

## ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК. 621.336.2

### МОЖЛИВІСТЬ СТВОРЕННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИБОРІВ МАЛИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ДЛЯ МАЛОІНВАЗИВНИХ ОФТАЛЬМОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

Павленко Ж. О., Українець С. С., Шиндерук Т. Д.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна

E-mail: [psnk@kpi.ua](mailto:psnk@kpi.ua)

*В статті розглянуті питання можливості створення малогабаритних автоматизованих пристроїв для переміщення робочих органів медичного обладнання (адаптерів лазерів) на основі н'єзодвигунів. Переміщення виконуються за траєкторіями, заданими штатною методикою лікування. Велика кількість малоінвазивних оперативних втручань, наприклад, при відшаруванні сітківки ока чи наявності внутрішніх новоутворень в ньому, проводиться вручну, чим вноситься вплив суб'єктивного людського фактору. На підставі проаналізованої великої групи існуючих н'єзоактюаторів із поступальним рухом на виході обрано оптимальний для конкретних задач варіант, розроблено схему керування обраним н'єзодвигуном за допомогою мікроконтролера, підібрані елементи для її виготовлення з урахуванням необхідної точності, мінімальних габаритів, зручності монтування на існуючому обладнанні та економічного чиннику. Визначено перспективи роботи щодо створення алгоритмів руху адаптера при лікуванні конкретного пацієнта за наявності задокументованих попередніх медичних МРТ, КТ чи УЗ обстежень, а також запропоновано створення системи зворотнього зв'язку для коригування руху адаптера лазера, що виключить вплив мимовільних рухів зіниці ока пацієнта.*

**Ключові слова:** адаптер, н'єзоактюатор, оперативне втручання, суб'єктивний фактор, алгоритм руху.

#### Вступ

Автоматизація створення точних малих переміщень робочих органів (РО) приладів неруйнівного контролю, технічної чи медичної діагностики є важливим питанням, оскільки призводить до зменшення впливу суб'єктивного фактору при здійсненні заходів з контролю об'єктів чи процедур з ними і значно покращує результати [1]. Створення і застосування пристроїв автоматизованих малих переміщень в галузі медицини є, на нашу думку, перспективним напрямком, оскільки велика кількість малоінвазивних оперативних втручань проводиться вручну. Пристрої, що розглядаються, можливо використовувати для точних покрокових переміщень робочого органу (РО) медичного обладнання при малоінвазивних операціях щитоподібної залози, наприклад при лазерній фотокоагуляції новоутворень в ній; операціях на нирках при використанні УЗ для руйнування конкрементів. Це стосується і офтальмології.

Більше 90 % інформації про зовнішній світ людина отримує завдяки зору. Око являє собою окрему частину мозку, винесену на периферію, однією з основних частин якого є оболонка - сітківка. Товщина шару сітківки – до 0,5 мм. По суті, вона – первинний перетворювач світлових хвиль та імпульсів у електричний імпульс, що подається в

мозок і дозволяє людині бачити.

Ось чому з багатьох відомих на сьогодні проблем лікування очних захворювань нас зацікавили питання поліпшення технічного обладнання і можливість автоматизації деяких процедур (процесів) при лікуванні захворювань і травм сітківки. А саме: відшарування сітківки внаслідок травми чи запального процесу та наявності внутрішніх новоутворень ока. Природа цих захворювань може бути різною, починаючи від спадкових факторів до звичайних травм і навіть травм професійного характеру: наприклад у пілотів літаків чи автогонщиків, очі яких можуть не витримати виникаюче перенавантаження (4 g).

Операції на внутрішній частині ока часто виконуються за допомогою лазерного випромінювання [2, 3]. При операції пацієнту після інстиляції алкаїном встановлюють контактну лінзу, через яку хірург за допомогою спеціального обладнання та переміщення адаптера лазера проводить сеанси. Більша частина офтальмологічних хірургічних втручань з ліквідації відшарування зварюванням сітківки чи фотокоагуляція (випаровування) внутрішніх новоутворень виконується вручну. Лікар-хірург за відповідною штатною методикою покроково переміщує адаптер лазера за необхідною траєкторією чи площі ураженої ділянки, витримуючи

певну тривалість лазерного сфокусованого променя на кожній з точок об'єкта – мішені. Водночас, існує негативний вплив суб'єктивного, людського фактору на хід і результат операції. Враховуючи малі розміри операційного поля (до 10 x 10 мм), прозорість середовищ та локалізацію пухлини, будь-який необережний рух оператора чи пацієнта може мати незворотні наслідки.

