

©2015 р. П.О. Тимків, Л.Б. Демчук, М.В. Бачинський

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПОЗИЦІЇ СВІТЛОВОГО ПОДРАЗНЕННЯ У НИЗЬКОІНТЕНСИВНІЙ СВІТЛОВІЙ СТИМУЛЯЦІЇ

Використання світлової стимуляції, як немедикаментозного способу впливу, розширює застосування методів фізіотерапії в медицині. Для ефективнішого терапевтичного впливу, перспективним є синхронізація подачі світлового імпульсу із пульсовою хвилею. При використанні ультра-яскравих білих світлодіодів, як джерел світлового подразнення, необхідним є застосування світлофільтрів. Для зниження експозиції світлового подразнення використано ШІМ-модуляцію живлення світлодіоду, та визначено експозицію світлового подразнення при застосуванні світлофільтрів.

**Ключові слова:** світлова стимуляція, світлодіод, низька інтенсивність, світлове подразнення, освітленість, експозиція, світлофільтр.

Использование световой стимуляции, как немедикаментозного способа воздействия, расширяет применение методов физиотерапии в медицине. Для эффективного терапевтического воздействия, перспективным является синхронизация подачи светового импульса с пульсовой волной. При использовании ультраярких белых светодиодов, как источников светового раздражения, необходимо применение светофильтров. Для снижения экспозиции светового раздражения использовано ШИМ-модуляцию питания светодиода, и определена экспозиция светового раздражения при применении светофильтров.

**Ключевые слова:** световая стимуляция, светодиод, низкая интенсивность, световое раздражение, освещенность, экспозиция, светофильтр.

Using light stimulation as non-drug method of influence, extends the use of physiotherapy techniques in medicine. For effective therapeutic intervention, promising synchronization submission light pulse from the pulse wave. When using ultra-white LEDs as light sources of irritation, it is necessary to use light filters. To reduce exposure light stimulation applied PWM-modulation power LED, and set the exposure light irritation when applying filters.

**Keywords:** light stimulation, LED, low intensity stimulation, lighting, exposure, filter.

У зв'язку зі збільшенням кількості людей, які страждають на алергічні захворювання, наявність специфічних фізіологічних станів (таких як вагітність), що обмежують застосування лікарських засобів, а також при реабілітації спортсменів, велике значення набувають фізіологічні методи впливу, зокрема світлостимуляції. Загальний лікувальний ефект, визначається комплексним впливом декількох факторів і сумою відповідних реакцій органів і систем організму. Це пояснює широкий діапазон терапевтичних ефектів від світлової стимуляції: антидепресивний, седативний, снодійний, міорелаксуючий, психостимулюючий ефекти, зниження стомлюваності, підвищення працездатності, усунення головного болю, нормалізація артеріального тиску та ін.

У відомих системах світлової стимуляції, таких як "ОПЭК" (ЗАО НПП "ОПТЭК", Росія), "LAXMAN" (*LAXMAN Innertainment System*, Німеччина) використовується світлова стимуляція, що впливає на рецептори і нервово-м'язевий апарат очей імпульсами певної довжини хвилі зони видимого спектру.

У літературі наводяться численні факти, що засвідчують ефективність застосування світлової стимуляції в загальносоматичній практиці: при лікуванні ішемічної хвороби серця, гіпертонічної хвороби, бронхіальної астми, гінекологічних захворювань, при лікуванні різних офтальмологічних захворювань, в неврології – при різних формах енцефалопатії.

У спільних дослідженнях кафедри біоте-

хнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та Тернопільського державного медичного університету імені І.Я. Горбачевського встановлено, що найкращий ефект від світлового впливу досягається у випадку, коли імпульси світлового подразнення синхронізовані з роботою серцево-судинної системи.

### **Застосування світлової стимуляції у медицині**

Світлоімпульсна стимуляція – це немедикаментозний метод терапевтичного впливу, що відноситься до хронобіологічних методів, поєднує світлотерапію і біоритмотерапію. Її використання забезпечує ефективний вплив при лікуванні та профілактиці захворювань внутрішніх органів, функціональних розладів нервової системи, хвороб зорового аналізатора [1-3]. Діючими факторами при візуальній світлостимуляції є монохроматичні чи ахроматичні імпульси електромагнітного випромінювання в діапазоні видимого світла, з керованим ритмом подачі, модуляцією, регульованою потужністю потоку і рівномірністю освітленості [3].

