

них відліків  $\delta_{хв}$ , до того ж із збільшенням  $P$  пропорція змінюється у бік зростання останньої (при  $P = 10^{-3}$  їх відношенням 2:3, а при  $P = 10^{-2}$  - 1:4).

1. Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Долинов С.Н. и др. Адаптивные телеизмерительные системы / Под ред. Л.В. Фремке. М., 1981.
2. Ивахив О.В., Пуйда В.Я., Пучинский Б.В., Шигера И.Ю. Адаптивная ИИС с разностным представлением существенных выборок. Новосибирск, 1990.
3. Ивахив О.В., Пучинский Б.В., Шигера И.Ю. Разностно-адаптивная измерительная система // Изв. вузов. Приборостроение. 1988. Т. XXXI. С. 25-29.
4. Ивахив О.В., Пучинський Б.В., Шигера І.Ю. Різницево-адаптивна система з регулярною коррекцією // Вісн. Львів. політехн. ін-ту. 1992. № 267. С. 3-6.
5. Калашников И.Д., Степанов В.С., Чуркин А.В. Адаптивные системы сбора и передачи информации. М., 1975.
6. Пилипчук Н.И., Яковлев В.П. Адаптивная импульсно-кодовая модуляция. М., 1986.

УДК 618.19

Р.А.Ткачук, Я.Д.Пастушок, М.І.Паламар

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОКА КОНТАКТНИМ МЕТОДОМ**

Дослідження механізмів терморегуляції та тепловіддачі організму людини набули останнім часом широкого розвитку. Адже зміна температури тканин і органів тіла свідчить про глибину кровонаповнення та інтенсивність обмінних процесів, що відбуваються в органахі, стан судинної системи. Тому реєстрацію температурних змін розглядають як важливий діагностичний тест і відносно простий спосіб оцінки стану організму людини. Важливі діагностичні дані для виявлення захворювання на ранній стадії дає вимірювання температури в офтальмології. У літературі описані різні методи температурних досліджень в медицині [1,6,7 та ін.]. Скажімо, рідкокристалічна термографія є простим і наочним методом. Проте перспектива його використання обмежена розмірами

об'єкта, суб'єктивністю методик дослідження, а також трактуванням отриманих результатів.

Перспективним в офтальмологічних дослідженнях є метод інфрачервоної термографії, побудований на безконтактній реєстрації теплового випромінювання в діапазоні інфрачервоного спектра. Даний метод є доволі чутливим і абсолютно нешкідливим, однак температурна картина може змінюватися через незначні екзо- і ендогенні впливи. Тому його досі широко не використовують при температурних дослідженнях в офтальмології. Інфрачервона термографія дає змогу реєструвати загальну температурну картину, проте використання контактних методів термодіагностики підвищує точність температурних вимірювань.

Одночасне вимірювання температури в різних точках ока має діагностичну спрямованість, тому тут важлива точність вимірювання, яка має бути доволі високою (0,05...0,1 °C).

Деякі хвороби можна оцінювати, вимірюючи температуру в чотирьох проекціях циліарного тіла (м'язи, які скорочують або видовжують кришталік), а також на м'язах, які повертають око [8]. Проекція циліарного тіла знаходиться на відстані 2...3 мм від райдужної оболонки ока. Тому відхилення температури на 0,2...0,4 °C від норми свідчить про певні патологічні зміни.

Виходячи з даних міркувань, для температурних вимірювань ока пропонуємо давач з чотирма вмонтованими термопарами, який утримується на оці пацієнта з допомогою мікровідсмоктувача (рис.1).

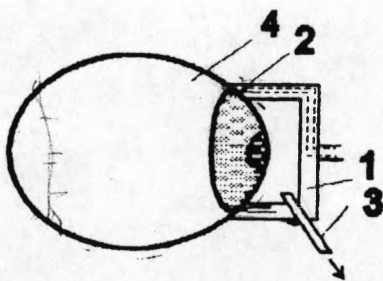


Рис.1. Вимірювання температури ока:  
1 - давач; 2 - термопари; 3 - канал  
для відсмоктування повітря; 4 - око.

Розглянемо детальніше контакт давача з оком. При контактуванні давача в точці, де розміщена термопара (рис.2), змінюєть-

ся тепловий опір і спостерігається відхилення ліній теплового потоку від прямих. У результаті теплообмін відбувається в чотирьох точках дотику термопар, і основна частина теплового потоку підходить до плям фактичного контакту. Отже, в місці контакту термопар з оком спостерігається стягування ліній теплового потоку до плям фактичного контакту.

