

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет біології, географії та екології
Кафедра географії та екології

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВІБРО-
АКУСТИЧНОГО ВПЛИВУ ПОБУТОВИХ
ПРИЛАДІВ МЕТОДАМИ ФІТОТЕСТУВАННЯ**

Кваліфікаційна робота (проект)
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Виконала: студентка 05-216М групи

Спеціальності 101 Екологія

Освітньо-професійної програми «Екологія»

Маюня Ірина Миколаївна

Керівник к.б.н., доцентка Кундельчук О.П.

Рецензент д.пед.н., професорка Сидорович М.М.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ ПРУЖНИХ МЕХАНІЧНИХ ХВИЛЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ.....	9
1.1. Джерела звуків, інфразвуків та ультразвуків.....	9
1.1.1. Природні джерела.....	12
1.1.2. Техногенні джерела.....	13
1.2. Біологічна дія пружних механічних хвиль на живі організми...	16
1.2.1. Вплив звуків на живі організми.....	18
1.2.2. Вплив інфразвуків на живі організми.....	20
1.2.3. Вплив ультразвуків на живі організми.....	23
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ПРУЖНИХ МЕХАНІЧНИХ ХВИЛЬ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ.....	29
2.1. Характеристика приладів для вимірювання шуму, інфразвуку та ультразвуків.....	29
2.2. Використання методів біотестування для оцінки впливу пружних механічних хвиль на живі організми.....	35
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ ПРУЖНИХ МЕХАНІЧНИХ ХВИЛЬ ВІД ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ БІОТЕСТУВАННЯ.....	39
3.1. Матеріали і методи дослідження.....	39
3.2. Виявлення біологічної дії шумового забруднення від побутових приладів за допомогою ростового фітотесту.....	41
3.3. Встановлення біологічної дії ультразвуків від побутових приладів за допомогою ростового фітотесту.....	44
3.4. Рекомендації щодо зменшення рівня шумів різного частотного діапазону від побутових приладів.....	52
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТКИ.....	70

Додаток А. Портативний цифровий вимірювач рівня шуму «Шумомір GM1351».....	70
Додаток Б. Тепловентилятор «Ufesa» Ambient Master Turbo 2500W.....	71
Додаток В. Ультразвуковий відлякувач тарганів «Яструб МТ.04».....	72

ВСТУП

Актуальність роботи. У процесі роботи багатьох побутових приладів створюються шуми, а також інфразвуки та ультразвуки, які не сприймаються вухом людини. Оскільки вплив зазначених фізичних факторів може бути не сприятливим для здоров'я людини, то рівні пружних механічних хвиль, випромінюваних побутовими приладами (шумів, інфразвуків, ультразвуків та вібрацій) нормуються Санітарними нормами та правилами МСанПіН 001-96 [22].

На відміну від виробничих шумів, інфразвуків та ультразвуків, пружні механічні хвилі відповідних частотних діапазонів від побутових приладів, як правило, або не перевищують, або перевищують не суттєво діючі гігієнічні нормативи. Однак, наприклад, тривала присутність в приміщенні, в якому на фоновому рівні генеруються шуми (від систем охолодження комп'ютера, вентилятора, кондиціонера, котла опалювальної системи, холодильника тощо) – призводить до погіршення самопочуття людини. Наприклад, людина не чує ультразвуки, але тривала дія ультразвуків, рівень яких не перевищує гігієнічні нормативи, впливає на функціонування клітин мозку людини [51], викликає пошкодження ДНК [70], впливає на роботу генів, пов'язаних з реалізацією програми на самознищення клітин і т.н. [49].

Проблема хронічного впливу слабких шумів, інфразвуків та ультразвуків, на жаль, поки мало вивчена на експериментальному рівні. Більшість досліджень впливу пружних механічних хвиль на організм людини і тварин проводиться для шумів, інфразвуків та ультразвуків, рівень яких значно перевищує гігієнічно допустимі нормативи. При цьому шуми різного частотного діапазону меншої інтенсивності – практично не вивчаються. Розуміння того, що навіть не значні рівні шуму, інфразвуків та ультразвуків спроможні впливати на функціонування організму, здатне багато в чому змінити підходи як

виробників, так і контролюючих інстанцій до проблеми хронічного фонового впливу слабких шумів різних частотних діапазонів.

У зв'язку з вище викладеним, інтерес представляють будь-які модельні системи, які дозволяють вивчати відповідь організмів на тривалий вплив шумів, інфразвуків та ультразвуків низької інтенсивності. Зазвичай, рівень безпеки умов середовища для живих організмів визначається за допомогою методів біотестування з використанням різних модельних організмів, серед яких є і рослини. Вони є високочутливими до дії факторів навколишнього середовища внаслідок специфіки способу життя. Аналіз літературних даних свідчить про те, що у відповідь на експозицію на техногенних шумах та ультразвуках, рослини спроможні демонструвати як позитивну, так і негативну ростову реакцію.

Таким чином, виявлення в ході експериментів будь-якого типу ростової відповіді порівняно з контролем буде свідчити про те, що інтенсивності та частоти шумів та ультразвуків, які генеруються побутовими приладами, здатні запускати в клітинах каскади сигнальних реакцій, що при тривалій експозиції може представляти потенційний ризик для живих організмів і, зокрема, для людини.

У зв'язку з вищевикладеним, актуальною є адаптація класичного ростового фітотесту для отримання висновків про потенційну безпеку для споживачів щоденного використання побутових приладів, які генерують шуми, інфразвуки та ультразвуки колопорогової інтенсивності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дипломна робота виконувалась у відповідності з «Загальнодержавною соціальною програмою поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 роки (затвердженої Законом України № 77-VIII від 28.12.2014) в рамках наукового напрямку кафедри географії та екології Херсонського державного університету за

тематикою науково-дослідної ініціативної теми: «Оцінка впливу техногенних вібро-акустичних полів різного типу на живі організми з використанням рослинних тест-систем».

Метою дипломної роботи є визначення екологічної безпеки рівнів звуків, інфразвуків та ультразвуків від побутових приладів методами фітотестування.

Завдання дослідження:

1) визначити біологічну дію пружних механічних хвиль різного частотного діапазону на живі організми;

2) розглянути методи виявлення пружних механічних хвиль та їх впливу на живі організми;

3) оцінити рівень екологічної безпеки побутових приладів з точки зору шумового та ультразвукового забруднення навколишнього середовища методом фітотестування.

Об'єктом дослідження дипломної роботи є звуки, інфразвуки та ультразвуки від побутових приладів.

Предметом дослідження є екологічна безпека рівнів звуків, інфразвуків та ультразвуків від побутових приладів.

Методи дослідження. Під час виконання роботи були використані літературний метод, метод експериментального виявлення біологічної дії шумів і ультразвуків від побутових приладів за допомогою ростового фітотесту, методи математичної статистичної обробки отриманих результатів, аналітичний метод.

Структура роботи. Робота викладена на 69 сторінках та складається зі вступу, з трьох розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел, який налічує 92 першоджерела, та з 3 додатків.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше методами фітотестування показан регуляторний вплив низько-інтенсивного хронічного шуму від побутового тепловентилятора на модельні рослини,

що дозволяє використовувати ростовий фітотест для оцінки потенціальних відстрочених наслідків підпорогової дії техногенних акустичних стресових факторів середовища на живі організми. Вперше на модельних рослинах показан негативний функціональний вплив ультразвуків надпорогової інтенсивності від побутового відлякувача комах «Яструб МТ.04», що свідчить про можливість використання ростового фітотесту для оцінки актуальних ризиків роботи побутових приладів означеного типу.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані під час дослідження дані були використані при підготовці навчально-методичного посібника до виконання завдань навчально-польової практики студентів 1 курсу спеціальності 101 Екологія (- С. 150-158): Жукова Л.Р., Кундельчук О.П. Дайнеко П.М. Загально-екологічна практика. Навчально-методичний посібник до виконання завдань навчально-польової практики / Л.Р. Жукова, О.П. Кундельчук, П.М. Дайнеко. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2018. - 210 с. ISBN: 978-617-7573-29-5.

Крім того, одержані результати дослідження використовуються під час викладання дисциплін «Основи загальної екології (та неоекологія)», «Техноекологія» та «Методологія екологічних досліджень» для студентів РВО «Бакалавр» і «Магістр» спеціальності 101 Екологія.

Апробація результатів дослідження. Результати проведеного дослідження доповідалися на студентських наукових конференціях і представлені у двох статтях:

1) Кундельчук О.П., Маюня І.М., Семенюк С.К., Акімова М.О. Можливість використання ростового фітотесту для виявлення біологічних ефектів хронічного шуму від побутових приладів // Modern scientific researches. Belarus. - 2020. Iss. 11, Part 3. – P. 35 – 41. Режим

доступу: <https://www.modscires.pro/index.php/msr/issue/view/msr11-03/msr11-03>.

2) Кундельчук О.П., Маюня І.М., Семенюк С.К., Акімова М.О. Оцінка потенційного ризику використання побутових приладів, які генерують ультразвук, за допомогою методів біотестування. Природничий альманах (біологічні науки). Збірник наукових праць. Випуск 28. – Херсон: ФОП Вишемирський В.С., 2020. – С. 53-66.

РОЗДІЛ 1

ВПЛИВ ПРУЖНИХ МЕХАНІЧНИХ ХВИЛЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ

1.1 Джерела звуків, інфразвуків та ультразвуків

Значення звуку в житті людини надзвичайно вагоме. Усе, що відбувається на Землі, породжує звук, – коливальний рух частинок пружного середовища, що поширюється у вигляді хвиль у газі, рідині та твердому тілі. Збурення, які поширюються у повітрі, сприймаються сенсорною системою тварин та людини.

Звук є скрізь, проникає всюди, може долати тверді та непрозорі перешкоди. Звукові явища виникають у результаті механічних коливань різних тіл. Процес поширення коливань у просторі за певний час називають хвилею, а якщо ця хвиля знаходиться у діапазоні від 20 Гц до 20 кГц, її називають «звукова хвиля». Такі коливання ми сприймаємо як звук. Звукові хвилі можуть бути викликані голосовими зв'язками та мембраною динамікою, – певним тілом, що коливається.

Для поширення звуку необхідне середовище, таке як повітря, вода, скло, земля тощо. (табл. 1.1). Необхідно щоб воно проявляло пружність під час зміни форми або об'єму. Повітря немає ніяких переваг порівняно з іншими речовинами в розумінні можливості поширення в ньому звуків. У різних середовищах звукові хвилі рухаються з різною швидкістю. Із підвищенням температури швидкість звукової хвилі зростає.

Найважливішим приймачем звуку є вухо. Потрапляючи на барабанну перетинку, звукова хвиля спричиняє її коливання, які через мініатюрні кісточки (молоточок і ковадло) передаються в наповнений рідиною завиток (равлик) [5]. У рідинах виникають хвилі, які впливають

на чутливі клітини для утворення нервових імпульсів, що є сигналом для мозку. Таким чином імпульси й сприймаються мозком як звук. Людина починає чути звуки з частотою коливань 16 – 20000 Гц.

Таблиця 1.1

Швидкість розповсюдження звуку в різних середовищах

Речовина	Швидкість звуку, м/с	Речовина	Швидкість звуку, м/с
повітря	340	сталь	5000
скло	4500	поліетилен	2000
вода	1500	алмаз	18350

У газах та рідинах звук поширюється як послідовність стиснень та розширень повздовжних хвиль. У твердих тілах можуть поширюватись поперечні хвилі, в яких коливання відбуваються у напрямку перпендикулярному до напрямку поширення [9]. Повздовжні та поперечні хвилі поширюються із різними швидкостями. В ізотропних (рівномірних) середовищах швидкість поширення збурень не залежить від напрямку. В анізотропних (нерівномірних) середовищах, таких як кристали, спостерігається анізотропія (нерівномірність) швидкості звуку, який змінюється в залежності від напрямку поширення.

Розповсюдження звуку є адіабатичним (неперехідним) процесом, де коливання тиску та густини відбувається швидше, ніж урівнюється температура. Локальна температура змінюється разом із густиною, коли при стисканні відбувається нагрівання, а при розширенні – охолодження. Звукова хвиля дифрагує (огинає) перешкоду, якщо її розмір менший, або порівняний із довжиною хвилі. Звукова хвиля може частково відбиватися від перешкоди, та утворювати ще більше відбивання, якщо розмір перешкоди більший від довжини хвилі. За рахунок відбиття звукової хвилі від перешкод виникає акустичне явище «луна». Мінімальна відстань коли людина чує луну – це 16 м. Людське

вухо не розрізняє близькі за часом звуки. [8]. При поширенні звукових хвиль може виникати явище зміни форми сигналу (дисперсія), що містить набір гармонічних складових. Причиною виникнення дисперсії можуть бути спеціальні фізичні властивості середовища, в якому поширюється збурення (фізична дисперсія), або геометричні особливості області, в якій поширюється звук (геометрична дисперсія).

Хвильові збурення визначаються як звук, вони є об'єктивною реальністю та існують незалежно від сприйняття їх будь-якими живими істотами. Зміщення в просторі частинок середовища у звукових збуреннях характеризується амплітудою коливань, а опис змін стану частинок середовища в часі – використовується їх частота. Лише невелика частка збурень, що можуть існувати в навколишньому світі, сприймається органами слуху людини та тварин. Людське вухо може сприймати звуки у певних обмежених інтервалах частот та амплітуд. У багатьох випадках практичного використання звуків велике значення мають ті звуки, в яких основна частина енергії зосереджена в області частот, що не сприймаються людським вухом.

Окремо виділяють такі особливі типи збурень як «ультразвук» та «інфразвук». Швидкість ультразвукових хвиль така сама, як і у звичайних. У природі джерелами ультразвуків можуть бути бурі, урагани, цунамі тощо. Крім природних явищ, інфразвуки генерують тварини під час спілкування один з одним (кажани), частково сприймають його кішки, собаки, дельфіни, кити. Наприклад, люди за допомогою ультразвуку вимірюють глибину моря.

Звукові коливання та хвилі з частотами, що знаходяться нижче смуги чутних (акустичних) частот до 20 Гц називають «інфразвуком». У процесі життєдіяльності людина постійно знаходиться під впливом інфразвукових коливань у виробничому середовищі та у середовищі проживання. Навіть не сприймаючи органами слуху низькочастотних звуків, людина може відчувати їх іншими внутрішніми органами [2].

