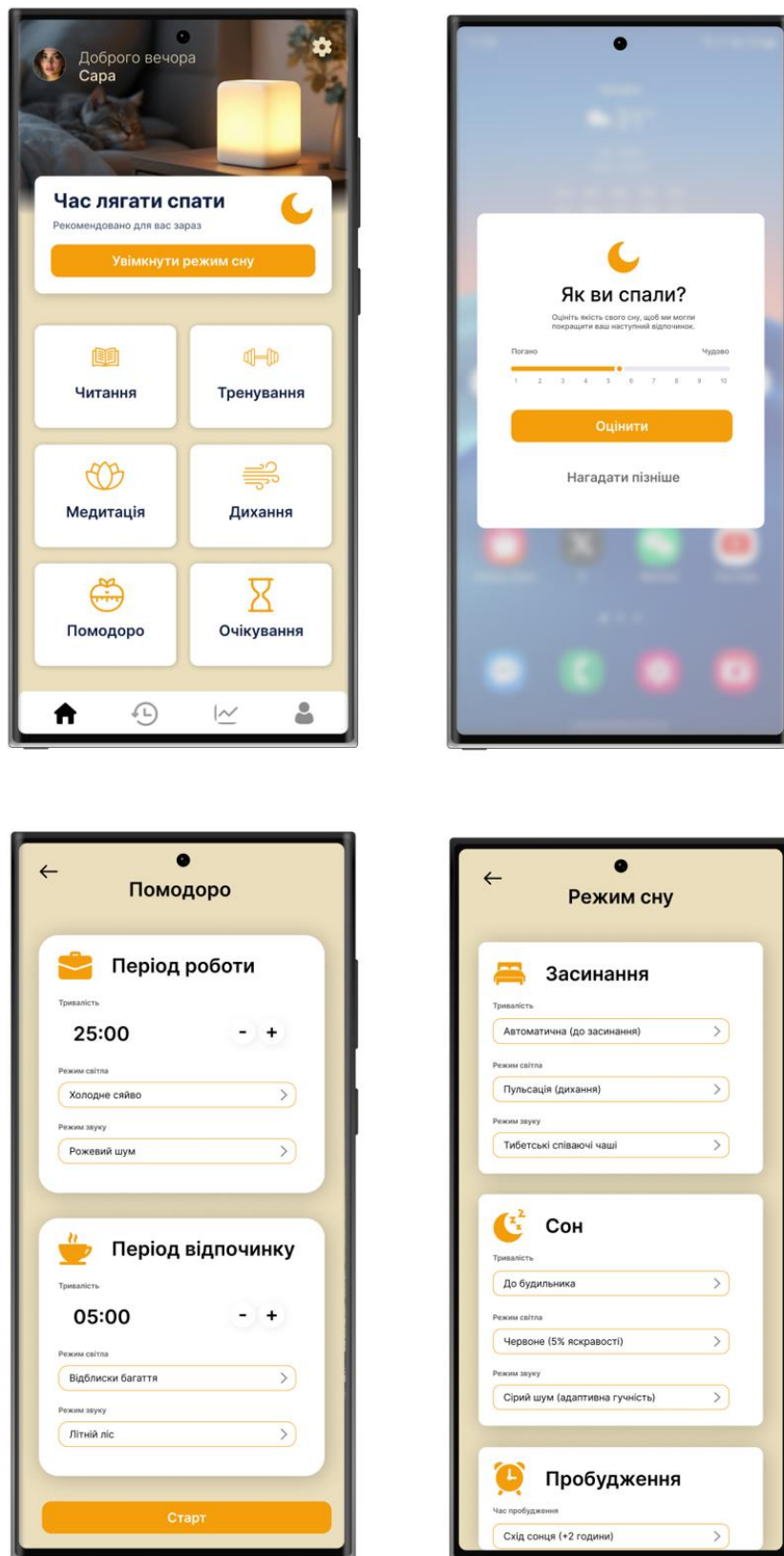


Рис. 9. Скриншоти мобільного застосунку для керування розумним нічним
Дослідження роботи пристрою

Для оцінювання ефективності розробленого нічника було проведено детальне дослідження, у якому взяли участь 20 волонтерів із здобувачів вищої освіти. Усі учасники були ретельно поінформовані про мету і процедуру дослідження та дали інформовану згоду на участь. Формували вибірку з урахуванням різноманітності хронотипів (ранкові, вечірні та проміжні типи) та індивідуальних особливостей сну, що дало змогу забезпечити різнобічне оцінювання впливу пристрою на різні категорії користувачів.

Етапи дослідження

Дослідження функціональності пристрою тривало протягом чотирьох тижнів, причому кожен тиждень мав свою специфічну мету.

Перший тиждень – контрольний період. Учасники дотримувалися свого звичайного режиму сну без використання розумного нічника. Цей етап був призначений для фіксації базових показників сну кожного учасника, які надалі слугували контрольною групою для порівняльного аналізу.

Другий тиждень – адаптаційний період. Протягом цього тижня учасники самостійно здійснювали підбір оптимальних параметрів і налаштувань розумного нічника. Їм була дана можливість експериментувати з колірною гамою світла, його яскравістю, звуковими ефектами та їхньою гучністю для визначення найбільш комфортних та ефективних індивідуальних конфігурацій.