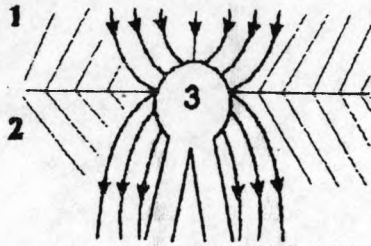


Рис. 2. Схема теплообміну:

1 - око; 2 - датчик; 3 - спай термопари.

Оскільки спаї термопар мають сферичну форму, то для визначення площі фактичного контакту  $\eta$  і відносного зближення  $\varepsilon$  при контактуванні можна користуватися виразами [2,3]:

$$\eta = \left[ \frac{\alpha \frac{\omega}{r} \cdot b \frac{\omega}{r} \cdot r \omega \cdot q_k}{h_{\max}^{\omega} \cdot K_1 \cdot B} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma + \omega}}, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \left[ \frac{r \omega \cdot q_k}{\alpha \cdot h_{\max}^{\omega} \cdot K_1 \cdot B \cdot b} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma + \omega}}$$

де  $q_k = N/S_k$  - контурний тиск;  $\omega$  - коефіцієнт, який залежить від характеру деформації;  $B$  - коефіцієнт, що характеризує властивості матеріалів;  $K_1$  - коефіцієнт, який враховує кореляцію  $\omega$  і  $\gamma$ ;  $r$  - радіус кривини поверхні спаю;  $b$  і  $\gamma$  - параметри опорної поверхні;  $\alpha$  - коефіцієнт відношення площин при зближенні.

У випадку пружної деформації:

$$\alpha = 1/2, \quad \omega = 1/2, \quad B = \frac{E}{2,35(1 - \mu^2)},$$

де  $E$  - модуль Юнга;  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона.

Процес присмоктування датчика до ока найточніше можна описати як зближення поверхонь залежно від часу дії навантаження  $\tau$

і значення розрідження, або сили, з якою утримується давач на рогівці ока, використовуючи вирази для відносного зближення [5]:

$$\epsilon_{\tau} = \left[ \epsilon_{\infty}^{\gamma+1} - \left( \epsilon_{\infty}^{\gamma+1} - \epsilon_0^{\gamma+1} \right) \cdot e^{-\tau \frac{U_2(\gamma+1)}{U_1+1}} \right]^{\frac{1}{\gamma+1}}, \quad (2)$$

де  $\epsilon_{\tau}$  - відносне зближення, що визначається часом дії нормального навантаження;  $\epsilon_{\infty}$  - зближення, що встановлюється після закінчення взаємодії;  $\epsilon_0$  - зближення при нульовому часі контакту;  $U_1$  - швидкість післядії;  $U_2$  - швидкість рівноваження.

Враховуючи, що відносна площа фактичного контакту може бути виражена через відносне зближення, тобто:

$$\eta = b \epsilon_{\tau}^{\gamma}. \quad (3)$$

При підстановці (2) в (3) знаходимо залежність відносної площі контакту в часі:

$$\eta_{\tau} = \left[ \epsilon_{\infty}^{\gamma+1} - \left( \epsilon_{\infty}^{\gamma+1} - \epsilon_0^{\gamma+1} \right) \cdot e^{-\tau \frac{U_2(\gamma+1)}{U_1+1}} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma+1}}, \quad (4)$$

Одержавши вихідні параметри, можна визначити остаточне зближення  $\epsilon_{\infty}$ :

$$\epsilon_{\infty} = \left[ \frac{N(y + \omega)}{S_k \cdot b \cdot H_m} \right]^{\frac{1}{\gamma+1}}, \quad (5)$$

$N$  - нормальне навантаження;  $S_k$  - контурна площина контакту;  $H_m$  - твердість за Меєром.

Залежності (2) та (4) дають змогу судити про вплив дії навантаження та окремих фізико-механічних і геометричних параметрів на формування фактичної площі контакту і зближення в часі  $\tau$ .

Отже, залежність фактичної площі контакту і зближення від часу дії навантаження визначається такими основними параметрами:  $U_1$  - швидкістю післядії;  $U_2$  - швидкістю рівноваження;  $b$  і  $\gamma$  - геометричними параметрами.