1.1.1 Природні джерела

Більшість явищ у природі супроводжуються характерними звуками, які сприймає та розпізнає вухо людини і тварин, що слугує для них орієнтуванням та спілкуванням. Сприйняття коливальних рухів частинок повітря слуховим апаратом людини утворює поділ звуків на приємні та гармонійні звуки мови, спів птахів, музикальні звуки, та звуки зі специфічним спектральним наповненням – небажані та дратуючі, які визначаються як шум [13].

Органи слуху людини сприймають звуки у відносно вузькому частотному діапазоні, а слуховий апарат багатьох тварин сприймає звуки в значно ширшому інтервалі частот. Утворюється процес поширення збурень в різних за фізичними властивостями середовищах, в яких відновлювальною силою, що намагається повернути збурену частинку в положення рівноваги, є сила пружності. Різні природні джерела низькочастотних коливань створюють на планеті так званий дозвуковий фон, який постійно змінюється та зумовлює постійний обмін енергії між різними явищами природи. Інфразвук – це найменш вивчений шкідливий та небезпечний фактор забруднення навколишнього середовища [12].

Характерною особливістю інфразвуку є велика довжина хвилі та мала частота коливань, на відміну від чутного та ультразвукового діапазону частот. Поглинання інфразвуку в атмосфері є незначним, тому інфразвукові хвилі можуть проходити перешкоди та поширюватися в повітряному середовищі на великі відстані з невеликою втратою енергії, а вагому роль у виникненні інфразвуків відіграє турбулентність атмосфери. Джерела інфразвуку локалізовані у просторі та часі, вони не мають глобального впливу на життя людей. У природі інфразвук генерується блискавками, водоспадами, океанічними хвилями, вітром, торнадо, різкими змінами тиску в атмосфері. Вітрові потоки при

швидкості вітру 100 км/год, при взаємодії з перешкодами, здатні генерувати інфразвук з інтенсивністю вище 100 дБ. При виверженні вулкану генеруються нестационарні звукові сигнали високої інтенсивності в діапазоні інфразвукових частот.

Низькочастотні акустичні коливання широко представлені у навколишньому середовищі як землетруси, виверження вулканів з частотою $\sim 0,1$ Гц, грозові розряди (0,25 – 4 Гц), шторми (так званий "голос моря" ~ 10 Гц), вітри тощо [20]. Чутливі приймачі ультразвуку показали, що він входить до складу шуму вітру й водоспадів, до складу звуків, випромінюваних деякими тваринами. Ультразвукові хвилі можна одержати за допомогою спеціальних високочастотних випромінювачів, так як вузький паралельний пучок ультразвукових хвиль у процесі поширення дуже мало розширюється, а тому ультразвукову хвилю можна випромінювати в заданому напрямку.

1.1.2 Техногенні джерела

Складовою частиною спектрів шуму, випромінюваного технологічними агрегатами, є інфразвук. Джерелами інфразвукових коливань є наземні засоби транспорту. Збільшення інфразвукового фону в навколишньому середовищі пов'язане з активною діяльністю людини та розвитком промислового виробництва. Високі рівні інфразвуку до 100 – 110 дБ в діапазоні 9 – 16 Гц відзначаються в кабінах легкових автомобілів. При частково відкритих вікнах автомашини, рівні інфразвуку підвищуються до 110 – 120 дБ, а їх частотний діапазон розширюється до 31,5 Гц, при відкритих вікнах найбільш високий звуковий тиск 120 дБ спостерігається в діапазоні від 2 Гц до 6 Гц [7].

Значні рівні інфразвукових збурень можуть виникати при проведенні технологічних вибухових робіт. Джерела інфразвуку, що

пов'язані з людською діяльністю, генерується наземними транспортними засобами, літаками, швидкісними суднами та багатьма іншими індустриальними засобами. Виробничий інфразвук виникає за рахунок тих же процесів, що і шум звукових частот. Найбільшу інтенсивність інфразвукових коливань створюють машини та механізми, що мають поверхні великих розмірів та здійснюють низькочастотні механічні коливання (інфразвук механічного походження), чи турбулентні потоки газів і рідин (інфразвук аеро- та гідродинамічного походження).

Забруднення інфразвуком навколишнього середовища виникає при експлуатації вітрових електростанцій [4]. До основних техногенних джерел інфразвукових коливань в містах відносять виробничий інфразвук, який генерується різним обладнанням, розташованим на території численних промислових підприємств у межах міської забудови. Найбільш характерним для містоутворюючих підприємств металургійної промисловості є показник інфразвуку 97 – 107 дБ на частотах 8 – 16 Гц. Спектри шумів транспортних потоків містять інфразвукові складові, які не реєструються звичайними вимірювальними приладами, але мають високий рівень звукового тиску. Інфразвукові коливання високої інтенсивності спостерігаються в зоні житлової та промислової забудови, а джерелом цих коливань є високоенергетичне промислове обладнання, та фактично самі будівлі, споруди тощо [14].

Людина піддається впливу техногенних джерел звуку від роботи доменних печей, дизельних моторів, ковальських пресів, реакторів та зворотно-поступальних рухів різних частин механізмів і споруд, а найбільшу інтенсивність інфразвукових коливань створюють машини та механізми, що мають великі габарити. Інфразвукові коливання виявляються переважною частиною спектрів виробничих шумів.

Найчастіше людина піддається впливу інфразвуку в транспортних засобах, особливо у залізничному, морському та авіаційному транспорті, а транспортні потоки та окремі автомобілі формують низькочастотний

шум в околицях доріг та стають основною складовою інфразвукового фону в житлових і громадських будівлях, в яких людина проводить основну частину свого життя [3].

У житлових і громадських будівлях рівні інфразвукових коливань змінюються від 70 до 120 дБ, на території житлової забудови – від 80 до 100 дБ. Вираженість у загальному шумовому спектрі визначається різницею, що становить від 10 до 20 – 30 дБ. Виявлений інфразвук оцінюється від незначного до яскраво вираженого. Інфразвук зустрічається в поєднанні з низькочастотним шумом і вібрацією, а не в ізольованому вигляді. Пружні коливання звукової хвилі з частотами від 16 кГц до 100 МГц і вище – називають ультразвуком. Високочастотний звук є одним із типів пружних хвиль, що не відрізняється від чутного звуку, але його висока частота коливального процесу сприяє більшому затуханню коливань внаслідок трансформації звукової енергії в теплоту.

За способом поширення ультразвук поділяють на «повітряний», що поширюється повітряним шляхом, та «контактний», що поширюється при зіткненні рук або інших частин тіла людини із джерелом ультразвуку, з твердими та рідкими середовищами, оброблюваними деталями, апаратурою тощо. Низькочастотні ультразвукові коливання можуть поширюватися повітряним та контактним шляхом, а високочастотні – тільки контактним шляхом. За способом генерації ультразвукових коливань виділяють постійний та імпульсний ультразвук [33].

Отже, джерелами ультразвуку є: виробниче обладнання, в якому генерується ультразвук для виконання технологічних процесів, контролю та вимірювань; виробниче обладнання, при експлуатації якого ультразвук виникає як супутній фактор; медичне ультразвукове обладнання. Ультразвуковий діапазон розрізняють за складом частот та поділяють на низькочастотний – від 1,2 – 104 до 1,0 – 105 Гц і високочастотний – від 1,0 – 105 до 1,0 – 109 Гц.

1.2 Біологічна дія пружних механічних хвиль на живі організми

Одним із факторів забруднення оточуючого середовища є шум, яким називають будь-яку несприятливу дію на людину звуку. У сучасному світі практично все може бути джерелом шуму, але він не відноситься до звичних факторів навколишнього середовища. Больовий поріг для вуха людини складає 130 дБ. За даними наукових спостережень зростання захворюваності населення відмічається після проживання протягом 8 – 10 років під впливом шуму інтенсивністю понад 70 дБ. Захистити себе від впливу шуму можливо лише за межами міста. У міських квартирах залишається лише один вихід – проведення шумоізоляції, яка досягається сучасними будівельно-оздоблювальними матеріалами. Значний ефект дає благоустрій житлових районів. Самі мешканці можуть знизити шумове навантаження за рахунок зменшення звуку домашньої апаратури.

Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 22 лютого 2019 року № 463 затверджено «Державні санітарні норми допустимого рівня шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови» [23]. Тривалий шум негативно впливає на орган слуху, знижуючи чутливість до звуку, викликаючи глухоту, розлад діяльності серця, печінки, приводить до виснаження нервових клітин.

Допустимі рівні звуку в приміщеннях визначаються за рівнем звукового тиску постійного шуму (дБА) та критеріями шуму (NC). У житлових приміщеннях допустимий рівень шуму вдень (08:00 – 22:00) – 40 дБА, а вночі (22:00 – 08:00) – 30 дБА. При цьому максимальний рівень вдень – 55 дБА, а вночі – 45 дБА. Аналогічні норми встановлені для готелів категорії 3*, будинків відпочинку, пансіонатів, будинків-інтернатів для людей похилого віку та інвалідів. У готелях до 3* та гуртожитках норми трохи вище: допустимий рівень шуму вдень – 45

дБА, а вночі – 35 дБА, а максимальний вдень – 60 дБА, вночі – 50 дБА. У номерах готелів 4* та 5* має бути максимальний рівень вдень – 50 дБА, а вночі – 45 дБА.

Для офісів та приміщень, обладнаних персональними комп'ютерами або технікою для бізнесу допустимий рівень шуму цілодобово - 50 дБА, а максимальний- 65 дБА. На прилеглих територіях до житлових будинків підвищеної комфортності та котеджів вдень – до 65 дБА, а вночі – 55 дБА, а до звичайних житлових будинків, поліклінік, будинків відпочинку вдень – до 70 дБА, вночі – до 60 дБ.

Ослаблена нервова система не може чітко координувати роботу різних систем організму. Виникають порушення їхньої діяльності, знижується працездатність. Постійний вплив шуму не тільки знижує слух, але і викликає інші шкідливі наслідки – дзенькіт у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми. У людей, що працюють у шумних умовах, підвищений рівень нервово-психічних захворювань. Шуми викликають розлади в серцево-судинній системі; впливають на зоровий і вестибулярний апарат, знижують рефлекторну діяльність, що часто стає причиною нещасливих випадків і травм. Науковими дослідженнями встановлено, що нечутні звуки також можуть шкідливо впливати на здоров'я людини.

Інфразвуки особливо впливають на психічну сферу людини: уражаються всі види інтелектуальної діяльності, погіршується настрій, виникає відчуття розгубленості, тривоги, переляку, страху, а при високій інтенсивності – почуття слабкості, як після сильного нервового потрясіння. Ультразвуки займають значне місце серед виробничих шумів і також дуже небезпечні. Особливо сильно їхньому негативному впливу піддаються нервові клітини. Виділяють шумову хворобу, що спричиняє ураження слуху і нервової системи.

1.2.1 Вплив звуків на живі організми

Звук – коливальний рух частинок пружного середовища, що поширюється у вигляді хвиль у газі, рідині чи твердому тілі. У вузькому значенні терміном звук визначають коливання, які сприймаються органами чуттів тварин і людини. Звуки природи завжди були приємні людині. Тихий шелест листя, дзюркіт струмка, пташині голоси, легкий плескіт води та шум прибою заспокоювали та знімали стрес. Звук певної сили стимулює процес мислення й особливо процес рахунка. Наприклад, під звуки спокійної музики або розмови розв'язування математичної задачі відбувається швидше, ніж у тиші.

Для всіх живих організмів, у тому числі й людини, звук може бути одним із шкідливіших впливів навколишнього середовища. Небажані звуки зазвичай називають шумом. Такі звуки можуть сприйматися як неприємні, дратівливі, або ж негативно впливати на органи слуху. Різниця між звуком і шумом суб'єктивна та визначається по відношенню до джерела шуму (табл. 1.2).

Кожна людина сприймає шум по-різному. Багато чого залежить від віку, темпераменту, стану здоров'я, умов, що її оточують. Орган слуху людини може пристосовуватися до деяких постійних чи повторюваних шумів (слухова адаптація). Проте, пристосованість не може захистити від патологічного процесу – втрати слуху, а лише тимчасово відсуває терміни його настання. Збиток, що заподіює слуху сильний шум, залежить від спектра звукових коливань і характеру їхньої зміни. Людина починає гірше чути високі звуки, а потім поступово й низькі [1].

Небезпека втрати слуху через шум у значній мірі залежить від індивідуальних особливостей людини. Деякі втрачають слух навіть після короткого впливу шуму порівняно помірної інтенсивності, інші можуть працювати при сильному шумі майже усе своє життя без будь-якої

помітної втрати слуху. Поступовий вплив сильного шуму може не тільки негативно вплинути на слух, але викликати інші шкідливі наслідки – дзенькіт у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми [17].

Таблиця 1.2

Рівень шумів та їх вплив на організм

Джерело шуму	Рівень звуку, дБ	Вплив на організм
Шелест листя	10	
Цокіт годинника	30	Сон
Шум автомобіля на відстані 1м	60	Ефективна розумова праця
Шум трамвая, вуличний шум	70	Зниження працездатності
Крик на відстані 1м, мопед	80	Шкідливий для психіки
Пральна машинка, мотоцикл з глушником	85	Пошкодження слуху
Фортисимо оркестру	100	Агресія, виразкова хвороба
Рок-концерт	115	Гіпертонія
Постріл	125	
Літак на старті	130	Межа болю
Старт ракети	150	

При хронічному впливі шуму не тільки пошкоджується робота слухового апарату [84], але й знижуються когнітивні здібності людини, розвиваються нейродегенеративні процеси в тканинах мозку [59], з'являється агресивність в поведінці [39], блокується робота імунної системи [62], порушується обмін речовин в організмі, що призводить до розвитку атеросклерозу, діабету другого типу, ожиріння тощо [66].

Шуми також негативно впливають і на інші організми. Встановлено, що рослини під впливом шуму знижують енергію зростання, у них спостерігається надмірне, навіть повне виділення вологи через листя, що призводить до порушення у клітинах та загибелі. Гинуть листя та квіти рослин, які розташовані близько до джерела

інтенсивного шуму. Від шуму реактивного літака гинуть личинки бджіл, самі вони втрачають здатність орієнтуватися, у пташиних гніздах дає тріщини шкаралупа яєць; від коливань повітря, які утворюються звуками переносної радіоапаратури, не можуть піднятися у повітря жуки, джмелі та інші комахи; від шуму знижуються надої молока у корів, приріст у вазі свиней, несучість курей тощо [6].

1.2.2 Вплив інфразвуків на живі організми

Інфразвук – це коливання в пружному середовищі, які мають однакову з шумом фізичну природу, але поширюються з частотою менше 20 Гц. Інфразвук генерується як природними джерелами (вітри, водоспади, хвилі морів, озер, водосховищ, грози, землетруси тощо), так і штучними (міські транспортні засоби, сільськогосподарські машини, поїзди, дорожньо-будівельні машини, водний та повітряний транспорт, вибухи, промислові підприємства тощо).

