

**НАУКОВО-АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ  
ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

УДК 535.853.3

**ДОЗИМЕТР УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ***Рижков В.Ф., Міхеева І.Л., Дашковський О.А., АТ "Украаналіт", м. Київ, Україна*

*Розглянуто проблему, пов'язану з впливом ультрафіолетового (УФ) випромінювання Сонця на організм людини. Описано особливості розробки і експлуатації вітчизняного портативного дозиметра УФ-випромінювання ФС-01*

**Вступ**

Людина щодня піддається впливу сонячного випромінювання. Причому випромінювання в УФ області спектра є одним з факторів, який здійснює шкідливий вплив на організм людини. УФ-випромінювання викликає опіки різного ступеня, передчасне старіння і втрату еластичності шкіри. Відомі випадки розвитку онкологічних захворювань шкіри.

З іншого боку ультрафіолет відіграє важливу роль у забезпеченні організму вітаміном Д3, що регулює процес фосфорно-кальцієвого обміну. Дозоване УФ-випромінювання широко застосовується в медичній практиці як бактерицидне і засіб, що загоює рани.

Сонячне випромінювання має широкий спектральний діапазон (рис.1) [1]. Найбільший інтерес з точки зору впливу на біосферу і людину представляє УФ-випромінювання в спектральному діапазоні 200-400 нм. У фотомедицині цей діапазон розділяють на три області:

- УФ-С (200 - 280 нм) - бактерицидна область;
- УФ-В (280 - 320 нм) - загарна область;
- УФ-А (320 - 400 нм) - ближній ультрафіолет.

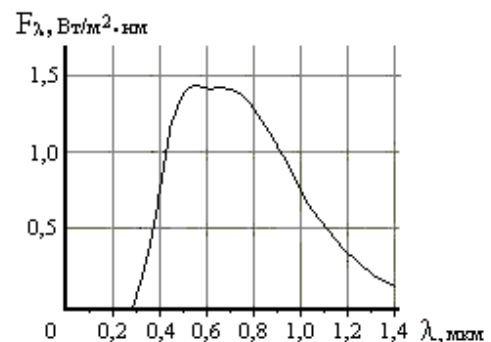


Рисунок 1 – Спектральна характеристика інтенсивності випромінювання Сонця над поверхнею Землі.

Короткохвильова границя сонячного випромінювання над поверхнею Землі на рівні моря (на екваторі в безхмарний день) визначається довжиною хвилі близько 285 нм. Особливо важливу роль у фільтрації сонячного випромі-

нювання належить шару атмосферного озону, що визначає короткохвильову границю спектра. У північних і південних широтах короткохвильова границя зміщена в область більших довжин хвиль ( 290-295 нм). Таким чином, ультрафіолетова складова сонячної радіації, що досягає поверхні Землі, розташована в УФ-В і УФ-А спектральних областях.

Інтенсивність сонячної радіації, що надходить на Землю, дуже сильно залежить від висоти стояння Сонця  $h$ . Максимальна висота стояння Сонця влітку опівдні для різних регіонів різна. Так для Києва  $h = 63^\circ$ , для Санкт-Петербурга  $h = 54^\circ$ , для Мурманська  $h = 44^\circ$ . Спектральна ж характеристика сонячного випромінювання при  $90^\circ > h > 20^\circ$  змінюється дуже мало. Тільки раннім ранком і пізнім літнім вечором ( $h < 20^\circ$ ) у спектрі сонячного випромінювання на поверхні Землі відсутнє УФ-В-випромінювання ( $\lambda < 320$  нм) [3].

Дія УФ-випромінювання на шкіру людини являє собою запальну реакцію (почервоніння шкіри), яка має назву **еритема**. Дозу опромінення, що викликає мінімальне почервоніння шкіри, називають **мінімальною еритемною дозою (МЕД)**.

