

УДК 615.849.5

doi:10.20998/2413-4295.2023.02.02

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МОДУЛЬНИХ АПАРАТНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ СВІТЛОДІОДНОЇ ТЕРАПІЇ

А. В. КІПЕНСЬКИЙ¹, В. В. КУЛІЧЕНКО¹, Ю. С. ВОЙТОВИЧ¹, Л. Я. ВАСИЛЬЄВА-ЛІНЕЦЬКА²

¹ кафедра «Промислова і біомедична електроніка», НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

² кафедра «Фізичної і реабілітаційної медицини, фізіотерапії та курортології», НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

*e-mail: Viacheslav.Kulichenko@khpri.edu.ua

АНОТАЦІЯ Промислове виробництво потужних світловипромінюючих діодів призвело до появи апаратів терапевтичного призначення, де такі діоди використовуються як джерела електромагнітного випромінювання оптичного діапазону. Розробку та виробництво таких апаратів було налагоджено у місті Харкові за участю учених та спеціалістів Харківського національного університету імені В.М. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Методики застосування апаратів та апаратних комплексів у лікувальній практиці були створені у Харківській медичній академії післядипломної освіти. У статті аналізуються основні принципи побудови модульних апаратних комплексів для світлодіодної терапії, визначаються структури та варіанти з'єднання модулів. В результаті виконаної роботи було встановлено, що модульна реалізація апаратних комплексів для світлодіодної терапії має п'ять основних варіантів, які відрізняються за кількістю і видами випромінювачів, що підключаються до блоку управління, за схемою з'єднання фотонних випромінювачів і за їх функціональними можливостями. Також було зазначено, що модульний принцип побудови апаратних комплексів для світлодіодної терапії дозволяє досить легко проводити їх модернізацію та формувати необхідну конфігурацію опромінюючої системи, тобто суттєво розширювати функціональні можливості комплексу для проведення лікувальних процедур фототерапії з найбільшою ефективністю. Показано доцільність використання мікропроцесорної техніки для реалізації інформаційної частини блоку управління комплексу. Це дозволяє забезпечувати роботу фотонних випромінювачів у безперервному, імпульсному та у скануючих режимах, а також – роздільну роботу випромінювачів опромінюючої системи комплексу та опромінення пацієнта в режимі біосинхронізації.

Ключові слова: модульні апаратні комплекси; світлодіодна терапія; мікропроцесорна техніка; фотонні випромінювачі; електромагнітне випромінювання; режими роботи; біосинхронізація.

BASIC PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF MODULAR HARDWARE COMPLEXES FOR LED THERAPY

A. KIPENSKYY¹, V. KULICHENKO¹, Y. VOITOVYCH¹, L. LINETSKA²

¹ Department "Industrial and Biomedical Electronics", NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

² Department " Physical and Rehabilitation Medicine, Physiotherapy and Spa Medicine ", NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The industrial production of powerful light-emitting diodes has led to the appearance of devices for therapeutic purposes, where such diodes are used as sources of electromagnetic radiation in the optical range. The development and production of such devices was established in the city of Kharkiv with the participation of scientists and specialists of Kharkiv National University named after V.M. Karazin and National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Methods of using devices and hardware complexes in medical practice were created at the Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education. The article analyzes the main principles of building modular hardware complexes for LED therapy, defines structures and options for connecting modules. As a result of the work performed, it was established that the modular implementation of hardware complexes for LED therapy has five main options, which differ in the number and types of emitters connected to the control unit, in the connection scheme of photon emitters, and in their functionality. It was also noted that the modular principle of building hardware complexes for LED therapy makes it quite easy to carry out their modernization and form the necessary configuration of the irradiating system, that is, to significantly expand the functional capabilities of the complex for carrying out phototherapy treatment procedures with the greatest efficiency. The expediency of using microprocessor technology for the implementation of the information part of the control unit of the complex is shown. This makes it possible to ensure the operation of photon emitters in continuous, pulsed and scanning modes, as well as separate operation of the emitters of the irradiation system of the complex and irradiation of the patient in biosynchronization mode.

Keywords: modular hardware complexes; LED therapy; microprocessor equipment; photon emitters; electromagnetic radiation; modes of operation; biosynchronization.

Вступ

Наприкінці 90-х років минулого століття електронною промисловістю розвинених країн було освоєно випуск потужних світловипромінюючих діодів з різною довжиною хвилі електромагнітного випромінювання оптичного діапазону (ЕМВ ОД). Надійні, економічні та досить дешеві

напівпровідникові світлодіоди одразу привернули увагу інженерів-світлотехніків, оскільки поле для їх застосування було дуже широким. Практично одночасно із створенням освітлювальних приладів на основі світлодіодів було розпочато їх використання у медичній техніці. Зокрема, хороші техніко-економічні показники світловипромінюючих діодів дозволили їм частково замінити лазери у фізіотерапевтичній

апаратурі. Розробкою такої апаратури у Харкові займалися співробітники науково-дослідного інституту лазерної біології та лазерної медицини Харківського національного університету імені В.М. Каразіна [1]. Особливістю перших апаратів на світлодіодах для фототерапії була відсутність повноцінних блоків управління цими апаратами. З 2005 року до створення світлодіодної апаратури для фототерапії було залучено співробітників лабораторії біомедицинської електроніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Результатом такої співпраці стало створення більш як десяти апаратних комплексів різного призначення [2], а термін світлодіодна терапія вже увійшов до медичної практики [3].