Інфразвук сприймається людиною за рахунок слухової й тактильної чутливості. Так, за частот 2 – 5 Гц та рівні звукового тиску 100 – 125 дБ спостерігається утруднення дихання, головний біль, а підвищення рівня до 125 – 137 дБ викликає вібрації грудної клітки (летаргію). Інфразвук з частотами близькими до 16 Гц викликає відчуття страху. Інфразвук поділяють на постійний та непостійний.

У першого рівень звукового тиску змінюється не більше 10 дБ за 1 хв, а у другого – більше, ніж на 10 дБ за 1 хв. Параметрами постійного інфразвуку на робочих місцях, що нормуються, є рівні звукового тиску у октавних смугах частот із середніми геометричними частотами 2, 4, 8, 16 Гц (табл. 1.3).

Допустимі рівні інфразвуку (відповідно до ДСН 3.3.6.037-9)

Середньгеометричн і частоти, Гц	Допустимі рівні звукового тиску, дБ	Загальний рівень звукового тиску, дБ_{ліп}
2,4,8,16	105	110

Населення, яке проживає у великих містах та мегаполісах, потрапляє під постійний вплив низькочастотних коливань різних рівнів – інфразвуків. У таких людей спостерігається збудження та дратівливість. Інфразвукові хвилі несприятливо впливають на організм людини, її працездатність, особливо на психоемоційний стан, серцево-судинну, ендокринну та інші системи [21].

Інфразвуки, інтенсивність яких перевищує допустимі нормативи, здатні впливати на експресію генів і активувати поділ клітин (12 – 20 Гц, менше 90 дБ), а також можуть викликати порушення сну, головні болі, прискорення дихання (80 дБ, хронічний вплив). Приблизно кожні 2,5% людей мають підвищену чутливість до шумів низьких частот (у таких людей поріг сприйняття низькочастотних шумів на 12 дБ нижче, ніж у решти населення).

Інфразвукова стимуляція призводить до спазму периферичних судин і зростання тиску. Наприклад, інфразвук частотою 6 – 12 Гц та інтенсивністю 95,110,125 дБ призводить до зростання артеріального тиску на 8 мм ртутного стовпа. Тривалий хронічний вплив інфразвукового шуму може призводити до розвитку гіпертонічної хвороби. Інтенсивний інфразвук викликає пошкодження нервової системи, яке супроводжується розвитком запального процесу в клітинах організму людини.

Інфразвук характеризується високою здатністю проникнення, високою біологічною дією, він здатний викликати нудоту, відчуття

обертання, мимовільне обертання очних яблук, відчуття незручності тощо. Особливо несприятливою є частота коливань 2 – 15 Гц, яка зумовлює виникнення резонансних явищ в організмі. Інфразвук з частотою 8 Гц збігається з α -ритмом біотоків мозку. Інфразвуки викликають порушення, пов'язані з вивільненням глутамату нейронами та астроцитами мозку, а у результаті відбувається порушення пам'яті та здатності до навчання [18].

При опроміненні інфразвуком внутрішні органи людини, що мають резонансні частоти в діапазоні 6 – 12 Гц, можуть перейти в коливання. Між серцем, легенями і шлунком виникає тертя, що зумовлює сильне подразнення та порушення нормальної життєдіяльності. Особливо небезпечною є частота 7 Гц, що збігається з α -ритмами мозку.

Інфразвуки малої потужності діють і на внутрішнє вухо, викликаючи нездужання типу морської хвороби, нервову втому. При середніх потужностях спостерігаються внутрішні розлади травлення і мозку з усілякими наслідками: паралічами, втратою свідомості, загальною слабкістю. Інфразвук великої потужності особливо небезпечний тому, що, викликаючи резонанс внутрішніх органів, може призвести їх до руйнування, гальмування кровообігу і навіть до зупинки серця.

Інфразвук невеликої потужності діє на барабанну перетинку вуха, викликає біль. Основною причиною швидкої втомлюваності є робота в цехах і шахтах, де працюють двигуни. Інфразвук частотою від 2 до 12,4 Гц сповільнює зорову реакцію. Люди стають неуважними, порушується робота організму, відбувається негативний вплив на слуховий і вестибулярний аналізатори, центральну нервову та серцево-судинну системи. Тривала дія інфразвуку викликає великі зміни клітин міокарду та судин [30].

Складовою частиною спектрів шуму випромінюваного технологічними агрегатами є інфразвук, який характеризується високою здатністю проникнення та високою біологічною дією. Низькочастотний звук здатний викликати у людини нудоту, відчуття обертання голови, мимовільне обертання очних яблук, відчуття незручності тощо. Низькочастотні коливання з рівнем інфразвукового тиску, що перевищує 150 дБ, людина не в змозі перенести. Неприятливою є частота коливань 2 – 15 Гц внаслідок виникнення резонансних явищ в організмі людини.

Особливо небезпечною є частота 7 Гц, яка може збігатися з α -ритмом біотоків мозку. Найбільш ефективним і практично єдиним засобом боротьби з інфразвуком є зниження його у джерелі. Відповідно санітарним нормам рівні звукового тиску інфразвуку в октавних смугах із середньгеометричними частотами 2, 4, 8, 16 Гц не повинні перевищувати 105 дБ, а в діапазоні частот 32 Гц – 102 дБ.

Великі зміни спостерігаються в судинах кори головного мозку: капіляри судин розширюються, порушується гомеостаз. При дії звуку з частотою 16 Гц і інтенсивністю 110 – 120 дБ відбуваються зміни (деформації) ядер в клітині і зміни в цитоплазмі, порушується обмін мікроелементів; порушуються функції зовнішнього дихання, функціональний стан нервової системи, що призводить до порушення біоенергетичних процесів. Біологічна дія інфразвуку пояснюється дією на паренхіму внутрішніх органів, внаслідок трансформації з механічної енергії в енергію біохімічних і біомембранних процесів.

1.2.3 Вплив ультразвуку на живі організми

Ультразвук – це коливання у пружному середовищі, які перевищують частоту поширення 20 кГц. Джерелами ультразвукового випромінювання у промисловості, медицині, науково-дослідних

інститутах є низка ультразвукового технологічного устаткування. До такого обладнання відносять магнітострикційні перетворювачі (працюючі на частоті 22 – 44 кГц), ультразвукові генератори (в медицині потужністю 10 – 30 Вт, в техніці до 60 кВт і вище). Орган слуху людини не сприймає ультразвуки та інфразвуки, але за тривалої дії його небезпечних рівнів, може негативно впливати на організм людини [29].

Можуть відбуватися порушення нервової системи, змінюватися тиск, склад і властивості крові, іноді втрачається слухова чутливість. Людина не сприймає ультразвуковий вплив усвідомлено як акустичні сигнали. Мозок чутливо реагує на ультразвуки, які можуть впливати на його подальшу роботу. Навіть гранично-допустимі рівні ультразвуків реєструються мозком, але по-різному для різних частот ультразвуку.

Людина перестає чути звуки, якщо їх частота перевищує 20000 Гц, хоча й коливання досягають наших органів слуху. Якщо частота коливань перевищує 20 кГц, коливання називають ультразвуковими. Під дією ультразвуку в рідких компонентах тканин організму виникає кавітація, тобто утворюється велика кількість розривів у вигляді дрібних пухирців газу. Коли кавітаційні пухирці лопаються, розвивається великий тиск, в результаті чого відбуваються механічне руйнування кліток живої тканини і сильне локальне підвищення температури. Під впливом ультразвуку прискорюються хімічні процеси, спостерігаються явища дисперсії і коагуляції, внаслідок чого може наступити сліпоту. Вплив на людину ультразвуку малої потужності викликає тепловий ефект. Якщо працівник обробляє деталі, у яких порушуються ультразвукові коливання, у нього можливе контактне опромінення [19].

При дії ультразвуку на біологічні об'єкти (у тому числі і на людину) в органах і тканинах на відстанях, рівних половині довжини хвилі, може виникати різниця тисків від 0,01 до 0,1 Па. При невеликій інтенсивності ультразвуку, механічні коливання сприяють кращому обміну речовин і постачанню до тканин кров'ю та лімфою. Підвищення

інтенсивності ультразвуку може призвести до виникнення акустичної кавітації (пустот, порожнин), що супроводжується механічним руйнуванням клітин та тканин. Контактна дія ультразвуку на руки призводить до порушення капілярного кровообігу в кистях рук, зниження больової чутливості. При рівні звукового тиску 120 дБ настає ефект пошкодження клітин. Такі звуки не чутні, проте вони чинять негативну дію на організм людини: з'являється нервозність, почуття страху, нудота, іноді із носа та вуха іде кров.

Залежно від інтенсивності ультразвукових хвиль розрізняють три види ультразвуку та впливу його на живі тканини:

1) Ультразвук малої інтенсивності (до $1,5 \text{ Вт/см}^2$). Викликає зміни фізико-хімічних реакцій організму, прискорення обмінних процесів, слабе нагрівання тканини, мікромасаж і не призводить до морфологічних порушень всередині клітин.

2) Ультразвук середньої інтенсивності ($1,5 - 3 \text{ Вт/см}^2$). Викликає реакцію пригнічення у нервовій тканині. Швидкість відновлення функцій залежить від інтенсивності і тривалості впливу ультразвуку.

3) Ультразвук великої інтенсивності. Викликає незворотне пригнічення аж до повного руйнування тканини.

Таблиця 1.4

Допустимі рівні ультразвукових тисків в октавних та третинооктавних смугах (відповідно до ДСН 3.3.6.037-99)

Середні геометричні частоти третинооктавних смуг, кГц	12,5	16	20	25	31,5 - 100
Допустимі рівні ультразвукового тиску, дБ	80	90	100	105	110

Високочастотний ультразвук малої інтенсивності ($0,2 - 1,0 \text{ Вт/см}^2$) викликає судинорозширювальний ефект, великої ($3,0 \text{ Вт/см}^2$ і більше) – судинозвужувальний. При цьому змінюється тонус артерій: ультразвук

малої інтенсивності дає гіпотензивний ефект, при збільшенні його інтенсивності виникає артеріальна гіпертензія. Зміни в нирках, печінці, статевих органах, ендокринних залозах відбуваються внаслідок впливу ультразвуку на гіпоталамус, який регулює діяльність внутрішніх органів рефлекторним і нейрогуморальним шляхами [32].

Спостерігається зміна морфологічної картини крові та зменшується кількість еритроцитів та лейкоцитів. Зміни нагадують такі, що відбуваються під впливом радіоактивного випромінювання. Виявляються вегетативно-судинні ураження рук тощо. Для запобігання негативного впливу ультразвуку на організм людини, встановлюють допустимі рівні ультразвукових тисків, які зазначені у державних санітарних нормах (табл. 1.4).

У ряді досліджень було встановлено, що навіть ультразвуки, рівень яких не перевищує гігієнічні нормативи, здатні негативно впливати на живі організми. Ультразвуки, параметри яких не перевищують встановлені для побутових приладів нормативи, в залежності від частоти та інтенсивності, впливають на функціонування клітин мозку людини: впливають на мікротрубочки нейронів, які резонують в області частот 8 МГц [51]; сприяють поділу клітин людини та виявленню появи трьохполюсних мітозів, анеуплоїдії внаслідок шкідливого впливу ультразвуку на мікротрубочки [53]; викликають кластогенні та анеугенні ефекти в геномі фібробластів людини [81]; впливають на експресію генів, задіяних в стабілізації мікротрубочок [53] та у формуванні актинових стресових фібрил [69], а також генів, пов'язаних з реалізацією програми на самознищення клітин [49].

Ультразвуки, навіть не значної інтенсивності, викликають пошкодження ДНК і запускають апоптоз в клітинах людини [70; 77]. При хронічному впливі низько-інтенсивний безперервний ультразвук сприяє генеруванню в клітинах реактивних форм кисню, які в свою

чергу призводять до пошкодження ДНК, що запускає програму на самознищення клітин [41; 83].

Негативні ефекти допустимих для побутових приладів рівнів ультразвуку були виявлені не тільки на клітинах людини та тварин, але й на клітинах бактерій, грибів і рослин. Найбільш значущі феномени склалися в підвищенні проникності клітинних мембран і в зміні експресії генів, які відповідають за захист організмів від пошкоджень.

Проведені дослідження показали, що ультразвуки підвищують проникність мембран і посилюють процеси кон'югації у бактерій (односпрямоване перенесення частини генетичного матеріалу при безпосередньому контакті двох бактеріальних клітин), змінюють експресію генів, які відповідають за процеси горизонтального перенесення генетичного матеріалу, що сприяє потраплянню чужорідних генів в клітини бактерій (наприклад, генів стійкості до антибіотиків, генів токсинів тощо) [79]. Ультразвуки підвищують проникність мембран гіфів грибів, активують у грибів експресію генів, що відповідають за біосинтез антибіотика гіпокреліна А, який захищає гриби від бактерій, найпростіших, дріжджових грибів, та активують гени-транспортери для виведення антибіотика з гіфів гриба [80].

Ультразвуки, в залежності від частоти, інтенсивності й тривалості впливу, спроможні призводити до таких змін у рослин: регенерації пагонів у експлантів рослин в культурі *in vitro* [40; 67]; підвищення енергії проростання насіння та посилення подальшого росту проростків [56; 60; 91]; пригнічення росту коренів проростків [50; 65; 71]; гальмування поділу клітин в кореневих меристемах [64]; збільшення кількості хромосомних аберацій в кореневих меристемах [50; 54]; пригнічення синтезу ДНК, РНК і білків в меристематичних клітинах коренів [63]; невіральної трансформації рослинних клітин генними конструкціями внаслідок підвищення проникності клітинних мембран [60]; активації в клітинах рослин захисних механізмів (синтезу

поліамінів [74], вторинних метаболітів [52], калози [47] та антиоксидантних ензимів) [46].

В цілому, проведені дослідження свідчать про те, що ультразвук є біологічно ефективним фізичним фактором, який спроможний впливати на життєво важливі процеси в клітинах організмів усіх рівнів організації. Характер означеного впливу залежить від частоти та тривалості впливу ультразвуку на організм.