Характерні складові впливу цих суб'єктивних факторів:

- психофізіологічний стан оператора, гострота його зору, досвід роботи, рівень кваліфікації;
- забезпечення умов роботи (наприклад, якість підготовленості апаратури та об'єкта до операції, освітленості операційного поля, тощо);
- залежність результатів від ступеню відповідальності хірурга і дотримання технології проведення операції;
- кваліфікованого використання апаратури;

Зменшення впливу суб'єктивного фактора на результати проведення операції досягається в основному за рахунок впровадження психофізіологічних та експлуатаційних заходів. До **психофізіологічних** заходів, на нашу думку, в першу чергу відноситься проходження лікарем періодичного комплексного медичного обстеження, включаючи періодичні медогляди в процесі трудової діяльності, забезпечення достойних та комфортних умов роботи.

**Експлуатаційні** заходи полягають в обов'язковому первинному навчанні персоналу методикам роботи з лазерним устаткуванням при лікуванні вищезгаданих захворювань, періодичній атестації лікарів на підтвердження кваліфікації, систематичному підвищенні кваліфікації шляхом проходження додаткового навчання.

З метою зменшення впливу суб'єктивних факторів на результати операції бажано мінімізувати людське втручання або повністю автоматизувати переміщення адаптера, залишивши хірургу наглядові контролюючі функції.

#### Постановка задачі

З точки зору технічного апаратного забезпечення успішного виконання згаданих операцій є такі проблеми:

- необхідність створення точних малих покрокових переміщень адаптера лазерного випромінювання;
- необхідність виконання переміщень згідно відповідних штатних методик; тобто вида траєкторій руху з певною тривалістю вистою (зупинки) в кожній з точок об'єкта – мішені для отримання в них необхідної теплової потужності. При чому при автоматизації процесу створення переміщень складні траєкторії можуть бути (в первинному варіанті) розкладені на рухи по координатах X та Y, що спрощує технічну реалізацію;
- малі робочі поля операції – до 10мм x 10мм;

- вплив суб'єктивного людського фактору.

Враховуючи усі вищезгадані чинники, виникає задача створення пристроїв автоматизації для здійснення точних малих покрокових переміщень при виконанні малоінвазивних офтальмологічних операцій.

#### Вибір двигунів

При автоматизації процесу переміщень адаптера в координатах X; Y необхідно використовувати в кінематичних ланцюгах незалежні джерела руху, тобто двигуни, що задовольняють по своїх характеристиках вищенаведеним задачам; і основна з них – організація надзвичайно точних (прецизійних) переміщень. Найкраще для таких цілей у прецизійних вимірювальних і слідкуючих системах, використовуються електромагнітні двигуни (крокові) різних типів. Головна перевага крокових приводів – точність. Кроковий привід, як недорога альтернатива сервоприводу, найкращим чином підходить для автоматизації окремих вузлів і систем, де не потрібна висока динаміка. До їх переваг можна віднести і невелику вартість, в середньому в 1,5-2 рази дешевше сервоприводів. Проте електромагнітні мікроелектродвигуни наразі досягають межі мініатюризації. Наприклад кроковий електродвигун типу A0820, що серійно випускається, має діаметр 8 мм, важить 3,3 грама і коштує близько \$ 10. Двигуни цього типу досить складні за конструкцією і мають біля сотні деталей. При подальшому зменшенні розмірів ускладнюється процес складання, а також втрачається ефективність двигуна.

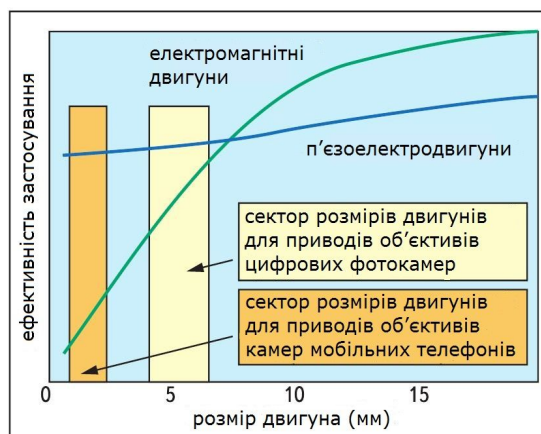


Рис. 1. Ефективність застосування різних двигунів при розмірах менше 7 мм

Для поставленої задачі, на нашу думку, доцільно використання п'єзoeлектродвигунів [4]. Діаграма, наведена на рис. 1, показує, що при розмірах двигуна діаметром менше 7 мм дійсно вигідніше застосовувати п'єзoeлектродвигуни.

