

УДК 615-47

РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО СКАЛЬПЕЛЯ

Богомолів Микола Федорович

mfbogomolov@gmail.com

Євсєєва Поліна Олексіївна

p.a.evseeva@gmail.com

Кафедра біомедичної інженерії

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

м.Київ, Україна

Реферат - Лазерна хірургія – один із найбільш яскравих прикладів використання високих технологій у медичній практиці. У основі дії на біологічні тканини високоенергетичних лазерів, що лежить трансформація світлової енергії випромінювання на теплову, з виникненням винятково високої температури. Наслідком цього є випаровування міжклітинної та внутрішньоклітинної рідин різних тканин з наступним утворенням газоподібних продуктів випаровування та горіння та формуванням хірургічного розрізу, в основі якого лежить термічний коагуляційний некроз тканин. У статті розглянута сучасна проблема польової медицини, та прилади для лазерної хірургії, наведені описи сучасних медичних технологій. За результатами огляду літературних джерел сформульовано медико-технічні вимоги до пристрою універсальний лазерний скальпель для роботи в польових умовах та розроблено блок-схему такого пристрою. Запропоновано діючий зразок твердотілого лазерного скальпелю, який забезпечений універсальним живленням приладу. Розроблений і досліджений пристрій має перспективу впровадження в польові шпиталі медичної допомоги, які використовують сучасну технологію лазерного лікування. Цей пристрій може допомогти медичному персоналу виконувати хірургічні процедури в різних умовах, забезпечуючи точність і контроль за процесом операції, а також покращуючи швидкість одужання пацієнтів. Зазначена у статті універсальність живлення пристрою може забезпечувати його використання в різних умовах, включаючи віддалені райони та кризові ситуації, де можуть бути проблеми з доступністю електромережі.

Ключові слова: лазерний скальпель, твердотілий тулієвий лазер, польові умови.

I. ВСТУП

Розробка нових медичних приладів на основі сучасних науково-технічних досягнень дозволяє розвивати нові медичні технології з незаперечними перевагами над існуючими методами [1].

Застосування інноваційних методів надає можливість підвищити терапевтичну цінність, зменшення можливих ускладнень та рецидивів, болю та непрацездатності пацієнтів. Важливе місце серед них посідає лазерна технологія [2]. Поява в медицині нових лазерних хірургічних апаратів дозволить підібрати довжини хвиль, на яких вони працюють та часових режимів роботи (безперервний, імпульсний або імпульсно періодичний)[3]. Висока надійність, простота управління, мала вага і габарити дозволяють використовувати подібні технології у медичних закладах, які не мають

інженерно-технічних служб. Нинішні можливості дають змогу реалізовувати потужну техніку, зокрема йдеться мова про лазерні системи в надскладних умовах, у той же час, операційні витрати можуть бути зменшені [4]. Технічні зменшення чутливості до механічних впливів в додаток з низьким енергоспоживанням дозволяє використовувати подібні апарати в позаклінічних умовах. Експериментальні дослідження продемонстрували, що перевагами лазерних маніпуляцій є: коагуляція кровоносних судин у розрізі, зменшення травматичності, стерильність і стійкість до стирання поверхні рани, післяопераційна легкість стану пацієнтів, відсутність фізичних побічних ефектів на організм, формування тонких, ніжних і майже непомітних рубців [5].

II. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є підвищення ефективності лазерного скальпелю для роботи в ускладнених умовах польових або за умови блеауту, а саме забезпечити прилад акумуляторним живленням, та додатковим захистом корпусу від вологи та пилу, наявність такого приладу значно покращить якість проведення операцій в польових умовах, адже одна з переваг використання лазерного скальпелю є мінімальна крововтрата та мінімальні больові відчуття, сприятиме швидшому відновленню пацієнтів після проведеного втручання, це дає змогу уникнути ряду післяопераційних ускладнень.

III. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Актуальний та важливий напрямок лазерної фізики на сьогоднішній день є розробка лазерних систем, що працюють у спектральній області 1,9 мкм. Для цього широко використовуються лазерні кристали, активовані іонами тулія. [6]

Тулієвий волоконний лазер має широкий попит та використовується в медицині. Це унікальний потужний лазер, призначений для широкого спектру хірургічних процедур. Лазерна енергія тулієвого лазера випромінюється в безперервному хвильовому режимі. Властивості поглинання тулієвого лазера у воді та м'яких тканинах такі ж, як у гольмієвих лазерів, але безперервне генерування лазерного променя робить його ефективнішим у м'яких тканинах. Завдяки короткій довжині хвилі глибина проникнення в тканину невелика - 250 мкм. Довжина хвилі випромінювання цього лазера близька до піку поглинання води, що в поєднанні з невеликою глибиною проникнення збільшує щільність енергії, яка передається тканині, що супроводжується швидким випаровуванням води і м'яких тканин [7].

Іони тулію використовують для генерації інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 1,91$ мкм. Пари металевого тулію також застосовують для збудження лазерного випромінювання з

перестроюваною довжиною хвилі (частотою) [8].

Із створенням першого лазера ведуться дослідження впливу лазерного випромінювання на живі тканини і розробляються методи лікування різних захворювань за допомогою лазерного випромінювання. Потужність лазерного променя спричиняє нагрівання, коагуляцію, випаровування і розрізання живої тканини. Таким чином, можна перерахувати деякі переваги лазерного медичного обладнання в порівнянні зі звичайним медичним обладнанням.

1. Висока температура дозволяє малоінвазивне розсічення шляхом коагуляції тканин.
2. Висока температура стерилізує рану і забезпечує асептичність маніпуляції.
3. Мінімізує набряк рани та зменшує післяопераційні наслідки.
4. Зменшується післяопераційний період реабілітації і час проведення терапії [9].

Наразі розроблено низку методів лікування захворювань за допомогою лазерного випромінювання.

Результат впливу випромінювання на живий організм залежить від довжини хвилі. Поглинання випромінювання в живій тканині визначає глибину проникнення. Основними речовинами, які поглинають випромінювання в живій тканині, є гемоглобін і вода.

Вагому роль у маніпуляціях з випромінюванням у діапазоні довжин хвиль від 1,4 мкм до 1,8 мкм полягає в нагріванні води до 100 °C і подальшому її випаровуванні. Інший пік поглинання в біологічній тканині знаходиться в області від 1,8 мкм до 2,1 мкм, що подібно до поглинання CO₂-лазерів. Випромінювання в цій спектральній області має якісні ріжучі властивості, малу зону термічного пошкодження і якісну коагуляцію. Волоконні лазери, легovanі тулієм, можуть виробляти випромінювання з довжиною хвилі від 1900 нм до 2000 нм, що співпадає з піком поглинання біологічної тканини [10].

Основне питання даної роботи це живлення, адже в польових умовах немає безперервного постачання електроенергії.

Перетворювачі напруги 12/220 знайшли широке застосування для живлення медичної апаратури в каретах швидкої допомоги, в польових умовах використовуються автомобілі з різними типами акумуляторів тож запропонованою розробкою є функціональна система перетворювачів напруги з різних типів акумуляторів а саме 6/220, 12/220, 24/220, це дозволить мати запасні варіанти живлення приладу в непередбачуваних умовах, та забезпечить прилад універсальним типом живлення.

IV. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Останніми роками лазери все ширше впроваджуються в усі сфери лікарської справи, завдяки унікальним властивостям їхніх джерел світла, специфічному впливу на організм та його тканини, також не менш важливим є висока ефективність використання цих джерел світла [11].

