

**ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПОГЛИНЕНОЇ ЕНЕРГІЇ
ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ БІОЛОГІЧНИМ ОБ'ЄКТОМ**

Л. С. Червінський, доктор технічних наук, професор

Т. С. Книжка, кандидат технічних наук, старший викладач

О. І. Романенко, кандидат технічних наук, старший викладач

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: lchervinsky@gmail.com

Анотація. Відомо, що при вивченні дії електромагнітного і, зокрема, оптичного випромінювання на біологічний об'єкт одним з основних параметрів є величина енергії випромінювання, поглинута його структурами. Шляхи реалізації поглиненої об'єктом енергії електромагнітного випромінювання залежать від багатьох факторів, які визначаються як структурними властивостями об'єкта і навколишнього середовища, так і особливостями діючого електромагнітного поля (частота, інтенсивність, тривалість тощо). Визначення кількісних характеристик для вирішення рівняння енергетичного балансу в об'єкті, як правило, не тільки утруднене, але і їх точний розрахунок у ряді випадків є неможливим. Рівняння енергетичного балансу перетворення поглинутої енергії біологічним об'єктом також не може бути представлено (без істотних спрощень) в аналітичній формі. З точки зору дії фізичних факторів середовища на біологічний об'єкт важливим є випадок, коли при спробі охарактеризувати ефект чи ефективність дії фізичного середовища в якості параметрів використовуються величини, які мають обмежене використання для опису розглянутого ефекту.

До таких величин можуть відноситись коефіцієнт загального біологічного ефекту, що використовується в радіобіології, ефективність світла, яка використовується в світлотехніці, або відносна спектральна ефективність та подібні величини. Така фізична величина, як поглинена енергія (доза поглиненої енергії) або її похідні, в тій чи іншій формі входить до складу будь-якої математичної моделі, яка описує дію на біологічний об'єкт гамма-випромінювання або більш довгохвильового електромагнітного випромінювання, включаючи інфранизькі частоти.

При цьому слід відмітити, що чим вище рівень структурної ієрархії, на якому розглядається реакція біологічної системи, тим більше відхилення від середньостатистичної величини при встановленні кінцевого ефекту в результаті опромінення.

Ключові слова: оптичне випромінювання, біологічний об'єкт, доза випромінювання

Актуальність. Шляхи реалізації поглиненої об'єктом енергії електромагнітного випромінювання залежать від багатьох факторів, які визначаються як структурними властивостями об'єкта і навколишнього середовища, так і особливостями діючого електромагнітного поля (частота, інтенсивність, тривалість тощо). Визначення кількісних характеристик для вирішення рівняння енергетичного балансу в об'єкті є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вибору величин, які характеризують акти поглинання речовиною енергії іонізуючого випромінювання, достатньо повно розглянуті в літературі [1, 2, 5]. Слід відмітити, що в згаданих джерелах розглянуті питання про оцінку ефективності дії іонізуючого випромінювання і оптичного випромінювання комбінацією фізичних і регламентованих величин. Можна констатувати, що величини, складові частини яких регламентовані, не можуть бути метрологічними, оскільки точність їх вимірювання обмежуються не точністю вимірювальної апаратури метрологічного забезпечення, а статистичними характеристиками, якими оцінюються регламентовані величини, отримані усередненням деяких вихідних фізичних величин.

Мета дослідження – обґрунтувати та розробити методологічний підхід до визначення величини ефективно поглинутої оптичної енергії електромагнітного випромінювання біологічним об'єктом на відміну від існуючого підходу дозування оптичного опромінювання за величиною енергії, падаючої на його поверхню.

Матеріали і методи дослідження. У процесі дослідження використано методи фотометрії, математичного моделювання та системного аналізу.

Результати досліджень та їх обговорення. З точки зору дії фізичних факторів середовища на біологічний об'єкт важливим є випадок, коли при спробі охарактеризувати ефект чи ефективність дії фізичного середовища в якості параметрів використовуються величини, які мають обмежене використання для опису розглянутого ефекту. До таких величин можуть відноситись коефіцієнти загального біологічного ефекту (КБЕ), що використовується в радіобіології,

ефективність світла, яка використовується в світлотехніці, або відносна спектральна ефективність та подібні величини. Така фізична величина, як поглинена енергія (доза поглиненої енергії) або її похідні, в тій чи іншій формі входить до складу будь-якої математичної моделі, яка описує дію на біологічний об'єкт гамма-випромінювання або більш довгохвильового електромагнітного випромінювання, включаючи інфранизькі частоти [1, 2]. У радіобіології, як відомо, поглинена доза D_n визначається як відношення поглиненої енергії Q до маси речовини m , в якій поглинулась ця енергія:

$$D_{ni} = \frac{dQ_i}{dm_i} = \frac{\Delta Q_i}{\Delta m_i} \quad (1)$$

де індекс i в даному випадку вказує на структурний елемент m , який поглинув енергію ΔQ_i (dQ_i) [3].