Таким чином, пружні механічні коливання навколишнього середовища в залежності від інтенсивності, частоти та тривалості дії спроможні впливати як негативно, так і позитивно на здоров'я людини. Класична музика, звуки природи, терапевтичні дози інфразвуків та ультразвуків мають лікувальні властивості. Тоді як техногенні шуми, інфразвуки та ультразвуки здатні призводити до порушення роботи клітин та організмів в цілому. Шум викликає зміни в роботі надниркових залоз, гіпофізу, порушує адаптивні та регуляторні реакції організму. Дія шуму на людину виражається в широкому діапазоні – від суб'єктивного роздратування до об'єктивної зміни у нервовій системі, органах слуху, серцево-судинних та ендокринній системах, травному тракті та інших органів і систем.

Екологічний фактор шуму приладів призводить до підвищення втоми, зниження розумової активності, неврозів, росту серцево-судинних захворювань, погіршення зору тощо. Шум, будучи постійним подразником нервової системи, може викликати її перевантаження. Травматичний вплив шуму на людський організм сильніше інших складових негативного впливу навколишнього середовища. До того ж фізико-біохімічна адаптація до шуму є неможливою. Найбільшу загрозу для здоров'я людини становить шум інфразвукового та ультразвукового діапазонів, оскільки органи слуху людини не сприймають пружні механічні коливання, що не дає можливості вчасно виявити джерело небезпеки.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ПРУЖНИХ МЕХАНІЧНИХ ХВИЛЬ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ

2.1 Характеристика приладів для вимірювання шуму, інфразвуку та ультразвуку

Для вимірювання різноманітних шумових характеристик застосовують спеціальні прилади-шумоміри. Шумомір – прилад для об'єктивного вимірювання рівня звуку (табл. 2.1). Він може бути різного розміру та типу. Для вимірювання інфразвуку або ультразвуку, які людина не здатна чути, використовують прилади, що здатні уловити низькочастотні та високочастотні рівні звуків. Під час виконання практичної частини у дипломній роботі ми використовували пристрої на смартфоні «InfraSound Detector» та «UltraSound Detector».

Існують міжнародні стандарти, що встановлюють вимоги до приладів. У деяких європейських країнах діють свої стандарти на шумоміри, проте всі вони слідують вимогам стандартів МЕК (Міжнародна електротехнічна комісія). У США стандарти істотно відрізняються від європейських, де застосовуються стандарти ANSI (Американського національного інституту стандартів). В Україні вимірювання шуму регламентується ДСТУ 2325-93 [15].

Шумомір представляє автономний переносний прилад, що дозволяє вимірювати у децибелах (дБ) рівні інтенсивності звуку в широких межах. Прилад складається з високоякісного мікрофона, широкосмугового підсилювача, перемикача чутливості, який змінює посилення звуків за ступенями по 10 дБ, має перемикач частотних характеристик і стрілочний індикатор, шкала якого градуйована безпосередньо в децибелах.

Таблиця 2.1

Прилади для вимірювання шумових рівнів (шумоміри)

Модель приладу	Октава 101А	DSP 80	SVAN 943	Медіатор-2238
				
Технічні характеристики				
Режим вимірів	Звук	Звук	Звук, аналізатор, дозиметр	Звук
Діапазон вимірів	22 – 145 дБа	40 – 140 дБа	шум: 29 дБа – 133 дБа; доз.: 50 дБа – 140 дБа	26 дБ – 40 дБ
Частотний діапазон	1 Гц – 20 кГц	–	20 Гц – 11 кГц	8 Гц – 16 кГц
Клас точності	1	1	2	1
Живлення	Акумулятор (7 год.) блок живлення	Акумулятор (6 год.)	Акумулятор блок живлення	Акумулятор блок живлення
Пам'ять	255 записів	–	3 МБ (флеш тип)	2 МБ
Габарити, мм	–	205x75x25	135x80x38	–
Вага, г	700	252	500	–

На лицьовій панелі шумомірів окрім основних органів управління зазвичай маються гнізда, що дозволяють підключити до схеми різні додаткові пристрої: частотні та амплітудні аналізатори, фільтри та інші

прилади. Фактично шумомір являє собою мікрофон, до якого підключений вольтметр, що проградуєований в децибелах.

Оскільки електричний сигнал на виході з мікрофону пропорційний вихідному звуковому сигналу, приріст рівня звукового тиску, що впливає на мембрану мікрофона викликає відповідний приріст напруги електричного струму на вході в вольтметр, що і відображається за допомогою індикаторного пристрою, проградуєованого в децибелах. Для вимірювання рівнів звукового тиску в контрольованих смугах частот, наприклад 31,5; 63; 125 Гц, а також для вимірювання рівнів звуку (дБА), з урахуванням особливостей сприйняття людським вухом звуків різних частот, сигнал після виходу з мікрофону, але до входу в вольтметр, пропускають через відповідні електричні фільтри.

Загальна схема налаштування шумоміра встановлюється таким чином, щоб його властивості наближалися до властивостей людського вуха. Оскільки чутливість вуха залежить як від частоти звуку, так і від його інтенсивності, в шумомірі використовуються кілька комплектів фільтрів (А, В, С, D), що відповідають різній інтенсивності шуму. Дані фільтри дозволяють імітувати амплітудно-частотну характеристика вуха при заданій потужності звуку. Фільтр «А» приблизно відповідає амплітудно-частотній характеристиці вуха при слабких рівнях шуму, а фільтр «В» – при сильних рівнях шуму. Фільтр «С» був розроблений для оцінки пікових рівнів шуму, а «D» – для оцінки авіаційного шуму. Зараз для нормування шуму застосовуються тільки фільтри «А» і «С». Останні версії стандартів на шумоміри не встановлюють вимог до фільтрів «В» і «D» [22].

Для вимірювання шуму використовують спеціальні прилади-шумоміри. Шумомір – складний вимірювальний прилад, до якого входять мікрофон, що реагує на зміни звукового тиску, підсилувальна частина та стрілочний індикатор, який відградуєовано у дБ. Спектральний аналіз виконується за допомогою окремих октавних

фільтрів (OF 101, 01016 тощо), або вмонтованих у шумомір (ВШВ-003, ИШВ-1,00017). Методика вимірювань повинна прийматися згідно ДСТУ.

Для отримання точних показників рівня шуму побутових приладів в приміщеннях необхідно проводити заміри в декількох точках та в різний час доби і виводити середнє значення. Для комфортної життєдіяльності рекомендується, щоб рівень шуму не перевищував 30 дБ у кімнатах відпочинку та 50 дБ в інших приміщеннях, де перебувають люди. Такий рівень звуку є природним шумовим фоном і практично нешкідливий для людини [31].

З нормами рівня шуму для житлових та робочих приміщень, рекомендованими санітарно-епідеміологічним управлінням, можна ознайомитися в документі «Санітарні норми допустимого шуму в приміщеннях житлових і громадських будинків та на території житлової забудови». Для запобігання розвитку хронічних захворювань необхідно періодично проводити контроль рівня шуму у квартирах та в приміщеннях робочих зон.

Нормування та контроль шуму здійснюється відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» та ДСТУ 12.1.003-83. При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують такі методи: нормування за гранично допустимим спектром шуму; нормування рівня звуку за шкалою шумоміра.

Перший метод нормування – основний для постійних шумів, та його характеристикою постійного шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску в децибелах, в октавних смугах частот з середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

Другий метод нормування допускається застосовувати для орієнтовної оцінки. Характеристика постійного широкосмугового шуму

на робочих місцях приймається за рівень звук, який вимірюється на часовій характеристиці згідно з ДСТУ 17187-81. Якщо вимірний спектр шуму на деяких частотах перевищує гранично допустимий спектр, то висновок про відповідність виміряного шуму гранично допустимому роблять, порівнюючи рівні звукового тиску в дБ(А) [16].

Для оцінки параметрів шуму на постійних робочих місцях виробничих приміщень вимірювання проводять в точках, що відповідають постійним робочим місцям. Якщо робочі місця непостійні, то вимірювання проводять в декількох точках так, щоб охопити можливо більшу частину робочої зони (мінімальна кількість точок вимірювання в робочій зоні – три).

Число та розташування точок вимірювання для оцінки шумового режиму у виробничих приміщеннях приймається в залежності від типу технологічного обладнання та його розміщення: з однотипним технологічним устаткуванням (не менше ніж на трьох постійних робочих місцях, або на трьох відповідних ділянках робочої зони при непостійних робочих місцях); з груповим розміщенням однотипного технологічного обладнання (на постійному робочому місці або відповідній ділянці робочої зони, у центрі кожної групи обладнання); зі змішаним розміщенням технологічного різнотипного обладнання (не менше ніж на трьох постійних робочих місцях, або відповідно на трьох ділянках робочої зони для кожного типу обладнання; з поодиноким працюючим технологічним обладнанням (на постійному робочому місці, або відповідно в робочій зоні цього обладнання).

Для оцінки параметрів шуму, створюваного поодиноким працюючим технологічним устаткуванням або обладнанням вентиляції в виробничому приміщенні, вимірювання проводять на постійному робочому місці або відповідно в робочій зоні цього обладнання при зупиненому іншому технологічному обладнанні.

У виробничих приміщеннях, що не мають шумового технологічного обладнання, вимірювання проводять на трьох постійних робочих місцях або відповідно на трьох ділянках робочої зони, найближчих до джерел зовнішнього шуму, при закритих і відкритих отворах в огорожувальних конструкціях (вікна, двері та інші), та у включеному обладнанні вентиляції та інших джерел шуму всередині приміщень [8].

Мікрофон розташовують на висоті 1,5 м над підлогою, або над поверхнею робочого майданчика (якщо робота виконується стоячи), або на рівні голови людини, яка відчуває вплив шуму (якщо робота виконується сидячи). Мікрофон направляють у бік джерела шуму та віддаляють не менше ніж на 0,5 м від особи, що проводить вимірювання.

Контрольні вимірювання шуму виявляють відповідність фактичних рівнів шуму на робочих місцях допустимим рівням за чинними нормами. Проводять контроль не менше 2 – 3 встановлених в даному приміщенні одиниць технологічного обладнання, у найбільш характерному режимі його роботи.

Обов'язково включають устаткування, вентиляцію, а також ті пристрої, які зазвичай використовуються у приміщенні та є джерелами шуму. При вимірюванні шумів шумомір вмикають у повільне положення та записують середнє значення його коливань. Для імпульсних шумів слід додатково проводити вимірювання в положенні «імпульс» або «швидко» з відліком максимального показника.

Вимірювання інфразвуку проводять на постійних робочих місцях (біля керування машин, пультів, в кабінах), або в робочих зонах обслуговування при роботі обладнання у характерному режимі. Вимірювання інфразвуку проводиться шумомірами 1 класу з частотною характеристикою від 1 Гц і октавними або третинооктавними фільтрами, а мікрофон повинен мати нижньочастотну межу 2 – 3 Гц. Дозволяється використання магнітографа з частотною характеристикою від 2 Гц.

Для постійного інфразвуку вимірюють рівні звукового тиску у дБлн та рівні шуму дБА, а також спектр у октавних смугах з відліком показників за середнім положенням стрілки шумовимірювача на характеристиці «повільно», або проводять магнітний запис інфразвуку, а для непостійного – визначають їх відповідні еквівалентні рівні. Для непостійного інфразвуку у вигляді піків, що повторюються, або імпульсів, проводять додатково відлік за характеристикою “швидко” шумоміра по максимуму показника.

Вимірювання ультразвуку у повітряному середовищі проводиться на відстані 0,5 м від контуру устаткування та не менш ніж 2 м від оточуючих поверхонь. Вимірювання потрібно проводити не менш ніж у 4 контрольних точках по контуру устаткування; при цьому, відстань між точками вимірювання не повинна перевищувати 1 м. Вимірювання повинно проводитися інтерферометром у точці максимального випромінювання [34].

Рекомендований вимірювальний тракт повинен складатися з датчика з чутливістю, яка дозволяє реєструвати ультразвукові коливання з рівнем коливальної швидкості на поверхні не нижче 80 дБ, лазерного інтерферометра, схеми обробки сигналів, яка включає фільтри низької та високої частоти, мілівольтметра ВЗ-40, підсилювача частоти диференціального ланцюга та імпульсного мілівольтметра ВЧ-12.

2.2 Використання методів біотестування для оцінки впливу пружних механічних хвиль на живі організми

Біотестування – це експериментальне визначення, оцінка дослідним шляхом впливу фізичних, хімічних, фізико-хімічних факторів, або групи шкідливих факторів на живі організми шляхом реєстрації змін того чи іншого біологічного показника (фізіологічного,

біохімічного, цитогенетичного тощо), що спостерігається в піддослідному тест-об'єкті (індикаторі) у порівнянні з контрольним у чітко заданих (стандартних лабораторних) умовах.

Відома велика кількість методів біотестування, але серед них стандартизованих небагато. Найчастіше як тест-об'єкти використовують кресс-салат, цибулю, прісноводних риб, гіллястовусих та зяброногих ракоподібних, водорості та інфузорії. Біотестування можливо проводити на популяційно-видовому, організовому, органо-тканинному, клітинному, субклітинному та молекулярному рівнях.

Як правило, тест-об'єкт – це чутливий біологічний елемент, здатний реагувати на зовнішній вплив. Ним можуть бути ферментативні системи, ізольовані органели, клітини, тканини, окремі органи багатоклітинних організмів, одноклітинні та багатоклітинні організми одного біологічного виду або кількох видів [24].

Фіксація тест-реакції при біотестування здійснюється за допомогою візуальних спостережень або за допомогою приладів. Так, візуальні спостереження проводяться при визначенні рівня виживання, плодючості, поведінкової реакції та реакції росту, а прилади застосовують при визначенні іммобілізації клітин, біолоюмінесценції, флуоресценції, активності окисних ферментів, зміні фізіолого-біологічних показників мікроскопічних організмів та фізіологічних показників риб. При цьому використовують такі прилади, як мікроскоп, люмінометр, флуориметр, електрокардіограф або електроенцефалограф, фотоелектрокалориметр, спектрофотометр та спектрометр.

Для виявлення можливого функціонального впливу ультразвуків від означених побутових приладів на живі організми, нами пропонується використовувати ростовий фітотест, оскільки рослини, як і інші живі організми, є високочутливими до пружних механічних хвиль ультразвукового діапазону частот.

Таким чином, спостерігається поєднання біологічних та інструментальних методів. Біотестування висуває ряд вимог, дотримання яких є необхідним для отримання достовірних результатів (відносна швидкість проведення досліджень, отримання достатньо точних і відтворюваних результатів, присутність об'єктів, що застосовують у біотестуванні у великій кількості і з однорідними властивостями, а також діапазон похибки у порівнянні з іншими методами тестування не більше 20 %) [25].

