

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Херсонський державний університет
Факультет біології, географії і екології
Кафедра екології і географії

**«Дослідження біологічного ефекту випромінювання від побутових
енергозберігаючих LED-ламп з використанням рослинних тест-
системи»**

Кваліфікаційна робота (проєкт)

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Виконала: студентка 4 курсу 415-з групи
Спеціальності 101 Екологія
Освітньо-професійної програми «Екологія»
Демакіна Н.Р.

Керівник: к.б.н., доцент Кундельчук О.П.
Рецензент: д.пед.н., професор Сидорович М.М.

Херсон – 2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. Типи побутових освітлюючих ламп і їх вплив на людину.....	5
1.1. Лампи розжарювання	5
1.2. Енергозберігаючі CLF лампи першого покоління.....	7
1.3. Енергозберігаючі LED лампи другого покоління.....	9
РОЗДІЛ 2. Методи виявлення впливу побутових енерго- зберігаючих освітлюючих приладів на живі організми.....	12
2.1. Використання спеціальних приладів і обладнання для виявлення впливу енергозберігаючих ламп на живі організми.....	14
2.2. Діючі гігієнічні нормативи використання побутових енергозберігаючих ламп.....	17
2.3. Можливості використання методів біотестування для оцінки впливу побутових енергозберігаючих ламп на живі організми.....	19
РОЗДІЛ 3. Дослідження біологічної дії енергозберігаючих ламп другого покоління з використанням методів фітотестування.....	21
3.1. Матеріали і методи дослідження.....	21
3.2. Результати дослідження та їх обговорення	23
ВИСНОВКИ.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31
ДОДАТКИ.....	36
Додаток А.....	37

ВСТУП

Актуальність теми. Вже давно в усьому світі використовуються енергозберігаючі лампи, які дозволяють заощаджувати значну кількість енергетичних ресурсів. Останнім часом все більшої популярності набувають енергозберігаючі лампи нового покоління – т.зв. світлодіодні LED лампи [41]. Їх безперечною перевагою є висока економність, а також те, що вони не призводять до ртутного забруднення навколишнього середовища і випромінюють набагато менше шкідливих ультрафіолетових променів порівняно з енергозберігаючими лампами першого покоління - т.зв. CLF лампами [15, 21].

Проте, незважаючи на свої численні переваги, світлодіодні LED лампи мають також і свої недоліки. Занепокоєння фахівців викликає той факт, що енергозберігаючі світлодіодні LED лампи, порівняно з лампами розжарювання, мають інші спектральні характеристики [22, 24, 29, 38], що може призводити до порушення біоритмів і обміну речовин у людини [19, 27, 33, 47].

Зокрема, в спектрі випромінювання світлодіодних LED ламп було виявлено надлишок блакитних променів, які у людини спроможні викликати гальмування синтезу мелатоніну [32, 34-35]. Експериментальним шляхом було з'ясовано, що рівні блакитного випромінювання від світлодіодних LED ламп не перевищують встановлених в світі норм [16, 25, 29, 39]. Однак, проведені дослідження свідчать про те, що прийняті в світі нормативи не відображають реальної небезпеки. До того ж в продаж надходить велика кількість неякісної продукції, яка часто виготовляється без дотримання прийнятих в світі вимог.

Фізичні прилади, які використовуються для реєстрації спектрів випромінювання від освітлювальних ламп, коштують дорого і є не доступними для пересічних споживачів. Тому, у зв'язку з вище викладеним,

актуальною є розробка простої у використанні методики, яка би дозволяла виявляти надлишкову кількість регуляторного блакитного випромінювання від побутових енергозберігаючих ламп.

Слід відзначити, що надлишок блакитного випромінювання від світлодіодних LED ламп спроможний негативно впливати не лише на людину, але й на рослини, гальмуючи їх ріст і процеси фотосинтезу [30, 43-44]. Це дозволяє запропонувати використовувати рослини як модельний тест-об'єкт для виявлення присутності надлишкового випромінювання блакитної частини спектру від світлодіодних LED ламп порівняно з лампами інших типів.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи була розробка простої у використанні тест-системи для виявлення надлишку шкідливого блакитного і ультрафіолетового випромінювання від побутових енергозберігаючих ламп за допомогою методу фітотестування.

У зв'язку з вище викладеним до **завдань дослідження** входило:

1. Встановити біологічну дію ламп розжарювання і енергозберігаючих ламп.
2. Проаналізувати існуючі методи виявлення шкідливого випромінювання від енергозберігаючих ламп.
3. Розробити просту тест-систему для виявлення шкідливого випромінювання від енергозберігаючих ламп.

Об'єкт дослідження – екологічна безпека випромінювання від побутових енергозберігаючих ламп.

Предмет дослідження – використання методів фітотестування для оцінки екологічної безпеки випромінювання від побутових енергозберігаючих ламп.

Структура роботи. Робота складається з 3 розділів, викладена на 5,21__ сторінках, містить 41__ посилань на використані літературні джерела.

РОЗДІЛ 1

ТИПИ ПОБУТОВИХ ОСВІТЛЮЮЧИХ ЛАМП І ЇХ ВПЛИВ НА ЛЮДИНУ

1.1. Лампи розжарювання

У 1802 р. російський учений В.В. Петров запалив перше електричне джерело світла - електричну дугу з "величезною щонайпаче батареєю" з 2100 мідно-цинкових елементів, названу на честь одного з творців електрики Вольти, "вольтової". Петров В.В. взяв два вугільних стержня. Один з'єднав дротом з плюсом гальванічної батареї, а інший з мінусом. Коли він зблизив кінці стержнів, струм перестрибнув через повітряний проміжок з однієї на іншу. Кінці стержнів при цьому розжарилися і між ними з'явилася вогняна дуга. Але вугільні стержні згорали швидко і нерівномірно. Та й дугову лампу не поставиш на стіл - занадто жарко і яскраво.

У 1872 році російський винахідник Олександр Миколайович Лодигін подав заявку, а потім отримав патент № 1619, від 11 липня 1874 на пристрій - лампу розжарювання і спосіб дешевого електричного освітлення. Це винахід він запатентував також в Австрії, Великобританії, Франції, Бельгії. У лампі Лодигина О.М. тілом розжарення служив тонкий стерженець з ретортного вугілля, поміщений під скляний ковпак. У серпні 1873 р. Лодигін О.М. продемонстрував зразки винайденої ним електричної лампи розжарювання у фізичній аудиторії Петербурзького технологічного інституту, а в 1874 р. -

Петербурзька Академія Наук присудила йому Ломоносовську премію. У 1875 р. новими вдосконаленими лампочками Лодигина О.М. був освітлений магазин Флорана на Великій Морській вулиці в Петербурзі. Це був перший у світі магазин з електричним освітленням. Перша в Росії установка зовнішнього електричного освітлення дуговими лампами була введена в роботу 10 травня 1880 року на Ливарному мосту в Петербурзі. 10 вересня 1880 р. Московська міська дума вирішила влаштувати "електричне освітлення в місцевості навколо храму Христа Спасителя". Лампи були малопотужними, світили тьмяно, але все одно успіх на їх долю випав величезний. Нові лампочки Лодигіна були довговічнішими, ніж колишні: вони служили цілих два місяці. Але їх недоліком була велика складність пристрою. У кожній лампочці були чотири вуглики. Коли перегорає один вуглик, на його місце заступав інший.

А в 1854 р., тобто за 25 років до Едісона власник годинникового магазину в Нью-Йорку, німецький емігрант Генріх Гебель представив у Нью-Йорку перші, які підходили для практичного застосування, лампи розжарювання з вугільними нитками з терміном горіння близько 200 годин. В якості нитки розжарювання він застосував обвуглену бамбукову нитку товщиною 0,2 мм, вміщену в вакуум. Замість колби Гебель Г. з міркувань економії використовував спочатку флакони від одеколону, а пізніше - скляні трубки. Вакуум у скляній колбі він створював шляхом заповнення та виливання ртуті, тобто за допомогою методу, що застосовувався при будівництві барометрів. Створені лампи розжарювання Гебель Г. використовував для освітлення свого годинникового магазину.