Якщо визначити поглинуту дозу як кількість енергії, поглинуту структурою Δm_i , котра відповідає за розвиток конкретно зазначеного ефекту в об'єкті, то узагальнена поглинута доза для всіх структур опромінюваного об'єкту визначається формулою (2):

$$\overline{D}_n = \frac{\sum_i \frac{dQ_i}{dm_i} \Delta m_i}{\sum \Delta m_i} = \sum D_{ni} p_i \quad (2)$$

де $M = \sum \Delta m_i$ – сумарна маса структурних елементів об'єкту, яка дорівнює масі об'єкта $p_i = \Delta m_i / M$.

Порівнюючи \overline{D}_n і D_{ni} можна зробити висновок, що безпосереднє визначення D_{ni} по \overline{D}_n у загальному випадку не є можливим, оскільки елемент, визначений Δm_i , знаходиться на більш низькому ієрархічному рівні відносно до структури, визначеної M . Оскільки для дослідження і прогнозування результату опромінення біологічного об'єкту необхідно вирішення задач на рівні математичного моделювання з використанням дозування енергії в елементарних структурах D_{ni} допустимо ввести відношення:

$$D_{ni} = \frac{n_i}{p_i} \overline{D}_n, \quad (3)$$

де $n_i = \frac{\Delta Q_i}{\sum \Delta Q_i}$, при умові, що $D_n = \alpha D_0 / \rho$, маємо

$$D_{ni} = \frac{n_i}{p_i} \alpha D_0 \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

де α – коефіцієнт поглинання радіоактивної енергії; ρ – щільність структури біологічного об'єкта; D_0 – кількість енергії, яка поступила в об'єм опромінюваного об'єкту $V=M/\rho$.

Як видно з наведених рівнянь, величина поглинутої енергії може бути визначена експериментально шляхом вимірювання потоків енергій, що входять у розглянутий об'єм об'єкта і виходять з нього [3]. Слід зазначити, що при розгляданні питання про поглинену дозу виключалися ефекти, визначення яких пов'язане з питаннями мікродозиметрії. Розгляд дози з урахуванням молекулярної мікроструктури об'єкта, ймовірного характеру акту поглинання квантів енергії істотно ускладнило б викладене, не додаючи нічого принципово нового до даних висновків.

Такі ж висновки можна отримати, розглянувши визначення поглиненої дози енергії оптичного випромінювання, рекомендованої для вирішення задач біофотометрії. У цьому випадку поглинена енергія енергетичного випромінювання нормується на одиничну площу поверхні A поглинаючого об'єму біологічного об'єкту через яку надійшла енергія. Зберігаючи символіку, прийняту в біофотометрії, на основі виразу (4) маємо :

$$H_e = \alpha_e \frac{dQ_e}{dA} \quad (5)$$

де H_e – питома щільність енергії випромінювання, яка поступила за період опромінення через зовнішню поверхню A об'єкта і поглинулась в ньому; Q_e – оптична енергія, що впала на зовнішню поверхню об'єкта; α_e – коефіцієнт ефективного поглинання оптичної енергії.

Просте співвідношення дає можливість зв'язати певну поглинуту дозу D_n з енергією на поверхні опромінюваного об'єкту H_e .

Якщо прийняти, що кількість енергії, поглинута в одиничній структурі опромінюваного об'єкту $\Delta H_e = \alpha_e \Delta Q_e / \Delta A$, то ефективно поглинута і перетворена у відповідний ефект енергія становить:

$$D_n = \frac{\Delta H_e}{\rho \Delta L} \quad (6)$$

де $\Delta L = \Delta V / \Delta A$ – глибина ефективного поглинання енергії в елементарному структурному об'ємі; ρ – щільність структури біологічного об'єкта.

Ілюстрацією до сказаного вище можуть слугувати такі величини, як «люкс» і «люмен», в основі яких лежить усереднена регламентована, табульована функція – відносна спектральна ефективність зору людини.