УФ-А-випромінювання викликає еритему в 100 - 1000 разів нижче, ніж УФ-В. Виникає при цьому почервоніння шкіри проходить через декілька хвилин. УФ-В-еритема виникає через 8 - 10 годин після опромінення. Ступінь впливу УФ-випромінювання на шкіру людини оцінюється в частках МЕД.

Середнє значення МЕД по визначенню різних авторів складає  $300 \text{ Дж/м}^2$  (80 мер\*година/ $\text{м}^2$ ) [2,4].

В медичній практиці для дозування так само широко застосовується поняття "**біодоза**" - мінімальна тривалість УФ-опромінення шкіри, необхідна для виникнення слабкої, але ясно окресленої еритеми.

МЕД має різні значення для різних ділянок тіла. Наприклад, для шкіри живота білої незагорілої людини МЕД складає  $210 \text{ Дж/м}^2$ , а для шкіри ноги -  $780 \text{ Дж/м}^2$ . Доза УФ-В-випромінювання, що перевищує 10 МЕД, здатна викликати сильний опік шкіри [3].

Еритемна реакція шкіри людини на УФ-випромінювання залежить так само від типу шкіри і тривалості опромінення. Тип шкіри людини умовно можна розбити на три групи: світла (молочно-біла), нормальна і смуглява (без врахування негрів і темношкірих народів Південно-Східної Азії).

Підступництво дії УФ-випромінювання полягає в тому, що в момент одержання небезпечної дози людина нічого не відчуває. Тому усі обставини, що наведені вище, необхідно враховувати при визначенні допустимої дози УФ-опромінення.

Для дозування УФ-опромінення шкірного покриву людина звичайно користується порадами медиків, які засновані на багаторічних спостереженнях впливу УФ-опромінення на стан здоров'я. Ці поради виправдані при кліматолікуванні на південному березі Криму в безхмарний полудень літнього дня. Для іншої місцевості, у різний час року, при різному стані атмосфери (хмарність, серпанок, озон) ці рекомендації можуть бути сумнівними. У цьому зв'язку дуже актуальною проблемою є забезпечення можливості вимірювання дози УФ-радіації за допомогою індивідуального портативного дозиметра.

### **Постановка задачі**

Питаннями створення вимірювачів інтенсивності УФ-випромінювання займаються дослідники різних країн. Так, французька фірма "VILBER LOURMAT" пропонує радіометр VLX, різні модифікації якого дозволяють робити виміри інтенсивності та енергії УФ-радіації в одній із трьох спектральних областей: УФ-С - з  $\lambda_{max}=254$  нм; УФ-В - з  $\lambda_{max}=312$  нм; УФ-А - з  $\lambda_{max}=365$  нм.

Конструктивно прилад містить датчик розміром 45x35x18 мм і блок індикації розміром 100x200x40 мм. Маса приладу - 600 г. Вартість більша 700 євро [5].

Німецька фірма "MediUm-SENSOR" випускає вимірювач УФ-В-радіації мод. UV-B-LUXOR. Прилад має невеликі розміри 60x80x22 мм. Джерелом живлення служить батарея 9 В. Вартість приладу близько 130 євро [6].

Обидва прилади не призначені для індивідуального користування при вимірюванні еритемної дози, тому що вони не відградуєвані в одиницях МЕД і не мають звукової сигналізації у випадку перевищення дози опромінення.

Відомий дозиметр УФ-В-радіації, що випускається американською фірмою "TELEDYNE WATER PIK", призначений для індивідуального користування [7]. Він відградуєваний у частках МЕД з ряду 1,2,4,6,8, і дозволяє враховувати тип шкіри (біла, смуглява). Має габаритні розміри 107x56x25 мм. Маса дозиметра - 105 г. Джерелом живлення служить батарея

9 В. Вартість такого приладу в США - 100 \$. Недоліком приладу є наявність змінного джерела живлення, а також досить висока ціна для масового споживача в нашій країні.