Відповідні фізіологічні реакції, при проведенні процедур, поділяються на декілька груп [4]:

1. Генетично детерміновані (сформувався за типом умовних рефлексів) – асоціативні відповідні реакції на певний колір із зміною психоемоційного стану пацієнта [3].

2. Рефлекторні реакції – покращення кровопостачання при ритмічній подачі світлових імпульсів.

3. Процеси збудження або гальмування – залежно від ритму, модуляції світлових сигналів, рівня світлового потоку.

Терапевтичний ефект обумовлений нормалізацією біоритмів зорового аналізатора, і організму в цілому. Це відбувається за рахунок здатності людського організму синхронізуватися з нав'язаним ритмом зовнішнього джерела подразнення [4,5]. Тому світлоімпульсна стимуляція може використовуватися в комплексному лікуванні пацієнтів, оскільки добре поєднується з іншими мето-

дами лікування. Цю методику характеризує неінвазивність, фізіологічність і відсутність алергічних реакцій [6,7].

### **Огляд існуючих систем світлової стимуляції**

До складу відомих апаратів світлоімпульсної стимуляції входять: випромінювачі – джерелами світла видимого діапазону спектру та блок керування світловими імпульсами. В якості джерел світла можливе використання ламп розжарювання або світлодіодів. При наявності ламп розжарювання, застосовуються світлофільтри, що дають можливість отримати різні кольори.

Світлодіоди генерують некогерентне випромінювання монохроматичного чи ахроматичного світлового спектру. Електронний блок використовують для отримання та керування світловими імпульсами [2].

Застосовувані для візуальної світлостимуляції медичні апарати поділяються на дві групи. У першу відносять установки дистанційного впливу на зоровий аналізатор пацієнта або групи пацієнтів за допомогою різних екранів. Апарати другої групи компактні – терапевтичний вплив пацієнти отримують, одягнувши спеціальні окуляри-маску [3].

Апарати для світлоімпульсної стимуляції генерують світлові імпульси видимої частини спектру, з наперед заданою довжиною хвилі (кольором) та інтенсивністю, при цьому можливим є використання імпульсного закону модуляції для розширення спектру випромінюваних частот. Одночасно застосовують випромінювання декількох частот різної довжини хвилі, або ковзання частоти модуляції в певному, терапевтично значимому діапазоні. Такий вплив підвищує дієвість і терапевтичну ефективність у порівнянні з дією однієї фіксованою довжиною хвилі [3].

У 1966 р. А.П. Белишевим запропонована проста конструкція "Фотостимулятор", що складається з трьох частин: електронного блоку управління, джерела світла і окулярів-маски. Процедури можна проводити в будь-якому приміщенні, одному чи декільком пацієнтам одночасно [8]. При використанні світлової стимуляції синхронно з пульсовою хвилею, застосовують систему наведену на рис. 1.

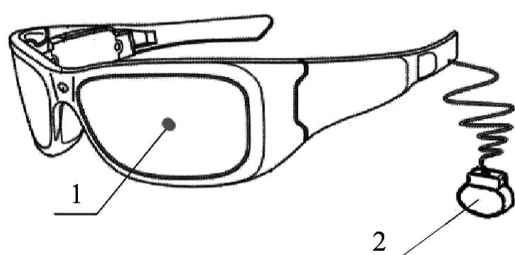


Рис. 1. Система синхронної фотостимуляції:  
1 – світлодіод, 2 – давач пульсової хвилі.

Сигнал пульсової хвилі (рис.2) підсилюється та фільтрується за допомогою попереднього підсилювача, після чого детектором фіксується передній фронт пульсової хвилі і формуються імпульси необхідної тривалості [9]. Від детектора імпульс поступає на регулятор струму, який стабілізує струм, що протікає через світлодіоди та забезпечує вимкнення їх в момент відсутності імпульсу.

Відповідно до структурної схеми світлової стимуляції (рис.3), потік інфрачервоних променів падає на біооб'єкт, відбивається і попадає на поверхню чутливого елемента. З його виходу електричний сигнал надходить на вхід підсилювача, а після нього на фільтр низьких частот. Прямокутні імпульси формуються тривалістю 2,5 мс, передній фронт

яких співпадає з вершинами імпульсів сигналу на виході ФНЧ приладу. Таким чином, період цих імпульсів відповідає періоду серцевих скорочень.