Під біотестуванням розуміється використання систем, в яких застосовуються різноманітні живі тест-об'єкти (рослини й тварини), включаючи мікроорганізми, ізольовані клітини людини та навіть очищені з тканин або штучно створені молекули. В основі застосування таких систем лежать дві ідеї: 1) використання простих методик визначення сполук на об'єктах з високою чутливістю до дії токсичних речовин; 2) вивчення дії агентів, які нас цікавлять, на ізольовані (як правило, культивовані – тобто підтримувані деякий час у створених штучних умовах) клітини людини і тварин з метою виявлення прямого, неопосередкованого ефекту токсиканта на тканини-мішені.

Зазвичай, серед переваг біотестування вказують малий час, необхідний для проведення аналізу зразка (від декількох годин до декількох діб), і порівняльну доступність таких методів, включаючи сюди досить просте устаткування для утримання в лабораторії дрібних безхребетних і хребетних тварин, таких як ракоподібні дафнії або рибки даніо реріо, а також культур клітин ссавців та мікроорганізмів [32].

Незважаючи на очевидну перспективність та вірогідні переваги альтернативних способів біотестування, у світі жоден з них нині не прийнятий на озброєння як офіційно дозволений метод перевірки токсичності лікарських препаратів або хімічних речовин побутового призначення. На жаль, на шляху подальшого розвитку й офіційного визнання біотестування в медицині стоїть серйозна перешкода, – це

проблема правильної інтерпретації результатів, отриманих на різних біооб'єктах, а також їх кореляції з даними клінічних досліджень.

Кожен метод має межі свого застосування. Використання особливо чутливих біооб'єктів, ізольованих клітин людини або сконструйованих методами молекулярної біології безклітинних систем аналізу – усе це має свої завдання та реальні обмеження швидко виявити наявність токсичного ефекту, порівняти близькі за своєю структурою речовини, визначити механізм дії на тканині-мішені. Щоб вийти за ці межі, необхідно об'єднати такі моделі з іншими підходами, пошуки яких зараз ведуться в галузі теоретичної біології.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ ПРУЖНИХ МЕХАНІЧНИХ ХВИЛЬ ВІД ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ БІОТЕСТУВАННЯ

3.1 Матеріали та методи дослідження

В експериментах по оцінці впливу шумового навантаження на модельні організми за допомогою шумоміру «Benetech GM1351» (Додаток А), нами були проведені заміри рівнів шуму від побутового тепловентилятора «Ufesa» Ambient Master Turbo 2500W (Додаток Б) на відстанях 0,5 м та 1,5 м від приладу в умовах прямої експозиції, а також в умовах екранування шуму однією або двома тканинними шторами.

Для виявлення біологічного ефекту шуму від тепловентилятора, насіння ячменю (*Hordeum vulgare* L.) пророщували у відкритих чашках Петрі на водопровідній кип'яченій воді протягом 4-х діб при хронічному впливі (9 годин безперервної експозиції на добу) шумів від тепловентилятора.

Відкриті чашки Петрі з насінням експонували на відстанях 0,5 м та 1,5 м від джерела шуму в умовах екранування приладу однією або двома тканинними шторами. Експерименти проводили при двох режимах освітлення: 1) 24 години темрява + вплив шуму тепловентилятора в темряві не менше 9 годин протягом світлої пори доби; 2) 12 годин штучне освітлення + вплив шуму тепловентилятора не менше 9 годин протягом світлої пори доби / 12 годин темрява.

Через 4 доби пророщування для кожного варіанта підраховували кількість пророслого насіння, вимірювали довжину епікотилів і максимальну довжину коренів. На підставі отриманих даних

розраховували енергію проростання насіння, середню довжину епикотилів і коренів проростків. Отримані дані статистично обробляли.

Енергію проростання насіння підраховували за наступною формулою:

$$E = \frac{n}{N} * 100\%, \quad (3.1)$$

Де: E - енергія проростання насіння, %; N - загальна кількість пророщуваних насінин; n - кількість насінин, що проросли.

В експериментах по оцінці біологічних ефектів ультразвукового навантаження на організми ми використовували насіння ячменю (*Hordeum vulgare*), яке пророщували протягом 4-х днів при температурі +22°C у відкритих чашках Петрі. Пророщування відбувалося з використанням водопровідної кип'яченої води на відстані 1,0 м від приладу «Яструб МТ.04» (Додаток В), який відлякує комах (частота ультразвуку 30 – 35 кГц, рівень звукового тиску 90 – 110 дБ, режим роботи приладу – безперервний сигнал), а також в умовах екранування ультразвуків від приладу за допомогою щільної тканинної штори. Пророщування здійснювали при режимі освітленості 12 год світло, та 12 год темрява.

Було проведено дві серії експериментів: 1) на проростки діяли ультразвуком протягом 12 год щоденно тільки в світлову фазу пророщування (12 год світло), при цьому під час темної фази пророщування (12 год темрява) чашки Петрі були накриті дерев'яними коробками, які екранували проростки від ультразвукового впливу; 2) на проростки впливали ультразвуком протягом 24 годин щоденно.

На 4-у добу пророщування підраховували кількість пророслого насіння та вимірювали довжину коренів (найдовшого кореня в мочкуватій кореневій системі) та епикотилів проростків. На підставі отриманих даних розраховували енергію проростання насіння, а також

середню довжину коренів і епикотилів проростків. Усі дані статистично оброблялися.

3.2 Виявлення біологічної дії шумового забруднення від побутових приладів за допомогою ростового фітотесту

За показниками шумоміру «Benetech GM1351» (Додаток А) нами був розрахований фоновий еквівалентний рівень звуку в житловому приміщенні, в якому проводилися експериментальні роботи, який становив 32 дБа. Заміри шумів, що генеруються в процесі роботи тепловентилятора, показали, що в умовах відсутності штор еквівалентний рівень звуку від тепловентилятора «Ufesa» дорівнює 45 дБа. Згідно Міждержавним санітарним правилам і нормам МСанПіН 001-96 [22] еквівалентний рівень звуку від побутових приладів не повинен перевищувати 30 дБа. Таким чином, шумовий тиск від тепловентилятора, який ми використовували, перевищує діючі гігієнічні нормативи.

Екранування проростків ячменю від тепловентилятора тканинними шторами призвело до значного зниження рівня шумового тиску – до 35 дБа при екрануванні однією шторою, та до 32 дБа при екрануванні двома шторами. Таким чином, пророщування насіння модельної рослини в умовах екранування тепловентилятора двома тканинними шторами показало еквівалентний рівень звуку ідентичний фоновому для приміщення, в якому було проведено дослідження.

Під час пророщування насіння ячменю в умовах повної темряви шум від тепловентилятора «Ufesa» призвів до зменшення значень середньої довжини коренів з $60,10 \pm 3,80$ мм до $54,87 \pm 3,28$ мм при збільшенні еквівалентного рівня шуму від 32 дБа до 35 дБа. Одночасно було показано гальмування росту епикотилів і стимуляцію енергії проростання насіння, але показники виявилися дещо не достовірними.

Проростання насіння ячменю при світловому режимі, при умовах що 12 годин діє штучне освітлення, а 12 годин – темрява, зменшило довжину коренів та епикотилів проростків, порівняно з пророщуванням в повній темряві. Збільшення еквівалентного рівня шуму з 32 дБа до 35 дБа також супроводжувалося гальмуванням росту коренів: з $29,64 \pm 2,84$ мм до $25,33 \pm 2,81$ мм.

Таблиця 3.1

**Вплив шуму від побутового тепловентилятора «Ufesa» на
ростові параметри проростків ячменю при різних світлових
режимах пророщування**

Екранування тканинними шторами:	Відстань від тепловен- тилятора:	Еквівалент- ний рівень звуку, дБа:	Довжина коренів, мм \pm Sx·tst	Довжина епикотилів, мм \pm Sx·tst
Світловий режим пророщування: 24 години темрява:				
Штора № 1	0,5 м	35 дБа	$54,87 \pm 3,28$	$37,37 \pm 1,70$
Штори № 1+2	1,5 м	32 дБа	$60,10 \pm 3,80^*$	$39,04 \pm 2,69$
Світловий режим пророщування: 12 годин світло / 12 годин темрява:				
Штора № 1	0,5 м	35 дБа	$25,33 \pm 2,81$	$24,53 \pm 1,85$
Штори № 1+2	1,5 м	32 дБа	$29,64 \pm 2,84^*$	$25,78 \pm 1,94$

* - дані статистично достовірно відрізняються між варіантами експонування проростків за різною кількістю тканинних штор.

Отримані результати від дослідницьких груп показали, що в залежності від частоти, інтенсивності та тривалості впливу, звук може стимулювати, але й гальмувати проростання насіння та ріст рослин [43; 45; 90]. Так як ростові процеси у рослин є чутливими до впливу звуків і шумів, можна використовувати ростовий фітотест для оцінки біологічних ефектів техногенних шумів.

Отримані нами дані показали, що хронічний шум від побутового тепловентилятора гальмує ріст коренів проростків протестованих рослин. Рослини здатні гальмувати свій ріст у відповідь на регуляторні сигнали навколишнього середовища, а також у відповідь на пошкоджуючий вплив будь-якої природи. У природних екосистемах акустичний вплив на корені та пагони проростків збільшується під час виходу органів на поверхню землі.

Таким чином, гальмування росту коренів і епікотилів під впливом шумового навантаження може бути адаптивною реакцією рослини на певний тип положення органу в просторі, аналогічною ростовій реакції коренів і пагонів на присутність видимого світла [37; 92]. Проведене нами дослідження, щодо впливу шуму на проростки модельних рослин в умовах освітлення, показало адитивну ріст-гальмуючу відповідь коренів та епікотилів на одночасну дію світла і акустичного сигналу. Отримані дані дозволяють припустити, що виявлена ріст-гальмуюча відповідь проростків ячменю на хронічне шумове навантаження від побутового тепловентилятора скоріш за все має не травматичну, а регуляторну природу.

Отримані нами результати підтверджують можливість використання ростового фітотеста для виявлення біологічно ефективного рівня шуму від побутових приладів. Згідно діючих нормативів рівень шуму в житлових приміщеннях вночі не повинен перевищувати 30 дБ, а вдень – 40 дБ [11]. Протестовані нами еквівалентні рівні звуку від побутового тепловентилятора (32 – 35 дБа) вкладаються в норматив для денного перебування людини в житловому приміщенні. При цьому отримані дані свідчать про наявність регуляторного впливу шумів даного рівня на проростки модельних рослин.

Гранично допустимі рівні впливу факторів середовища, які оговорюються в нормативних документах, є рівнями, за яких відсутній

травматичний вплив фактору на організм. Наявність регуляторного впливу не враховується та не є небезпечною. Тривала дія регуляторних рівнів стресових факторів може мати відстрочені та мало передбачувані наслідки для функціонування живих організмів. Використання ростового фітотеста дозволяє виявити регуляторний біологічний вплив шумів від побутових приладів на живі організми, що може сприяти формуванню екологічно більш безпечного середовища проживання сучасної людини.

3.3 Встановлення біологічної дії ультразвуку від побутових приладів за допомогою ростового фітотесту

Деякі побутові прилади генерують ультразвуки, які задіяні в процесі роботи приладів. Ультразвуки різної частоти та інтенсивності використовуються у процесі роботи ультразвукових відлякувачів для комах і гризунів, ультразвукових свистків для собак, ультразвукових зволожувачів повітря в приміщеннях тощо. В інструкції до відповідних приладів є інформація для користувачів щодо безпеки використання зазначених приладів. Ультразвукові відлякувачі комах рекомендують розміщувати в житлових приміщеннях та експлуатувати цілодобово протягом певних проміжків часу.

Ультразвук є біологічно ефективним фізичним фактором, який спроможний впливати на життєво важливі процеси в клітинах організмів [64; 70; 80]. Характер впливу залежить від частоти та тривалості дії ультразвуків на живі організми. Тому ми встановили наскільки інтенсивність і частота ультразвуків, які використовуються в побутових приладах, є біологічно безпечною на функціональному рівні, а не тільки викликом дискомфорту для нервової системи комах і гризунів.

Небезпеку для здоров'я споживачів можуть викликати прилади, параметри функціонування яких не відповідають встановленим нормативам через недобросовісність виробників. Необхідно зазначити, що вухо людини не спроможне сприймати ультразвукові хвилі, за рахунок чого ми не можемо свідомо контролювати ситуацію. Для цього необхідно використовувати фізичні прилади які вимірюють рівень ультразвукового тиску в наколишньому середовищі. Як правило, жоден споживач не має такого професійного приладу.

У вільному доступі в мережі «Інтернет» є електронний додаток «Ultrasound Detector» до мобільних телефонів на базі «Android» та «IOS», який згідно інструкції забезпечує детекцію ультразвуків в навколишньому середовищі. За рахунок конструкційних обмежень мобільних телефонів, додаток не в змозі сприймати ультразвуки з частотою вище 22 – 25 кГц, що може дезінформувати споживачів щодо безпеки побутових приладів.

Метою дослідження було встановити можливість адаптації класичного ростового фітотесту для отримання висновків про потенційну безпеку для споживачів за рахунок щоденного використання побутових приладів, які генерують ультразвуки.

Результати дослідження впливу ультразвуків від побутового відлякувача комах «Яструб МТ.04» на ріст коренів і епикотилів проростків ячменю наведені в таблиці 3.2.

Отримані нами дані свідчать про те, що в умовах екранування проростків тканинною шторою від ультразвуку середня довжина коренів була більшою, в порівнянні з неекранованими проростками: а) $17,33 \pm 2,14$ мм і $14,49 \pm 1,71$ мм – за відсутності штори; б) $22,63 \pm 2,94$ мм і $21,95 \pm 2,49$ мм – при екрануванні шторою при тривалості експозиції на ультразвуках 12 год та 24 год, відповідно.

Таблиця 3.2

**Вплив ультразвукового навантаження на ріст коренів і
епікотилів проростків ячменю при різній тривалості
ультраулкового впливу**

Варіант експерименту:	Довжина коренів \pm $S_x \cdot t_{st}$, мм	Довжина епікотилів \pm $S_x \cdot t_{st}$, мм	Енергія проростання, %
Тривалість ультразвукового впливу 12 год щодня в світлий час доби:			
Ультразвук без штори:	17,33 \pm 2,14	18,50 \pm 2,62	24,0 %
Ультразвук тканинна штора:	22,63 \pm 2,94*	23,28 \pm 2,40*	19,0 %
Тривалість ультразвукового впливу 24 год щодня:			
Ультразвук без штори:	14,49 \pm 1,71§	15,38 \pm 1,41§	17,0 %
Ультразвук тканинна штора:	21,95 \pm 2,49*	22,15 \pm 2,26*	19,5 %

* - результати достовірно відрізняються від пророщування в умовах відсутності штори між приладом і чашкою Петрі з проростками; § - результати достовірно відрізняються від пророщування в умовах відсутності штори між 12 год та 24 год впливу ультразвуком.