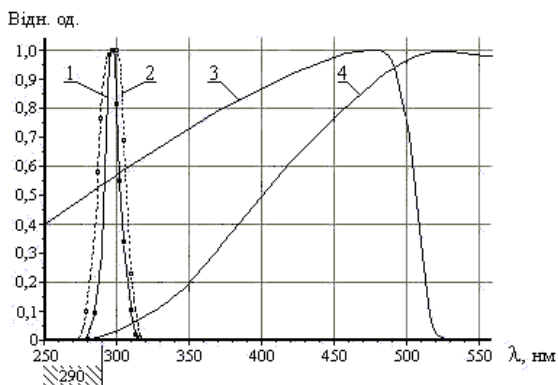
Перед нами стояла задача розробити вітчизняний малогабаритний дозиметр УФ-В-радіації для індивідуального користування, який за технічними характеристиками не уступає американському аналогу, а за ціною доступний широкому колу споживачів.

### Вирішення задачі

Як вже відзначалося, випромінювання Сонця має широкий спектральний діапазон. Дозиметр УФ-радіації повинний реєструвати випромінювання вузької частини спектра сонячного випромінювання, що викликає еритему шкіри - область УФ-В. Тобто він повинний бути сонячно сліпим для  $\lambda > 320$  нм. Більш того, крива спектральної характеристики оптичної системи дозиметра, в ідеальному випадку, повинна збігатися з кривою еритемної чутливості шкіри.

На рис.2 показані спектральні характеристики сонячного випромінювання, еритемної чутливості шкіри людини, фотоприймача і оптичної системи дозиметра.

Оптична система дозиметра складається з вхідного вікна, світлофільтра і фотоприймача. В якості фотоприймача в дозиметрі використаний фотоперетворювач ФПД-1 розробки Інституту напівпровідників НАН України. Для одержання необхідної спектральної характеристики оптичної системи в АТ "Украналіт" розроблені і виготовлені коригувальні інтерференційні світлофільтри (КІФ) з коефіцієнтом пропускання ( $\tau_\lambda$ ) в області, яку потрібно блокувати, ( $\lambda > 320$  нм) менш 0,01 %. Коефіцієнт пропускання КІФ на  $\lambda=297$  нм - більш 40 %. Спектральна характеристика оптичної системи з високим ступенем точності збігається з кривою еритемної чутливості шкіри в спектральному діапазоні 290-320нм.



- 1 – еритемної чутливості шкіри,  $K_{\lambda\epsilon}$ ;
- 2 – оптичної системи дозиметра,  $S_\lambda \tau_\lambda$ ;
- 3 – фотоприймача ФПД-1,  $S_\lambda$ ;
- 4 – сонячного випромінювання на поверхні Землі,  $F_\lambda$ ;

Рисунок 2 – Спектральні характеристики.

Інтенсивність потоку УФ-В-випромінювання перетворюється фотоприймачем у фотострум  $I_f$ , пропорційний інтенсивності сонячного випромінювання  $F_\lambda$ . Величину фотоструму можна представити в наступному вигляді:

$$I_{\phi} = I_B + I_{\text{фон}} = S_{\phi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_{\lambda} S_{\lambda} \tau_{\lambda} d\lambda + S_{\phi} \int_{\lambda_2}^{\lambda_3} F_{\lambda} S_{\lambda} \tau_{\lambda} d\lambda,$$

де  $I_B$  – фотострум, який викликаний УФ випромінюванням в еритемній спектральній області, А;

$I_{\text{фон}}$  – фотострум, який викликаний випромінюванням у спектральній області, яку потрібно блокувати з  $\lambda > 320$  нм, А;