Основні характеристики системи світлової стимуляції:

- 1) живлення: від мережі 220 В/50 Гц;
- 2) вплив на пацієнта: світлові імпульси прямокутної форми;
- 3) синхронізація:
  - від внутрішнього генератора;
  - від пульсу (за допомогою давача пульсу);
- 4) частота генератора: 50, 60, 70, 90, 120, 150, хв.<sup>-1</sup>;
- 5) максимальна експозиція (на одне око): 1,5 лк·с;

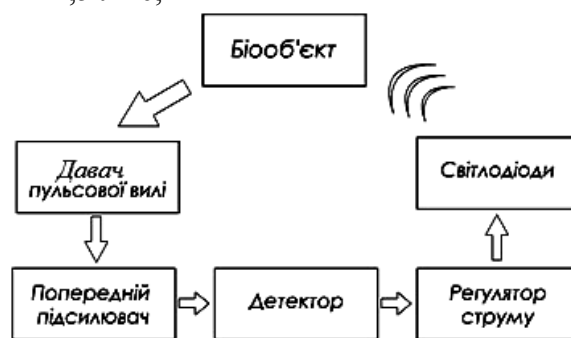


Рис. 2 Функціональна схема синхронної світлової стимуляції.

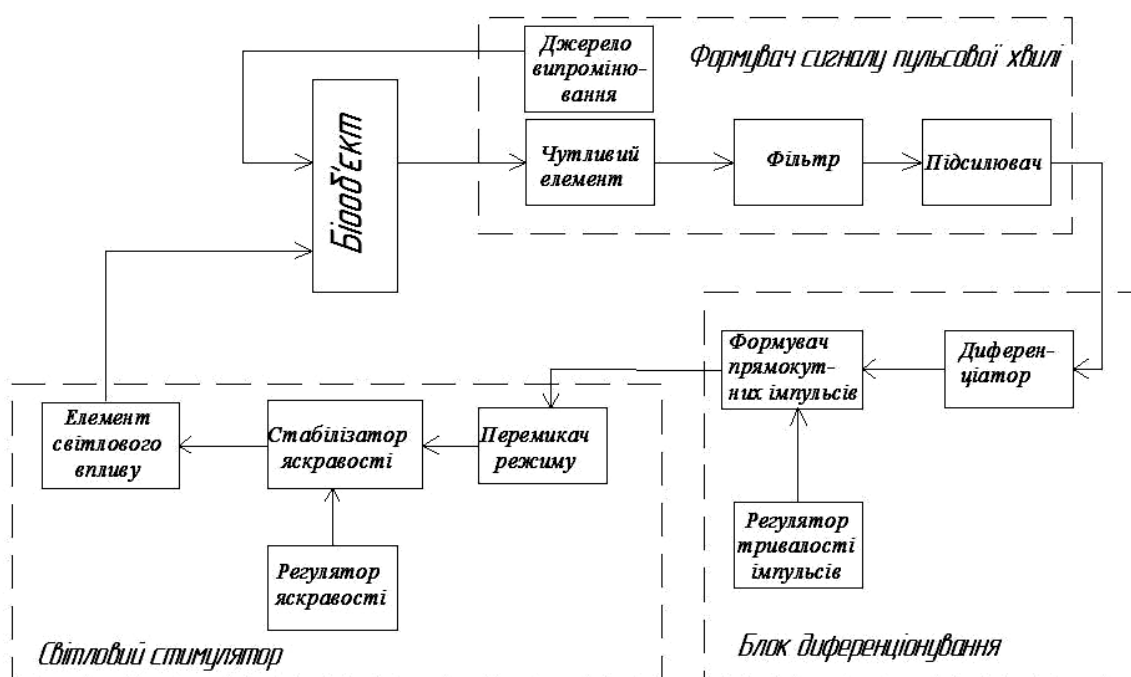


Рис.3 Структурна схема системи світлової стимуляції.

- 6) максимальна тривалість імпульсу: 50 мс;
- 7) максимальна сила світла (на одне око): 500 мкд.