До їх основних, потрібних для розв'язання означених задач, переваг відносяться:

- безпосереднє перетворення електричної енергії в механічну та мале енергоспоживання;

- здатність розвивати достатні для переміщення адаптерів потужності;
- велика швидкодія в діапазоні мікросекунд;
- мінімальний крок (точність) 0,05 - 0,1 нм;
- малі маса і габарити;
- безінерційність.

Для забезпечення необхідного переміщення адаптера в операційному полі необхідно створити, в разі потреби, кінематичні незалежні ланцюги з двома п'єзодвигунами, що забезпечать рух лазерного променя по двом координатам X та Y.

На ринку існують вже готові системи переміщення по двом координатам [5], але частіше всього вони налаштовані для використання з мікроскопами і мають достатньо великі габарити та вагу, монтувати їх на використовуване при операціях офтальмологічне обладнання недоцільно.

Аналізуючи ринок доступних двигунів, нами було розглянуто різні мікродвигуни обертового і поступального руху, зроблено їх порівняльний аналіз для можливості практичного застосування. Проаналізовано необхідні характеристики: точність позиціонування, діапазони переміщень, максимальні навантаження, масу та габарити. Підсумовуючи вищезначене, ми вирішили скористатися саме п'єзодвигунами для створення точних переміщень адаптера лазера при моделюванні макета пристрою для здійснення офтальмологічної операції. Було обрано актуатори з поступальним вихідним рухом, щоб уникнути використання додаткових механічних передач для перетворення руху в поступальний, оскільки при цьому зростають габарити всього пристрою в цілому, коефіцієнт корисної дії таких ланцюгів зменшується і втрачаються інші переваги, про які було вказано вище.

Для здійснення програмованих переміщень по осях X та Y необхідна відповідна схема керування двигунами і алгоритм переміщення адаптера.

Відома схема керування [6], зображена на рис. 2, складається з:

- 1 – блока формування частоти імпульсів;
- 2 – блока формування тривалості імпульсів;
- 3 – джерела живлення;
- 4 – керуваного ключа;
- 5 – генератора збудження;
- 6 – п'єзодвигуна з обертовим вихідним рухом;
- 7 – ходового гвинта;
- 8 – адаптера (гайки).

За допомогою пристрою, створеного за цією схемою, можна створювати надзвичайно малі лінійні переміщення на виході, що є дуже важливим для офтальмологічних операцій з використанням лазера. Однак в такій схемі було використано п'єзодвигун з обертовим вихідним рухом, про недоліки використання якого було сказано вище.

На основі проведеного аналізу в якості п'єзодвигуна нами обрано модель SQL-RV-1.8 фірми New Scale Technologies, точність переміщень якої складає 0,5 мкм; швидкість переміщення від 7 мм/сек; габаритні розміри 2,8 x 2,8 x 6 мм; вага 2 г.

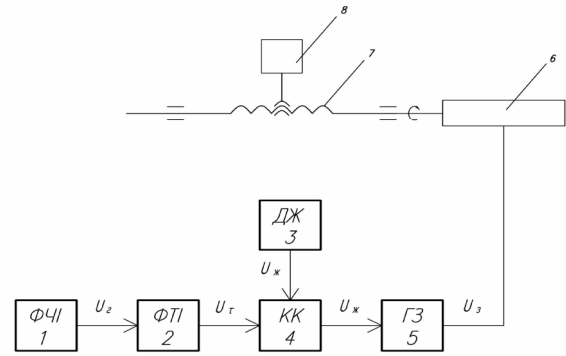


Рис. 2. Схема керування п'єзодвигуном

Авторами було розроблено схему керування цим п'єзодвигуном, підібрані елементи для її виготовлення з урахуванням необхідної точності, мінімальних габаритів, зручності монтування на обладнанні та економічного фактору. Для керування ним використовується драйвер NSD-2101, для керування драйвером використано мікроконтролер ATmega328 [7].

На основі узагальненої структурної схеми для керування п'єзодвигуном і з урахуванням раніше вибраних компонентів розроблено електричну принципову схему пристрою для створення мікропереміщень (рис. 3).

Перевагою розробленої схеми на відміну від зображеної на рис. 2, де блоки виконані як окремі вузли на електронних компонентах, є те, що в нашій схемі їх функції виконує один мікроконтролер. Завдяки цьому зменшуються розміри самого пристрою і його вартість.