Наступні два тижні – період безпосереднього тестування. Після завершення адаптаційного періоду учасники використовували вибрані ними індивідуальні налаштування пристрою. Це дало змогу зібрати дані про вплив функціонування пристрою на якість сну в довгостроковій перспективі.

Критерії оцінювання якості сну

У процесі дослідження для оцінювання якості сну було зібрано як об'єктивні, так і суб'єктивні показники. Поєднання цих двох підходів дало змогу сформувати комплексне уявлення про стан сну учасників і вплив різних стимулів на його якість.

Об'єктивні показники вимірювали за допомогою фітнес-трекерів і смарт-годинників, що забезпечило збирання відносно точних даних про фізіологічні процеси під час сну. Зокрема, реєстрували такі параметри:

- **загальна тривалість сну:** часовий інтервал від моменту засинання до остаточного пробудження. Цей показник відображує достатність часу для відновлення організму;
- **відсоткове співвідношення фаз сну:** частка глибокого, легкого сну та REM-фази (фази швидкого руху очей). Аналіз цих фаз дає змогу

оцінити структурну повноцінність сну та ефективність відновлювальних процесів;

- **кількість нічних пробуджень:** кількість переривань сну, що можуть впливати на його безперервність і глибину. Часті пробудження можуть вказувати на наявність зовнішніх або внутрішніх факторів, які перешкоджають якісному відпочинку;

- **середня частота серцевих скорочень під час сну:** цей параметр відображує рівень фізіологічного спокою та може опосередковано вказувати на наявність стресових факторів або відхилень у функціонуванні серцево-судинної системи;

- **латентність сну:** часовий проміжок між відходом до ліжка та фактичним засинанням. Скорочення цього періоду свідчить про покращення умов для засинання та зниження рівня тривожності.

Суб'єктивні показники були зібрані шляхом щоденного опитування учасників. Кожен учасник самостійно оцінював якість свого сну за 10-бальною шкалою, де 1 бал означав дуже поганий сон, що супроводжувався відчуттям втоми, недосипання, труднощами із засинанням або частими пробудженнями, а 10 балів відповідали ідеальному сну з відчуттям повного відпочинку, бадьорості та відсутності будь-якого дискомфорту після пробудження.

Включення суб'єктивної оцінки дало змогу врахувати індивідуальне сприйняття якості сну, яке може відрізнятися від об'єктивних фізіологічних вимірювань. Це важливо, оскільки навіть за умов схожих фізіологічних показників різні індивіди можуть по-різному оцінювати своє самопочуття після сну.

Поєднання об'єктивних і суб'єктивних параметрів забезпечило більш повну та достовірну картину впливу світлових і звукових стимулів на якість сну. Такий комплексний підхід дав змогу не лише кількісно оцінити зміни, але й зрозуміти їхню суб'єктивну значущість із точки зору самопочуття учасників. Отримані дані є критично важливими для подальшого вдосконалення пристрою та методик його застосування.

Аналіз впливу пристрою на якість сну

Після завершення етапу збору та систематизації даних було проведено поглиблений аналіз кожного з визначених параметрів із залученням методів описативної статистики. Для оцінювання загального рівня досліджуваних показників, ступеня варіативності отриманих даних і динаміки їхніх змін протягом періоду спостереження було вибрано відповідні статистичні інструменти. Застосування цих методів дає змогу сформувати комплексне уявлення про вплив світлових і звукових стимулів на якість сну учасників дослідження.

Розрахунки здійснювалися за такими формулами:

- середнє ковзне для аналізу динаміки в часі

- середнє арифметичне для відображення загального рівня показників

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (1)$$

$$MA_k(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^t x_i, \quad (3)$$

де $MA_k(t)$ – середнє ковзне в момент часу t ;

де $\bar{x}$ – середнє арифметичне;

x_i – значення ряду в момент i ;

N – кількість елементів;

k – розмір ковзного вікна.

x_i – значення елементів;

- стандартне відхилення для аналізу варіативності даних

Аналіз отриманих результатів

1. Латентність сну

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

де σ – стандартне відхилення;

N – кількість елементів у вибірці;

x_i – значення елементів вибірки;

$\bar{x}$ – середнє арифметичне вибірки;

Латентність сну є важливим індикатором ефективності методик, спрямованих на релаксацію. Протягом першого контрольного тижня дослідження учасники фіксували значні труднощі із засинанням. Проте після початку використання пристрою, протягом наступних тижнів, спостерігали виражену тенденцію до скорочення часу, необхідного для переходу до стану сну (рис. 10). На рис. 11 продемонстровано, що середнє значення часу засинання зменшилося з 61 хвилини до 20 хвилин. Цей показник наближається до нормативних значень, які становлять 10-20 хвилин. Окрім того, зафіксовано зменшення середнього розкиду значень (дисперсії) з 13.6 до 6.3. Отже, спостерігали позитивну динаміку щодо скорочення часу засинання та підвищення його стабільності, що свідчить про ефективність застосування розробленого пристрою для поліпшення якості сну.