**Вибір світлодіодів та світлофільтрів для низькоінтенсивної світлової стимуляції**

Світлодіод – це напівпровідниковий прилад, що здатний перетворювати електричну енергію безпосередньо у світлову (рис.4). За своєю структурою, світлодіод подібний до звичайного напівпровідникового діода, так само як і будь який напівпровідниковий діод, світлодіод має властивість односторонньої електропровідності, але, при протіканні електричного струму у "прямому" напрямі, на кристалі, в зоні контакту напівпровідників різного типу провідності, виникає генерування квантів енергії видимого спектру (фотонів) [10]. Довжина хвилі, яку людське око сприймає як колір, залежить лише від структурних та хімічних особливостей напівпровідників. Зміни характеристик струму живлення світлодіода (сила струму, частота, напруга) не впливають на довжину хвилі випромінюваного світла [10].

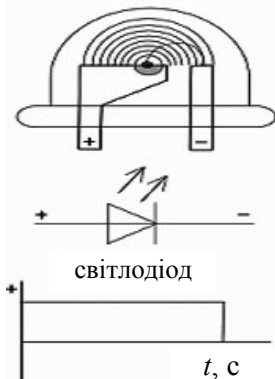


Рис.4. Структура світлодіода [11].

Основні характеристики світлодіодів це сила світла (ефективність), кут випромінювання, потужність, робочий струм, колір, колірна температура випромінювання, деградація світлодіода [11].

У порівнянні з іншими електричними джерелами світла у світлодіодів такі переваги [10]:

- висока світлова віддача;
- висока механічна міцність;
- вібростійкість;

- тривалий термін служби;
- різний спектр випромінювання;
- мала інерційність;
- широкий кут випромінювання від 15° до 180°;
- споживча та екологічна безпека.

Отже, актуальною задачею є визначення мінімального рівня енергії світлового подразнення при використанні ультрафіолетових світлодіодів та світлофільтрів у низькоінтенсивній світловій стимуляції.

Низька інтенсивність світлового подразнення використовується у квантовій електроретинографії, для виявлення ризиків нейротоксикації [12,13]. Для зниження енергії світлового подразнення застосовують ШІМ-модуляцію живлення світлодіода. При цьому, експозицію світлового подразнення у квантовій електроретинографії знижено до рівня 0,522 лк·с [13].

При визначенні експозиції світлового подразнення, необхідно враховувати, що залежність між силою світла та силою струму живлення світло діода, згідно паспорту, – лінійна. Світловий потік  $\Phi$  світлодіода визначається із співвідношення:

$$\Phi = I_k \cdot \Omega, \quad (1)$$

де  $\Omega = 2\pi(1 - \cos(\alpha/2))$  – просторовий кут,  $\alpha$  – половина площинного кута біля вершини трикутника світлового потоку.

Освітленість  $E$  світлової плями при використанні світлодіода визначається як

$$E(\text{лк}) = \frac{\Phi(\text{лм})}{S(\text{м}^2)}, \quad (2)$$

Визначаємо експозицію  $H$  [лк·с] світлового стимулу. Оскільки живлення світлодіода, проводилось в режимі ШІМ-модуляції, тому експозиція світлового стимулу буде пропорційна часу протікання струму через світлодіод, тому при визначенні експозиції, врахуємо шпаруватість  $D$  у %.

$$H = E \cdot t \cdot D. \quad (3)$$

У низькоінтенсивній світловій стимуляції важливим є зниження рівня світлового подразнення, але певної довжини хвилі (кольору). Тому проведено визначення мінімального рівня освітленості ока з викори-

станням світлофільтрів. При цьому використано три комплекти світлофільтрів зеленого, синього та червоного кольорів: "Оптимак ЦФ", "Спектрозон" та "Оптичне скло" (таблиця 1). Спектральні характеристики світлофільтрів наведено на рис.5-7.

Таблиця 1. Значення освітленості при використанні світлофільтрів, лк.

	Синій	Зелений	Червоний
Оптимак ЦФ	19	10	5
Спектрозон	45	15	30
Оптичне скло	10	4	12

Для визначення освітленості ока після проходження світлофільтру визначено коефіцієнт послаблення для кожного світлофільтру із комплектів світлофільтрів. Коефіцієнт послаблення визначається із формули [14]:

$$k_n = \frac{E_1}{E_2}, \quad (4)$$

де  $E_1$  – світловий потік від джерела випромінювання без світлофільтру,  $E_2$  – світловий потік від джерела випромінювання після проходження світлофільтру.