Елементна база цієї схеми: конденсатори - C1, C2 KEMET 3225-22пФ+-5%; C3 - KEMET 3225-100нФ+-5%; C4, C5, C6, C7 - KEMET 3225-15пФ+-5%. Мікросхеми цифрові: DD1 - AT Mega328; DD2, DD3 - NSD-2101. Резистор R1 МЛТ-0,25-1 МОм+-5%. Резонатор ZQ1 - Crystal Oscillator 16MHz. П'єзодвигуни BQ1, BQ2 SQL-RV-1-8.

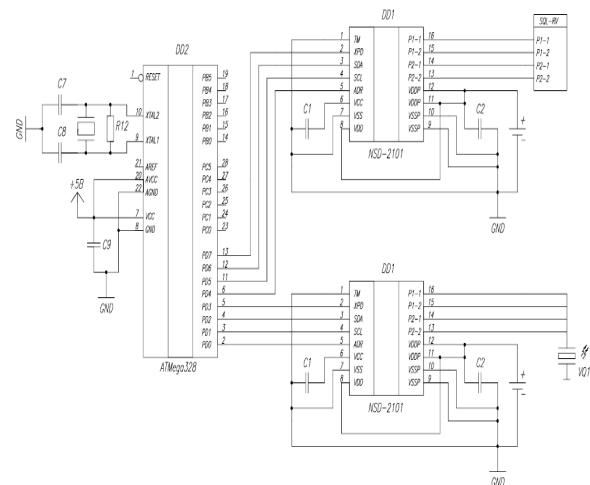


Рис. 3. Схема електрична принципова керування п'єзодвигунами

**Висновки**

1. Спираючись на проведені дослідження та наявний досвід застосування автоматизованих пристроїв переміщень в системах неруйнівного контролю та діагностики, можна стверджувати, що автоматизація створення точних малих переміщень робочих органів медичного обладнання для здійснення деяких оперативних втручань, є перспективним напрямом досліджень. Це зменшує вплив суб'єктивного фактору на результат операції, дозволяє отримувати документовані підтвердження здійснених рухів, що збільшує ступінь довіри до проведених дій. Малогабаритні, точні автоматизовані пристрої до виходу яких в якості робочих органів можуть під'єднуватись різні адаптери, можуть використовуватись при здійсненні оперативних втручань на нирках, щитоподібній залозі, в сеансах лазерної офтальмології.

2. Задачею на перспективу є створення алгоритму переміщення адаптера в робочому полі. При фотокоагуляції адаптер має переміщуватись згідно застосованої штатної методики з мінімальним кроком, щоб не пропустити жодної точки приварювання сітківки чи ділянки пухлини. При ліквідації відшарування сітківки має бути організована дискретна доставка променевої теплової потужності до необхідної кількості точок приварювання. Для створення алгоритму руху адаптера при лікуванні кожного окремого пацієнта, необхідна наявність задокументованих попередніх медичних обстежень (результати МРТ, КТ чи УЗ дослідження). Розробка програмного забезпечення для драйвера дозволить фахово підготовленому медперсоналу, знаючи розміри, об'ємне розташування новоутворень в оці чи контури відшарованої частини сітківки, самостійно задавати траєкторію руху лазерного інструмента.

3. Перспективною постає задача створення системи зворотнього зв'язку, оскільки при необхідній точності мікропереміщення будь-який мимовіль-

ний рух зіниці ока може погіршити результат, тому необхідно створити систему, яка зможе корегувати рух лазера. На нашу думку, це могла б бути прив'язка до центру зіниці, або іншої частини ока, і певні розробки в цьому напрямку вже існують [8].

**Література**

1. Павленко Ж. А. Влияние субъективного фактора на достоверность результатов неразрушающего контроля / П. И. Водзик, Ж. А. Павленко, Д. П. Водзик // «Вісник нац. тех.ун-ту України «Київський політехнічний інститут» серія «Приладобудування». – 2013. – № 46. – С. 46 – 54.
2. Бойко Э. В. Лазеры в офтальмохирургии: теоретические и практические основы. Военно-медицинская академия. Учеб. пособие. – СПб.: «Санкт-Петербург», 2003. – 39 с.
3. Волков В. В. Лазерное лечение внутриглазной меланомы // Клиническая офтальмология. – 2001. – С. 3 – 7.
4. Смирнов А. Б. Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 160 с.
5. Multi-Axis Piezo Scanning Stages. Режим доступа <http://www.physikinstrumente.com/products/xyz-nanopositioning-stage.html>.
6. Петренко С. Ф. Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении. – К.: «Корнийчук», 2002. – 96 с.
7. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 2-е изд., стер. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 560 с.
8. Способ позиционирования точки луча эксимерного лазера. Режим доступа [http://www.ntpo.com/patents\\_medicine/medicine\\_12/medicine\\_213.shtml](http://www.ntpo.com/patents_medicine/medicine_12/medicine_213.shtml)