В області радіобіології (найбільш розвинутому дослідницькому напрямку впливу опромінювання на біологічні об'єкти) наприклад, використовують так званий коефіцієнт загального біологічного ефекту (КБЕ) – K . Цей коефіцієнт визначається співвідношенням

$$K = \frac{D_{екв}}{D} \quad (7)$$

де $D_{екв}$ – доза іонізуючого випромінювання від стандартного джерела випромінювання, яка спричиняє заданий біологічний ефект; D – доза іонізуючого випромінювання, яку створює будь-яке інше джерело і яка викликає таку ж реакцію об'єкта, що виникає під дією іонізуючого випромінювання від стандартного джерела при дозі $D_{екв}$.

Аналогічно в біофотометрії використовується величина – відносна спектральна ефективність оптичного випромінювання $V(\lambda)$. Вона визначається співвідношенням величини монохроматичного потоку різної довжини хвилі, які в заданих умовах спричиняють в біологічному об'єкті однаковий по величині ефект. При цьому довжина хвилі монохроматичного випромінювання при якому спостерігається максимальний біологічний ефект визначається як $\lambda_m \text{ max}$.

$$V(\lambda) = \frac{\Phi_\lambda}{\Phi_m} = \frac{\alpha_e(\lambda)}{\alpha_e(\lambda_m)} \quad (8)$$

де $\alpha_e(\lambda)$ і $\alpha_e(\lambda_m)$ – коефіцієнти ефективного поглинання для монохроматичних випромінювань з довжиною хвилі λ і λ_m , відповідно.

Максимальне значення відносної спектральної ефективності оптичного випромінювання $V(\lambda)$ може становити одиницю.

Поглинена доза в цьому випадку визначена відношенням кількості поглинутої енергії біологічними структурами, на яких реалізується первинна фотореакція (фізична стадія) до одиниці маси цих структур. Враховуючи те, що реакція біологічних об'єктів на дію оптичного випромінювання в загальному випадку залежить нелінійно від інтенсивності (потужності) і кількості (дозы) оптичного випромінювання і закон адитивності не дотримується, можна зробити висновок, що така величина, як $V(\lambda)$ має обмежене використання. При цьому, для ряду ефектів область використання $V(\lambda)$ визначається умовно, що може привести до значних помилок при прогнозі величини бажаного ефекту. Величина $V(\lambda)$ може бути використана при умові справедливості виразу (8).

Визначення ефективно поглинутої дози пов'язано з вимірюванням фізичних величин, які характеризують дію на біологічний об'єкт електромагнітного поля і засновані на коефіцієнти поглинання. Необхідно провести ґрунтовні та системні визначення оптичних властивостей біологічних структур з точки зору біофотометричних вимірів. Наприклад, дослідження пов'язані з питаннями екранування біологічних складових структур одна одною. Дійсно, при розгляді поглинутої дози величина і спектральний склад потоку оптичного випромінювання, падаючого на структури, вважалися відомими. Фактично ж, падаючий на поверхню біологічного об'єкта потік оптичного випромінювання на своєму шляху до таких структур змінюється як по величині, так і по спектральному складу за рахунок взаємодії з розміщеними на його шляху в глибину об'єкту іншими структурами (наприклад, волосяний покрив та шкіра у тварин і т.д.) [9].

Поглинання енергії можливо визначити таким виразом (без врахування відбивання і розсіювання)

$$\frac{dD_{\pi}}{d\lambda} = \alpha(\lambda) \prod \tau_i(\lambda) \frac{dD}{d\lambda} \quad (9)$$

де $\tau_i(\lambda) = 1 - \alpha_i(\lambda)$ коефіцієнти пропускання, $\alpha_i(\lambda)$ – коефіцієнти поглинання для структур, які лежать на шляху потоку оптичного випромінювання до сприймаючої структури.

Нижче наведено приклад визначення ефективно поглинутої енергії ультрафіолетового випромінювання (УФ) в тілі сільськогосподарської тварини.

Нині вченими встановлено, що найбільш важливою і дослідженою дією УФ випромінювання на тваринний організм є антирахітна дія, яка визначається через утворений у шкірі вітамін D₃ із 7-дигідрохолестерину (провітаміну D) з наступним його перерозподілом по всьому організму.

Наприклад, достатньо повно норми добового споживання вітаміну D для тварин різного віку і вагових категорій приведено в [3]. Тобто є доцільним покласти їх в основу розрахунку доз УФО як нормовану кількість вітаміну D, яку необхідно створити в організмі тварини енергією УФ випромінювання для її оптимального розвитку.