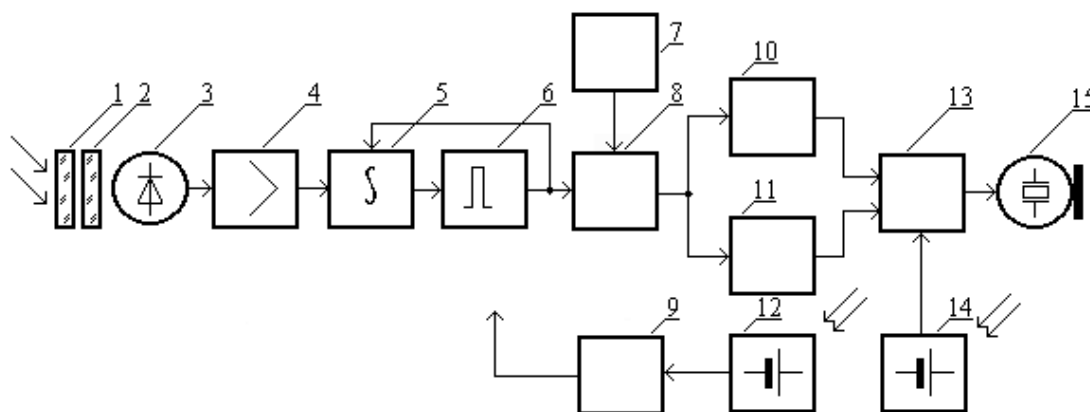
$S_{\phi}$  – площа чутливого елемента фотоприймача, см<sup>2</sup>;

$F_{\lambda}$  – інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/см<sup>2</sup>;

$\tau_{\lambda}$  – сумарний коефіцієнт пропускання КІФ світлофільтра і вхідного вікна;  $\lambda_1 = 280$  нм;  $\lambda_2 = 320$  нм;  $\lambda_3 = 800$  нм.

Оскільки в дозиметрі, завдяки оптичній системі, співвідношення  $I_{\phi} / I_{\text{фон}} > 100$ , то сигнал фотоприймача (величина  $I_{\phi}$ ) з високим ступенем точності буде відбивати зміну інтенсивності саме еритемної сонячної радіації, тобто величина  $I_{\phi}$  є кількісною мірою УФ-В-радіації.

На рис.3 наведено функціональну схему розробленого в АТ "Украналіт" дозиметра УФ-випромінювання, мод. ФС-01.



1 – вхідне вікно; 2 – КІФ світлофільтр; 3 – фотоприймач ФПД-1; 4 – вимірювальний підсилювач; 5 – інтегратор; 6 – формувач імпульсів; 7 – перемикач рівня МЕД; 8 – лічильник; 9 – стабілізоване джерело живлення; 10 – формувач звукового сигналу працездатності; 11 – формувач звукового сигналу накопиченої дози; 12, 14 – сонячні батареї; 13 – підсилювач потужності; 15 – п'єзодзвоник

Рисунок 3 – Функціональна схема дозиметра ФС-01

Сонячне випромінювання через вхідне вікно 1 і КІФ світлофільтр 2 надходить на фотоприймач 3. Сигнал з фотоприймача підсилюється

підсилювачем 4 і надходить на інтегратор 5. Інтегратор разом з формувачем імпульсів 6, формують послідовність імпульсів, частота проходження яких пропорційна інтенсивності УФ-випромінювання. Ця послідовність надходить на цифровий лічильник 8. Змінюючи коефіцієнт розподілу лічильника за допомогою перемикача 7 можна встановлювати бажану дозу, після накопичення якої спрацьовує сигналізація. Звукові імпульси сигналізації накопиченої дози формуються формувачем 11. Для сигналізації працездатності дозиметра в схему введений формувач звукового сигналу працездатності 10. Сигналізація здійснюється за допомогою п'єзодзвоника 15. Живлення дозиметра здійснюється від двох сонячних батарей 12, 14. Батарея 12 служить для живлення електронної схеми дозиметра, батарея 14 - для живлення схеми звукової сигналізації.