Методичні рекомендації щодо ефективного застосування випромінювань світлодіодної терапевтичної апаратури було розроблено на кафедрі фізіотерапії та курортології Харківської медичної академії післядипломної освіти під керівництвом завідувача кафедри професора Л.Д. Тондія та за участі А.М. Коробова [1,3].

При створенні методик застосування ЕМВ ОД були враховані базові положення фізіотерапії, згідно з якими методи впливу традиційно призначаються за декількома основними варіантами:

- 1) локальні впливи на проекцію патологічної ділянки;
- 2) вплив на рефлекторно-сегментарні зони («комір» або «пояс» за Щербакком);
- 3) вплив на область проекції ендокринних залоз, частіше надниркових залоз, вилочкової або щитовидної;
- 4) вплив на зони проекції великих судин;
- 5) вплив на точки акупунктури (Е36, G14 та ін);
- 6) загальні методики впливу на шкіру всього тіла людини.

Вибір зон опромінення, їх кількості та поєднання в одній процедурі, спектрів ЕМВ ОД, а також тривалості впливу на кожну зону, кількість процедур на день і на курс встановлює лікар, виходячи з типу патології та стану пацієнта.

Безперечною перевагою нової апаратури є можливість одночасного впливу ЕМВ ОД (від кількох різних випромінювачів) на кілька зон. При невеликих розмірах патологічного осередку достатньо однієї-двох фотонних матриць. Якщо зона має досить велику площу, необхідно використовувати більше фотонних матриць або матриць великого розміру (для впливу на область спини, живота, стегна пацієнта), що найчастіше практикується в Європейській медицині.

В даний час не до кінця вирішеним є питання щодо застосування найбільш ефективних піддіапазонів ЕМВ ОД. При цьому все частіше вважається за доцільне одночасне використання кількох піддіапазонів ЕМВ. Так, дослідженнями вітчизняних учених було встановлено найвищий безпечний ефект червоного та фіолетового поляризованого світла [4]. Сьогодні все більшу увагу дослідників привертає протибольовий ефект ЕМВ

зеленого спектру. Безпечний вплив ЕМВ світлодіодів при м'язово-скелетній патології відноситься до найбільш доведених ефектів їх застосування, порівняним за ефективністю з низькоенергетичним лазерним випромінюванням [5,6].

Цілком несподівано косметологія і, частково, дерматологія, стали областями, де світлодіодна апаратура почала широко застосовуватися. Це призвело до великої кількості високоякісних наукових досліджень про вплив фототерапії із застосуванням випромінювання світлодіодів на різні структури шкіри, що визначило широке її практичне використання в косметологічній та дерматологічній практиці. Так, було уточнено особливості впливу ЕМВ світлодіодів з різними спектрами випромінювання на стан шкіри та її основні структури. Визначено диференційовані показання для застосування червоного, зеленого, помаранчевого та синього спектрів [7,8].

Наведені дані свідчать про те, що для підвищення ефективності фототерапії за допомогою ЕМВ світлодіодів істотне значення мають нові інженерні рішення щодо створення фотонних випромінювачів різних форм, розмірів, з різними спектрами ЕМВ ОД та їх поєднаннями, включаючи весь спектр ОД [9,10].

Мета роботи

Мета цієї статті полягає в аналізі основних принципів побудови модульних апаратних комплексів для світлодіодної терапії, у визначенні структур та варіантів з'єднання модулів, що дозволяють суттєво розширювати функціональні можливості комплексів.

Виклад основного матеріалу

В загальному випадку у апаратному комплексі (рис. 1) для світлодіодної терапії можна виділити:

- блок управління (БУ) з енергетичною (ЕЧ) та інформаційною (ІЧ) частинами;
- набір фотонних випромінювачів з однією або декількома світлодіодними групами (СДГ) у кожному.

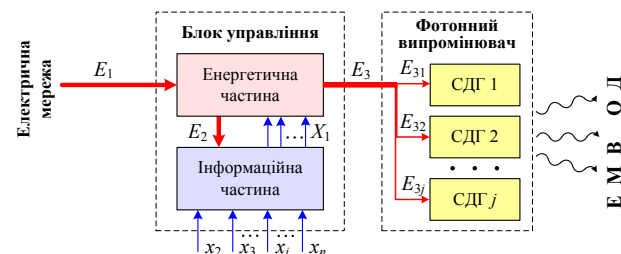


Рис. 1 – Апаратний комплекс для світлодіодної терапії

Енергія для забезпечення роботи комплексу, як правило, надходить з електричної мережі загального призначення. В ЕЧ БУ, яка, як правило, складається з кількох джерел вторинного електроживлення

(ДВЕЖ), електрична енергія E_1 перетворюється та поділяється на кілька потоків. Енергетичний потік E_2 направлений до ІЧ БУ та забезпечує її функціонування. Енергетичний потік E_3 надходить до фотонного випромінювача через електронний комутатор (елемент ЕЧ) і розподіляється у вигляді енергетичних потоків $E_{z1} - E_{zj}$ по світлодіодних групах СДГ 1 – СДГ j , де відбувається безпосереднє перетворення електричної енергії у ЕМВ ОД.