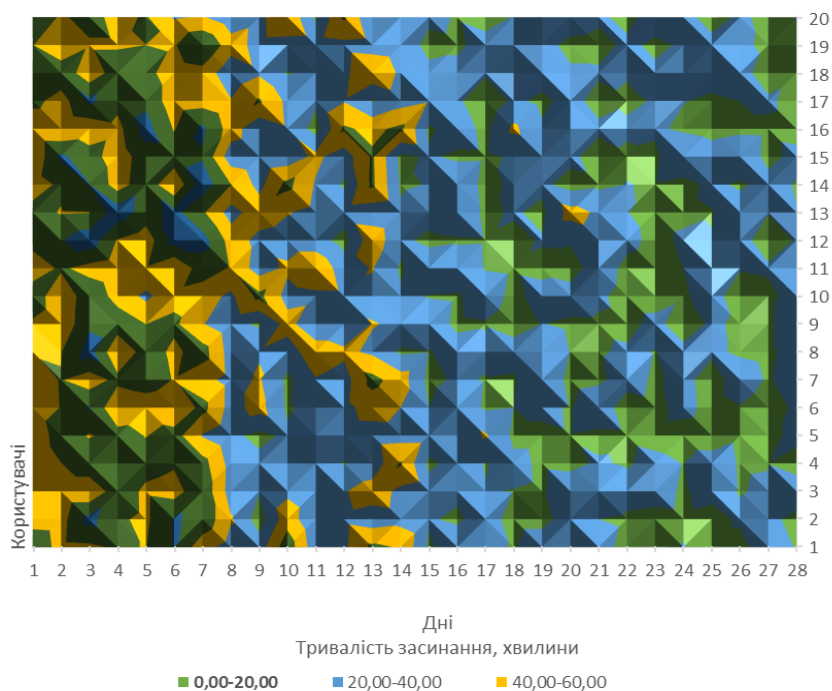


Рис. 10. Поверхнева діаграма розподілу тривалості засинання

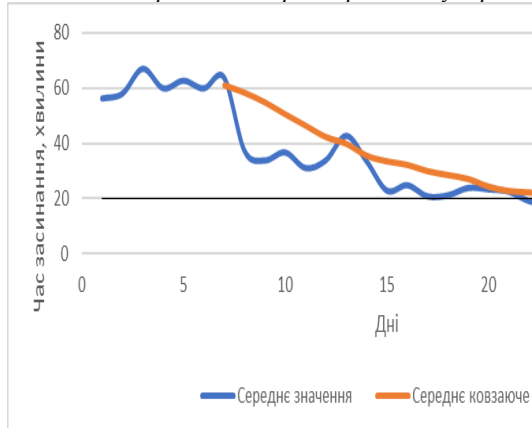


Рис. 11. Графік зміни тривалості засинання

2. Загальна тривалість сну

Аналіз показників тривалості сну продемонстрував, що використання розробленого пристрою сприяло подовженню сну в більшості учасників дослідження. Загальний розподіл тривалості сну подано на рис. 12. Для візуалізації тенденції було застосовано метод ковзних середніх із періодом усереднення сім днів (рис. 13). Порівняльний аналіз даних, отриманих до та після початку використання пристрою, виявив збільшення середньої тривалості сну на 13,5 %, а саме з 7,4 до 8,4 години. Зменшення середнього розкиду значень (дисперсії) не спостерігали, що можна пояснити вільним графіком сну учасників, без використання будильника. Отже, отримані результати свідчать, що пристрій ефективно подовжує тривалість сну, зберігаючи при цьому індивідуальні біологічні ритми.