У першу мить прикладення навантаження, площа контакту і зближення зростають інтенсивно, відтак їх зростання зменшується і прямує до постійного значення. Залежність зближення поверхонь

контакту від дії навантаження в часі  $\tau$  для випадку, коли відбувається пластична деформація [4], має вигляд:

$$\varepsilon_{\tau} = \varepsilon_{\infty} (1 - e^{-\delta\tau\rho}), \quad (6)$$

$\delta$  і  $\rho$  - константи матеріалу, що характеризують його здатність до деформації.

Тоді відносно зближення залежно від часу прикладення навантаження знаходять таким чином:

$$\varepsilon_{\tau} = \left[ \frac{\rho(\gamma + \omega)}{bH_m} \right]^{\frac{1}{\gamma + \omega}} [1 - e^{-\delta\tau\rho}]. \quad (7)$$

Відносну площину фактичного контакту залежно від часу дії навантаження визначають із формули:

$$\eta_{\tau} = b \left[ \frac{\rho(\gamma + \omega)}{bH_m} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma + \omega}} [1 - e^{-\delta\tau\rho}]^{\gamma}. \quad (8)$$

Таким чином при безпосередньому контакті термодар з оком можна визначити теплову провідність в місці контакту:

$$\alpha_m = \frac{2 \cdot a \cdot \bar{\lambda}_m \cdot n}{\varphi \cdot S_H}, \quad (9)$$

де  $a$  - радіус одиничної плями контакту;  $\varphi$  - коефіцієнт стягування ліній теплового потоку до плями фактичного контакту;  $n$  - кількість плям контакту на номінальній площі;  $\bar{\lambda}_m$  - приведений коефіцієнт теплопровідності матеріалів.

Отже, одержані співвідношення дадуть змогу точніше оцінити стан об'єкта та моделювати процес теплопередачі для підвищення точності вимірювання температури контактним методом та створення інтерфейсу для оброблення отриманої інформації з використанням комп'ютерних систем. Підвищення точності температурних вимірювань збільшує і діагностичну цінність отриманих даних, що є важливим при прогнозуванні функцій зору та перебігу захворювання під час лікування.

1. Буйко А.С., Цицалов А.Л., Терентьева Л.С., Нянкина Е.Е. Термография на основе жидких кристаллов в офтальмологии // Офтальмолог. журн., 1977. N 2. С.110-112.
2. Демкин Н.Б. Контакт твердых тел при статическом нагружении и трении // Теория трения и износа. М., 1965.
3. Демкин Н.Б. Фактическая площадь касания твердых поверхностей М., 1962.
4. Костерин Ю.И. Реологические свойства контакта двух твердых тел // Теория трения и износа. М., 1965.
5. Крагельский И.В. Трение и износ. М., 1962.
6. Осипов Г.И., Столяров А.В. Термофотография поверхности переднего отрезка зрительных глаз // Вестн. офтальмологии. 1979. N 2. С.57-58.
7. Терентьева Л.С., Панфилова Г.В., Буйко А.С. и др. Значение современных методов исследования в комплексной диагностике новообразований орбиты // Офтальмолог. журн. 1978. N 6. С.405-406.
8. Турчин М.В. Значення даних термометрії зовнішніх м'язів ока для планування хірургічного втручання при виправленні співдружної косоокості // Мікрохірургія ока. Вплив підвищених доз радіації на органи зору: Тез. доп. міжнарод. сімпоз. К., 4-5 липня. 1994 р. К., 1994. С.178.

УДК 618.19

Е.Джубан

(Жешувська політехніка, Польща)

### **ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ ТІЛА ЛЮДИНИ В ТОЧКАХ АКУПUNKТУРИ**

**Вступ.** Виконувані дослідження мають на меті ідентифікуван-  
ня на підставі визначення градієнта температури специфічних  
фрагментів шкіри людини, тобто так званих, точок акупунктури чи  
точок рефлексотерапії.

Давній метод східної медицини, акупунктура, зокрема припа-  
ловання, тепер широко застосовують у багатьох країнах Заходу.  
Використання цього методу в сучасній клінічній медицині, зокре-  
ма в діагностиці, привернуло увагу не лише медиків, але й інже-  
нерів. Істотним є знаходження точок акупунктури - місць на  
шкірному покриві тіла людини, на які діє лікар-терапевт, нама-