Лазери найчастіше використовуються в хірургії (лазерне скальпування) з використанням руйнівної дії інтенсивного випромінювання, знайшли своє успішне впровадження не тільки у хірургії, також лазерні технології активно використовують від терапевтичного опромінення крові до діагностики захворювань внутрішніх органів. Переваги лазерного скальпеля включають більш точне та менше пошкодження навколишніх тканин, швидше загоєння ран та меншу потребу в анестезії. Він також може знизити ризик кровотечі та інфекції. На сьогоднішній момент ми зіткнулися з потребою вище зазначених переваг операції в польових умовах, в Україні кожен день у наслідок підвищеної небезпеки виникають десятки пацієнтів які потребують негайного ефективного операційного втручання в складних польових умовах, адже такі пацієнти не можуть чекати поки їх транспортують в звичайну лікарню з нагальними приладами для проведення якісної операції. В результаті цього виникає необхідність розробки

надійного та простого для використання лазерного скальпеля для роботи в польових умовах який буде мати генераторне живлення, компактність у розмірах, вологостійкий та з захистом від пилу.

V. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для розробки лазерного скальпеля для роботи в польових умовах було проаналізовано сучасні методи лазерної хірургії, технічні характеристики апаратури що використовується.

Що стосується взаємодії світла з живими організмом, то важливими критеріями є : час опромінення, режим опромінення, частота і тривалість маніпуляції. Гомеостаз біологічного матеріалу також може вважатись важливим критерієм при взаємодії. Залежно від довжини хвилі та інтенсивності світла, пороговий час експозиції при якому починають відбуватися морфологічні зміни, значно варіюється для одного і того ж об'єкта, тобто добуток інтенсивності та часу експозиції не є постійним для живого об'єкту. Періодичність світлових імпульсів уможливорює резонансні явища в діапазоні частот від 10^{-3} до 10^3 с, що відповідає періоду коливань світлової реакції біологічних тканин.

Під час проектування приладу було вибрано використання твердотілого тулієвого волоконного лазера.

Твердотільні лазери використовують кристали зі спеціальними домішками для створення лазерного променя. Цей промінь може бути використаний для зняття тонких шарів тканини з точністю до мікрометрів. Лазерний скальпель з твердотільним лазером може мати більш високу точність та контроль над глибиною різання, ніж звичайні скальпелі. Крім того, він може бути менш болісним для пацієнта, оскільки лазерний промінь може коагулювати кров, що зменшує кровотечі.

Твердотільні лазери мають однакову довжину хвилі 1,06 мкм (ІЧ), вихід на потужність від 1 до 100 кВт.

Для активних матеріалів існують фактори, що впливають на монохроматичність. У випадку твердотільних лазерів лінії випромінювання розширюються зовнішнім магнітним полем.

Імпульсні лазери мають такі режими роботи:

1. Режим модуляції добротності лазера
2. Режим вільної генерації
3. Режим синхронізації мод

випромінювання.

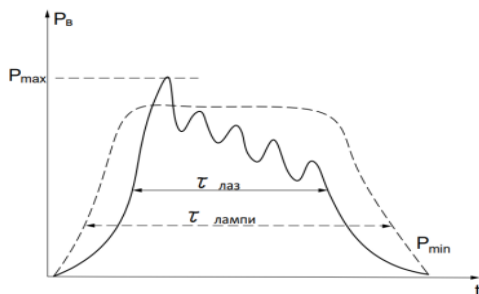


Рисунок 1 – Режими імпульсної роботи
Сучасні лазери імпульсної роботи випромінюють імпульси тривалістю 1/100 пікосекунди та потужністю в імпульсів до 100 ГВт.

Для реалізації живлення приладу в польових умовах запропоновано акумуляторне живлення за допомогою перетворювача напруги з 6-24 V на 220 V.

Потужність споживання лазерного скальпелю може варіюватись в залежності від його типу та моделі. Зазвичай, потужність лазерних скальпелів для медичного застосування може бути в діапазоні від 10 до 100 ват.

Принцип дії твердотільних лазерів заснований на створенні так званого інверсного рівня забороненій зоні матеріалу. Час життя електронів на цьому рівні більший ніж час, який вони проводять у зоні провідності. Тому електрони зберігаються на цьому рівні протягом певного періоду часу.