Методичний підхід до розрахунку дози ультрафіолетового опромінення тварин за спектром D – вітаміностворюючої дії ультрафіолетового випромінювання та добовою потребою у вітаміні D запропонований нами ще у 80 -ті роки на прикладі УФ опромінювання свиней різного віку і порід [4, 5]. Глибокий аналіз літератури фотобіологічних і фотохімічних досліджень [3] у даному напрямку дозволив нам зібрати достовірні результати по визначенню спектру D-вітаміностворюючої дії УФ випромінювання і, за методикою наведеною в [5], вперше одержати спектральну залежність кількості енергії УФ випромінювання, необхідної для утворення інтернаціональної одиниці маси (25·10⁻⁹г) вітаміну D (тобто визначити питомі енерговитрати випромінювання з довжиною хвилі λ на утворення вітаміну D, яка дозволила розробити математичну модель взаємодії енергії оптичного випромінювання із тваринним організмом у вигляді:

$$\frac{M}{S} \int_t \int_{250}^{380} \frac{\mu(\lambda)}{\alpha(\lambda)} d\lambda dt = \frac{1}{S} \int_t \int_{250}^{380} F_{nad}(\lambda) d\lambda dt, \quad (10)$$

де ліва частина виразу визначає загальну кількість енергії УФ випромінювання з довжиною хвилі від 250 до 380 нм, яку необхідно подати на опромінювану поверхню (S) тіла тварини, щоб вона з ефективністю $\alpha(\lambda)$ була використана на утворення заданої кількості (M) вітаміну D в товщі тіла опромінюваної тварини;

права частина виразу визначає енергію потоку УФ випромінювання від джерела, що необхідно подати на поверхню тіла тварини (S) і за час (t) для утворення в товщі тіла заданої кількості продукту (M). Тобто, ліва частина виразу характеризує енергетику об'єкта опромінювання, а права частина – енергетику джерела випромінювання.

Аналіз багатолітніх досліджень ряду вчених [1] і власних досліджень [5, 6-8] дозволив обґрунтувати і розробити узагальнюючу методику визначення дози ультрафіолетового опромінювання тварин і птиці на основі зоотехнічно обґрунтованої добової потреби у вітаміні D за спектром питомих енерговитрат D-вітаміностворюючої дії ультрафіолетового випромінювання із врахуванням ефективності поглинання поверхні тіла за виразом:

$$H_d = \frac{\Omega \times M_d}{\gamma \times S} \int_{250}^{330} \mu(\lambda) d\lambda, \quad (11)$$

де M_d – добова потреба тварини у вітаміні D, і.о.; S – площа опромінюваної поверхні тварини, м²; $\mu(\lambda)$ – кількісна енергетична ефективність ультрафіолетового випромінювання (у діапазоні 250...330 нм) з довжиною хвилі λ нм необхідного для створення інтернаціональної одиниці маси вітаміну D, Вт·год/і.о. (питомі енерговитрати); γ – інтегральний коефіцієнт ефективності поглинутого ультрафіолетового випромінювання шкіряно-шерстяного покривом тварини [2, 6]:

$$\gamma = (1 - \rho(\lambda)) \tau_e(\lambda, h_{e1}) \alpha_k(\lambda, h_k), \quad (12)$$

де $\rho(\lambda)$ – спектральний коефіцієнт відбивання шкіряно-шерстяного покриву тварини; $\tau_e(\lambda, h_e)$ – спектральний коефіцієнт пропускання епідермісу; $\alpha_k(\lambda, h_k)$ – спектральний коефіцієнт поглинання шкіри; Ω – відносний коефіцієнт густини шерстяного покриву.

Відносний коефіцієнт густини визначається за виразом:

$$\Omega = M^k \varepsilon^{-\frac{nld}{S}}, \quad (13)$$

де M – маса тварини, кг; n – щільність шерстин, шт/см²; l – середня довжина шерстин, м; d – середній діаметр шерстин, м; S – площа опромінюваної поверхні тварини, м²; k – коефіцієнт, що враховує видові особливості тварин [4].