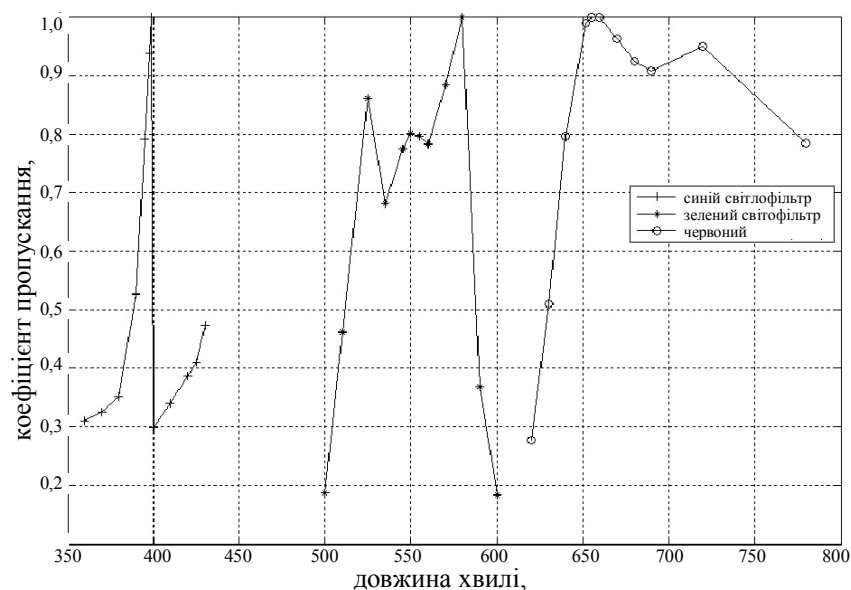


Рис.5. Спектральні характеристики світлофільтрів "Оптимак ЦФ".

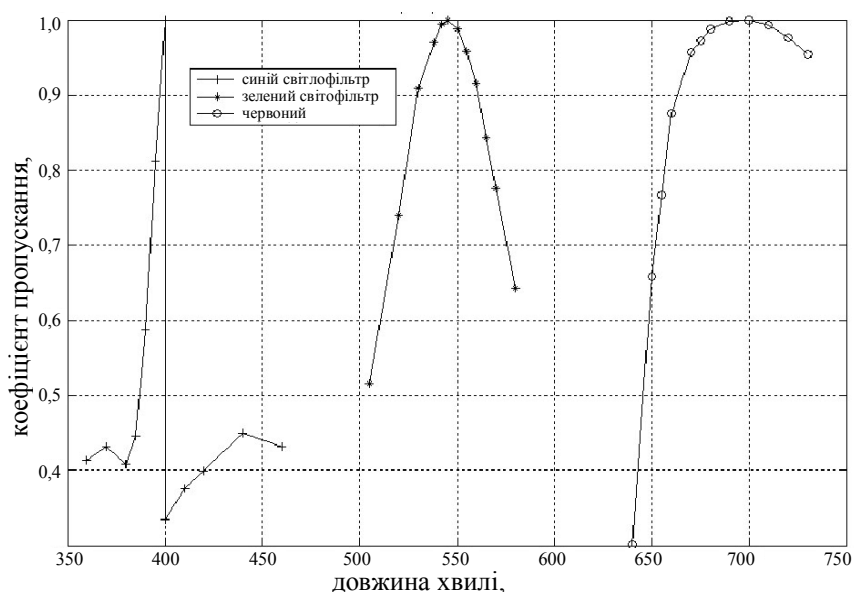


Рис.6. Спектральні характеристики світлофільтрів "Спектрозон".