До середини XX століття лампи розжарювання залишалися єдиним джерелом світла. Але моральне старіння вже звичних речей - явище настільки ж давнє, як саме життя. У процесі роботи вольфрамова

нитка лампи розжарювання частково випаровується, перетин нитки стає меншим, при тривалому горінні колба чорніє, і, нарешті, нитка перегорає. Середня тривалість горіння лампи розжарювання становить 1000 годин. Лампи розжарювання чутливі навіть до відносно невеликих підвищень напруги. Так, при підвищенні напруги всього на 6% - термін служби лампи розжарювання знижується вдвічі. Світлова віддача їх складає 10-15 лм/Вт. Переваги ламп розжарювання: при включенні вони запалюються практично миттєво; мають незначні розміри; вартість їх невисока.

Основні недоліки ламп розжарювання: лампи мають сліпучу яскравість, що негативно відбивається на зорі людини, тому вимагають застосування відповідної арматури, яка обмежує освітлення; володіють незначним терміном служби (близько 1000 годин); термін служби ламп істотно знижується при підвищенні напруги електромережі.

Принцип дії ламп розжарювання заснований на перетворенні електричної енергії, що проходить через нитку, в світлову. Температура розігрітої нитки досягає $+2600 \dots +3000$ °C. Але нитка лампи не плавиться, тому що температура плавлення вольфраму (3200-3400 °C) перевищує температуру розжарення нитки. Спектр ламп розжарювання відрізняється від спектру денного світла переважанням жовтого та червоного спектру променів.

Колби ламп розжарювання вакуують або заповнюють інертним газом, у середовищі якого вольфрамова нитка розжарення не окислюється: азотом; аргоном; кріптоном; сумішшю азоту, аргону, ксенону.

З'явившись 150 років тому, лампа розжарювання пройшла свій шлях від перших зразків з платиновою спіраллю до сучасних моделей з вольфрамовою ниткою. Люди навчилися видаляти повітря з колби, тим самим змушуючи нитку розжарювання горіти у вакуумі. Це істотно

продовжило термін життя ламп і дозволило виробляти їх в промислових масштабах, тому що скло і вольфрам більше не були дорогими матеріалами.

1.2. Енергозберігаючі CLF лампи першого покоління.

Люмінесцентна лампа - газорозрядний джерело світла який потрапляє в світловий потік визначається в основному з світитися люмінофор і при дії ультрафіолетового випромінювання розряду: розрядка не перевищує декількох відсотків видимого перерізу. Люмінесцентні лампи в теперішньому часі застосовується для загального освітлення, так як там можна бачити що світлова віддача кілька разів більше, ніж у лампи розжарювання ж їх призначення. Якщо порівнювати люмінесценції лампи і лампи розжарювання лампа люмінесцентна може 20 разів перевищувати термін служби, при цьому забезпечує досить хороша якість електроживлення точки. В даний час найбільш поширене різновидом є люмінесцентна ртутна лампа. Вона у вигляді скляної трубки, заповненої парами ртуті з нанесені на внутрішню поверхню шаром люмінофору. Генріх Гайсслер став першим предком лампи денного світла який в 1956 році вдалося при цьому отримати синє світіння від заповненої газом трубки, яка була вилучена з допомогою соленоїду. В 1893 році на Всесвітній виставці в Чикаго, штат Іллінойс, Томас Едісон показав люмінесцентне світіння. У 1894 році М. Ф. Моор створив лампу, у цій лампи використовувався азот і вуглекислий газ, що наочно показало вивчення рожевого білого світла. Це лампа справила помірні успіх. В 1901 році, Пітер Купер Хьюїтт продемонстрував ртутну лампу, яка випромінювала світло синя зеленого кольору, це лампа не мала успіх тому що вона була не придатна для практичних цілей. Однак це було дуже близько до сучасного дизайну, і звичайно ж більш високу ефективність, ніж лампи Гайсслера і Едісона. У 1926 році Едмунду Джермер разом з його співробітниками запропонували збільшити операційну тиск в межах колби і покрити колбі флуоресцентним

порошком, який утворює ультрафіолетове світло і випромінює більш однорідна білий колір. Е. Джермер, на сьогоднішній день він визнаний як винахідник лампи денного світла. General Electric пізніше купив патент Джермера, для того щоб довести лампи денного світла до Широкого комерційного використання в 1938 році. А при роботі люмінесцентні лампи перебувала знаходяться між двома електродами протилежних кінцях лампи виникає електричний розряд. Після цього лампа заповнена парами ртуті і струмом, який проходить, призводить до прояву ультрафіолетового випромінювання. При цьому вивчення яке відбувається невидимо для людського ока, тому його перетворює у видиме світло за допомогою явища люмінесценції. Внутрішні стінки лампи вкриті спеціальною речовиною - люмінофором, який поглинає УФ випромінювання і випромінює видиме світло. Змінюючи склад люмінофора - можна міняти відтінок світіння лампи.

Люмінесцентні лампи - найбільш поширене і економічне джерело світла для створення розсіяного освітлення в приміщеннях громадських будівель: офісах, школах, навчальних і проектних інститутах, лікарнях, магазинах, банках, підприємствах. З появою сучасних компактних люмінесцентних ламп, призначених для установки в звичайні патрони E27 або E14 замість ламп розжарювання, вони стали завойовувати популярність і в побуті. Застосування електронних пускорегулювальних пристроїв замість традиційних електромагнітних дозволяє ще більше поліпшити характеристики люмінесцентних ламп - позбутися від мерехтіння і гулу, збільшити економічність і підвищити компактність.

Недоліки люмінесцентних ламп. Серйозним негативним фактором освітлення з використанням люмінесцентних ламп є їх мерехтіння, що обумовлюється змінним струмом в мережі. Такі лампи можуть голосно шуміти і обдавати випромінюванням. Але, в порівнянні з економією електроенергії, яку отримали власники компаній та підприємств, такі

негативні наслідки впливу на здоров'я персоналу та падіння його працездатності не сильно їх турбували, адже вони отримали велику економію грошей завдяки переходу від ламп розжарювання на газорозрядні лампи [1].

Енергозберігаючі лампи першого покоління містили ртуть, яка є дуже небезпечною для здоров'я людей. На початку грудня 2010 р. Німецьке Федеральне відомство з охорони навколишнього середовища поширило інформацію про шкоду здоров'ю людини, яку може завдати ртуть, що міститься усередині енергозберігаючих ламп. Відомство представило дані актуального дослідження, згідно з яким, якщо енергозберігаючу лампу з необережності розбити, концентрація ртуті в приміщенні в 20 разів перевищить допустимі 0,35 мікрограма на кубометр повітря.

У люмінесцентній лампі ртуть знаходиться в настільки дрібнодисперсному стані, що площа плями контакту мікрокульок ртуті з повітрям становитиме близько п'яти тисяч квадратних сантиметрів. Причому в повітрі ці пари не розчиняються, а «зависають» надовго. В організмі пари ртуті накопичуються і негативно впливають на роботу центральної нервової системи, нирок і інших органів. Особливо небезпечним є отруєння ртуттю для дітей.

Всесвітня організація охорони здоров'я відносить ртуть, що відрізняється різноманітним спектром негативного впливу на живі організми, до найпоширеніших і небезпечних токсикантів для навколишнього середовища. В даний час встановлено, що поряд із загальною токсичною дією (отруєнням), ртуть та її сполуки викликають гонадотоксичний (вплив на статеві залози), ембріотоксичний (вплив на зародки), тератогенний (вади розвитку) і мутагенний (виникнення спадкових змін) ефекти.