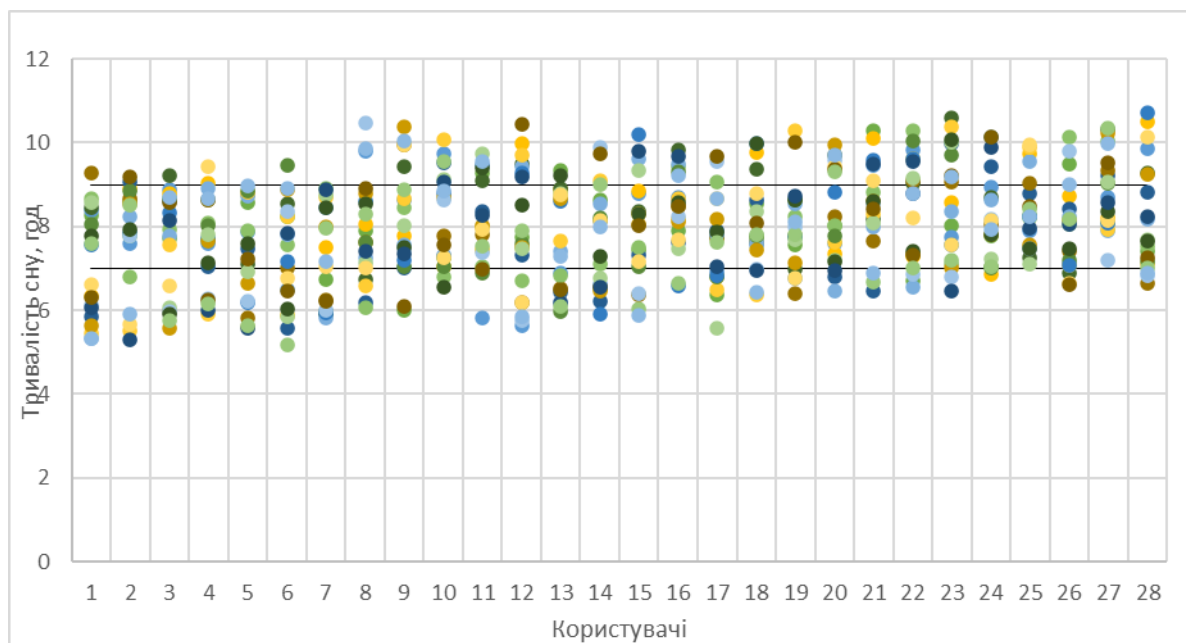


Рис. 12. Діаграма розподілу тривалості сну

3. Кількість нічних пробуджень

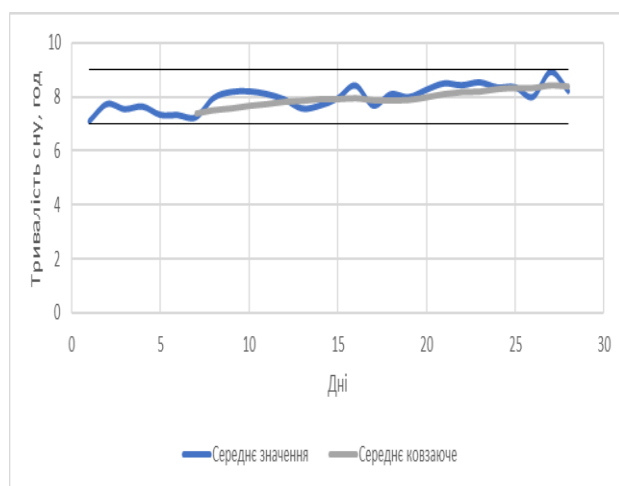


Рис. 13. Графік зміни тривалості сну

Кількість пробуджень протягом ночі є значущим індикатором якості сну. Протягом базового (контрольного) періоду дослідження учасники відзначали високу частоту пробуджень, що свідчило про нестабільність їхнього сну. Загальні дані про кількість пробуджень серед учасників подані на першому графіку (рис. 14). На другому графіку (рис. 15) відображено динаміку змін кількості пробуджень із застосуванням методу ковзних середніх із періодом усереднення сім днів. Порівняльний аналіз даних, отриманих до та після впровадження пристрою, продемонстрував зниження середнього значення кількості пробуджень з 2.6 до 0.7, що вказує на стабілізацію сну. Отже, використання розробленого пристрою сприяє зменшенню кількості нічних пробуджень, що є позитивною динамікою в контексті покращення загальної якості сну.

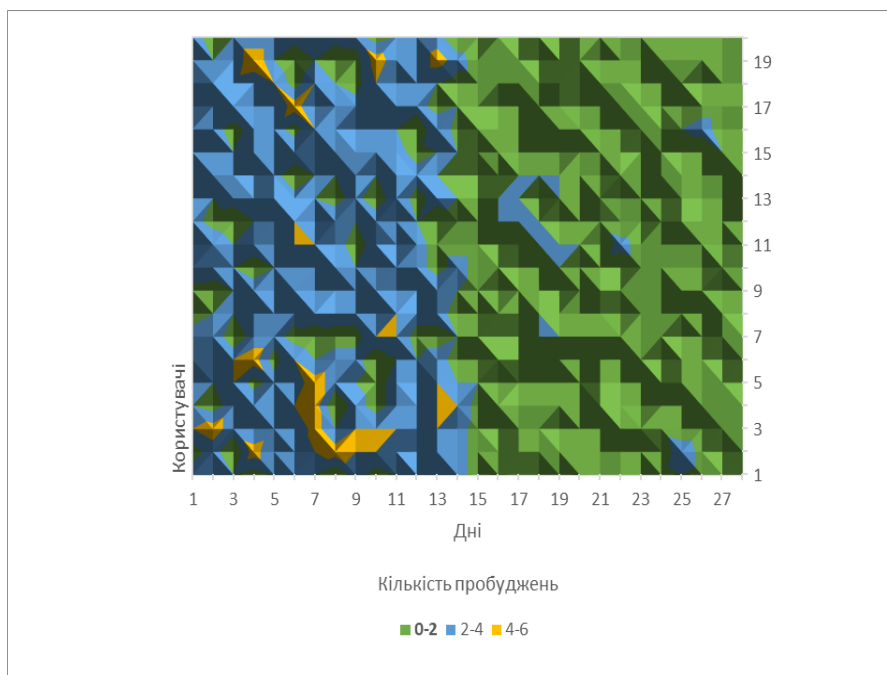


Рис. 1. Поверхнева діаграма розподілу кількості пробуджень

регуляцію серцевого ритму, зменшення фізіологічного збудження та суттєвий вплив на зниження рівня стресу.

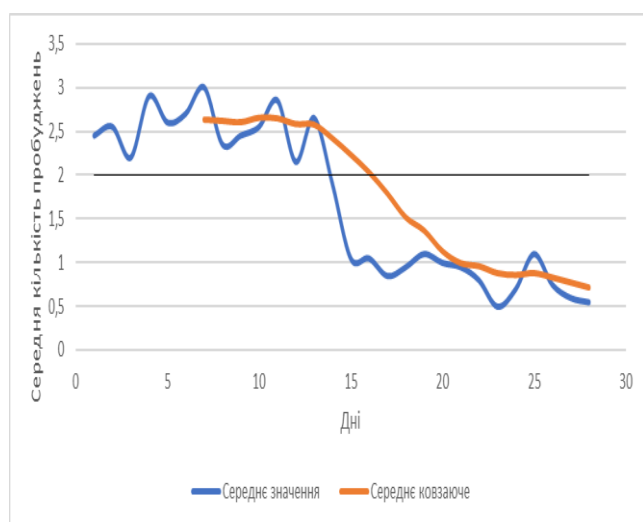


Рис. 2. Графік зміни кількості пробуджень

4. Середній пульс під час сну

Частота серцевих скорочень, зокрема середній пульс, є важливим фізіологічним показником, що відображає стан серцево-судинної системи та рівень стресового навантаження. Учасники дослідження, які застосовували розроблений пристрій, відзначали зниження середньої частоти пульсу протягом усього періоду спостереження (рис. 16). На рис. 17 показано, що середній пульс знизився з початкового значення 77 ударів за хвилину до 52 ударів за хвилину. Така динаміка зниження частоти серцевих скорочень свідчить про позитивний вплив пристрою на