Це називається інверсною заселеністю. Коли фотон потрібної довжини хвилі проходить через такий рівень, на якому накопичилися електрони, одночасно проходить через такий рівень, на якому накопичилися електрони, одночасно

генерується велика кількість світлових хвиль однакової довжини і фази. Іншими словами, електрони одночасно лавиноподібно переходять в основний стан і генерують пучок монохроматичності фотонів високої потужності. Варто зазначити, що основною проблемою розробників перших лазерів було знайти комбінацію речовин, здатних до інверсного інтегрування обох рівнів. Першою практичною речовиною став легований рубін.

Основна конфігурація твердотільних лазерів не відрізняється від інших типів. Довільне джерело світла випромінюється на робоче тіло з інверсією на один рівень. Найчастіше це звичайна лампа розжарювання або газорозрядна трубка. Два паралельні кінці робочого тіла утворюють систему, або оптичних резонаторів. Тільки фотони, паралельні вихідному отвору, збираються в пучок.

Твердотільні лазери накачуються відбувається за допомогою імпульсних ламп. "Серцем" лазера є його активний елемент. У деяких лазерах це циліндричний кристал або скляний стрижень. В інших – це герметична скляна трубка, заповнена спеціально підбраною газовою сумішшю. Треті використовують кювети, заповнені спеціальними рідинами. Таким чином, існують тверді, газові та рідинні лазери. Будь-який з них при нагріванні випромінює тепло. Однак випромінювання від джерела тепла поширюється в усіх напрямках, тобто задовольняє тілесному куту 4π стерадіан. Формування спрямованого променя від цього джерела світла відбувається за допомогою діафрагм і оптики, що складається з лінз і дзеркал, але завжди з втратою енергії. Жодна оптична система не може генерувати більше випромінюваної потужності на поверхні освітлюваного об'єкта, ніж саме джерело світла.

VI. РЕЗУЛЬТАТИ

Питання живлення є основною частиною розробки, тож вирішено було додати до стандартної схеми, систему перетворювачів з 6-24 на 220 V.

Блок схема лазерного скальпелю зображує для роботи в польових умовах спроектована та передбачає універсальність живлення приладу.

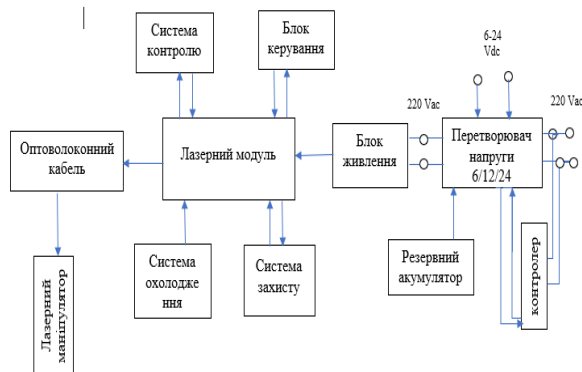


Рисунок 2- Блок схема розробленої схеми живлення приладу

На схемі ми бачимо що скальпель має додатковий резервний акумулятор, що дає змогу забезпечити прилад живленням на деякий час без фактичного джерела енергії.

Таке рішення є перспективним для реалізації адже таке живлення буде універсальним та пристосованим до не передбачуваних, важких умов.

На схемі зображена функціональна модель приладу, тож основні компоненти універсального лазерного скальпелю для роботи в польових умовах це:

1. Лазерний модуль - він створює високоенергетичний лазерний промінь, який у даному випадку використовується для хірургічних маніпуляцій.
2. Оптиковолоконний кабель передає той самий промінь від модуля до саме маніпулятора.
3. Лазерний маніпулятор включає в себе оптиковолоконний кабель та використовується для управління напрямком лазерного променя.
4. Блок живлення забезпечує роботу лазерного модуля та маніпулятора.
5. Контролер керує роботою перетворювача напруги з 6-24 В на 220 В.
6. Система охолодження
7. Система захисту
8. Система контролю
9. Блок керування

10. Перетворювач напруги з 6-24 В на 220 В.

11. Система живлення також забезпечена резервним акумулятором, це дозволить забезпечити роботу універсального лазерного скальпелю в момент коли доступ до блоку живлення буде обмежений або недоступний.