Енергозберігаючі ртутьмістні лампи становлять особливу небезпеку з позицій локального забруднення середовища проживання токсичною ртуттю. Ртутьмістні відходи належать до 1 класу небезпеки, тобто це надзвичайно

небезпечні відходи, що становлять загрозу стійкого забруднення навколишнього середовища і нанесення шкоди здоров'ю людини. Ртутьвмістні відходи 1 класу небезпеки підлягають знешкодженню на спеціалізованих об'єктах з демеркуризації ртутьвмісних відходів.

Світло в лампі денного світла з'являється за рахунок ультрафіолетового випромінювання, яке проходячи через стінки лампи, покриті спеціальним складом, переходить у видиме спектр випромінювання (видимий спектр світла). Але на жаль перехід здійснюється не повністю.

Фахівці провели дослідження, яке показало, що світло енергозберігаючих ламп може стати причиною мігрені і навіть нападів епілепсії. А ось у людей, у яких дуже чутлива шкіра, через такі лампочки можуть з'явитися висип, екземи, псоріаз і набряки на шкірі. Також такі освітлювальні прилади шкідливі для шкіри немовлят.

Електромагнітне випромінювання оптичного діапазону енергозберігаючих ламп включає інфрачервону, видиму та ультрафіолетову ділянки спектру. Джерелом світла енергозберігаючих компактних люмінесцентних ламп є ультрафіолетове випромінювання, яке утворюється внаслідок газового розряду парів ртуті та викликає світіння люмінофору. Такі лампи у 2,5-4 рази є ефективнішими за лампи розжарювання, проте вони містять пари ртуті, а термін їх роботи становить від 10 до 15 тисяч годин [2].

Дослідження технічних характеристик люмінесцентних компактних ламп, які продаються в торгівельних мережах, показали, що їх експлуатація супроводжується генерацією не тільки видимого випромінювання, а й ультрафіолетового в зонах UVA 400 – 315 нм, UVB 315 – 280 нм і високочастотного радіохвильового випромінювання 3-30 МГц 100-10 м, яке реєструється на відстані до 60 см. З огляду на ці дані перед розміщення таких люмінесцентних компактних ламп на робочих місцях потрібно перевірити інтенсивність їх випромінювання і спектральний склад. Вченими доведено, що при дії світла люмінесцентних компактних ламп з різною кольоровою

температурою (2400, 4000 та 6400 K) в організмі людини порушується продукція мелатоніну (гормон епіфізу, який відповідає за добові ритми організму та руйнується під дією світла, якщо в його спектрі є хвилі діапазону 430-470 нм), що призводить до розладів сну і добових ритмів функціонування щитовидної та статевих залоз, серцево-судинної та центральної нервової систем. Проведені дослідження на волонтерах показали, що найбільш шкідливі реакції організму людини спостерігалися при інтенсивності випромінювання $3,0 \text{ Вт/м}^2$, рівня освітленості 1200 лк за кольорової температури 6400 K.

1.3. Енергозберігаючі LED лампи другого покоління.

LED або світлодіод - це прилад напівпровідниковий, який перетворює електричну напругу у світло. Від хімічного складу напівпровідника залежить спектральний діапазон випромінюваного світла. Використання світлодіодної (т.зв. Light Emitting Diode, LED) технології в освітленні промислових приміщень відносно нове явище, оскільки висока інтенсивність роботи пристрою стала доступною тільки в останні роки.

Переваги світлодіодних LED ламп: низьке енергоспоживання в порівнянні зі звичайним освітленням (такій лампі потрібно 10 Вт, щоб освітлити приміщення рівносильно лампі розжарювання в 100 Вт); відсутність в спектрі ультрафіолетового випромінювання, яке може призвести до пошкодження тканин очей; тривалий термін служби лампи (більшість виробників світлодіодів оцінює їх роботу в 40000-50000 годин - якщо щодня користуватися лампою по 5 годин, то термін служби вичерпається більш ніж через 10 років; екологічна безпечність в порівнянні з енергозберігаючими лампами, в яких містяться пари ртуті; маленька вага, ударостійкість; миттєве розігрівання.

Технічні параметри світлодіодних ламп. Потужність, яка вимірюється у Ватах (Вт або W): чим вище потужність, тим яскравіше горітиме лампа, але при цьому буде більше витрата електроенергії.

Світловий потік, який вимірюється в люменах (лм або Lm). Це - найбільш важливий показник лампи: саме він означає, наскільки світло буде у приміщенні, тобто скільки світла "підє" від лампи назовні: чим вище значення світлового потоку - тим світліше буде в приміщенні.

Світлова температура: вимірюється в кельвінах (K). Показник кольоровості лампи, тобто того відтінку який ми бачимо: «як звичайна лампа" (приблизно 2700-3300 K), ще можуть називати теплим кольором; денний (4000-4200 K), ще називають природним кольором; холодний (більше 5000 K).

Світлова віддача – це комплекс показників, які можна назвати коефіцієнтом корисної дії (ККД), зокрема співвідношення світлового потоку до потужності. Відображається в лм/Вт. Чим вище значення світлової віддачі, тим економічніше працює лампочка. Теоретично досяжна максимальна величина при повному перетворенні енергії у видиме світло, для білого світла становить 199 лм/Вт. Звичайна лампа розжарювання має низьку світлову віддачу - трохи більше 10 лм/Вт, що і є її основним недоліком.

Яскравість вимірюється в канделах (кд або cd). Зазвичай на домашніх лампочках не зустрічається, оскільки означає саме яскравість, тобто лампа може бути яскравою крапкою, а освітленість буде слабкою.

До основних недоліків ЛЕД-ламп відноситься перевантаження їх спектру блакитними променями, які володіють регуляторною дією і які спроможні при використанні означених ламп вночі збивати роботу добового біологічного годинника, який розташований в головному мозку людини.

Біологічна дія випромінювання енергозберігаючих ЛЕД-ламп на епіфіз полягає в тому, що сильне освітлення пригнічує секрецію мелатоніну, викликаючи стан активності, а слабка освітленість або її відсутність сприяє синтезу мелатоніну, приводячи до стану розслаблення та сну. Встановлено,

що мелатонін має виражений антиоксидантний та імуностимулюючий ефекти, регулює кров'яний тиск та травлення, роботу клітин головного мозку. Відхилення від природних добових коливань вмісту мелатоніну в крові не вичерпуються порушеннями психічного стану (безсоння, депресія, тривога), але, накопичуючись протягом довгого часу, призводять до тяжких наслідків для загального стану здоров'я людини, таких як передчасне старіння, втрата репродуктивної функції, порушення обміну речовин, розвиток раку молочної залози та ін.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ВЛИВУ ПОБУТОВИХ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ОСВІТЛЮЮЧИХ ПРИЛАДІВ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ

2.1. Використання спеціальних приладів і обладнання для виявлення впливу енергозберігаючих ламп на живі організми

Серед методів виявлення впливу енергозберігаючих ламп: виміри освітленості, яскравості та інтенсивності випромінювання (в ділянці видимого, інфрачервоного й ультрафіолетового частини спектра) енергозберігаючих ламп.

1. Виміри освітленості. Світло, а точніше достатня освітленість, є однією з головних умов розвитку більшості живих організмів. При недостатній освітленості рослини і тварини хворіють, людина відчуває себе виснаженою. Бувають ситуації, коли на перший погляд приміщення є достатньо освітленим, але рослини чомусь жовтіють, а сама людина швидко втомлюється. Насправді ж око людини не здатне визначати точний рівень освітленості необхідний для повноцінного життєіснування.