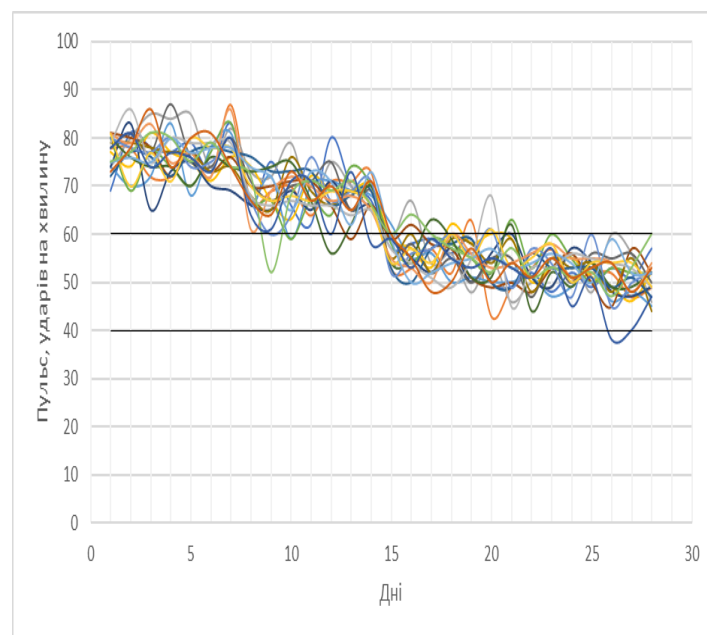


Рис. 3. Графік показників середнього пульсу

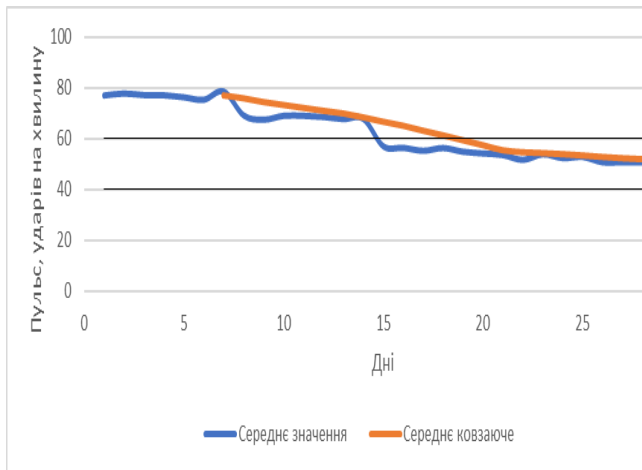


Рис. 4. Графік зміни середнього значення пульсу

5. Відсоткове співвідношення різних фаз сну

Аналіз фазової структури сну проводили для оцінювання впливу досліджуваного розумного

нічного на архітектуру сну користувачів. Результати дослідження продемонстрували, що протягом періоду використання пристрою спостерігали зміни у відсотковому співвідношенні окремих фаз сну. На рис. 18-20 відображено динаміку змін частки глибокого сну, легкого сну та REM-фази. Зокрема, було зафіксовано збільшення частки глибокого сну, що є критично важливим для процесів фізичного відновлення та консолідації когнітивних функцій. Водночас спостерігали зменшення частки поверхневого (легкого) сну. Відсоток REM-фази, яка відіграє головну роль у процесах консолідації пам'яті та емоційної регуляції, залишався практично незмінним. Слід зазначити, що параметри сну є високоіндивідуальними для кожної людини, тому отримані результати слід інтерпретувати з належною обережністю. Зміни у структурі сну можуть варіювати залежно від численних факторів, таких як вік, спосіб життя, наявність супутніх захворювань та інші індивідуальні особливості. Отже, у межах цього дослідження можна констатувати лише загальні тенденції про зміни фазової структури сну під впливом використання розробленого пристрою.