Базуючись на сформованій блок схемі було побудовано принципову електричну схему джерела живлення.

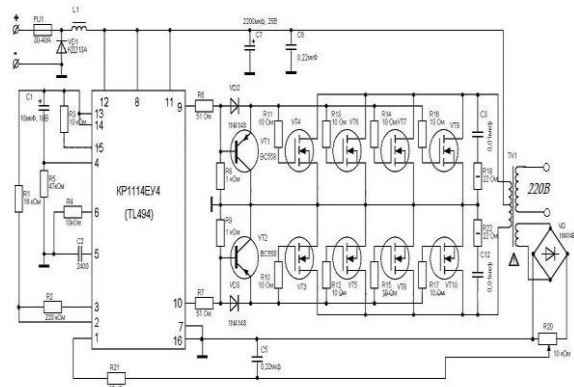


Рисунок 3 — приведено принципову електричну схему джерела живлення

Це мікросхема типу TL494, вона має генератор імпульсів, що працює в широкому діапазоні частот, підсилювач помилки (вихід 1) для зворотного зв'язку за напругою і внутрішній регулятор напруги (вихід 14), що забезпечує вихід. Мікросхема також має вхід керування вихідним сигналом, який на виході перетворюється в одно-або двотактний сигнал.

Вихідні транзистори мікросхеми мають відкритий колекторієметер, що дозволяє використовувати їх у різноманітних схемах і теоретично здатні подавати на навантаження струм до 200мА. Мікросхема живиться від мережі напругою 6-40 вольт (вихід 12), а вихідна напруга внутрішнього стабілізатора становить 5 вольт.

Хірургічний пристрій на тулівовому волокні (TFL) призначений для прецизійної хірургії м'яких тканин.

З появою цього нового хірургічного лазерного пристрою хірурги тепер мають повний спектр можливостей хірургічного обладнання.

Довжина хвилі тулієвого лазера відповідає одному з піків на кривій поглинання води. Тому він має сильний вплив на камені та м'які тканини, що призводить до невеликої глибини проникнення.

Лазер може працювати з імпульсним і безперервним випромінюванням. Імпульсне випромінювання має вищу пікову потужність, що дозволяє проводити літотрипсію і більш агресивне розсікання тканин. Безперервне випромінювання, з іншого боку, забезпечує більш глибокий ефект і більш плавну дію і може бути ефективним для гемостазу великих судин

VII. ОБГОВОРЕННЯ

Реалізація теоретичних передумов у вигляді робочого прототипу лазерного скальпелю з універсальним джерелом живлення, створює перспективу модернізації медичного обладнання під непередбачувані умови.

Розроблено блок схеми для живлення на якій продемонстровано що прилад має універсальну систему живлення з резервним акумулятором для випадку коли джерела живлення будуть деякий час недоступні.

Сучасні конструкції лазерних скальпелів задовольняють мету портативності.

Вологостійкість та пило-захист запропоновано використовувати додаткові шари захисту. Для світловоду захисний шар виконується у вигляді еластичного гофрованого матеріалу.

Така модернізація приладу є перспективною для підвищення ефективності у польовій медицині.

VIII. ВИСНОВКИ

Сучасне хірургічне обладнання забезпечує підвищену ефективність лікування, зменшити ймовірність ускладнень і рецидивів, а також больові відчуття пацієнта і час його непрацездатності. Переваги сучасного лікування є не менш важливим фактором в польових умовах. Для реалізації сучасної медицини в польовій шпиталі є гострим

питанням сьогоднішнього дня, отже запропонована модернізація приладу має перспективу впровадження в діючі моделі медичного обладнання.

Фінансування. Дане дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Згода на публікацію. Пацієнти участі в дослідженні не приймали.