Для вимірювання освітленості приміщень використовують спеціальний прилад, який називається люксометром. Принцип його роботи досить простий: отримуючи світловий потік на фоточутливий елемент, прилад перетворює світло в електричний струм, який виводиться на відградуйовану в люксах шкалу амперметра. При вимірюваннях фотоелемент люксометра розташовується в тому місці, де повинна бути виміряна освітленість, і орієнтується таким чином, щоб його світлочуттєва поверхня збігалася з площиною, що контролюється. Зазвичай гальванометр має декілька шкал, що

використовуються при вимірюваннях різних освітленостей. Виведений перемикач опорів, що входять в електричне коло люксметра, вказує, якою зі шкал слід користуватися.

2. Виміри яскравості. Яскравість характеризує світіння поверхні предмету в певному напрямку, і необхідність її вимірювання виникає досить часто. Задачі цього роду можуть бути досить різноманітними. Передусім мова може йти про вимірювання яскравості джерела світла, як дуже протяжного, так і дуже малого. В іншому випадку виникає необхідність визначити яскравість освітленого предмету, що розсіює світло, розміри якого можуть бути різними, а поверхня - неоднорідною.

Вимірювання яскравості виконується на основі однієї з двох відомих залежностей. Перша з них зв'язує середню яскравість джерела в заданому напрямку з його силою світла I в тому самому напрямку і площею його проекції O на площину, перпендикулярну до обраного напрямку.

Сила світла джерела визначається одним з описаних вище способів, але виникають труднощі з вимірюванням площі проекції джерела. Частіше користуються іншим способом, пов'язаним прямою пропорційністю між яскравістю пучка промінів і світловим потоком, який проходить між двох діафрагм. Прилад, призначений для вимірювання яскравості пучка і заснований на вимірюванні світлового потоку, називається яскравоміром.

3. Інтенсивність потоку випромінювання в ультрафіолетовому, видимому, інфрачервоному та радіочастотному (2–400 кГц) діапазонах. Дані окремих публікацій свідчать, що випромінювання в області УФ-В (до $0,002 \text{ Вт/м}^2$) на відстані 0,5–1,0 м при використанні енергозберігаючих ламп для місцевого освітлення може з часом приводити до подразнення шкіри та висипів у людини з чутливою шкірою.

Для вимірювання рівнів випромінювання використовують такі прилади: фотометр цифровий, вимірювач рівнів електромагнітних випромінювань. Ці

пристрої дозволяють обчислити безпечну відстань від джерела випромінювання, контролювати вплив приладу на самопочуття людини та роботу іншого обладнання. Аналізатор електромагнітного поля складається з діелектричного корпусу, всередині якого розміщений чутливий до електричного і магнітного випромінювання елемент. Залежно від моделі пристрій містить кнопку перемикачів діапазонів вимірювання, дозволяє проводити дослідження низькочастотного і високочастотного випромінювання, виявляти проводку і т.н.

Залежно від типу датчика вимірювач електромагнітного поля може бути світлодіодним, цифровим одноосьовим або цифровим багатоосьовим. Дані вимірювань виводяться на дисплей або індексуються різними кольорами в міру небезпеки для людини - зеленим/жовтим/помаранчевим/червоним.

2.2. Діючі гігієнічні нормативи використання побутових енергозберігаючих ламп.

Гігієнічна оцінка результатів вимірювань регламентується відповідно до вимог державних Санітарних норм та правил:

1. ДСН 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» - санітарні норми і правила, які містять як норми, так і основні положення гігієнічних вимог до засобів випромінювання разом з методичними вказівками до них, дозволяють регламентувати умови експлуатації і розміщення засобів випромінювання відносно житлової забудови і тим самим забезпечити охорону здоров'я населення від впливу електромагнітних полів (далі - ЕМП), що виникають у навколишньому середовищі [4,5].

2. ДСН 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» - займаються виготовленням,

експлуатацією, обслуговуванням та ремонтом обладнання, при роботі якого виникають постійні магнітні поля та електромагнітні випромінювання у діапазоні частот від 50,0 Гц до 300,0 ГГц.

3. ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» - Санітарні норми поширюються на умови мікроклімату в межах робочої зони виробничих приміщень підприємств, закладів, установ тощо, незалежно від їх форми власності та підпорядкування. Цей документ регламентує нормативні величини оптимальних та допустимих показників мікроклімату та встановлює вимоги до методів вимірювання мікрокліматичних параметрів та їх оцінки. Норми не поширюються на мікроклімат підземних та гірничих виробок, пересувних транспортних засобів, тваринницьких та птахівницьких ферм, приміщень для зберігання сільськогосподарської продукції, холодильників, складів і т. ін., а також приміщень, в яких параметри мікроклімату встановлюються відповідно до інших технологічних вимог.

4. СН 4557-88 «Санітарні норми ультрафіолетового випромінювання у виробничих приміщеннях» - ці Норми встановлюють допустимі величини ультрафіолетового випромінювання на постійних і непостійних робочих місцях (опромінення) від виробничих джерел з урахуванням спектрального складу випромінювання для областей [6,7]: довгохвильової - 400 - 315 нм - УФ-А; середньохвильової - 315 - 280 нм - УФ-В; короткохвильової - 280 - 200 нм - УФ-С; і містять вимоги до методів контролю і оцінки.

Нормативи поширюються на випромінювання, що створюється джерелами, що мають температуру вище +2000 °С (електричні дуги, плазма, розплавлений метал, кварцове скло і т.п.), люмінесцентними джерелами, використовуваними в поліграфії, хімічному і деревообробному виробництві, сільському господарстві, при кіно- і телезйомках, дефектоскопії та інших галузях виробництва, а також в охороні здоров'я.

5. ДСТУ Б В.2.2-6-97 «Методи вимірювання освітленості» - цей стандарт встановлює методи визначення мінімальної, середньої та циліндричної освітленостей, коефіцієнта природної освітленості в приміщеннях будинків і споруд та на робочих місцях, мінімальної освітленості в місцях виконання робіт поза будинками, середньої освітленості вулиць, доріг, площ та тунелів, на які розповсюджується дія МСН 2.04-05.

6. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» - ці Норми поширюються на проектування освітлення територій, приміщень нових та існуючих, що підлягають реконструкції, будівель і споруд різного призначення, місць виконання робіт на відкритих просторах, територій промислових та сільськогосподарських підприємств, залізничних колій площ підприємств, зовнішнього освітлення міст, поселень та сільських населених пунктів. Проектування пристроїв місцевого освітлення, які постачаються комплектно зі станками, машинами і виробничими меблями, слід також виконувати відповідно до цих Норм [8, 9].

7. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» № 472/25249, затверджена наказом МОЗ України від 8 квітня 2014 року № 248 – ці нормативи спрямовані на гігієнічну оцінку умов та характеру праці на робочих місцях працівників та застосовуються на підприємствах, в установах, організаціях усіх форм власності у випадках, передбачених законодавством. Ці нормативи базуються на принципі диференціації оцінок умов праці залежно від фактично визначених рівнів впливу факторів виробничого середовища і трудового процесу та з урахуванням їх можливої шкідливої дії на здоров'я працівників.

2.3. Можливості використання методів біотестування для оцінки впливу побутових енергозберігаючих ламп на живі організми.

У системі контролю стану природних середовищ і екосистем важливу і самостійну роль виконує біотестування. Сутність цього методу полягає у визначенні дії несприятливих факторів середовища на спеціально обрані організми у стандартних умовах із реєстрацією різноманітних фізіологічних, біохімічних показників, показників поведінки.

Застосування біотестування має низку переваг перед фізичними, фізико-хімічними і хімічними аналізами, засобами яких часто не вдається виявити нестійкі сполуки або кількісно визначити ультра-малі концентрації екотоксикантів або виявити вплив надслабких електромагнітних полів різних типів, тощо. Зокрема, досить частими є випадки, коли проведений сучасними засобами хімічний аналіз не показує наявності токсинів, тоді як використання біологічних тест-об'єктів свідчить про їхню присутність у досліджуваному середовищі. Біотестування дає можливість швидкого отримання інтегральної оцінки несприятливих умов середовища, що робить дуже привабливим його застосування при скринінгових дослідженнях [10, 11].