УДК. 621.336.2

**Ж. А. Павленко, С. С. Українець, Т. Д. Шиндерук***Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина***ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ МАЛОИНВАЗИВНЫХ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

В статье рассмотрены вопросы возможности создания малогабаритных, автоматизированных устройств для перемещения рабочих органов медицинского оборудования (адаптеров лазеров) на основе пьезодвигателей. Перемещения выполняются по траекториям, заданным штатной методикой лечения. Большое количество малоинвазивных вмешательств, например, при отслоении сетчатки глаза или наличии внутриглазных новообразований в нем, проводится вручную, чем вносится влияние субъективного человеческого фактора. Была проанализирована большая группа пьезоактюаторов с поступательным движением на выходе, выбран оптимальный для конкретных задач вариант, разработана схема управления выбранным пьезодвигателем с помощью микроконтроллера, подобраны элементы для ее изготовления с учетом необходимой точности, минимальных габаритов, удобства монтажа на существующем оборудовании и экономического фактора. Сделаны выводы о перспективности работы в направлении создания алгоритмов движения адаптера для лече-

ння конкретного пацієнта при наявності задокументованих попередніх МРТ, КТ, или УЗ обстежень; створення системи зворотного зв'язку для коригування руху адаптера лазера для зменшення впливу непроизвольних рухів зрачка пацієнта.

**Ключевые слова:** адаптер, пьезоактюатор, оперативное вмешательство, субъективный фактор, алгоритм движения.

**Zh. Pavlenko, S. Ukrainets, T. Shynderuk**

*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

#### AN ABILITY OF CREATION AND USAGE OF SMALL MOVEMENT AUTOMATED DEVICES FOR MINIMALLY INVASIVE OPHTHALMOLOGIC SURGERIES

The possibility of creating small, automated devices for the movement parts of medical equipment in usage, based on piezoelectric actuators, have been examined in this article. Movements are performed according to the trajectories set by the established treatment method. A variety of minimally invasive surgery, for example: detachment of retina or internal tumors in human eye, are made by hand influenced by subjective human factor. A large group of existing piezo actuators with translational motion have been analyzed and the best option for specific problems have been chosen. The microcontroller based engine control circuit has been designed. The items for its production were selected, as well taking into account such factors as accuracy, dimensions, efficiency and convenience of installation at the equipment. Conclusions about the prospects of working towards creating algorithms for motion adapter (for treatment of the individual patient, with pre-made medical MRI, CT or ultrasound examinations) and creating feedback system (to adjust the movement of the laser adapter, which exclude the impact of involuntary pupil movements of the patient's eye) have been made.

**Keywords:** adapter, piezoelectric actuators, surgery, subjective factor, motion algorithm.

*Надійшла до редакції  
30 січня 2016 року*

*Рецензовано  
14 лютого 2016 року*

© Павленко Ж. О., Українець С. С., Шиндерук Т. Д., 2016

УДК.681.3. 07: 621

### СКРИНІНГОВА НЕІНВАЗИВНА ДІАГНОСТИКА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ

*Терещенко О. В., Клочко Т. Р.*

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",  
м. Київ, Україна*

*E-mail: [klotchko@psf.ntu-kpi.kiev.ua](mailto:klotchko@psf.ntu-kpi.kiev.ua)*

*Проведення скринінгової діагностики є актуальним для виявлення ознак широкого спектру захворювань на доклінічній стадії, коли можливо визначити наявність тієї чи іншої патології або навіть схильність до неї. Такі дослідження необхідні особливо в ранньому віці, оскільки наразі спостерігаються такі складні поширені захворювання як діабет, патології нервової системи тощо.*

*У статті на підставі проведеного аналізу існуючих методик і технічних рішень запропоновано методику проведення неінвазивної скринінгової діагностики за структурними змінами іридомаркерів райдужної оболонки ока, яка дозволяє визначати функціональний стан організму, зокрема його окремих органів і систем. Обґрунтовано використання діагностичної апаратури для неінвазивного скринінгу, описано структуру проведення процедури та аналізу оптичного зображення структурних змін іридомаркерів райдужної оболонки ока.*

*Дослідження можуть бути покладені в основу розробки інтегрованої системи для скринінгової неінвазивної діагностики організму людини за ознаками зображення РО ока, обстеження передньої камери ока та виявлення незначних офтальмологічних патологій. Аналіз зображень за допомогою збалансування града-*