Таким чином, ультразвук від приладу «Яструб МТ.04» достовірно гальмував ріст коренів проростків ячменю. Ступінь гальмування росту корелювала з тривалістю ультразвукового впливу. Середня довжина коренів при щоденній експозиції на ультразвуку по 12 годин була достовірно більшою в порівнянні з щоденною експозицією по 24 години.

Проведені дослідження також показали, що ультразвук спроможний гальмувати ріст епікотилів проростків ячменю: за відсутності тканинної штори середня довжина епікотилів проростків склала 18,50 \pm 2,62 мм та

15,38 ± 1,41 мм при щоденній експозиції на ультразвуках 12 год та 24 год; за наявності штори – 23,28 ± 2,40 мм та 22,15 ± 2,26 мм, при щоденній експозиції на ультразвуках 12 год та 24 год, відповідно.

Отже, щоденний вплив ультразвуком протягом 24 годин мав більш значний інгібуючий (затримуючий) вплив на ріст епикотилів, в порівнянні зі щоденною експозицією по 12 год. Відмінності між значеннями середньої довжини епикотилів статистично достовірні.

Для виявлення можливого біологічного ефекту ультразвуків, які генеруються відлякувачем комах «Яструб МТ.04» (частота 30-35 кГц, рівень звукового тиску в приміщенні 90 – 110 дБ), нами було проведено тестування впливу даного приладу на проростання насіння та ріст проростків ячменю. Отримані дані свідчать про те, що ультразвуковий вплив приладу «Яструб МТ.04» при щоденній експозиції протягом 12 год і 24 год призводить до гальмування росту коренів і епикотилів проростків ячменю.

Однією з важливих форм відповіді рослин на мінливі умови навколишнього середовища є ростова відповідь. У сприятливих умовах рослини посилюють ростові процеси, а в несприятливих – гальмують. При цьому гальмування росту може починатися при рівні впливу стресового чинника, який ще не пошкоджує клітини та тканини рослин (може мати місце регуляторне, а не травматичне гальмування росту).

Слабкий ультразвуковий тиск у 75 дБ, при частоті ультразвуку 20 кГц, по 3 години на день протягом декількох днів, здатний стимулювати ростові процеси у рослин [74]. Вплив ультразвуків більш високої частоти та інтенсивності (1 – 5 МГц, потужність 0,1 – 1,0 Вт/см², ультразвуковий тиск 150-170 дБ, тривалість впливу в межах кількох хвилин – це рівень ультразвуків, який використовується в медичній діагностиці), він гальмує ріст рослин, що супроводжується пошкодженням ДНК, порушенням поділу клітин тощо [50; 54; 64; 65].

Крім травматичного гальмування росту, рослини також здатні до регуляторного уповільнення росту у відповідь на вплив ультразвуків. Було встановлено, що в присутності звуків та ультразвуків змінюється гормональний баланс рослин. Під впливом звуків відбувається зростання концентрації рістстимулюючих гормонів ауксинів, а під впливом ультразвуків – зниження концентрації ауксинів [82; 85], що йде на користь регуляторному впливу різних акустичних і надакустичних частот на рослини.

У природних умовах вдень і вночі з ультразвуками стикаються ті частини рослин, які виявляються на поверхні, оскільки джерелами ультразвуків є деякі наземні атмосферні процеси, а також – наземні тварини, які широко використовують ультразвуки в діапазонах частот від 20 кГц до 80 кГц як для внутрішньовидового спілкування [44; 48; 68; 75; 78], так і для полювання [38; 44].

Таким чином, для коренів та пагонів рослин ультразвук може бути сигналом знаходження даного органу рослини на поверхні землі. Механосенсорні системи рослин сприймають ультразвук як сигнал присутності пагонів і коренів рослин на наземній поверхні, а не в ґрунті, а це може гальмувати їх ріст. Проведені дослідження свідчать про те, що рослини самі здатні генерувати ультразвуки досить високого ультразвукового тиску в діапазоні частот від 20 кГц до 300 кГц, при цьому утворення надакустичних сигналів рослинами відбувається в результаті кавітації (утворення пухирців газів) в їх судинних елементах [57; 71; 72].

Після виявлення генерування рослинами ультразвуків, була висунута гіпотеза, згідно з якою ультразвуки випромінюються в умовах посухи та пошкодження як результат механічної кавітації газових пухирців в провідній системі рослин [55; 73]. Такі ультразвуки можуть сприйматися сусідніми рослинами як регуляторні сигнали гальмування росту [55].

Подальші дослідження показали, що рослини генерують ультразвуки не через травматичну кавітацію, а викликані в основному формуванням і подальшим схлопуванням газових пухирців в ксилемних каналах, здатних транспортувати воду під час перистальтичних хвиль [57]. Найбільше ультразвуки рослини генерують вдень в інтервалі 10-14 годин дня [71]. Синхронне випромінювання ультразвуків усіма клітинами рослини здатне створювати досить потужний ультразвуковий тиск на частотах 150 – 200 кГц [72].

Дослідження, проведені Zweifel R. і Zeugin F. (2008), дозволили виявити циркадіанний (добовий) ритм генерування ультразвуків рослинами: мінімальний звуковий тиск (27 ± 1 дБ) створювався вночі та до сходу сонця; максимальний (36 ± 1 дБ) – вдень, після сходу сонця.

Подальші дослідження показали, що добове зростання інтенсивності ультразвуків, які генеруються рослинами, чітко корелює з добовим посиленням руху соків по рослині. Отримані Zweifel R. і Zeugin F. (2008) дані свідчать про те, що в природних умовах мають місце добові відмінності в інтенсивності ультразвуків, які генеруються рослинами, максимума яких припадають на світлий час доби. Цілком можливо, що природний добовий цикл ультразвукових вібрацій є одним з регуляторних сигналів, що впливають на інтенсивність добових процесів в коренях, які не мають доступу до видимого світла для встановлення часу доби. Ультразвукові вібрації від приладу «Яструб МТ.04», що передаються до чашок Петрі, спроможні слугувати регуляторними сигналами, які гальмують ріст коренів і епикотилів проростків ячменю в денний час доби.

Аналіз нормативних документів показав, що інтенсивність ультразвуків, які генеруються відлякувачем комах «Яструб МТ.04», перевищує безпечні гігієнічні нормативи для людини. Даний побутовий прилад в процесі своєї роботи безперервно генерує ультразвуки частотою 30-35 кГц, створюючи рівень звукового тиску в приміщенні

90-110 дБ. Згідно з Міждержавними санітарними правилами та нормами МСанПіН 001-96 "Санітарні норми допустимих рівнів фізичних факторів при застосуванні товарів народного споживання в побутових умовах" [22] рівень ультразвукового впливу від побутових приладів в діапазоні частот 31,5-100,0 кГц не повинен перевищувати 100 дБ.

Прилад «Яструб МТ.04» генерує ультразвуки, інтенсивність яких перевищує гігієнічно допустимі для людини нормативи. Можна припустити, що і для рослин такий рівень ультразвуку може мати пошкоджуючий, а не регуляторний ефект. Однак, для остаточної відповіді на питання, якою є природа інгібуючого (затримуючого) впливу ультразвуку від приладу «Яструб МТ.4» на ріст проростків ячменю, регуляторною або пошкоджуючою, необхідно подальше проведення мікроскопічних досліджень, які б дозволили виявити порушення поділу клітин, пошкодження хромосом, накопичення мертвих клітин тощо.

Незалежно від того, чи є ультразвуки від приладу «Яструб МТ.4» для проростків ячменю регуляторними або пошкоджуючими, отримані нами результати свідчать про те, що рівень ультразвуку, який генерується побутовим відлякувачем комах «Яструб МТ.04» на відстані 1 м від приладу, є біологічно активним та при тривалому впливі може становити потенційну небезпеку для здоров'я людини. Значну небезпеку становлять можливі відстрочені біологічні ефекти зазначеного впливу, які можуть бути не передбачуваними, оскільки ультразвук змінює програму роботи геному в клітинах рослинних організмів, тварин, та в клітинах людини.

Ультразвук здатний активувати процеси регенерації в культурі *in vitro*, що в першу чергу пов'язано з перепрограмуванням геному клітин. Ультразвукова обробка (47 кГц, 2 хв, 35 Вт) в п'ять разів стимулювала регенерацію пагонів у експлантів *Cucurbita pepo* L., у порівнянні з необробленим контролем [40]. Ультразвук (22 кГц, 1,2 – 14,9 Вт/см² в рідкому середовищі, акустичний тиск 160 – 170 дБ, 60 сек) сприяв

індукції калуса та подальшому морфогенезу. Регенерація пагонів прискорювалася в 2,5 – 3,5 разів при впливі на листові диски яблуні [67].

Було встановлено, що регуляторні ефекти ультразвуку передаються наступним поколінням рослин. Після впливу ультразвуком на насіння кукурудзи, у рослин у другому поколінні змінювався характер обміну речовин [86]. Weinberger P. і Das G. (1972) [87] було встановлено, що ультразвуки частотою 19 кГц на початку посилювали поділ клітин в синхронізованій культурі водорості *сценедесмус*; але, при більш тривалій експозиції – інгібували поділ клітин. При цьому феномен впливу ультразвуку на поділ клітин водоростей підтримувався в двох поколіннях перш ніж водорості відновили нормальну швидкість збільшення кількості клітин [87].

Таким чином, регуляторні ефекти ультразвуку спроможні проявлятися в наступних поколіннях, що свідчить про трансгенеративний вплив ультразвуку на генетичний апарат рослин. Ультразвук змінює програму розвитку не тільки рослинних клітин, а й клітин людини та тварин. На сьогодні ці ефекти інтенсивно вивчаються з позитивної точки зору можливості використання ультразвуку для перепрограмування стовбурових клітин і прискорення регенерації пошкоджених тканин (кісткової, хрящової, м'язової, нервової) [42; 61; 76; 88], для пригнічення роботи імунної системи з метою блокування запальних реакцій (при артритях) [89], для перепрограмування ракових пухлин в напрямку диференціації тощо [58].

Тривалий безконтрольний вплив техногенного ультразвуку, виходячи з його здатності змінювати програму роботи клітин, може мати несприятливі наслідки для здоров'я людини. Результати проведених нами досліджень показали, що використання ростового фітотесту є можливим для виявлення біологічного ефекту впливу ультразвуків випромінюваних побутовим відлякувачем комах «Яструб МТ.04», та може бути корисним для встановлення потенційної

небезпеки використання приладів подібного типу в житлових приміщеннях.

3.4 Рекомендації щодо зменшення рівня шумів різного частотного діапазону від побутових приладів

Заходи та засоби захисту від шуму поділяються на колективні та індивідуальні. Вони застосовуються лише тоді, коли заходами та засобами колективного захисту не вдається знизити рівні шуму на робочих місцях до допустимих значень. Призначенням засобів індивідуального захисту від шуму є перекрити найбільш чутливі канали проникнення звуку в організм – вуха.

Тим самим різко послаблюються рівні звуків, що діють на барабанну перетинку, а також коливання чутливих елементів внутрішнього вуха. Такі засоби дозволяють одночасно попередити розлад і всієї нервової системи від дії інтенсивного подразника, яким є шум. До засобів захисту від шуму належать навушники, протишумові вкладки, шумозаглушувальні шоломи. Вибір обумовлюється видом та характеристикою шуму на робочому місці, зручністю використання засобу при виконанні даної робочої операції та конкретними кліматичними умовами [27].

Засоби колективного захисту від шуму подібно до віброзахисту поділяють за такими напрямками: зменшення шуму в самому джерелі; зменшення шуму на шляху його поширення; організаційно-технічні заходи; лікувально-профілактичні заходи.

Зменшення шуму в самому джерелі – найбільш радикальний засіб боротьби з шумом, що створюється устаткуванням. Ефективність заходів щодо зниження шуму устаткування, що вже працює, досить невисока, тому необхідно прагнути до максимального зниження шуму в

джерелі ще на стадії проектування устаткування. Досягається за допомогою наступних заходів та засобів: удосконалення кінематичних схем та конструкцій устаткування; проведення статичного та динамічного зрівноважування і балансування; виготовлення деталей, що співударяються, та корпусних деталей з неметалевих матеріалів (пластмас, текстоліту, гуми); чергування металевих та неметалевих деталей; підвищення точності виготовлення деталей та якості складання вузлів і устаткування; зменшення зазорів у з'єднаннях шляхом зменшення припусків; застосування мащення деталей, що труться [35].

Організаційно-технічні засоби захисту від шуму передбачають застосування малошумних технологічних процесів та устаткування, оснащення шумного устаткування засобами дистанційного керування, дотримання правил технічної експлуатації, проведення планово-попереджувальних оглядів та ремонтів. До заходів лікувально-профілактичного характеру належать попередній та періодичні медогляди, використання раціональних режимів праці та відпочинку для працівників шумних ділянок та цехів, допуск до шумних робіт з 18 років тощо.

Для зменшення шкідливого впливу виробничого шуму на працівників, послаблення передавання його в сусідні приміщення, застосовують глушники шуму, звуко- і вібропоглинання. Звукоізоляція є ефективним засобом зменшення рівня шуму у напрямку його поширення, що реалізується шляхом встановлення звукоізоляційних перешкод (перегородок, кабін, кожухів, екранів). Принцип звукоізоляції базується на тому, що більша частина звукової енергії, яка потрапляє на перешкоду, відбивається і лише незначна її частина проходить крізь неї.

Для звукоізоляції окремих шумних ділянок у приміщенні чи устаткування застосовують легкі багатошарові звукоізоляційні перегородки з повітряними прошарками. Для звукоізоляції найбільш шумних вузлів та агрегатів (ланцюгові передачі, двигуни, компресори,

вентилятори) використовуються звукоізоляційні кожухи, які є засобами, що встановлюються в безпосередній близькості від джерела шуму. У тих випадках, коли неможливо ізолювати шумне устаткування чи його вузли, захист працівника від дії шуму здійснюють шляхом облаштування звукоізольованої кабіни з пультом керування та оглядовими вікнами [36].