На відміну від біоіндикаторів, однією з основних вимог до яких є толерантність, тест-об'єкти звичайно обирають з-поміж найбільш чутливих до забруднюючих компонентів видів. Інша важлива вимога полягає в тому, що вплив на тест-об'єкт токсиканта має викликати реакцію-відповідь, аналогічну або близьку до реакцій лабораторних тварин. Знання механізмів специфічної токсичної дії дає змогу послаблювати або посилювати дію токсиканта за допомогою спеціально підібраних фармакологічних засобів. Якщо останні характеризуються селективністю, то в ряді випадків стає можливим за допомогою тест-об'єктів не тільки виявити токсичний ефект, але й здійснити групову ідентифікацію токсиканта. Посилення дії за допомогою фармакологічних засобів дає можливість знизити поріг виявлення

токсиканта, не застосовуючи його концентрування (прийом, що є звичайним при фізико-хімічному аналізі домішок).

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЛАМП ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ФІТОТЕСТУВАННЯ

3.1. Матеріали і методи дослідження

Для дослідження впливу випромінювання від побутових енергозберігаючих ламп на розвиток проростків модельних рослин нами були використані такі матеріали та реактиви: насіння ячменю, питна вода, чашки Петрі, фільтрувальний папір, лінійка, лампи розжарювання двох типів (напруга – 230 V, потужність - 75 Вт (№ 1) та 60 Вт (№ 2), тип цоколю – E27, тип колби – A60, світловий потік – 220Лм, колір світіння - жовтий) та енергозберігаючі LED-лампи двох типів (лампа № 1: Feron, LED, E27 цоколь, 6W, 2700 K, тепле біле світло; лампа № 2: напруга - 220-240 V, потужність – 8 W, трубчата лампа, fluorescent tube T5, колір світіння – білий, холодний). Режим освітленості: 12 год світло/12 год темрява при температурі +21,5°C на відстані 85 см від відповідної лампи.

Рівень освітленості і інтенсивність УФ випромінювання від ламп, які досліджували, встановлювали за допомогою вимірювального комплексу "EinsteinTM"; заміри напруженості магнітного і електричного полів від працюючих ламп здійснювали за допомогою приладу «Soeks», який реєструє електромагнітні хвилі в діапазоні частот 20 Гц - 2000 Гц.

На кожную чашку Петрі розкладали за допомогою пінцету по 50 насінин ячменю, додавали воду і проводили пророщування насіння тестових рослин

протягом 4 діб під випромінюванням певного типу ламп на відстані 85 см від лампи. Відповідна відстань була отримана експериментальним шляхом як така, на якій нівелюються теплові відмінності в спектрах випромінювання ламп розжарювання і енергозберігаючих ламп, які використовувалися в даному дослідженні.

На 4 добу експерименту підраховували кількість пророслого насіння і замірювали довжину проростків. Отримані дані заносили до таблиць. На підставі отриманих даних розраховували енергію проростання насіння та середню довжину проростків для кожного варіанту експерименту. Отримані дані заносили у підсумкову таблицю.

Енергію проростання насіння розраховували за формулою:

$$E = \frac{n}{N} * 100\%,$$

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

Статистичний аналіз. Похибку значень для показника енергії проростання (альтернативне розподілення) визначали за формулою:

$$X \pm \delta \cdot \text{tst},$$

$$\sqrt{\frac{X \cdot (100 - X)}{N}}$$

де: X – середні значення показника, %; $\delta \cdot \text{tst}$ – похибка середнього значення; tst – критерій Стюдента (значення tst залежать від об'єму вибірки n і визначаються за таблицею); N – об'єм вибірки.

Похибку середньо-арифметичних значень для довжини проростків (нормальне розподілення) визначали за формулою: $Scp \pm Sx \cdot ts$

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum (Scp - Si)^2}{n(n-1)}}$$

де: Scp - середнє арифметичне значення довжини проростків; $Sx \cdot \text{tst}$ – похибка середнього арифметичного значення; tst - критерій Стюдента, який

визначається за таблицею; n – об'єм вибірки (кількість проростків, довжина яких вимірювалась); S_i – довжина i -проростка.

Достовірність відмінностей між даними розраховували за наступними формулами:

а) для альтернативних розподілень:

$$\frac{|X_1 - X_2|}{\sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}} = t,$$

При $t > t_{st}$, відмінності достовірні. Де: X_1, X_2 – середні значення показників для альтернативного розподілення в варіантах 1 і 2, відповідно; δ_1, δ_2 – похибки середніх значень для варіантів 1 і 2; t_{st} – критерій Стюдента.

б) для нормальних розподілень:

$$\frac{|Scp_1 - Scp_2|}{\sqrt{Sx_1^2 + Sx_2^2}} = t,$$

При $t > t_{st}$, відмінності достовірні. Де: Scp_1, Scp_2 – середні значення показника для нормального розподілення в варіантах 1 і 2; Sx_1, Sx_2 – похибки середніх значень для варіантів 1 і 2; t_{st} – критерій Стюдента.

3.2. Результати досліджень та їх обговорення

Заміри рівня освітленості і УФ випромінювання від ламп, які досліджувалися, були здійснені за допомогою вимірювального комплексу "EinsteinTM". Прилад показав однаковий рівень ультрафіолетового випромінювання як від лампи розжарювання, так і від ЛЕД лампи, який дорівнював $0,007 \text{ Вт/м}^2$. Після пропускання випромінювання обох типів ламп через скляну кришку чашки Петрі – рівень УФ-випромінювання не змінився і також становив $0,007 \text{ Вт/м}^2$.

Освітленість від лампи розжарювання склала 499,34 Лк, при пропусканні світла через скло чашки Петрі рівень освітленості знизився до 418,00 Лк.

Освітленість від LED лампи склала 139,49 Лк, після пропускання світла через скло чашки Петрі - рівень освітленості знизився до 67,84 Лк.

Відомо, що скло побутових ламп освітлення здатне пропускати довгий ультрафіолет (УФ-А), але не короткий ультрафіолет (УФ-В). Проходження світла крізь скло чашки Петрі супроводжується розсіюванням або поглинанням усіх типів променів, при цьому найменшу пропускну здатність скло демонструє для ультрафіолетового випромінювання (УФ-А промені) [19]. Цифровий вимірювальний прилад, який було використано в нашому дослідженні, не зареєстрував відмінностей в кількості УФ променів після їх проходження через скло кришки чашки Петрі. Вочевидь, це пов'язане з тим, що поріг чутливості означеного приладу є нижчим, ніж рівень змін в інтенсивності УФ-А променів.

Температура середовища є одним з найважливіших факторів, які впливають на ріст рослин. Тому, нами були здійснені заміри температури поверхні під лампами обох типів. На відстані 27 см від ламп - температура поверхні під лампою розжарювання була на $+1,5^{\circ}\text{C}$ вищою, ніж під LED-лампою. Але вже на відстані 85 см – температура поверхні під лампами обох типів була однаковою. Тому, усі дослідження нами проводилися на відстані 85 см від джерел освітлення.

Аналіз літературних даних свідчить про те, що світлодіодні LED лампи в процесі своєї роботи здатні випромінювати радіохвилі, які іноді, через несумлінність виробників, не екрануються [16], що може впливати як на людей - споживачів освітлювальних приладів, так і на ростові процеси у рослин [22]. Крім того, відомо, що включення електричних побутових приладів в мережу навіть за умови режиму «Вимкнено» - змінює параметри електричного і магнітного полів на значній відстані від приладів. Тому, за допомогою приладу «Soeks» нами було проведено вимірювання напруженості електричного та магнітного полів від ламп, які тестувалися,

Проведені дослідження показали, що на робочому столі на відстані 85

см (але – не на відстані 27 см) від включених в мережу LED лампи та лампи розжарювання напруженість магнітного і електричного полів склала 0,01 мкТл і 0 кВ/м, що відповідає параметрам електромагнітного поля до включення ламп в мережу. Нажаль, технічні характеристики приладу «Soeks» не дозволили провести заміри високочастотного радіохвильового випромінювання, генерування якого є можливим під час роботи LED-ламп.