ORCID ID та внесок авторів

Vogomolov Mykola (A, F)

0009-0008-2192-6853 (B, C, D, E)

Yevsieieva Polina

A - Концепція та дизайн, B - аналіз даних, C - Відповідальність за статистичний аналіз, D – Підготовка статті, E - Критичне редагування, F - Остаточне затвердження статті.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- Emiliani E., Talso M., Haddad M., Pouliquen C. The true ablation effect of Holmium YAG laser on soft tissue // *Journal Endourol.* 2018. Vol. 32(3). P. 230—235.
- Kronenberg P., Traxer O. Current assessment on holmium: yttriumaluminum-garnet (Ho:YAG) laser lithotripter settings and laser fibers // *World Journal Urol.* 2015. Vol. 33(4). P. 463—469.
- Лазерно-оптические технологии в биологии и медицине / Ляндрес И.Г., Людчик Т.Б., Наумович С.А. и др. // М-лы междунар. конф. – Мн., 2004. – С. 195–200.
- Лазер среднего инфракрасного диапазона спектра для прецизионной хирургии / Серебряков В.А., Бойко Э.В., Калинин А.Г. // *Оптический журнал.* 2015. С. 3—13.
- Kronenberg P., Traxer O. The truth about laser fiber diameters // *Journal of Urology.* 2014. Vol. 84(6). P. 1301—1307.
- 1,55 mkm fiber laser with electronic controlled mode-locking / , Hnatenko O.S., Neofitnyy M.V., Machekhin Y.P., Zarytskyi V.I., Zhdanova Y.V. // *Proceedings of the International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL.* 2019. P 276—279.
- Frith G. Mitigation of photodegradation in 790 nm-pumped Tm-doped fibers / , A. Carter, B. Samson, J. Faroni, K. Farley, K. Tankala, G. Town // *Proc. of SPIE.* 2010. Vol. 7580. P. 75800A1—75800A9
- 85 W Tm³⁺-doped silica fiber laser / D.G. Lancaster, S.D. Jackson Frith G // *Electronics letters.* 2005. Vol. 41. P. 22—23
- Bach T., Muschter R., Sroka R., Gravas S. Laser treatment of benign prostatic obstruction: basics and physical differences // *Eur Urol.* 2012. Vol. 61(2). P. 317—325
- Fragments and Dust after Holmium Laser Lithotripsy with or without —Moses Technology. How are they different? / Keller E.X. // *Journal Biophotonics.* 2018.
- Сучасний стан та перспективи біомедичної інженерії : матеріали Міжнародної науково-практичної

конференції, присвячена 20-річному ювілею Факультету біомедичної інженерії

Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського (15-16.12.2022, м. Київ) : ел.збірник / Упоряд.: О.І. Голембіовська – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

UDC 615-47

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL POWER SUPPLY FOR A LASER SCALPEL

Mykola Bogomolov

mfbogomolov@gmail.com

Polina Yevsieieva

p.a.evseeva@gmail.com

Department of Biomedical Engineering
National Technical University of Ukraine
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Kyiv, Ukraine

Abstract - Laser surgery is one of the most vivid examples of the use of high technologies in medical practice. The basis of the action of high-energy lasers on biological tissues is the transformation of light radiation energy into thermal energy, with the occurrence of an exceptionally high temperature. The consequence of this is the evaporation of intercellular and intracellular fluids of various tissues with the subsequent formation of gaseous products of evaporation and combustion and the formation of a surgical incision, which is based on thermal coagulation necrosis of tissues. The article discusses the modern problem of field medicine and devices for laser surgery. descriptions of modern medical technologies are given. According to the results of the review of literary sources, the medical and technical requirements for the universal laser scalpel device for work in the field were formulated and the block diagram of such a device was developed. A working sample of a solid-state laser scalpel is offered, which is equipped with a universal device power supply. The developed and researched device has the prospect of being implemented in field medical aid hospitals that use modern laser treatment technology. This device can help medical personnel perform surgical procedures in a variety of settings, ensuring precision and control over the operation process, and improving the recovery rate of patients The versatility of the device's power supply specified in the article can ensure its use in various conditions, including remote areas and crisis situations, where there may be problems with the availability of the power grid.

Key words: laser scalpel, solid-state thulium laser, field conditions