Метод акустичного екранування застосовується в тих випадках, коли інші методи малоефективні або недоцільні з техніко-економічної точки зору. Акустичний екран встановлюється між джерелом шуму та робочим місцем і являє собою певну перешкоду на шляху поширення прямого шуму, за якою виникає так звана звукова тінь. Найбільш поширеними для виготовлення екранів є сталеві чи алюмінієві листи товщиною 1 – 3 мм, які покриваються з боку джерела шуму звукопоглинальним матеріалом

Рівень шуму у виробничому приміщенні залежить від прямого та відбитого звуку. Якщо в цеху неможливо знизити енергію прямого звуку, то необхідно зменшити енергію звукових хвиль, які відбиваються від внутрішніх поверхонь приміщення. Для цього проводять акустичне оброблення всіх або частини стін та стелі приміщень шумних виробництв за допомогою звукопоглинального облицювання та підвішують до стелі штучні звукопоглиначі. Процес поглинання звуку відбувається при переході коливної енергії частинок повітря в теплоту внаслідок втрат на тертя в порах звукопоглинального матеріалу. Для ефективного звукопоглинання матеріал повинен мати пористу структуру, щоб пори були відкриті з боку звукової хвилі та мали якнайбільше з'єднань між собою.

Штучні звукопоглиначі найдоцільніше розміщувати в зонах, де концентруються звукові хвилі, що відбиваються від внутрішніх поверхонь приміщення. Звукопоглиначі можуть мати різну форму (куля, куб, ромб, піраміда) і виготовляються з перфорованих листів твердого

картону, пластмаси чи металу, які зі середини покриті звукопоглинальним матеріалом.

Глушники шуму – це ефективний засіб боротьби з шумом аеродинамічного походження, який виникає при роботі вентиляційних систем, пневмо-інструменту, газотурбінних, дизельних, компресорних та деяких інших установок. За принципом дії глушники поділяють на активного, реактивного та комбінованого типу. У глушників активного типу зниження шуму відбувається внаслідок його затухання в порах звукопоглинального матеріалу [26].

У глушниках реактивного типу шум знижується шляхом відбивання звукових хвиль у системі розширювальних та резонансних камер, що з'єднані між собою за допомогою труб, щілин та отворів. У комбінованих глушниках відбувається як поглинання, так і відбивання шуму. Заходи щодо зниження шкідливого впливу шуму, інфразвуку та ультразвуку від побутових приладів мають бути направлені на обмеження джерела шуму, інфразвуку та ультразвуку, що передається через повітря, а також контактним шляхом. Згідно «Санітарних норм виробничого шуму, інфразвуку та ультразвуку» встановлені норми шуму та рекомендаційні діапазони шумів: для сну: 30 – 45 дБ; для розумової праці: 45 – 55 дБ; для роботи: 50 – 65 дБ.

З метою індивідуального захисту від інфразвуку та ультразвуку, що розповсюджується через повітря, використовують протишуми. Основу профілактики несприятливої дії ультразвуку на людей, що обслуговують ультразвукове устаткування, становить гігієнічне нормування. Ультразвук, що передається на руки контактним шляхом, нормується ДСН 3.3.6.037-99. Граничнодопустиме значення ультразвуку при контактній передачі за інтенсивністю відповідно до ДСН допускається в $0,1 \text{ Вт/см}^2$. До методів захисту від інфразвуків відносять підвищення швидкості машин, що забезпечує максимальне випромінювання у зоні відчутних частот, а також підвищення

жорсткості конструкції великих розмірів, звукоізоляція джерела та установку глушників реактивного типу, що відбивають енергію до джерела.

Нормованим параметром ультразвуку, що поширюється контактним шляхом, є пікове значення віброшвидкості. Максимальна величина ультразвуку в зоні контакту рук оператора протягом 8-годинного робочого дня за віброшвидкістю має не перевищувати $1,6 \cdot 10^2$ м/с або 110 дБ.

Основними нормативними актами, що регламентують безпеку під час роботи з ультразвуком, є санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99. Допустимі рівні ультразвукового тиску нормуються в 1/3 октавних смугах частот – у діапазоні (12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5...100,0). У зонах контакту рук та інших частин тіла людини з робочими органами рівні звукового тиску не повинні перевищувати 110 дБ [28].

Захист від дії ультразвуку, що передається через повітря, передбачає використання в обладнанні менш високих робочих частот, для яких допустимі рівні звукового тиску. Захист від дії ультразвуку, що передається контактним шляхом, – зводиться до ізолювання працівників від роботи з інструментом, рідиною та виробами які генерують ультразвук. Також методами досягнення захисту від дії ультразвуку є автоматизація та механізація виробничих процесів, дистанційне управління та система блокування, застосування інструментів з віброізолюючою рукояткою та застосування захисних рукавиць (бавовняних, покритих шаром гуми).

Зони з рівнями ультразвуку, що перевищують допустимі норми, повинні бути позначені попереджувачим знаком за ДСТУ 12.4.026-76 “Обережно! Інші небезпеки!”. Згідно із нормативним документом «Санітарні норми виробничого шуму», ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99 (із введенням в дію цих санітарних правил втратили силу

«Гігієнічні норми інфразвуку на робочих місцях» № 2274-80), рівні звукового тиску в октавних смугах із середньгеометричними частотами 2, 4, 8, 16 Гц не повинні перевищувати 105 дБ, а при частоті 32 Гц – 102 дБ [10].

ВИСНОВКИ

1. Пружні механічні хвилі навколишнього середовища – шуми, інфразвуки, ультразвуки і вібрації – створюються як в природних умовах, так і є результатом роботи виробничого і побутового обладнання, руху транспортних засобів, тощо. Хвилі означеного типу спроможні як позитивно, так і негативно впливати на живі організми в залежності від інтенсивності, частоти, тривалості впливу і видових особливостей організмів. Оскільки параметри пружних механічних хвиль, створених техногенними джерелами, відрізняються від природного фону, це може становити небезпеку для здоров'я людини. Зокрема, дія шумів, інфразвуків і ультразвуків низької інтенсивності супроводжується регуляторним впливом на роботу генетичного апарату клітин, що за умови тривалої неконтролюємої дії означених пружних механічних хвиль може мати непередбачувані наслідки для життєдіяльності організмів.

2. Потенційна небезпека впливу пружних механічних хвиль на організм людини потребує контролю інтенсивності технологічних і побутових шумів, інфразвуків, ультразвуків і вібрацій, який здійснюється за допомогою спеціальних приладів: шумомірів різного частотного діапазону і віброметрів. Нормативи означеного впливу визначаються шляхом біотестування з використанням модельних організмів різних видів, серед яких рослинні тест-системи відрізняються як високою чутливістю до дії пружних механічних хвиль навколишнього середовища, так і зручністю у використанні. На сьогоднішній день існує потреба в дослідженні шляхом біотестування впливу низько інтенсивних пружних механічних хвиль техногенного походження через небезпеку їх регуляторного, а не травматичного впливу на живі організми.

3. Проведені нами дослідження показали, що слабкий хронічний шум від побутового тепловентилятора достовірно гальмує ріст коренів

проростків ячменю. Була виявлена адитивна (сумарна) ріст-гальмуюча відповідь коренів та епикотилів на одночасну дію світла й акустичного сигналу, що свідчить про регуляторний, не травматичний вплив низько-інтенсивного хронічного шуму від тепловентилятора на розвиток модельних рослин.

Протестовані нами еквівалентні рівні звуку від побутового тепловентилятора (32 – 35 дБа) не перевищують нормативи для денного перебування людини в житловому приміщенні. Однак, отримані дані свідчать про наявність регуляторного впливу шумів даного рівня на проростки модельних рослин. Як правило, такий вплив вважається безпечним, але тривала дія регуляторних рівнів стресових факторів може мати відстрочені та мало передбачувані наслідки для функціонування живих організмів.

4. Проведені дослідження впливу ультразвуків частотою 30 – 35 кГц і інтенсивністю 90 – 110 дБ від побутового відлякувача комах «Яструб МТ.04» показали, що гальмування росту коренів та епикотилів проростків ячменя залежало від тривалості експозиції модельних рослин у присутності ультразвуків.

Згідно з Міждержавними санітарними правилами та нормами МСанПіН 001-96, інтенсивність ультразвуків, які генеруються відлякувачем комах «Яструб МТ.04», перевищує безпечні гігієнічні нормативи для людини (100 дБ). Таким чином, отримані дані свідчать про наявність негативного функціонального впливу на клітини рослин ультразвуку, інтенсивність якого перевищує діючі нормативи, що дозволяє використовувати означений ростовий фітотест для оцінки потенційної небезпеки побутових приладів означеного типу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексєєв С.В. Екологія людини : підручник / С.В. Алексєєв, Ю.П. Пивоваров, О.І. Янушанець. – М.: Ікар, 2002. – 769 с.
2. Асмінін В.Ф. Шумове забруднення навколишнього середовища та його соціально-економічні наслідки для суспільства на порозі ХХІ століття / В.Ф. Асмінін. – Воронеж, 2000. – 482 с.
3. Бережний С.А. Безпека життєдіяльності / С.А. Бережний, В.В. Романов, Ю.І. Сєдов – Твер, 1993. – 304 с.
4. Білявський Г.О. Основи загальної екології / Г.О. Білявський, М.М. Падун, Р.С. Фурдуй. – К.: Либідь, 2006. – 408 с.
5. Будико М.І. Глобальна екологія / М.І. Будико. – М.: Думка, 1977. – 327 с.
6. Величковский Б.Т. Здоров'я людини та навколишнє середовище / Б.Т. Величковский, В.І. Кирпичев, І.Т. Суравегина. – М.: Нова школа, 1997, – 177 с., с.69.
7. Войцицький А.П. Техноекологія : підручник / А.П. Войцицький, В.П. Дубровський, В.М. Боголюбов; за ред. В. М. Боголюбова. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 533 с.
8. Вронська В.А. Прикладна екологія: учбовий посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Ростов-на-Дону: Фенікс, 1996. – 512 с.
9. Грінченко В.Т. Основи акустики / В.Т. Грінченко, І.В. Вовк, В.Т. Маципура. – К.: Наукова думка, 2007. – 640 с.
10. Губернський Ю.Д. Гігієнічні основи нормування факторів середовища / Ю.Д. Губернський, С.А. Килина. – М.: Комунальна гігієна, 1986, – 608 с.
11. Державні санітарні норми допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови. Наказ МОЗ від 22.02.2019 № 463.

12. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навчальний посібник / В.С. Джигирей. – К.: Знання, 2006. – 319 с.
13. Дідковський В.С., Маркелов П.О. Шум і вібрація. / В.С. Дідковський –К.: Вища школа, 1995. – 263 с.
14. Дмитрієв Н.Т. Питання гігієни житла та лікувально-профілактичних установ. / Н.Т. Дмитрієв. – М., 1971. – 176 с.
15. ДСТУ 2325-93. Шум. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1993.
16. ДСТУ 2867-94. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. – К.: ДСТ України, 1994.
17. Дуднікова І.І. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник / І.І. Дуднікова. – К.: 2002. – 237 с.
18. Зотов Б.І. Безпека життєдіяльності / Б.І. Зотов, В.І. Курдюмов. – М.: Колос, 2004, – 432 с.
19. Ковригін К.Н. Вплив рівня шуму на продуктивність праці / К.Н. Ковригін, А.П. Міхеєв. – М.: Гігієна та санітарія, 1965. – 144 с.
20. Корсак К.В. Основи сучасної екології / К.В. Корсак, О.В. Плахотнік. – К.: МАУП, 2004. – 340 с.
21. Кучерявий В.П. Урбоекологія : підручник / В.П. Кучерявий. – Львів: Світ, 2002. – 439 с.
22. МСанПіН 001-96. Санітарні норми допустимих рівнів фізичних факторів при застосуванні товарів народного споживання у побуті.
23. Наказ МОЗ від 22.02.2019 р. №463 чинний з 16.04.2019 р. «Державні санітарні норми допустимого рівня шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови».
24. Остапішина О.О. Біодіагностика : посібник з екології / О.О. Остапішина, О. Г. Лановенко. – Херсон: 2013. – С. 19.

25. Остапішина О.О. Біодіагностика : посібник з екології / О.О. Остапішина, О. Г. Лановенко. – Херсон: 2013. – С. 27.
26. Пістун І.П. Безпека життєдіяльності / І.П. Пістун. – Суми: Університетська книга, 1999. – 301 с.
27. Руденко С.С. Загальна екологія. Практичний курс: навчальний посібник у 2ч. Частина 1. Урбоекосистеми / С.С. Руденко, С.С. Костишин, Т.В. Морозова. – Чернівці: Книги – XXI, 2008. – 342 с.
28. Салтовський О.І. Основи соціальної екології / О.І. Салтовський. – К.: МАУП, 1997. – 168 с.
29. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Держані санітарні норми (ДСН) 3.3.6.037-99. – К., 1999.
30. Санітарно-епідеміологічні вимоги щодо житлових будівель та приміщень. Санітарно-епідеміологічні правила та нормативи, САНПІН 2.1.2.1002-00. – К., 2000.
31. СанПін 3077-84 Санітарні норми допустимого шуму у приміщеннях житлових і громадських будівель та на території житлової забудови. – К., 1984.
32. Ситник К.М. Біосфера. Екологія. Охорона природи : довідковий посібник / К.М. Ситник, А.В. Брайтон, А.В. Городецький – К.: "Наукова думка", 1997. – 412 с.
33. Хижняк М.І. Здоров'я людини та екологія / М.І. Хижняк, А.М. Нагарна. – К.: Здоров'я, 1995. – 228 с.
34. Хмельов В.М. Застосування ультразвуку високої інтенсивності в промисловості / В.Н. Хмелев, А.Н. Слівін, Р.В. Барсуков, С.Н. Циганок, А.В. Шалунов. – Вид-во Алт. держ. техн. ун-ту, 2010. – 203 с.
35. Чорний К.А. Фізичні параметри і способи формування біопозитивного повітряного середовища. / К.А. Чорний. – СПб., 1999. – 356 с.