Управління комутатором здійснюється інформаційною частиною (сигнали X_1) з урахуванням сигналів завдання та сигналів зворотних зв'язків про стан та процеси в електричній мережі, в енергетичній частині, в організмі людини тощо (сигнали $x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n$). Фотонні випромінювачі різного призначення або з різною довжиною хвилі ЕМВ можуть підключатися до блоку управління в цьому випадку тільки по черзі.

За розглянутим принципом було реалізовано апаратний комплекс для кольоропунктури «Барва-Рефлекс 7/2» (рис. 2) [11]. До складу комплексу входять мікропроцесорний блок імпульсного управління МПБ-7С/40 Р та сім здвоєних фотонних випромінювачів, які по черзі можуть підключатися до блоку управління за допомогою спеціального роз'єму.

Здвоєний фотонний випромінювач, що виконаний у вигляді двох порожнистих циліндричних стрижнів, в торцевій частині кожного з яких встановлено світлодіод з відбивачем. Підключення обох світлодіодів до блоку керування здійснюється окремими кабелями із загальним роз'ємом. Крім того, в роз'ємі змонтований ключ, який дозволяє блоку управління ідентифікувати тип випромінювача. В даному випадку випромінювач містить одну світлодіодну групу із двох однакових світлодіодів.



Рис. 2 – Апаратний комплекс для кольоропунктури «Барва-Рефлекс 7/2»

Наявність змінних здвоєних випромінювачів дозволяє одночасно впливати на дві біологічно активні точки одним із спектрів ЕМВ: червоним (660 нм), помаранчевим (610 нм), жовтим (565 нм), зеленим (525 нм), блакитним (505 нм), синім 470 нм або фіолетовим (405 нм). Мікропроцесорний блок імпульсного управління МПБ-7С/40 Р забезпечує роботу випромінювачів у безперервному, імпульсному та у трьох скануючих режимах.

Розглянемо основні засади побудови модульних апаратних комплексів для світлодіодної терапії. Відразу зазначимо, що в цьому випадку йдеться про такі комплекси, в яких передбачено можливість одночасного опромінення пацієнта ЕМВ від кількох фотонних випромінювачів.

Якщо методикою проведення процедури передбачена синхронна робота всіх СДГ (при цьому довжина хвилі ЕМІ таких груп може бути однаковою або різною) фотонних випромінювачів (від 1 до k), то в блоці управління для них достатньо організувати паралельні виходи (рис. 3).

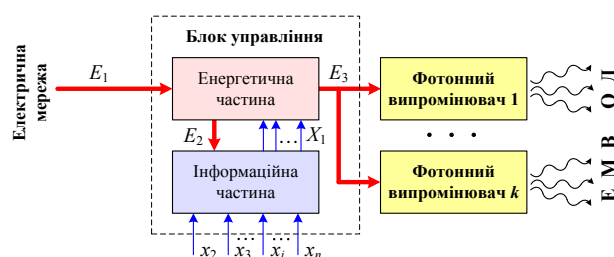


Рис. 3 – Апаратний комплекс для світлодіодної терапії з паралельним з'єднанням фотонних випромінювачів

Перший апаратний комплекс для світлодіодної фототерапії з можливістю паралельного з'єднання фотонних випромінювачів було створено на базі мікропроцесорного блоку імпульсного управління МПБ 4С/175 [12]. До цього блоку можна було підключити до чотирьох фотонних матриць Барва-Флекс або інших фотонних випромінювачів з аналогічними параметрами електроживлення (на рис. 4 одна з матриць замінена фотонним зондом Барва-ГПУ2) і фотонний поліхромний масажер Барва-ФМК/ПХ». Фотонні матриці та фотонний зонд мають по одній СДГ, а фотонний масажер – чотири СДГ. Кожен перемикач чотирьохканального комутатора дозволяє підключати до блоку управління одну матрицю та одну СДГ масажера. При цьому всі вибрані світлодіодні групи працюють синхронно у безперервному або імпульсному режимі.



Рис. 4 – Апаратний комплекс для світлодіодної терапії на базі мікропроцесорного блоку імпульсного управління МПБ 4С/175

Необхідний терапевтичний ефект у цьому випадку досягався за рахунок одночасного впливу на різні ділянки тіла ЕМВ фотонних матриць, фотонного зонда або фотонного масажера, а також завдяки пресурного масажу від дії останнього.

У деяких випадках доцільним є конструктивне послідовне з'єднання фотонних випромінювачів, хоча електричне з'єднання аналогічних СДГ залишатиметься паралельним (рис. 5). При цьому фотонні випромінювачі можуть з'єднуватися між собою знімними або незнімними багатожильними кабелями.