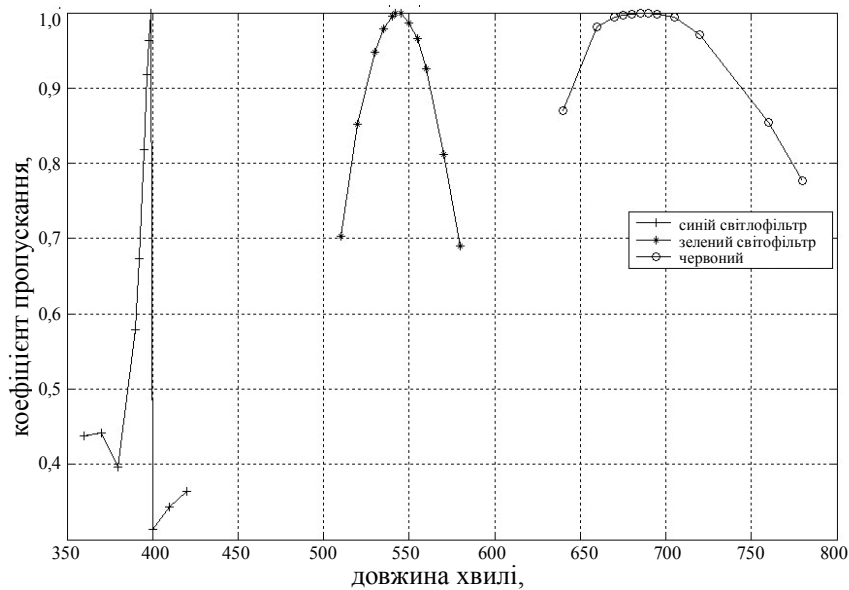


Рис.7. Спектральні характеристики світлофільтрів "Оптичне скло".

Для визначення коефіцієнту послаблення кожного світлофільтру із комплексу фільтрів застосовано люксметр Ю116. Як джерело світла при вимірюваннях використано світлодіод HL-1008H238WC, прямий струм через світлодіод  $I_{np}=10$  мА, освітленість без світлофільтру  $E_1=100$  лк.

На основі співставлення освітленості без світлофільтру та з використанням світлофільтру, визначимо коефіцієнти послаблення:

1) для комплексу "Оптимак ЦФ":

а) для синього світлофільтру:

$$k_n = \frac{E_1}{E_2} = \frac{100}{19} = 5,26,$$

б) для зеленого світлофільтру:

$$k_n = \frac{100}{45} = 2,22,$$

в) для червоного світлофільтру:

$$k_n = \frac{100}{10} = 10,$$

2) для комплексу "Спектрозон":

а) для синього світлофільтру:

$$k_n = \frac{100}{10} = 10,$$

б) для зеленого світлофільтру:

$$k_n = \frac{100}{15} = 6,61,$$

в) для червоного світлофільтру:

$$k_n = \frac{100}{4} = 25,$$

3) для комплексу "Оптичне скло":

а) для синього світлофільтру:

$$k_n = \frac{100}{5} = 20,$$

б) для зеленого світлофільтру:

$$k_n = \frac{100}{30} = 3,33,$$

в) для червоного світлофільтру:

$$k_n = \frac{100}{12} = 8,33.$$

При застосуванні ШІМ-модуляції живлення світлодіода в квантовій електроренографії, експозицію світлового подразнення знижено до рівня 0,522 лк·с, тому при застосуванні світлофільтрів (за незмінного часу дії світлового стимулу), експозиція світловим імпульсом, у низькоінтенсивній світловій стимуляції, з певною довжиною хвилі, складатиме:

$$H_2 = \frac{H_1}{k_n}, \quad (5)$$

1) для комплексу "Оптимак ЦФ":

а) для синього світлофільтру:

$$H_2 = \frac{H_1}{k_n} = \frac{0,522}{5,26} = 0,104 \text{ лк} \cdot \text{с},$$

б) для зеленого світлофільтру:

$$H_2 = \frac{0,522}{2,22} = 0,235 \text{ лк} \cdot \text{с},$$

в) для червоного світлофільтру:

$$H_2 = \frac{0,522}{10} = 0,052 \text{ лк} \cdot \text{с},$$

2) для комплексу "Спектрозон":

а) для синього світлофільтру:

$$H_2 = \frac{0,552}{10} = 0,052 \text{ лк} \cdot \text{с},$$

б) для зеленого світлофільтру:

$$H_2 = \frac{0,552}{6,66} = 0,078 \text{ лк} \cdot \text{с},$$

в) для червоного світлофільтру:

$$H_2 = \frac{0,552}{25} = 0,02 \text{ лк} \cdot \text{с},$$

3) для комплексу "Оптичне скло":