Габаритні розміри дозиметра ФС-01: 73×56×25 мм. Маса - 75 г.

На рис. 4 представлений зовнішній вигляд дозиметра



Рисунок 4 – Зовнішній вигляд дозиметра.

Користування дозиметром зводиться до наступного:

1. Спочатку необхідно установити за допомогою перемикача значення дози, при якій відбудеться спрацьовування звукової сигналізації. Вибір рівня дози в частках МЕД здійснюється із ряду: 1/8; 1/4; 1/2; 1; 2; 4 (дивись таблицю). При цьому враховується тип Вашої шкіри і рекомендації із прийому сонячних ванн без шкоди для здоров'я, що приводяться в інструкції з експлуатації дозиметра;

2. Далі необхідно установити дозиметр у вихідний стан, закривши долонею сонячні елементи на 2-3 с, і покласти його поруч із собою так, щоб на нього падали сонячні промені;

3. При досягненні встановленої Вами дози УФ-випромінювання дозиметр видасть переривчастий звуковий сигнал.

Тип шкіри	Доза			
	1 день	2 день	3 день	4 день
Світла, діти	1/8	1/4	1/2	до 1
Нормальна	1/4	1/2	1	до 2
Смуглява	1/2	1	2	до 4

Дозиметр пройшов усі види випробувань.

В АТ "Украналіт" виготовлено установчу партію дозиметрів у кількості 50 шт. Промисловий зразок дозиметра захищений патентом [8]. На цей час

дозиметри проходять експлуатаційні випробування на багатьох курортах європейських країн.

### Висновок

Розроблений дозиметр ФС-01 дозволяє значно спростити процедуру контролю рівня доз сонячної радіації при курортному лікуванні, а також дозволяє масовому споживачу проводити самостійно контроль одержуваної еритемної дози. Дозиметр простий в експлуатації, доступний за ціною (30 \$) широкому колу споживачів, не вимагає заміни джерел живлення, тому що працює від вбудованих сонячних батарей.

### Література

1. М. Мак-Ивен, Л. Филлипс. Химия атмосферы. – М.: Мир, 1978. – 376 с.
2. Ультрафиолетовое излучение. В сб. «Гигиенические критерии состояния окружающей среды», №14 (совместное издание Программы ООН по окружающей среде Всемирной организации здравоохранения и Международной ассоциации по радиационной защите), ВОЗ, Женева, 1984.
3. А.Я. Потапенко. Действие света на человека и животных // Соровский образовательный журнал. – 1996. – № 10. – С. 13–21.
4. Белинский В.А., Гараджа М.П. и др. Ультрафиолетовая радиация солнца и неба. Из-во Московского университета, 1968.
5. Радиометр VLX. Проспект фирмы «VILBER LOURMAT» Франция.
6. UV-B LUXOR. Проспект фирмы «Medium-SENSOR», Берлин.
7. Robert E. Varubam. Патент США, № 4535244, 1985.
8. Настенко В.С., Рыжков В.Ф., Дашковский А.А., Тимин А.К., Михеева И.Л. Дозиметр ультрафиолетового излучения. Патент России на промышленный образец, № 42056, зарегистрирован в Госреестре России 8.08.95.

Рыжков В.Ф., Михеева И.Л., Дашковский А.А. <b>Дозиметр ультрафиолетового излучения.</b> Рассмотрена проблема, связанная с воздействием ультрафиолетового (УФ) излучения Солнца на организм человека. Описаны особенности разработки и эксплуатации отечественного портативного дозиметра УФ-излучения ФС-01.	V. Ryzhkov, I. Mikhejeva A. Dashkovskiy. <b>Sensor of ultraviolet radiation.</b> Considered problem connected with the impact of Sun ultraviolet (UV) radiating on the human organism . Described particularities of development and usages domestic portable sensor of UV-radiating ФС-01.
---	---

Надійшла до редакції  
30 травня 2003 року