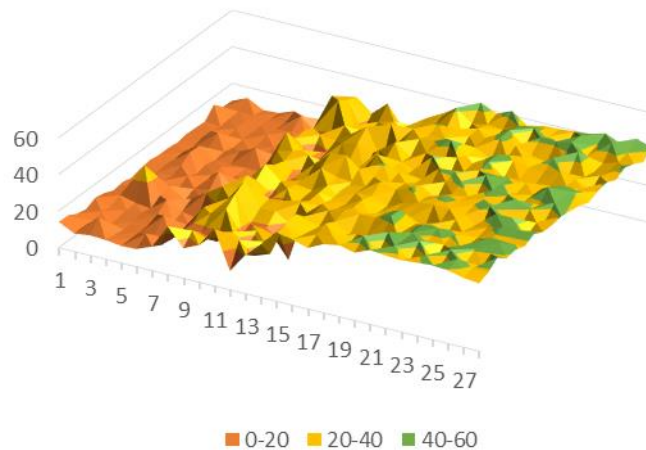


Рис. 18. Зміна відсоткового відношення фази глибокого сну

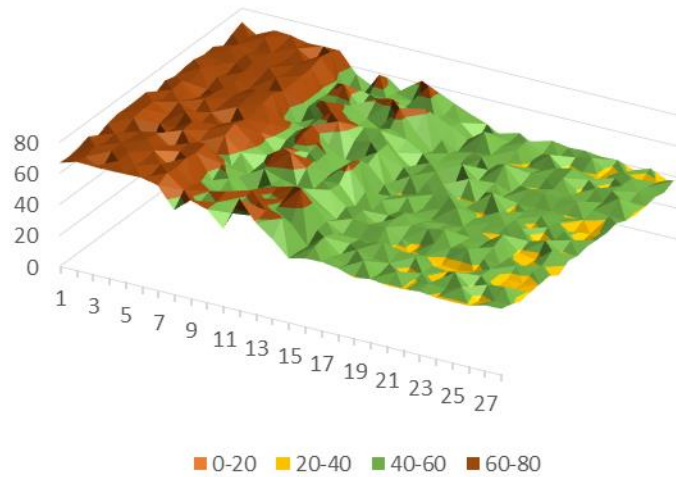


Рис. 19. Зміна відсоткового відношення фази легкого сну

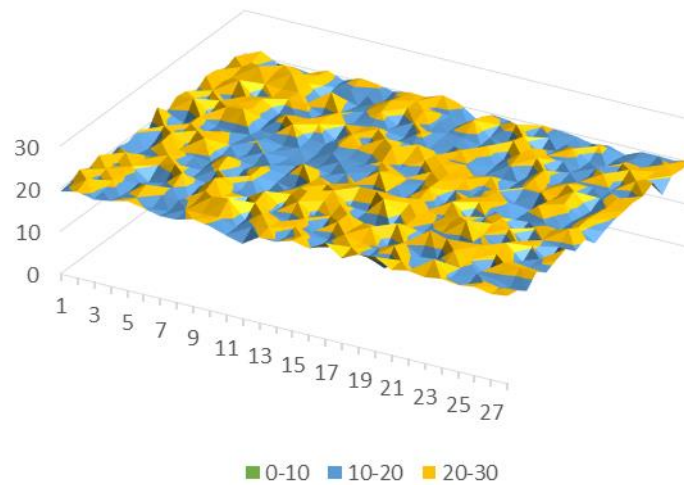


Рис. 20. Зміна відсоткового відношення REM-фази сну

6. Суб'єктивне оцінювання якості сну

Суб'єктивні оцінки, надані учасниками, є важливим доповненням до масиву об'єктивних даних. Більшість респондентів повідомили про покращення якості сну,

підвищення рівня бадьорості вранці та поліпшення загального настрою. Середня оцінка якості сну зросла з 4-5 балів до 8-9 балів за 10-бальною шкалою (рис. 21).

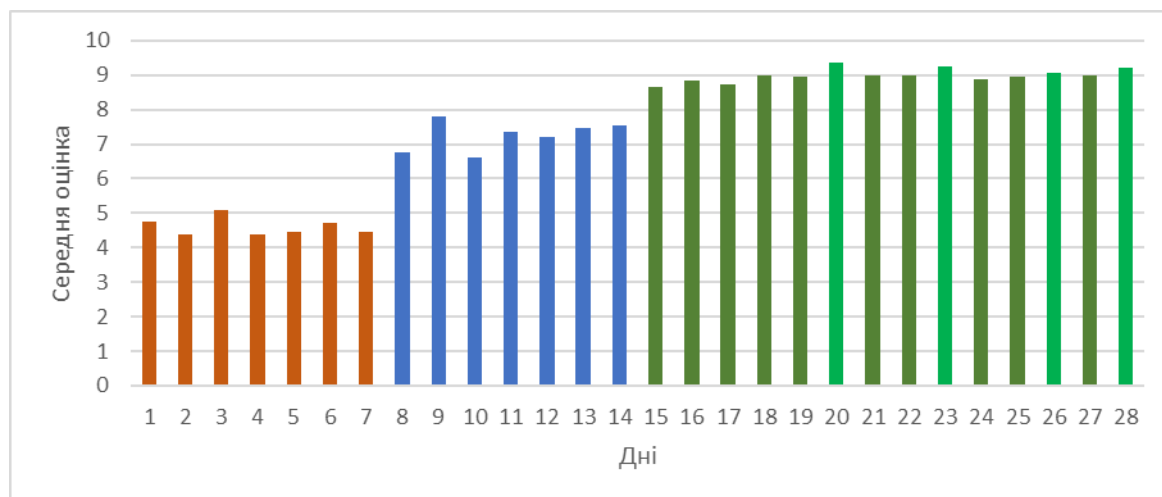


Рис. 21. Суб'єктивна оцінка впливу розумного нічника на сон

Аналіз отриманих даних свідчить про позитивний вплив використання розробленого пристрою на якість сну учасників дослідження. Спостерігали значне скорочення латентності сну, збільшення загальної тривалості сну та зменшення кількості нічних пробуджень, що вказує на ефективність пристрою в покращенні параметрів сну. Крім того, зниження середньої частоти серцевих скорочень під час сну та збільшення частки глибокого сну підтверджують позитивний вплив пристрою на фізіологічні показники та загальне самопочуття учасників.