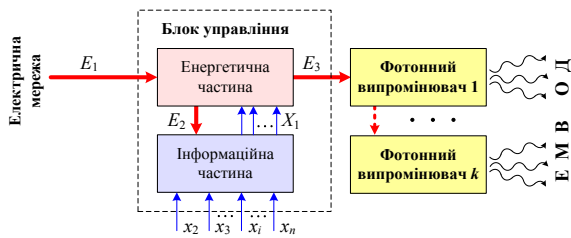


Рис. 5 – Апаратний комплекс для світлодіодної терапії з послідовним з'єднанням фотонних випромінювачів

Необхідність послідовного з'єднання фотонних випромінювачів виникла при розробці фотонного поліхромного солярію «Барва-Солярис/ПХ» (рис. 6) [3]. Солярій виконано у металевому корпусі, що складається з основи, яка розміщена на підставці, та кришки. Основа та кришка мають шарнірне з'єднання, що дозволяє піднімати кришку за допомогою ручки. На лицьовій частині кришки розміщена панель управління. Плати з випромінюючими діодами розміщені на внутрішніх поверхнях основи та кришки (два фотонні випромінювачі), і в кожному випромінювачі згруповані в чотири світлодіодні групи за спектром ЕМВ: СДГ 1 (470 нм), СДГ 2 (525 нм), СДГ 3 (580) та об'єднана СДГ 4 (660 нм та 940 нм). Фотонний випромінювач у підставці підключений до енергетичної частини блоку управління безпосередньо, а фотонний випромінювач у кришці послідовно за допомогою чотирьох знімних кабелів з'єднаний з випромінювачем у підставці.

Для досягнення необхідної терапевтичної дії опромінення пацієнта може проводитися в безперервному режимі ЕМВ з одним спектром або з обраною комбінацією спектрів.



Рис. 6 – Фотонний поліхромний солярій «Барва-Солярис/ПХ»

Порівняльний аналіз комплексів для світлодіодної терапії з паралельним і послідовним з'єднанням фотонних випромінювачів з блоком управління показує, що з точки зору функціонування вони абсолютно ідентичні. Вибір того чи іншого варіанту з'єднання фотонних випромінювачів слід робити лише з урахуванням конструктивних особливостей самих випромінювачів, їх взаємного розташування у просторі та зручності для пацієнта та медичного персоналу. В окремих випадках вирішальним фактором на користь того чи іншого варіанта може бути економічний критерій – мінімальна сумарна довжина та мінімальний переріз з'єднувальних дротів.

Якщо випромінювачі можна розташувати радіально (особливо при короткому радіусі, див. рис. 7, а) по відношенню до блоку управління, краще використовувати їх паралельне з'єднання. У тому випадку, якщо випромінювачі повинні бути розташовані лінійно (особливо на деякій відстані від блоку управління, див. рис. 7 б), найбільш доцільно використовувати їх послідовне з'єднання. Слід, однак, відзначити, що ці правила не є надто суворими, оскільки простір для розміщення блоку керування та фотонних випромінювачів зазвичай досить обмежений.

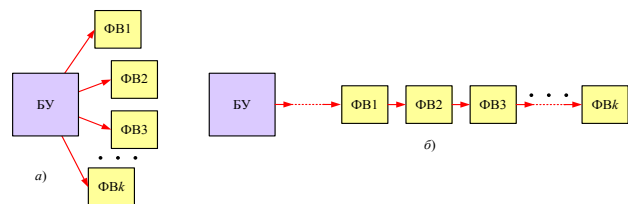


Рис. 7 – Паралельне (а) і послідовне (б) з'єднання фотонних випромінювачів (ФВ1–ФВк) з блоком управління (БУ)

Найбільш перспективним рішенням тут є установка в блоці управління та у фотонних випромінювачах надійних роз'ємних електричних з'єднувачів. Це дозволить з'єднувати випромінювачі з блоком управління паралельним, послідовним або змішаним варіантами, створюючи тим самим необхідну конфігурацію опромінюючої системи для найбільш ефективного проведення процедури.

Якщо процес лікування передбачає одночасне використання фотонних випромінювачів з різною кількістю СДГ або аналогічних фотонних випромінювачів, але з різними режимами роботи кожного з них, то в ЕЧ блоку управління мають бути передбачені окремі комутатори для кожного такого випромінювача (рис. 8). Однак, при цьому слід мати на увазі, що побудова апаратного комплексу для світлодіодної терапії з незалежним управлінням фотонними випромінювачами ускладнює програмне забезпечення та збільшує апаратні витрати, особливо при значному енергоспоживанні фотонними випромінювачами.

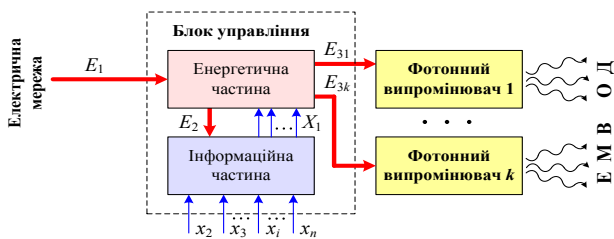


Рис. 8 – Апаратний комплекс для світлодіодної терапії з незалежним управлінням фотонними випромінювачами

Технічне завдання на розробку апаратного комплексу для гінекології «Барва-Гінеколог» якраз і передбачало незалежне управління універсальним фотонним зондом «Барва-ГН/30» та двома фотонними матрицями «Барва-Флекс» або фотонним зондом «Барва-ГПУ» та однією фотонною матрицею. Універсальний фотонний зонд «Барва-ГН/30» містить сім світлодіодних груп: шість у бічній ділянці його активної частини (по 12 світлодіодів у кожній СДГ) та одна група у його торцевій частині (6 світлодіодів). Фотонні матриці «Барва-Флекс» та фотонний зонд «Барва-ГПУ» мають по одній СДГ.