а) для синього світлофільтру:

$$H_2 = \frac{0,552}{20} = 0,026 \text{ лк} \cdot \text{с},$$

б) для зеленого світлофільтру:

$$H_2 = \frac{0,552}{3,3} = 0,158 \text{ лк} \cdot \text{с},$$

в) для червоного світлофільтру:

$$H_2 = \frac{0,552}{8,33} = 0,062 \text{ лк} \cdot \text{с}.$$

### Висновки

У літературі наводяться численні факти про позитивну ефективність застосування світлової стимуляції. Відомі прилади та системи світлової стимуляції широко використовують властивості світла проникати через шкіру, м'які тканини викликаючи при цьому біохімічні реакції, та стимулюючи необхідні процеси для досягнення терапевтичного ефекту. Найкращий ефект від світлового впливу досягається у випадку, коли імпульси світлового подразнення синхронізовані з роботою серцево-судинної системи. Перспективним є синхронізація світлових імпульсів сигналом пульсової хвилі, відбір якої здійснюється з допомогою давача у вигляді кліпси на мочку вуха.

При зниженні енергії світлового подразнення для низькоінтенсивної світлової стимуляції використано ШІМ-модуляцію живлення світлодіода. Це дозволить знизити енергію світлового подразнення до рівня 0,522 лк·с. При використанні світлофільтрів у низькоінтенсивній світловій стимуляції, визначено коефіцієнт послаблення для кожного світлофільтру із комплексу фільтрів ("Спектрозон", "Оптимак ЦФ" та "Оптичне

скло"), та обчислено значення експозиції світловим імпульсом ока, при використанні кожного світлофільтру із комплектів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Казначеев В.П., Баевский Р.М., Берсенева Л.П. Донозологическая диагностика в практике массовых обследований населения. – Ленинград: Медицина, 1980. – 207 с.
2. Атаев Д.И. Золотые лепестки информационной медицины. Методы и аппаратура для лечения цветом, звуком, ароматом и тонкими физическими полями. – М.: Элита, 2000 – 320 с.
3. Котровский А.В. Медицинские аспекты визуальной цветостимуляции-современной модификации фототерапии / Сб. материалов "Цветоимпульсная терапия". – М.: Социнновация, 1997. – С. 40-46.
4. Беббит Э.Д. Принципы света и цвета. Исцеляющая сила цвета. – Киев, 1996.
5. Вайс Ж.М. Лечение цветом. – Ростов н/Д: Феникс, 1997. – 384 с.
6. Палеев Н.Р., Карандашов В.И., Петухов Е.Б., Диасамидзе Ю.С. Фототерапия и ее место в современной медицине/ Вестник Российской Академии медицинских наук. – 2004. – №7. – С. 15-19.
7. Дмитриев А.Г. Опыт разработки аппаратов для цветоимпульсной терапии / Сб.статей. – М.: Изд. РМА. – 1998. – С.33-38.
8. Якунченко Т.И., Пятакович Ф.А. Структура биуправляемой светодиодной системы цветостимуляции для коррекции ритмических функций мозга и глаз. – 2006. – №5 – С. 58-60.
9. Бачинський М. Методи побудови пульсового сигналу для забезпечення низькоінтенсивної світлової стимуляції // Природничі науки та інформаційні технології: матеріали XVII наукової конференції ТНТУ ім. І.Пулюя, 20-21 листопада 2013. – Тернопіль: ТНТУ, 2013 – С.34.
10. Агафонов Д.Р., Аникин П.П., Никифоров С.Г. Вопросы конструирования и производства светоизлучающих диодов и систем на их основе // Светотехника. – 2002. – №6. – С.6-11.
11. Буданова А. Управление цветом комбинированного светодиодного RGB-источника света // Полупроводниковая светотехника. – №3. – 2010. – С. 32-35.
12. Ткачук Р.А., Яворский Б.И. Устройство возбуждения сетчатки глаза для фотонной электроретинографии // 20 Международная конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". – 2010. – С. 128 – 133.
13. Тимків П.О., Демчук Л.Б., Забитівський В.П. Електроретинографічний фотостимулятор: проблеми при застосуванні та шляхи їх вирішення // Науковий огляд. – 2014. – №7 (8). – С.57-68.
14. Гурьев Д.С. Справочник по фотографии (светотехника материалы). – К.: Техника, 1986. – 368 с.