Результати впливу випромінювання від світлодіодних LED ламп і звичайних ламп розжарювання на ріст коренів і епикотилів проростків ячменю наведені в таблицях 1-2. При пророщуванні насіння ячменю в повній темряві в чашках Петрі, закритих скляними кришками, довжина коренів склала в середньому $33,57 \pm 4,65$ мм. Пророщування насіння у присутності світла призвело до гальмування росту коренів: в чашках Петрі, закритих скляними кришками, середня довжина коренів за умови випромінювання від лампи розжарювання склала $25,56 \pm 5,70$ мм, а під випромінюванням від LED лампи - $26,08 \pm 4,68$ мм.

Крім того, випромінювання від обох типів ламп загальмувало також і ріст епикотилів проростків при вирощуванні їх під скляними кришками чашок Петрі: з $39,78 \pm 3,03$ мм в умовах відсутності світла до $33,06 \pm 3,43$ мм під лампою розжарювання і до $35,58 \pm 2,62$ мм під LED лампою. При цьому відмінності між ростовими параметрами проростків, які вирощувалися під випромінюванням різних типів ламп, – виявилися статистично не достовірними (як для коренів, так і для епикотилів).

За умови проведення тестування ламп без скляних кришок на чашках Петрі, - швидкість росту проростків помітно зменшилася через відсутність парникового ефекту. При цьому середня довжина коренів проростків, вирощуваних під різними типами ламп майже не відрізнялася - $10,82 \pm 1,37$ мм для лампи розжарювання і $12,68 \pm 1,79$ мм для LED лампи. Тоді як ріст епикотилів був більш інтенсивним при вирощуванні проростків під лампою

розжарювання, порівняно з LED лампою - $24,47 \pm 1,96$ мм і $20,25 \pm 2,73$ мм відповідно.

Якби гальмування росту епикотилів було пов'язаним тільки з відсутністю парникового ефекту в чашках Петрі, тоді розходження між лампами які тестувалися, були б відсутні - оскільки температура поверхні на відстані 85 см від обох ламп була однаковою. Таким чином, випромінювання від LED лампи в порівнянні з випромінюванням від лампи розжарювання достовірно загальмувало ріст епикотилів проростків ячменю при їх вирощуванні без скляних кришок чашок Петрі. Відсутність відмінностей в ріст-гальмуючому ефекті між різними типами ламп в варіантах пророщування під скляними кришками чашок Петрі може бути пов'язана з меншим проникненням регуляторного випромінювання через скло.

Таблиця 3.1.

Вплив світлового випромінювання від різних типів ламп на ріст коренів проростків ячменю

Варіант обробки:	Середня довжина коренів, мм $\pm Sx \cdot t_{st}$:	
	Лампа розжарювання:	LED лампа:
Контроль, темрява + скляна кришка	$33,57 \pm 4,65$	$33,57 \pm 4,65$
85 см від лампи під скляною кришкою	$25,56 \pm 5,70$ *	$26,08 \pm 4,68$ *
85 см від лампи без скляної кришки	$10,82 \pm 1,37$ *	$12,68 \pm 1,79$ *

* - відмінності між контролем і варіантом є статистично достовірними.

Таблиця 3.2

Вплив світлового випромінювання від різних типів ламп на ріст епикотилів проростків ячменю.

Варіант обробки:	Середня довжина епикотилів, мм $\pm Sx \cdot t_{st}$:	
	Лампа розжарювання:	LED лампа:
Контроль, темрява + скляна кришка	$39,78 \pm 3,03$	$39,78 \pm 3,03$
85 см від лампи під скляною кришкою	$33,06 \pm 3,43$ *	$35,58 \pm 2,62$ *
85 см від лампи без	$24,47 \pm 1,96$ *	$20,25 \pm 2,73$ *§

скляної кришки		
----------------	--	--

* - відмінності між контролем і варіантом є статистично достовірними;

§ - відмінності між типами ламп, які тестувалися, є статистично достовірними.

Обговорення отриманих результатів. Електромагнітне випромінювання здатне як гальмувати, так і активувати ростові процеси у коренів і епикотилів рослин. Ріст-інгібуючою складовою електромагнітного спектра є блакитні промені [13, 33], УФ-А випромінювання, далекі-червоні промені [31, 46] і ближнє інфрачервоне випромінювання [15]. Тоді як далеке інфрачервоне (теплове) випромінювання [20,21] здатне, стимулювати ростові процеси у рослин. Спрямованість ростового ефекту радіохвильового випромінювання – залежить від інтенсивності, тривалості і частотного діапазону електромагнітних хвиль, що діють на ріст рослини [33].

LED лампи характеризуються надлишковим випромінюванням в короткохвильовій блакитній області спектра. Більш того, при несумлінності виробників світлодіодних ламп, деякі LED лампи дають надмірне випромінювання в ультрафіолетовій і радіохвильовій частинах електромагнітного спектра, рівень якого перевищує гігієнічно допустимі нормативи і може становити небезпеку для здоров'я споживачів [16].

Відомо, що інтенсивність теплового випромінювання є одним з найважливіших факторів, які впливають на ростові процеси у рослин [31, 45], На відстані 27 см від ламп – різниця в температурі склала +1,5°C (+23°C для лампи розжарювання і +21,5°C для LED лампи). Однак, вже на відстані 85 см від ламп температура поверхні була однаковою під лампами обох типів і становила +21,5°C. Результати проведеного біотестування показали, що на відстані 85 см випромінювання від лампи розжарювання і від LED лампи гальмувало ріст коренів і епикотилів проростків ячменю в порівнянні з темновим контролем.

Лампи різного типу при вирощуванні проростків під скляними кришками чашок Петрі свідчить про те, що скло найбільш сильніше пригнічує проходження випромінювання від LED лампи до проростків в порівнянні з випромінюванням від лампи розжарювання, що, в підсумку, показує різницю в проростків ячменю на випромінювання обох типів ламп.

Було визначено, що скло частково перешкоджає проходженню всіх променів електромагнітного спектра, проте відомо найбільшою мірою гальмується проходження коротких УФ-А і блакитних променів, а також - довгого інфрачервоного і радіохвильового випромінювання. Відомо, дослідження, проведені Т.М. Paris з колегами (2017) [19] показали, що через скляну кришку чашки Петрі проходить 95% випромінювання, тоді як проходження більш коротких УФ-А променів (довжина хвилі 315–400 нм) - помітно нижче: тільки в дослідженому інтервалі 350–400 нм відбувається зниження рівня ультрафіолету А, який проходить крізь скло, з 95% (при довжині хвилі 400 нм) до 68% (при довжині хвилі 350 нм).

У статті Майорова В.А. (2018) [12] вказується, що прозоре скло добре пропускає всі сонячні випромінювання, крім самої короткохвильової частини ультрафіолетових променів (УФ-В); для ближнього теплового інфрачервоного випромінювання з довжиною хвиль більше 2 мкм – пропускання скла різко зменшується, а для хвиль довших, ніж 4 мкм – безбарвне скло є абсолютно непрозорим. Таким чином, прозоре скло є частково проникним для довгого ультрафіолету (УФ-А)

Отримані нами експериментальні дані свідчать про те, що випромінювання від ЛЕД лампи добре впливають на ріст і коренів, і епикотилів проростків ячменю порівняно з випромінюванням від лампи розжарювання при вирощуванні проростків в чашках Петрі без скляної кришки. Так, середня довжина коренів під лампою розжарювання становила $10,82 \pm 1,37$ см, тоді як під ЛЕД лампою – всього $12,68 \pm 1,79$ см; середня довжина епикотилів під лампою розжарювання сягала $24,47 \pm 1,96$ см, а під

ЛЕД лампою $20,25 \pm 2,73$ см. Відомо, що ріст-інгібуючим ефектом володіють блакитні і ультрафіолетові промені, кількість яких, вочевидь, в спектрі випромінювання ЛЕД лампи є істотно більшою ніж в спектрі лампи розжарювання.