Наприклад, при використанні в якості джерел ультрафіолетового випромінювання газорозрядних ламп високого тиску типу ДРТ-400 вираз для визначення фактичної дози ультрафіолетового опромінювання тварин або птиці спрощується:

$$H_d = \frac{\Omega \cdot M_d}{\gamma \cdot S} \cdot 4,428 \cdot 10^{-6} \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{інтерн.од. м}^2, \quad (14)$$

де цифровий коефіцієнт ($4,428 \cdot 10^{-6}$) визначає питому енергетичну ефективність D-вітаміностворюючої дії УФ випромінювання лампи ДРТ- 400. Для інших джерел УФ випромінювання цей коефіцієнт буде відповідно іншим.

Висновки і перспективи. Дослідження останніх років проведені в Національному університеті біоресурсів і природокористування України з визначення γ -інтегрального коефіцієнта ефективності поглинутого ультрафіолетового випромінювання шкіряно-шерстяним покривом тварин різного виду, віку і порід та Ω – відносного коефіцієнта густини їх шерстяного покриву дозволили визначити за виразом (14) оптимальні дози УФ опромінювання для різних сільськогосподарських тварин і птиці та порівняти їх з рекомендованими галузевим нормативним документом. Порівняльний аналіз величин доз показує співрозмірність їх конкретних значень. Проте слід зазначити, що величина дози УФ опромінювання визначеної розрахунком за даною методикою є більш точною. Власне тому, що при її розрахунку враховуються інтегральним коефіцієнтом ефективності поглинутого випромінювання (γ) особливості віку, породи й умов утримання тварини і птиці (за оптичними характеристиками їх сприймаючого покриву); параметри шерстяного покриву тварини враховуються коефіцієнтом густини (Ω), а також його вагова категорія – добовою нормою вітаміну D (M_d).

Список літератури

1. Бакшеев П. Д. Штучне опромінення тварин / П. Д. Бакшеев. – К.: Урожай, 1980. – 78 с.
2. Червінський Л. С. Обґрунтування та визначення критерію ефективності біологічної дії оптичного випромінювання на тваринний організм / Л. С. Червінський // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2001. – №6. – С. 343–349.
3. Кульчин Ю. Н. Фотоника биоминеральных и биомиметических структур и материалов / Ю. Н. Кульчин, С. С. Вознесенский. – М.: Физматлит, 2011. – 224 с.
4. Мартыненко И. И. Исследование световодных свойств щетины / И. И. Мартыненко, С. С. Шевель, Л. С. Червинский. // Науч. тр. УСХА. – 1981. – С. 63–66.
5. Голиков А. Н. Физиология сельскохозяйственных животных / А. Н. Голиков. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 432 с.
6. Червинский Л. С. Расчет оптимальной дозы ультрафиолетового облучения свиней различного возраста / Л. С. Червинский. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – №58. – С. 57–61.
7. Червинский Л. С. Дозирование ультрафиолетового облучения свиней с учетом оптических характеристик кожного-шерстного покрова : дис. канд. техн. наук / Червинский Л. С. – Киев, 1984. – 128 с.
8. Червінський Л. С. Вивчення шляхів проникнення і перетворення оптичного випромінювання в організм тварин / Л. С. Червінський. // Аграрна наука і освіта. – 2001. – №3. – С. 101–106.
9. Примаков В. Н. Биофизические основы биофотометрии / В. Н. Примаков, Н. С. Шишкина. – Пушино: ОНТИ НЦБИ, 1980. – 190 с.

References

1. Baksheiev P. D. (1980) Shtuchne oprominennia tvaryn [Artificial irradiation of animals]. Kyiv: Urozhai, 78.
2. Chervinskyi L. S. (2001) Obhruntuvannia ta vyznachennia kryteriiu efektyvnosti biolohichnoi dii optychnoho vyprominiuvannia na tvarynnyi orhanizm [Justification and determination of the criterion of the effectiveness of the biological action of optical radiation on an animal organism]. Visnyk Kharkivskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu sil'skoho hospodarstva, 6, 343–349.
3. Kulchyn Y. N. (2011) Fotonyka byomyneralnykh y byomymetycheskykh struktur y materyalov [Photonics of biomineral and biomimetic structures and materials]. Moskva: Fyzmatlyt, 224.
4. Martynenko I. I. (1981) Issledovanie svetovodnyh svojstv shchetiny [Study of the light guide properties of bristles]. Nauch. tr. USKHA. 63–66.
5. Golikov A. N. (1991) Fiziologiya sel'skohozyajstvennyh zhyvotnyh [Physiology of farm animals]. Moskva: Rosagropromizdat, 432.
6. Chervinskij L. S. (1983) Raschet optimal'noj dozy ul'trafiioletovogo oblucheniya svinej razlichnogo vozrasta [Calculation of the optimal dose of ultraviolet radiation to pigs of different ages]. Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 58. 57–61.