фізичних сил і когнітивних функцій. При цьому відсоток REM-фази залишився практично незмінним, що вказує на відсутність порушень природних циклів сну з боку пристрою. Суб'єктивна оцінка якості сну учасниками зросла з 4-5 до 8-9 балів за 10-бальною шкалою, що підтверджує позитивний вплив пристрою на індивідуальне сприйняття сну та загальне самопочуття.

Розроблений пристрій інтегрує світлові та звукові стимули, даючи змогу індивідуально налаштовувати кожним користувачем, що підкреслює його високий ступінь персоналізації. Він може регулювати рівень освітленості, колірну температуру та акустичний супровід, що сприяє гармонізації біологічних ритмів і адаптації до природних циклів організму. Такий підхід дає змогу створити унікальне та комфортне середовище для сну, що сприяє покращенню якості відпочинку та загального психофізіологічного стану.

Результати дослідження підтверджують, що інтегрований підхід із застосуванням світло-звукової модуляції є ефективним інструментом для покращення якості сну та сприяння релаксації. Розроблений пристрій може бути корисним для осіб, які мають труднощі зі сном або прагнуть покращити його якість через створення персоналізованого середовища для відпочинку.

Висновки

Розроблений у рамках цієї роботи розумний нічник із функцією світло-звукової модуляції продемонстрував значний позитивний вплив на якість сну учасників експериментального дослідження. Отримані результати підтверджують, що створений пристрій ефективно сприяє поліпшенню якості сну, що відображено суттєвим удосконаленням основних показників. Середній час засинання скоротився з 61 до 20 хвилин, наблизившись до рекомендованих нормативних значень, що свідчить про прискорений перехід користувачів до стану сну. Загальна тривалість сну збільшилася на 13,5 %, з 7,4 до 8,4 години, вказуючи на більш повноцінний і тривалий відпочинок. Кількість нічних пробуджень зменшилася з 2,6 до 0,7, що свідчить про стабілізацію сну та зменшення факторів, що перешкоджають його безперервності. Середня частота серцевих скорочень під час сну знизилася з 77 до 52 ударів за хвилину, що є позитивним індикатором зниження фізіологічного збудження та покращення стану серцево-судинної системи. Аналіз фазової структури сну показав збільшення частки глибокого сну та зменшення частки легкого сну, що є важливим для відновлення

Список використаних джерел

1. Zisapel N. New perspectives on the role of melatonin in human sleep, circadian rhythms and their regulation. *British Journal of Pharmacology*.

2018. Т. 175. С. 3190–3199. DOI: 10.1111/bph.14116.
2. Besedovsky L., Lange T., Haack M. The Sleep-Immune Crosstalk in Health and Disease. *Physiological Reviews*. 2019. Т. 99, № 3. С. 1325–1380. DOI: 10.1152/physrev.00010.2018.
3. Piber D. The role of sleep disturbance and inflammation for spatial memory. *Brain, Behavior, & Immunity – Health*. 2021. Т. 17. Ст. 100333. DOI: 10.1016/j.bbih.2021.100333.
4. Stich F. M., Huwiler S., D’Hulst G., Lustenberger C. The Potential Role of Sleep in Promoting a Healthy Body Composition: Underlying Mechanisms Determining Muscle, Fat, and Bone Mass and Their Association with Sleep. *Neuroendocrinology*. 2022. Т. 112, № 7. С. 673–701. DOI: 10.1159/000518691.
5. Azmi N. A. S. M., Juliana N., Azmani S., Effendy N. M., Abu I. F., Teng N. I. M. F., Das S. Cortisol on Circadian Rhythm and Its Effect on Cardiovascular System. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Т. 18, № 2. Ст. 676. DOI: 10.3390/ijerph18020676.
6. Can Y. S., Iles-Smith H., Chalabianloo N., Ekiz D., Fernández-Álvarez J., Repetto C., Riva G., Ersoy C. How to Relax in Stressful Situations: A Smart Stress Reduction System. *Healthcare*. 2020. Т. 8, № 2. Ст. 100. DOI: 10.3390/healthcare8020100.
7. Hanson J. A., Huecker M. R. Sleep Deprivation. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2019. Оновлено: 12 червня 2023. PMID: 31613456.
8. Jentsch V. L., Merz C. J., Wolf O. T. Restoring emotional stability: Cortisol effects on the neural network of cognitive emotion regulation. *Behavioural Brain Research*. 2019. Т. 374. Ст. 111880. DOI: 10.1016/j.bbr.2019.03.049.
9. Sheel A. W., Boushel R., Dempsey J. A. Competition for blood flow distribution between respiratory and locomotor muscles: implications for muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*. 2018. Т. 125, № 3. С. 820–831. DOI: 10.1152/jappphysiol.00189.2018.
10. Blume C., Garbazza C., Spitschan M. Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood. *Somnologie (Berlin)*. 2019. Т. 23, № 3. С. 147–156. DOI: 10.1007/s11818-019-00215-x.
11. Morrow B. L., Kanakri S. The Effect of LED and Fluorescent Lighting on Children in the Classroom. *Матеріали конференції EDRA*. Оклахома, США, червень 2018.
12. Capezuti E., Pain K., Alamag E., Chen X., Philibert V., Krieger A. C. Systematic review: auditory stimulation and sleep. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2022. Т. 18, № 6. С. 1–10. DOI: 10.5664/jcsm.9860.
13. Kuula L., Halonen R., Kajanto K., Lipsanen J., Makkonen T., Peltonen M., Pesonen A.-K. The Effects of Presleep Slow Breathing and Music Listening on Polysomnographic Sleep Measures – a pilot trial. *Scientific Reports*. 2020. Т. 10. Ст. 7427. DOI: 10.1038/s41598-020-63966-5.
14. Hedblom M., Gunnarsson B., Iravani B., Knez I., Schaefer M., Thorsson P., Lundström J. N. Reduction of physiological stress by urban green space in a multisensory virtual experiment. *Scientific Reports*. 2019. Т. 9. Ст. 10113. DOI: 10.1038/s41598-019-46099-7.
15. Cheng C.-M., Lin T.-F., Chen Y.-J., Chen L.-B. Promoting Relaxation Using Monaural Beats With Ultralow-Frequency Inaudible Sounds: An Empirical Case Study. *IEEE Access*. 2022. Т. 10. С. 52605–52615. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3173744.
16. Fooks C., Niebuhr O. Effects of Vibroacoustic Stimulation on Psychological, Physiological, and Cognitive Stress. *Sensors*. 2024. Т. 24, № 18. Ст. 5924. DOI: 10.3390/s24185924.
17. Yang W., Moon H. J. Effects of recorded water sounds on intrusive traffic noise perception under three indoor temperatures. *Applied Acoustics*. 2018. DOI: 10.1016/j.apacoust.2018.10.015.
18. Iyendo T. O. A Model for Understanding the Role of Sound Perception in Hospital Spaces: дис. ... канд. наук. Eastern Mediterranean University, 2016. 283 с.
19. Riedy S. M., Smith M. G., Rocha S., Basner M. Noise as a sleep aid: A systematic review. *Sleep Medicine Reviews*. 2021. Т. 55. Ст. 101385. DOI: 10.1016/j.smrv.2020.101385.
20. Capezuti E., Pain K., Alamag E., Chen X., Philibert V., Krieger A. C. Systematic review: auditory stimulation and sleep. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2022. Т. 18, № 6. С. 1–10. DOI: 10.5664/jcsm.9980.
21. Yoon H., Baek H. J. External Auditory Stimulation as a Non-Pharmacological Sleep Aid. *Sensors*.