Для управління всією сукупністю випромінювачів гінекологічного комплексу було розроблено інтелектуальний мікропроцесорний модуль ІМПМ-7/4 Р (рис. 9) [13].



Рис. 9 – Фототерапевтичний апаратний комплекс для гінекології «Барва-Гінеколог»

Модуль забезпечує роботу універсального фотонного зонду «Барва-ГН/30» у безперервному, імпульсному або скануючому (сканування по зонах опромінення) режимах, а також дозує опромінення за потужністю (в імпульсному режимі) та тривалістю впливу. У загальному випадку суть сканування зонами опромінення полягає у тому, що світлодіодні групи бокового випромінювача зонда включаються по черговому в деякому заздалегідь визначеному порядку. Увімкнення світлодіодної групи торцевого випромінювача (якщо це передбачено у вибраному режимі роботи) синхронізовано з включенням першої світлодіодної групи бокового випромінювача. Тривалість імпульсів напруги, що прикладається до СДГ, обчислюється мікроконтролером модуля з урахуванням заданої частоти та режиму сканування.

Якщо для універсального фотонного зонду вибрано імпульсний режим або один із режимів сканування, то для інших фотонних випромінювачів

може бути обраний імпульсний режим із заданою частотою модуляції і потужністю або – безперервний режим випромінювання.

Для полегшення проведення процедур фототерапії в модулі передбачено вісім стандартних режимів роботи із записаними в пам'ять мікроконтролера параметрами опромінення та вісім режимів, які програмуються. У кожному з таких режимів можна самостійно вибрати варіант опромінення та встановити значення параметрів впливу. При цьому встановлені параметри зберігаються після вимкнення мікропроцесорного модуля і надалі можуть бути використані для проведення процедур.

У тих випадках, коли необхідно незалежне управління кожним окремим випромінювачем з їх великої кількості, доцільно частину функцій блоку керування перенести безпосередньо у фотонний випромінювач. Зокрема, з основної енергетичної частини блоку управління у фотонні випромінювачі можна перенести комутатори К1 – Кk. Інформаційну частину слід виконати у вигляді розподіленої системи, розмістивши у випромінювачах модулі управління МУ1 – МУk і з'єднавши їх шиною з основною інформаційною частиною блоку управління. При цьому по шині може бути переданий код Х2, що містить адресу модуля, номер режиму роботи та його параметри, а відпрацювання заданого режиму буде здійснюватися самими модулями, які синхронізовані основною ІЧ блоку управління (рис. 10).

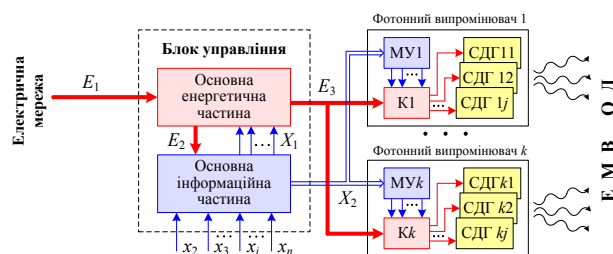


Рис. 10 – Апаратний комплекс для світлодіодної терапії з переносом частини функцій блоку управління у фотонні випромінювачі

Апаратний комплекс для світлодіодної терапії, реалізований за модульним принципом і з перенесенням частини функцій блоку управління безпосередньо у фотонні випромінювачі, дозволяє вирішувати різні завдання опромінення пацієнтів, включаючи методики комплексного впливу (вплив на шкірні покриви і центральну нервову систему через органи зору).

Перенесення частини функцій блоку управління у фотонний випромінювач виявилось доцільним під час реалізації науково-технічного проекту «ГЕЛПОС». Цей проект був спрямований на створення лікувально-діагностичного комплексу (див. рис. 11), призначеного для проведення процедур

загальної та комплексної фототерапії з одночасним контролем основних фізіологічних показників пацієнта та адекватною зміною параметрів впливу у відповідь на реакцію його організму [14]. Виконання проекту проводилося разом із фірмою «Радмір», дочірнім підприємством ВАТ «АТ НДІ радіотехнічних вимірювань».

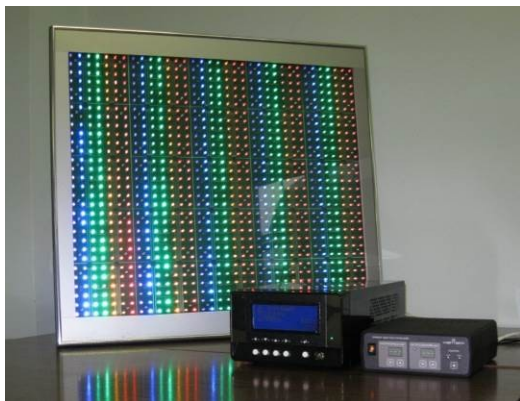


Рис. 11 – Лікувально-діагностичний комплекс «ГЕЛІОС»

Макетний зразок опромінюючої системи виконаний у вигляді плоского фотонного поля, що складається з двадцяти п'яти випромінювачів, розташованих за схемою 5×5 . Кожен фотонний випромінювач містить сім СДГ з різними спектрами ЕМВ (по шість світлодіодів у кожній), які змонтовані на друкованих платах. Крім того, на кожній такій друкованій платі змонтовано мікропроцесорні модулі управління та електронні комутатори. Номери випромінювачів встановлюються при ініціалізації блоку управління та є незмінними протягом усього часового інтервалу роботи комплексу. Ця функція здійснюється шляхом послідовної передачі сигналу від одного мікроконтролера до іншого. Таким чином відбувається ініціалізація всіх фотонних випромінювачів. Також слід зазначити, що перестановка фотонних випромінювачів або їх заміна не змінюють принцип роботи всього комплексу.