Для визначення, які саме промені призводять до гальмування ростових процесів, нами проводилося пророщування насіння ячменю також під скляною кришкою чашки Петрі. Відомо, що скло найбільш інтенсивно зі всього спектру поглинає ультрафіолетове випромінювання. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що за умови пророщування насіння під скляною кришкою чашки Петрі – середня довжина коренів і епикотилів проростків була під ЛЕД лампою навіть більшою, порівняно з лампою розжарювання, і становила для коренів $25,56 \pm 5,70$ см під лампою розжарювання і $26,08 \pm 4,68$ см під ЛЕД лампою і для епикотилів $35,58 \pm 2,62$ см під лампою розжарювання і $33,06 \pm 3,43$ см

Таким чином, ріст інгібуючий ефект енергозберігаючої ЛЕД лампи, вочевидь, є пов'язаним з надлишковим ультрафіолетовим випромінюванням від ламп цього типу.

ВИСНОВКИ

1. Сучасні технології в освітленні значно розширили, але в той же час і ускладнили вибір лампочок: лампи розжарювання, CLF енергозберігаючі лампи першого покоління та LED енергозберігаючі лампи другого покоління. Кожний вид побутових ламп має свої переваги та недоліки. Серед переваг ламп розжарювання: при включенні вони запалюються практично миттєво; мають незначні розміри; вартість їх невисока. Серед основних недоліків ламп розжарювання: мають сліпучу яскравість, світло негативно відбивається на зорі людини, тому вимагає застосування відповідної арматури, що обмежує освітлення; володіють незначним терміном служби.

Найбільший плюс енергозберігаючих ламп – їх економність, однак поряд з перевагами таких ламп є ще й істотні недоліки - вони випромінюють багато блакитних і ультрафіолетових променів небезпечних для здоров'я людини, мерехтіння цих ламп, обумовлене змінним струмом в мережі, погано впливає на очі і нервову систему людини, ртуть у таких лампах становить небезпеку для навколишнього середовища.

2. Серед сучасних методів виявлення шкідливого випромінювання від енергозберігаючих ламп на сьогоднішній день переважним чином використовуються лише приладові виміри: освітленості, яскравості та інтенсивності випромінювання (в ділянці видимого, інфрачервоного й ультрафіолетового частини спектра) енергозберігаючих ламп. Нажаль ці методи є не доступними для пересічних користувачів.

3. В ході експериментального дослідження нами була розроблена проста у використанні тест-система, яка дозволяє виявляти присутність надлишкової кількості шкідливого блакитного і ультрафіолетового

випромінювання в спектрі енергозберігаючих ламп на підставі інгібування росту проростків модельної рослини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айзенберг Ю. Б. Современные проблемы энергоэффективного освещения / Ю. Б. Айзенберг // Энергосбережение. – 2009. – № 1. – С. 42–47.
2. Брейнард Г. К. Восприятие света как стимула незрительных реакций человека / Г. К. Брейнард, И. Провенсио // Светотехника. – 2008. – № 1. С. 6–12.
3. Енергозберігаючі лампи та канцерогенне ультрафіолетове випромінювання: http://labprice.ua/statti/statti_pro_tovari_ta_poslugi/energozberigayuchi-lampi-ta-kantserogenne-ultrafioletove-viprominyuvannya/
4. Санітарно-гігієнічні норми рівня освітленості: <https://simvolt.ua/yak-viznachiti-osvtlenst-primschennya-ua.html>, <http://opb.org.ua/3303/1/6.pdf>
5. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>
6. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>
7. Методи вимірювання освітленості: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/5-1-0-1076>
8. Науково-дослідницька робота «Енергозберігаюча лампа: економна поки світить, але небезпечна, коли згасне» : <https://vseosvita.ua/library/naukovo-doslidnicka-robota-energozberigauca-lampa-ekonomna-poki-svitit-ale-nebezpecna-koli-zgasne-123550.html>
9. Методи вимірювання освітленості: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/5-1-0-1076>
10. Природне і штучне освітлення: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-394>.

11. Що таке світлодіодна лампа: <http://siriusstar.net.ua/uk/blog/item/301-shchotakesvitlodiodnalampa.html>
12. Майоров В.А. Оконные стекла - состояние и перспективы // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 124, вып. 4. – С. 559 – 573. <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/45759>.
13. Островский О.С., Одаренко Е.Н., А.А. Шматько А.А. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн // ФИП. - 2003, том 1, № 2, - С. 161 – 173.
14. 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.
15. Azizi M., Golmohammadi R., Aliabadi M. Comparative Analysis of Lighting Characteristics and Ultraviolet Emissions from Commercial Compact Fluorescent and Incandescent Lamps // J. Res. Health Sci. – 2016. – Vol.16(4). – P. 200 - 205. <http://jrhs.umsha.ac.ir/index.php/JRHS/article/view/2489/pdf>.
16. Behar-Cohen F., Martinsons C., Vienot F., Zissis G., Barlier-Salsi A., Cesarini J.P., Enouf O., Garcia M., Picaud S., Attia D. Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? // Prog. Retin. Eye Res. – 2011. – Vol. 30(4). – P. 239 - 257. doi: 10.1016/j.preteyeres.2011.04.002.
17. Belyaev I., Dean A., Eger H., Hubmann G., Jandrisovits R., Kern M., Kundi M., Moshammer H., Lercher P., Müller K., Oberfeld G., Ohnsorge P., Pelzmann P., Scheingraber C., Thill R. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses // Rev. Environ. Health. – 2016. – Vol. 31(3). – P. 363 – 397. doi: 10.1515/reveh-2016-0011.
18. Chen L., Zhang X.-W. Which lamp will be optimum to eye? Incandescent, fluorescent or LED *etc* // Int. J. Ophthalmol. – 2015. – Vol. 8(2). – P. 314 – 319.
19. Deinego V.N., Kaptsov V.A. Energy saving and LED lamp lighting and human health // Gig. Sanit. – 2013. – Vol. 6. – P. 81 - 84.

21. Devlina P.F. Plants wait for the lights to change to red // PNAS. – 2016. – Vol. 113, No. 27. – P. 7301 – 7303. <http://www.pnas.org/content/pnas/113/27/7301.full.pdf>.
22. Fenton L., Moseley H. UV emissions from low energy artificial light sources // Photodermatol Photoimmunol Photomed. – 2014. – Vol. 30(2-3). – P. 153 - 159. doi: 10.1111/phpp.12094.
23. Gea M., Schiliro T., Iacomussi P., Degan R., Bonetta S., Gilli G. Cytotoxicity and genotoxicity of light emitted by incandescent, halogen, and LED bulbs on ARPE-19 and BEAS-2B cell lines // J. Toxicol. Environ. Health A. – 2018. – Vol. 16. – P. 1 - 17. doi: 10.1080/15287394.2018.1510350.
24. Goyal A., Szarzynska B., Fankhauser C. Phototropism: at the crossroads of light-signaling pathways // Trends Plant Sci. – 2013. – Vol. 18(7). – P. 393 - 401. doi: 10.1016/j.tplants.2013.03.002.
25. Jaadane I., Villalpando Rodriguez G.E., Boulenguez P., Chahory S., Carre S., Savoldelli M., Jonet L., Behar-Cohen F., Martinsons C., Torriglia A. Effects of white light-emitting diode (LED) exposure on retinal pigment epithelium *in vivo* // J. Cell Mol. Med. – 2017. – Vol. 21(12). – P. 3453 - 3466. doi: 10.1111/jcmm.13255.
26. James R.H., Landry R.J., Walker B.N., Ilev I.K. Evaluation of the Potential Optical Radiation Hazards with Led Lamps Intended for Home Use // Health Phys. – 2017. – Vol. 112(1). – P. 11 - 17.
27. Johnson C.F., Brown C.S., Wheeler R.M., Sager J.C., Chapman D.K., Deitzer G.F. Infrared light-emitting diode radiation causes gravitropic and morphological effects in dark-grown oat seedlings // Photochem. Photobiol. – 1996. – Vol. 63(2). – P. 238 - 242.
28. Kaptsov V.A., Deynego V.N., Ulasyuk V.N. Features of White LED Daylight and human health // Gig. Sanit. – 2016. – Vol. 95(7). – P. 597 - 601.
29. Klinger J. Radio interference from LED lighting. Electronic resource: <https://www.emcrules.com/2011/07/radio-interference-from-led-lighting.html>.