36. Яремко З.М. Безпека життєдіяльності: посібник / З.М. Яремко, І.Р. Муць, Я.В. Галаджун. – К.: 2005. – 317 с.
37. Ahmad M., Cashmore A.R. HY4 gene of *A. thaliana* encodes a protein with characteristics of a blue-light photoreceptor // *Nature*. – 1993. – Vol. 366(6451). – P. 162 – 166.
38. Aitkin LM, Nelson JE, Shepherd RK. Hearing, vocalization and the external ear of a marsupial, the northern Quoll, *Dasyurus hallucatus*. *J Comp Neurol*. 1994;349(3):377-88.
39. Alimohammadi I., Ahmadi Kanrash F., Abolghasemi J., Afrazandeh H., Rahmani K. Effect of Chronic Noise Exposure on Aggressive Behavior of Automotive Industry Workers // *Int. J. Occup. Environ. Med.* – 2018. – Vol. 9(4). - P. 170 - 175. doi: 10.15171/ijoem.2018.1375.
40. Ananthakrishnan G, Xia X, Amutha S, Singer S, Muruganantham M, Yablonsky S, Fischer E, Gaba V. Ultrasonic treatment stimulates multiple shoot regeneration and explant enlargement in recalcitrant squash cotyledon explants in vitro. *Plant Cell Rep*. 2007;26(3):267-76.
41. Basta G, Venneri L, Lazzerini G, Pasanisi E, Pianelli M, Vesentini N, Del Turco S, Kusmic C, Picano E. In vitro modulation of intracellular oxidative stress of endothelial cells by diagnostic cardiac ultrasound. *Cardiovasc Res*. 2003;58(1):156-61.
42. Bernal A, Perez LM, De Lucas B, Martin NS, Kadow-Romacker A, Plaza G, et al. Low-Intensity Pulsed Ultrasound Improves the Functional Properties of Cardiac Mesoangioblasts. *Stem Cell Rev Rep*. 2015;11(6):852-65. doi: 10.1007/s12015-015-9608-6.
43. Bochu W., Xin C., Zhen W., Qizhong F., Hao Z., Liang R. Biological effect of sound field stimulation on paddy rice seeds // *Colloid Surfaces B*. – 2003. – Vol. 32(1). – P. 29 – 34. doi:10.1016/S0927-7765(03)00128-0.
44. Bohn KM, Boughman JW, Wilkinson GS, Moss CF. Auditory sensitivity and frequency selectivity in greater spear-nosed bats suggest

- specializations for acoustic communication. *J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol.* 2004;190(3):185-92.
45. Cai W., He H., Zhu S., Wang N. Biological Effect of Audible Sound Control on Mung Bean (*Vigna radiate*) Sprout // *BioMed Research International.* – 2014. Article ID 931740, 6 pages.
46. Chen YP, Liu Q, Yue XZ, Meng ZW, Liang J. Ultrasonic vibration seeds showed improved resistance to cadmium and lead in wheat seedling. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2013;20(7): 4807-16. doi: 10.1007/s11356-012-1411-1.
47. Currier HB, Webster DH. Callose formation and subsequent disappearance: studies in ultrasound stimulation. *Plant Physiol.* 1964;39:843–7.
48. Feng AS, Narins PM, Xu CH, Lin WY, Yu ZL, Qiu Q, et al. Ultrasonic communication in frogs. *Nature.* 2006;440(7082):333-6.
49. Furusawa Y, Iizumi T, Fujiwara Y, Hassan MA, Tabuchi Y, Nomura T, et al. Ultrasound activates ataxia telangiectasia mutated- and rad3-related (ATR)-checkpoint kinase 1 (Chk1) pathway in human leukemia Jurkat cells. *Ultrason Sonochem.* 2012;19(6):1246-51. doi: 10.1016/j.ultsonch.2012.04.003.
50. Gregory WD, Miller MW, Carstensen EL, Cataldo FL, Reddy MM. Non-thermal effects of 2 MHz ultrasound on the growth and cytology of *Vicia faba* roots. *Br J Radiol.* 1974;47(554):122-9.
51. Hameroff S, Trakas M, Duffield C, Annabi E, Gerace MB, Boyle P, et al. Transcranial ultrasound (TUS) effects on mental states: a pilot study. *Brain Stimul.* 2013;6(3):409-15. doi: 10.1016/j.brs.2012.05.002.
52. Hasan MM, Bashir T, Bae H. Use of Ultrasonication Technology for the Increased Production of Plant Secondary Metabolites. *Molecules.* 2017;22(7):pii:E1046. doi: 10.3390/molecules22071046.

53. Hauser J, Hauser M, Muhr G, Esenwein S. Ultrasound-induced modifications of cytoskeletal components in osteoblast-like SAOS-2 cells. *J Orthop Res.* 2009;27(3):286-94. doi: 10.1002/jor.20741.
54. Hering ER, Shepstone BJ. Observations on the combined effect of ultrasound and x-rays on the growth of the roots of *Zea mays*. *Phys Med Biol.* 1976;21(2):263-71.
55. Khait I, Sharon R, Perelman R, Boonman A, Yovel Y, Hadany L. The sounds of plants - Plants emit remotely detectable ultrasounds that can reveal plant stress. Dec. 28, 2018; doi: <http://dx.doi.org/10.1101/507590>.
56. Kratovalieva S, Srbinoska M, Popsimonova G, Selamovska A, Meglic V, Anelkovic V. Ultrasound influence on coleoptile length at Poaceae seedlings as valuable criteria in prebreeding and breeding processes. *Genetika.* 2012;44(3):561–70.
57. Laschimke R, Burger M, Vallen H. Acoustic emission analysis and experiments with physical model systems reveal a peculiar nature of the xylem tension. *J Plant Physiol.* 2006;163:996–1007.
58. Lee IC, Fadera S, Liu HL. Strategy of differentiation therapy: effect of dual-frequency ultrasound on the induction of liver cancer stem-like cells on a HA-based multilayer film system. *J Mater Chem B.* 2019;7(35):5401-11. doi: 10.1039/c9tb01120j.
59. Li W., Su D., Zhai Q., Chi H., She X., Gao X., Wang K., Yang H., Wang R., Cui B. Proteomes analysis reveals the involvement of autophagy in AD-like neuropathology induced by noise exposure and ApoE4 // *Environ. Res.* – 2019. – Vol. 176:108537. doi: 10.1016/j.envres.2019.108537.
60. Liu Y, Yang H, Sakanishi A. Ultrasound: mechanical gene transfer into plant cells by sonoporation. *Biotechnol Adv.* 2006;24(1):1-16.
61. Lu H, Qin L, Lee K, Cheung W, Chan K, Leung K. Identification of genes responsive to low-intensity pulsed ultrasound stimulations.

- Biochem Biophys Res Commun. 2009;378(3):569-73. doi: 10.1016/j.bbrc.2008.11.074.
62. Madakkannu B., Ravichandran R. In vivo immunoprotective role of *Indigofera tinctoria* and *Scoparia dulcis* aqueous extracts against chronic noise stress induced immune abnormalities in Wistar albino rats // *Toxicol. Rep.* – 2017. – Vol. 4. – P. 484 - 493. doi: 10.1016/j.toxrep.2017.09.001.
 63. Miller MW, Ciaravino V, Allen D, Jensen S. Effect of 2 MHz Ultrasound on DNA, RNA and Protein Synthesis in *Pisum Sativum* Root Meristem Cells. *Internat J Radiation Biol Related Studies Physics, Chemistry & Medicine.* 1976a;30(3):217–22.
 64. Miller MW, Kaufman GE. Effects of short-duration exposures to 2MHz ultrasound on growth and mitotic index of *Pisum sativum* roots. *Ultrasound in Medicine & Biology.* 1977;3(1):27–9.
 65. Miller MW, Voorhees SM, Carstensen EL, Kaufman GE. The Effect of 2 MHz Ultrasound Irradiation on *Pisum sativum* Roots. *Radiation Research.* 1976b;65(3):451-7.
 66. Morakinyo A.O., Samuel T.A., Awobajo F.O., Adekunbi D.A., Olatunji I.O., Binibor F.U., Oni A.F. Adverse effects of noise stress on glucose homeostasis and insulin resistance in Sprague-Dawley rats // *Heliyon.* – 2019. – Vol. 5(12):e03004. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e03004.
 67. Muratova SA, Papikhin RV. The Effect of Ultrasound Irradiation on Induction of Callus Formation and Morphogenesis from the Leaf Discs of Apple Clonal Rootstocks. *J Pharm Sci & Res.* 2018;10(10):2592–6.
 68. Nakano R, Takanashi T, Fujii T, Skals N, Surlykke A, Ishikawa Y. Moths are not silent, but whisper ultrasonic courtship songs. *J Exp Biol.* 2009;212(Pt 24):4072-8. doi: 10.1242/jeb.032466.
 69. Noriega S, Hasanova G, Subramanian A. The effect of ultrasound stimulation on the cytoskeletal organization of chondrocytes seeded in

- three-dimensional matrices. *Cells Tissues Organs*. 2013;197(1):14-26. doi: 10.1159/000339772.
70. Palumbo P, Cinque B, Miconi G, La Torre C, Zoccali G, Vrentzos N, et al. Biological effects of low frequency high intensity ultrasound application on ex vivo human adipose tissue. *Int J Immunopathol Pharmacol*. 2011;24(2):411-22.
 71. Pena J, Grace J. Water relations and ultrasound emissions of *Pinus sylvestris* L. before, during and after a period of water stress. *New Phytologist*. 1986;103(3):515–24.
 72. Perelman ME, Rubinstein GM. Ultrasound vibrations of plant cells membranes: water lift in trees, electrical phenomena. 2006; <http://arxiv.org/abs/physics/0611133>.
 73. Perks MP, Irvine J, Grace J. Xylem acoustic signals from mature *Pinus sylvestris* during an extended drought. *Annals of Forest Science*. 2004;61(1):1–8. doi:10.1051/forest:2003079.
 74. Qin YC, Lee WC, Choi YC, Kim TW. Biochemical and physiological changes in plants as a result of different sonic exposures. *Ultrasonics*. 2003;41(5):407-11.
 75. Ramsier MA, Cunningham AJ, Moritz GL, Finneran JJ, Williams CV, Ong PS, Gursky-Doyen SL, Dominy NJ. Primate communication in the pure ultrasound. *Biol Lett*. 2012;8(4):508-11. doi:10.1098/rsbl.2011.1149.
 76. Sahu N, Budhiraja G, Subramanian A. Preconditioning of mesenchymal stromal cells with low-intensity ultrasound: influence on chondrogenesis and directed SOX9 signaling pathways. *Stem Cell Res Ther*. 2020;11(1):6. doi:10.1186/s13287-019-1532-2.
 77. Saliev T, Begimbetova D, Baiskhanova D, Abetov D, Kairov U, Gilman CP, et al. Apoptotic and genotoxic effects of low-intensity ultrasound on healthy and leukemic human peripheral mononuclear

- blood cells. *J Med Ultrason*. 2018;45(1):31-9. doi:10.1007/s10396-017-0805-6.
78. Seffer D, Schwarting RK, Wöhr M. Pro-social ultrasonic communication in rats: insights from playback studies. *J Neurosci Methods*. 2014;234:73-81. doi: 10.1016/j.jneumeth.2014.01.023.
 79. Song L, Wang X, Zhang W, Ye L, Feng X. Low-intensity ultrasound promotes the horizontal transfer of resistance genes mediated by plasmids in *E. coli*. *3 Biotech*. 2018;8(5):224. doi: 10.1007/s13205-018-1247-6.
 80. Sun CX, Ma YJ, Wang JW. Enhanced production of hypocrellin A by ultrasound stimulation in submerged cultures of *Shiraia bambusicola*. *Ultrason Sonochem*. 2017;38:214-24. doi: 10.1016/j.ultsonch.2017.03.020.
 81. Udriou I, Marinaccio J, Bedini A, Giliberti C, Palomba R, Sgura A. Genomic damage induced by 1-MHz ultrasound in vitro. *Environ Mol Mutagen*. 2018;59(1):60-8. doi: 10.1002/em.22124.
 82. Wang B, Shao J, Li B, Lian J, Duan C. Soundwave stimulation triggers the content change of the endogenous hormone of the *Chrysanthemum* mature callus. *Coll Surf B Biointerfaces*. 2004;37:107–12.
 83. Wang X, Liu Q, Wang Z, Wang P, Hao Q, Li C. Bioeffects of low-energy continuous ultrasound on isolated sarcoma 180 cells. *Chemotherapy*. 2009;55(4):253-61. doi: 10.1159/000220246.
 84. Wang Y., Hirose K., Liberman M.C. Dynamics of noise-induced cellular injury and repair in the mouse cochlea // *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* – 2002. – Vol. 3(3). – P. 248 - 268.
 85. Wei M, Yang C-Y, Wei S-H. Enhancement of the differentiation of protocorm-like bodies of *Dendrobium officinale* to shoots by ultrasound treatment. *J Plant Physiol*. 2012;169(8): 770–4.],

86. Weinberger P, Anderson P, Donovan LS. Change in production, yield, and chemical composition of corn (*Zea mays*) after ultrasound treatment of seeds. *Rad Environ Biophys*. 1979; 16:81–8.
87. Weinberger P, Das G. The effect of an audible and low ultrasound frequency on the growth of synchronized cultures of *Scenedesmus obtusiusculus*. *Can J Bot*. 1972;50:361–6.
88. Xia B, Zou Y, Xu Z, Lv Y. Gene expression profiling analysis of the effects of low-intensity pulsed ultrasound on induced pluripotent stem cell-derived neural crest stem cells. *Biotechnol Appl Biochem*. 2017;64(6):927-37. doi:10.1002/bab.1554.
89. Yang Q, Nanayakkara GK, Drummer C, Sun Y, Johnson C, Cueto R, et al. Low-Intensity Ultrasound-Induced Anti-inflammatory Effects Are Mediated by Several New Mechanisms Including Gene Induction, Immunosuppressor Cell Promotion, and Enhancement of Exosome Biogenesis and Docking. *Front Physiol*. 2017;8:818. doi:10.3389/fphys.2017.00818.
90. Yang X.C., Wang B.C., Ye M. Effects of different sound intensities on root development of *Actinidia chinensis* plantlet // *Chin. J. Appl. Environ. Biol.* – 2004. – Vol.10(3). – P. 274 – 276.
91. Zhang YY, Wu KL, Zhang JX, Deng RF, Duan J, Teixeira da Silva JA, et al. Embryo development in association with asymbiotic seed germination in vitro of *Paphiopedilum armeniacum* S. C. Chen et F. Y. Liu. *Sci Rep*. 2015;5:16356. doi: 10.1038/srep16356.
92. Zheng X., Wu S., Zhai H., Zhou P., Song M., Su L., Xi Y., Li Z., Cai Y., Meng F., Yang L., Wang H., Yang J. *Arabidopsis* phytochrome B promotes SPA1 nuclear accumulation to repress photomorphogenesis under far-red light // *Plant Cell*. – 2013. – Vol. 25(1). – P. 15 - 133. doi: 10.1105/tpc.112.107086.

**Портативний цифровий вимірювач рівня шуму
«Шумомір GM1351»**



Тепловентилятор
«Ufesa» Ambient Master Turbo 2500W



Ультразвуковий відлякувач тарганів «Яструб МТ.04»

makros.in.ua