Блок управління забезпечує роботу випромінювачів у безперервному, імпульсному або у скануючих режимах (по частоті модуляції, по інтенсивності випромінювання, по зонах опромінення). Режимом роботи кожного випромінювача управляє відповідний модуль, який формує імпульсні послідовності, що надходять на відповідні входи комутатора. Підключення кожного модуля до загального каналу передачі даних здійснюється через перетворювач інтерфейсів. Дані, що передаються до мікроконтролерів модулів управління, формуються інформаційною частиною блоку управління, яка призначена для завдання і контролю різних режимів опромінення пацієнта. Встановлювати параметри впливу можна за допомогою органів управління та дисплея блоку управління, а також через персональний

комп'ютер, з яким блок управління з'єднується спеціальним кабелем.

Особливістю лікувально-діагностичного комплексу «ГЕЛІОС» є те, що до блоку управління крім фотонних випромінювачів, підключається вимірювальний модуль для моніторингу частоти пульсу (сигнал від датчика пульсу u_{II}) та частоти дихання пацієнта (сигнал від датчика дихання u_{II}). Це дозволяє синхронізувати роботу випромінювачів із ритмічними процесами в організмі людини. Діаграми, що пояснюють суть одного з варіантів біосинхронізації випромінювання СДГ, наведено на рис. 12.

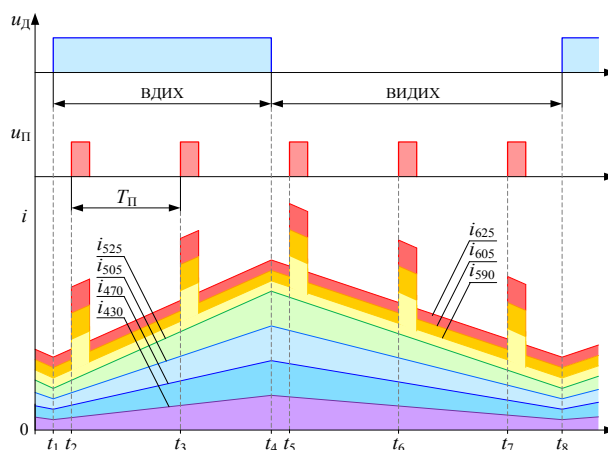


Рис. 12 – До пояснення принципу біосинхронізації випромінювання СДГ

У момент часу t_1 , який відповідає початку вдиху, інтенсивність випромінювання всіх СДГ становить 30 % від максимального значення. Протягом вдиху (часовий інтервал $t_1 - t_4$) інтенсивність випромінювання холодних СДГ з довжинами хвиль 430 нм (фіолетове світло), 470 нм (синє світло), 505 нм (блакитне світло) та 525 нм (зелене світло) збільшується до максимального значення. На інтервалі видиху ($t_4 - t_8$) потужність випромінювання цих СДГ зменшується до початкового значення.

Інтенсивність випромінювання теплих СДГ з довжинами хвиль 590 нм (жовте світло), 605 нм (помаранчеве світло) і 625 нм (червоне світло) при цьому не змінюється до приходу сигналів від датчика пульсу (моменти часу t_2, t_3, t_5, t_6 і t_7). При надходженні таких сигналів (як на вдиху, так і на видиху), які слідуєть з деяким періодом T_{II} , інтенсивність випромінювання теплих СДГ короточасно збільшується до максимального значення.

Наявність вимірювального модуля дозволяє також, при необхідності, автоматично змінювати параметри впливу у функції зміни ритмічних показників людини.

Використання розподіленої мульти-мікропроцесорної системи управління в лікувально-діагностичному комплексі «ГЕЛІОС» дає можливість

розділити фотонне поле на окремі випромінювачі. При цьому випромінювачі можуть бути розподілені таким чином по відношенню до тіла пацієнта, що це дозволить проведення різних процедур фототерапії, а також може сприяти створенню нових лікувальних методів і методик. Незалежне просторове завдання «функції впливу» для будь-якого випромінювача уможливило вибірково вплив на певні органи або систему органів людини з максимальним терапевтичним ефектом.

Висновки

Модульна реалізація апаратних комплексів для світлодіодної терапії дозволяє досить легко проводити модернізацію комплексів за рахунок використання додаткових фотонних випромінювачів різного призначення та з різними параметрами ЕМВ та формувати необхідну конфігурацію опромінюючої системи для проведення лікувальних процедур із найбільшою ефективністю.

Вибирати структуру апаратного комплексу для світлодіодної терапії слід передусім з урахуванням завдань, що покладаються на комплекс, а також враховуючи зручність його використання для пацієнта та медичного персоналу.