29. Krigel A., Berdugo M., Picard E., Levy-Boukris R., Jaadane I., Jonet L., Dernigoghossian M., Andrieu-Soler C., Torriglia A., Behar-Cohen F. Light-induced retinal damage using different light sources, protocols and rat strains reveals LED phototoxicity // *Neuroscience*. – 2016. – Vol. 339. – P. 296 - 307. doi: 10.1016/j.neuroscience.2016.10.015.

30. Koga, R., Meng, T., Nakamura, E., Miura, C., Irino, N., Devkota, H. P., et al. The effect of photo-irradiation on the growth and ingredient composition of young green barley (*Hordeum vulgare*) // *Agric. Sci.* – 2013. – Vol. 4. – P.185 – 194. doi: 10.4236/as. 2013.44027.

31. Ma D., Li X., Guo Y., Chu J., Fang S., Yan C., Noel J.P., Liu H. Cryptochrome 1 interacts with PIF4 to regulate high temperature-mediated hypocotyl elongation in response to blue light // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 2016. – Vol. 113(1). – P. 224 - 229. doi: 10.1073/pnas.1511437113.

32. Necz P.P., Bakos J. Photobiological safety of the recently introduced energy efficient household lamps // *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. – 2014. – Vol. 27(6). – P. 1036 - 1042. doi: 10.2478/s13382-014-0332-2.

33. Oh J.H., Yoo H., Park H.K., Do Y.R. Analysis of circadian properties and healthy levels of blue light from smartphones at night // *Sci. Rep.* – 2015. – Vol. 5:11325. doi: 10.1038/srep11325.

34. O'Hagan J.B., Khazova M., Price L.L. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard // *Eye (Lond)*. – 2016. – Vol. 30(2). – P. 230 - 233. doi: 10.1038/eye.2015.261.

35. Okuno T., Saito H., Ojima J. Evaluation of blue-light hazards from various light sources // *Dev. Ophthalmol.* – 2002. – Vol. 35. – P. 104 - 112.

36. Paris T.M., Allan S.A., Udell B.J., Stansly P.A. Evidence of behavior-based utilization by the Asian citrus psyllid of a combination of UV and green or yellow wavelengths // *PLoS One*. - 2017 Dec 13;12(12):e0189228. doi: 10.1371/journal.pone.0189228.

37. Quint M., Delker C., Franklin K.A., Wigge P.A., Halliday K.J., van

Zanten M. Molecular and genetic control of plant thermomorphogenesis // Nat. Plants. – 2016. – Vol. 2:15190. doi: 10.1038/nplants.2015.190.

38. Renard G., Leid J. The dangers of blue light: True story! // J. Fr. Ophtalmol. – 2016. – Vol. 39(5). – P. 483 - 488. doi: 10.1016/j.jfo.2016.02.003.

39. Shen C.Y., Xu Z., Zhao S.L., Huang Q.Y. Study on the safety of blue light leak of LED // Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi. – 2014. – Vol. 34(2). – P. 316 - 321.

40. Sidaway-Lee K., Josse E.M., Brown A., Gan Y., Halliday K.J., Graham I.A., Penfield S. SPATULA links daytime temperature and plant growth rate // Curr. Biol. – 2010. – Vol. 20(16). – P. 1493 - 1497. doi: 10.1016/j.cub.2010.07.028.

41. Tan Q., Li J. Potential mercury emissions from fluorescent lamps production and obsolescence in mainland China // Waste Manag. Res. – 2016. – Vol. 34(1). – P. 67 - 74. doi: 10.1177/0734242X15616473.

42. Vian A., Davies E., Gendraud M., Bonnet P. Plant Responses to High Frequency Electromagnetic Fields // Biomed. Res. Int. – 2016. – Vol. 2016:1830262. doi: 10.1155/2016/1830262.

43. Wang L.W., Li Y., Xin G.F., Wei M., Mi Q.H., Yang Q.C. Effects of different proportions of red and blue light on the growth and photosynthesis of tomato seedlings // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. – 2017. – Vol. 28(5). – P. 1595 - 1602. doi: 10.13287/j.1001-9332.201705.010.

44. Wheeler R.M., Mackowiak C.L., Sager J.C. Soybean stem growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting // Agron J. – 1991. – Vol. 83(5). – P. 903 - 906.

45. Wigge P.A. Ambient temperature signalling in plants // Curr. Opin. Plant. Biol. – 2013. – Vol. 16(5). – P. 661 – 666. doi: 10.1016/j.pbi.2013.08.004

46. 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.

47. Zukauskas A., Vaicekauskas R., Vitta P. Optimization of solid-state lamps for photobiologically friendly mesopic lighting // *Appl. Opt.* – 2012. – Vol. 51(35). – P. 8423 - 8432. doi: 10.1364/AO.51.008423.

ДОДАТКИ

Додаток А

**Розрахунок впливу випромінювання від побутових
енергозберігаючих ламп на розвиток проростків модельних рослин**

Таблиця А.1

Довжина епикотеля

Лампа розж. Без скл	5,80 ±0,43	Sx ² =0,042 n= 16
Лампа розж. під картоном	7,80 ±2,54	Sx ² =1,234 n= 9

$$t = \frac{(5,80 - 7,80)}{\sqrt{0,042 + 1,234}} = \frac{2}{\sqrt{1,438}} = \frac{2}{1,199} = 1,67$$

$$t = 1,67 \quad t_{st} = 2,06$$

Таблиця А.2

Довжина кореня

Лампа LED. Без скл	8,25 ± 0,42	Sx ² =0,044 n =18
Лампа LED. Під картоном	6,07 ± 0,52	Sx ² =0,052 n = 8

$$t = \frac{(8,25 - 6,07)}{\sqrt{0,044 + 0,052}} = \frac{2,18}{\sqrt{0,261}} = \frac{2,18}{0,510} = 4,27$$

$$t = 4,27 \quad t_{st} = 2,06$$

Таблиця А.3

Довжина епікотеля

Лампа LED. відкрита	7,22±0,44	Sx ² = 0,046 n=18
Лампа LED. Під картоном	4,05±0,37	Sx ² = 0,028 n=8

$$t = \frac{(7,22-4,05)}{\sqrt{0,046+0,028}} = \frac{3,17}{\sqrt{0,242}} = \frac{3,17}{0,491} = 6,45$$

$$t = 6,45 \quad t_{st} = 2,06$$

Таблиця А.4

Довжина кореня

Лампа розж. Без скл	7,50±0,45	Sx ² = 0,51 n=16
Лампа розж. Під картоном	9,91±2,37	Sx ² = 1,186 n=12

$$t = \frac{(7,50-9,91)}{\sqrt{0,51+1,186}} = \frac{2,41}{\sqrt{1,696}} = \frac{2,41}{1,302} = 1,85$$

$$t = 1,85 \quad t_{st} = 2,05$$