2022. Т. 22, № 3. С. 1264. DOI: 10.3390/s22031264.
22. Waters S. Discreet Synthesizer: Allowing New Ambient Music to Emerge through Composition on Semi-Modular Synths: магістерська дис. Victoria University of Wellington, 2021.
 23. Дорогань І. В. Терапія кольором: психологічний та фізіологічний аспекти. *Культура і сучасність: альманах*. 2023. № 2. С. 105–111. DOI: 10.32461/2226-0285.2.2023.293876.
 24. Петренко А. І., Челомбітько В. Ф. Вплив кольору на емоційний стан людини. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: матеріали молодіжної школи-семінару IV Міжнар. наук.-техн. конф., 18-22 травня 2021 р. Харків*, 2021. Т. 2. С. 50-51. ISBN 978-617-7988-58-7.
 25. Kozaki T., Hidaka Y., Takakura J. Suppression of salivary melatonin secretion under 100-Hz flickering and non-flickering blue light. *Journal of Physiological Anthropology*. 2018. Т. 37. Ст. 23. DOI: 10.1186/s40101-018-0183-9.
 26. Li Y., Ru T., Chen Q., Qian L., Luo X., Zhou G. Effects of illuminance and correlated color temperature of indoor light on emotion perception. *Scientific Reports*. 2021. Т. 11. Ст. 14351. DOI: 10.1038/s41598-021-93755-0.
 27. Siraji M. A., Spitschan M., Kalavally V. et al. Light exposure behaviors predict mood, memory and sleep quality. *Scientific Reports*. 2023. Т. 13. Ст. 12425. DOI: 10.1038/s41598-023-39636-y.

DEVELOPMENT OF A SMART NIGHTLIGHT WITH LIGHT AND SOUND MODULATION

Abstract.

The research is devoted to the creation of an innovative smart nightlight that uses light and sound modulation to improve sleep and relaxation. The study analyzes the effect of acoustic stimuli (white, pink, brown noise, natural sounds, ambient music) and light parameters (color, intensity, pulsation) on a person. The device integrates adaptive algorithms, adjusting lighting and sound according to the time, user's state, and preferences. The development included hardware for modulation and software - firmware and a mobile application. Experiments have confirmed a significant improvement in sleep quality: reduced latency, increased duration and depth of sleep, fewer awakenings, and lower heart rate.

Keywords: smart night light, light and sound modulation, sleep quality, relaxation.

Кушч Микола Юрійович, другий (магістерський) рівень навчання, група 211-АКІТР-Д24, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: +38 (063) 610-00-72. E-mail: nk.kusch@gmail.com, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0009-3078-4671>.

Аббасов Олег Олександрович, другий (магістерський) рівень навчання, група 211-АКІТР-Д24, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: +38 (066) 489-30-34. E-mail: abbasov.oleg@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-1299-5903>.

Kushch Mykola, second (master's) level of study, group 211-ACITR-D24, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 (063) 610-00-72. E-mail: nk.kusch@gmail.com, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0009-3078-4671>.

Abbasov Oleh Oleksandrovych, second (master's) level of study, group 211-AKITR-D24, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 (066) 489-30-34. E-mail: abbasov.oleg@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-1299-5903>.