Використання мікропроцесорної техніки для реалізації інформаційної частини блоку управління комплексу дозволяє забезпечувати роботу фотонних випромінювачів у безперервному, імпульсному та у скануючих режимах з різною частотою та за різними законами зміни параметрів опромінення, а також – роздільну роботу випромінювачів опромінюючої системи комплексу.

Список літератури

1. Коробов А. М., Коробов В. А., Лесная Т. А. *Фототерапевтические аппараты Коробова серии «Барва»*. Харьков: ИПП «Контраст», 2006. 176 с.
2. Сокол Е. И., Кипенский А. В., Король Е. И. и др. *Электронная медицинская техника. Разработки кафедры «Промышленная и биомедицинская электроника НТУ «ХПИ»*. Харьков: Золотые страницы, 2015. 264 с.
3. Тондий Л. Д., Тондий О. Л. и др. *Свет, цвет: Терапия от ламповых, лазерных и диодных источников света*. Харьков: ТОВ «С.А.М.», 2012. 168 с.
4. Feehan J., Tripodi N., Fraser S., Mikkelsen K., Thewlis A., Kiatos D., Husaric M., Apostolopoulos V. Polarized light therapy: Shining a light on the mechanism underlying its immunomodulatory effects. *J. Biophotonics*. 2020. 13(3). P. e201960177. doi: 10.1002/jbio.201960177.
5. Dodd E. M. et al. Photobiomodulation therapy for androgenetic alopecia: a clinician's guide to home-use devices cleared by the Federal Drug Administration. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*. 2018. Vol. 20. №. 3. P. 159-167. doi: 10.1080/14764172.2017.1383613.
6. Prado T. P., Zanchetta F. C., Barbieri B., Aparecido C., Melo Lima M. H., Araujo E. P. Photobiomodulation with Blue Light on Wound Healing: A Scoping Review. *Life*. 2023. 13. P. 575. doi:10.3390/life13020575.

7. Seung Yoon Lee, Ki-Ho Park, Jung-Woo Choi, Jung-Kyun Kwon, Doo Rak Lee, Mi Sun Shin, Jee Sung Lee, Chung Eui You, Mi Youn Park. A prospective, randomized, placebo-controlled, double-blinded, and split-face clinical study on LED phototherapy for skin rejuvenation: Clinical, profilometric, histologic, ultrastructural, and biochemical evaluations and comparison of three different. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B.: Biology*. 2007. 88. P. 51-67.
8. Derek Ho, Eugene Koo, Andrew Mamalis, Jared Jagdeo. A Systematic Review of Light Emitting Diode (LED) Phototherapy for Treatment of Psoriasis: An Emerging Therapeutic Modality. Review. *J. Drugs Dermatol*. 2017. 16(5). P. 482-488.
9. Phan D. T., Bui N. T., Vo T. H., Park S., Choi J., Mondal S., Kim B. G., Oh J. Development of a LED light therapy device with power density control using a Fuzzy logic controller. *Med Eng Phys*. 2020. 86. P. 71-77. doi: 10.1016/j.medengphy.2020.09.008.
10. Jiye Lee, Jooyoung Lee, Seog Ju Kim. Current and Future Perspectives on Light Therapy Using Wearable Devices. *Chronobiology in Medicine*. 2021. 3(3). P. 92-96.
11. Сокол Е. И., Кипенский А. В., Король Е. И. и др. Аппарат для цветопунктуры «Барва-Рефлекс 7/2». *Материалы XXVI Международной науч.-практ. конф. «Применение лазеров в медицине и биологии»*. Ялта, 2006. С. 30-34.
12. Сокол Е. И., Кипенский А. В., Король Е. И. и др. Микропроцессорные блоки импульсного управления фотонными излучателями терапевтического назначения. *Технічна електродинаміка. Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність*. Київ: ІЕД НАНУ, 2005. Ч. 4. С. 113-118.
13. Колесник Ю. І., Кіпенський А. В. *Елементи та пристрої квантової електроніки: Навчальний посібник*. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. 320 с.
14. Сокол Е. И., Кипенский А. В., Куличенко В. В., Колесник Ю. И., Литвиненко С. В. Аппарат для комплексной фототерапии с расширенными функциональными возможностями. *Технічна електродинаміка. Тематичний вип.* Київ: ІЕД НАНУ. 2010. Ч.1. С. 278-282.

References (transliterated)

1. Korobov A. M., Korobov V. A., Lesnaya T. A. *Fototerapevticheskie apparaty Korobova serii «Barva»*. Harkov. IPP «Kontrast», 2006. 176 p.
2. Sokol E. I., Kipenskiy A. V., Korol E. I. i dr. *Elektronnaya meditsinskaya tehnika. Razrabotki kafedryi «Promyishlennaya i biomeditsinskaya elektronika NTU «HPI»*. Harkov.: Zolotyie stranitsyi, 2015. 264 p.
3. Tondiy L. D., Tondiy O. L. i dr. *Svet, tsvet: Terapiya ot lampovyih, lazernyih i diodnyih istochnikov sveta*. Harkov. TOV «S.A.M.», 2012. 168 p.
4. Feehan J., Tripodi N., Fraser S., Mikkelsen K., Thewlis A., Kiatos D., Husaric M., Apostolopoulos V. Polarized light therapy: Shining a light on the mechanism underlying its immunomodulatory effects. *J. Biophotonics*. 2020, 13(3), pp. e201960177, doi: 10.1002/jbio.201960177.
5. Dodd E. M. et al. Photobiomodulation therapy for androgenetic alopecia: a clinician's guide to home-use devices cleared by the Federal Drug Administration. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*. 2018, vol. 20, 3, pp. 159-167, doi: 10.1080/14764172.2017.1383613.