7. Chervinskij L. S. (1984) Dozirovanie ul'trafioletovogo oblucheniya svinej s uchetom opticheskikh harakteristik kozhno-sherstnogo pokrova [Dosing of ultraviolet irradiation of pigs, taking into account the optical characteristics of the skin-coat]. Kiev. 128.

8. Chervinskyi L. S. (2001) Vyvchennia shliakhiv pronykennia i peretvorennia optychnoho vyprominiuvannia v orhanizm tvaryn [The study of the ways of penetration and transformation of optical radiation into the body of animals]. Ahrarna nauka i osvita. 3. 101–106.

9. Primak V. N. (1980) Biofizicheskie osnovy biofotometrii [Biophysical basis of biophotometry]. Pushchino: ONTI NCBI. 190.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПОГЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ *Л. С. Червинский, Т.С. Книжка, А. И. Романенко*

Аннотация. Известно, что при изучении воздействия электромагнитного и, в частности, оптического излучения на биологический объект одним из основных параметров является величина энергии излучения, поглощенная его структурами. Пути реализации поглощенной объектом энергии электромагнитного излучения зависят от многих факторов, определяемых как структурными свойствами объекта и окружающей среды, так и особенностями действующего электромагнитного поля (частота, интенсивность, продолжительность и т.д.). Определение количественных характеристик для решения уравнения энергетического баланса в объекте, как правило, не только затруднено, но и их точный расчет в ряде случаев невозможен. Уравнение энергетического баланса преобразования поглощенной энергии биологическим объектом также не может быть представлено (без существенных упрощений) в аналитической форме. С точки зрения действия физических факторов среды на биологический объект важным является случай, когда при попытке охарактеризовать эффект или эффективность действия физической среды в качестве параметров используются величины, которые имеют ограниченное использование для описания рассматриваемого эффекта.

К таким величин могут относиться коэффициент общего биологического эффекта, используемый в радиобиологии, эффективность света, которая используется в светотехнике, относительная спектральная эффективность и подобные величины. Такая физическая величина, как поглощенная энергия (доза поглощенной энергии) или ее производные, в той или иной форме входит в состав любой математической модели, описывающей воздействие на биологический объект гамма-излучения или более длинноволнового электромагнитного излучения, включая инфранизкие частоты.

При этом следует отметить, что чем выше уровень структурной иерархии, на котором рассматривается реакция биологической системы, тем больше

отклонение от среднестатистической величины при установлении конечного эффекта в результате облучения.

Ключевые слова: *оптическое излучение, биологический объект, доза излучения*

TO THE QUESTION OF DETERMINING THE SIZE OF THE ABSORBED ENERGY OF OPTICAL RADIATION OF BIOLOGICAL OBJECTS

L. Chervinsky, T. Knizhka, A. Romanenko

Abstract. *It is known that when studying the effects of electromagnetic and, in particular, optical radiation on a biological object, one of the main parameters is the amount of radiation energy absorbed by its structures. The ways of realization of electromagnetic radiation energy absorbed by the object depend on many factors, determined both by the structural properties of the object and the environment, and by the features of the acting electromagnetic field (frequency, intensity, duration, etc.). The determination of quantitative characteristics for solving the energy balance equation in an object, as a rule, is not only difficult, but their exact calculation is impossible in some cases. The equation of the energy balance of the conversion of absorbed energy by a biological object also cannot be represented (without significant simplifications) in an analytical form. From the point of view of the action of physical environmental factors on a biological object, an important case is when, when trying to characterize the effect or effectiveness of the physical environment, parameters that are of limited use to describe the effect in question are used as parameters.*

Such values may include the coefficient of the overall biological effect used in radiobiology, the light efficiency that is used in lighting engineering, the relative spectral efficiency, and similar quantities. A physical quantity such as absorbed energy (dose of absorbed energy) or its derivatives, in one form or another, is part of any mathematical model that describes the effect on a biological object of gamma radiation or longer-wave electromagnetic radiation, including infra-low frequencies.

It should be noted that the higher the level of the structural hierarchy at which the response of the biological system is considered, the greater the deviation from the average statistical value when establishing the final effect because of irradiation.

Key words: *optical radiation, biological object, radiation dose*