6. Prado T. P., Zanchetta F. C., Barbieri B., Aparecido C., Melo Lima M. H., Araujo E. P. Photobiomodulation with Blue Light on Wound Healing: A Scoping Review. *Life*, 2023, 13, pp. 575, doi:10.3390/life13020575.
7. Seung Yoon Lee, Ki-Ho Park, Jung-Woo Choi, Jung-Kyun Kwon, Doo Rak Lee, Mi Sun Shin, Jee Sung Lee, Chung Eui You, Mi Youn Park. A prospective, randomized, placebo-controlled, double-blinded, and split-face clinical study on LED phototherapy for skin rejuvenation: Clinical, profilometric, histologic, ultrastructural, and biochemical evaluations and comparison of three different. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B. Biology*, 2007, 88, pp. 51-67.
8. Derek Ho, Eugene Koo, Andrew Mamalis, Jared Jagdeo. A Systematic Review of Light Emitting Diode (LED) Phototherapy for Treatment of Psoriasis: An Emerging Therapeutic Modality. Review. *J. Drugs Dermatol.*, 2017, 16(5), pp. 482-488.
9. Phan D. T., Bui N. T., Vo T. H., Park S., Choi J., Mondal S., Kim B. G., Oh J. Development of a LED light therapy device with power density control using a Fuzzy logic controller. *Med Eng Phys.*, 2020, 86, pp. 71-77, doi: 10.1016/j.medengphy.2020.09.008.
10. Jiye Lee, Jooyoung Lee, Seog Ju Kim. Current and Future Perspectives on Light Therapy Using Wearable Devices. *Chronobiology in Medicine*, 2021, 3(3), pp. 92-96.
11. Sokol E. I., Kipenskiy A. V., Korol E. I. i dr. Apparat dlya tsvetopunkturyi «Barva-Refleks 7/2» *Materialyi HHVI Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. «Primenenie lazerov v meditsine i biologii»*. Yalta, 2006, p. 30-34.
12. Sokol E. I., Kipenskiy A. V., Korol E. I. i dr. Mikroprotsessornyye bloki impulsnogo upravleniya fotonnyimi izluchatelyami terapevicheskogo naznacheniya. *Tekhnichna elektrodinamika. Tem. vyp. Silova elektronika ta energoefektivnIst*. Kiyiv. IED NANU, 2005, Ch. 4, pp. 113-118.
13. Kolesnyk Yu. I., Kipenskiy A. V. Elementy ta prystroi kvantovoi elektroniky: Navchalnyi posibnyk. Kharkov. NTU «KhPY», 2016. 320 p.
14. Sokol E. I., Kipenskiy A. V., Kulichenko V. V., Kolesnik Yu. I., Litvinenko S. V. Apparat dlya kompleksnoy fototerapii s rasshirennyimi funktsionalnyimi vozmozhnostyami. *Tekhnichna elektrodinamika. Tematychnyi vyp.* Kyiv. IED NANU. 2010, Ch.1, pp.278-282.

Відомості про авторів (About authors)

Кіпенський Андрій Володимирович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту Соціально гуманітарних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-4589-092X; e-mail: Andrii.Kipenskiy@khpi.edu.ua.

Kipenskiy Andrii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the educational and scientific institute of social and humanitarian technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-4589-092X; e-mail: Andrii.Kipenskiy@khpi.edu.ua.

Куліченко Вячеслав Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислової і біомедичної електроніки, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-6702-3237; e-mail: Viacheslav.Kulichenko@khpi.edu.ua.

Kulichenko Viacheslav – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, Department of Industrial and Biomedical electronics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-6702-3237; e-mail: Viacheslav.Kulichenko@khpi.edu.ua.

Войтович Юрій Сергійович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри промислової і біомедичної електроніки, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-3606-9539; e-mail: Yurii.Voitovych@khpi.edu.ua.

Voitovych Yurii – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Industrial and Biomedical electronics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3606-9539; e-mail: Yurii.Voitovych@khpi.edu.ua.

Васильєва-Лінецька Лариса Яківна – доктор медичних наук, професор, професор кафедри фізичної і реабілітаційної медицини, фізіотерапії та курортології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-7227-7656; e-mail: larisa.linetska@gmail.com.

Linetska Larisa – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Physical and Rehabilitation Medicine, Physiotherapy and Spa Medicine, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-7227-7656; e-mail: larisa.linetska@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Кіпенський А. В., Куліченко В. В., Войтович С. Ю., Васильєва-Лінецька Л. Я. Основні принципи побудови модульних апаратних комплексів для світлодіодної терапії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 2 (16). С. 10-17. doi:10.20998/2413-4295.2023.02.02.

Please cite this article as:

Kipenskiy A., Kulichenko V., Voitovych Y., Linetska L. Basic principles of construction of modular hardware complexes for LED therapy. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 2(16), pp. 10-17, doi:10.20998/2413-4295.2023.02.02.

*Надійшла (received) 29.04.2023
Прийнята (accepted) 18.05.2023*