

ТРАНЗИСТОРНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯМИ ПЕРЕХІДНИХ СТАНІВ ЗІНИЧНОЇ РЕАКЦІЇ І ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДІВ

А. І. Шевко

Відділ радіаційної біофізики Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ

З часу застосування теорії і принципів автоматичного регулювання до безумовного світлорухового рефлексу зіниці на світло дослідження зіничної реакції по праву перетворились на вчення про зіницю.

Застосування в методиках по вивченню зіничного рефлексу електроніки, сучасної оптики дозволило перейти від досить суб'єктивних описань самих лише якісних змін у зіничній реакції до строго математичного, кількісного аналізу.

Літературні дані [1—7] і результати наших досліджень упевнюють у тому, що основною формою зіничної реакції після короткочасного (долі секунди) ступінчатого світлового збурення є неперіодичний коливальний процес з швидким звуженням діаметра зіниці, за яким слідує більш тривале розширення. Отже, зінична реакція — це функція інерційної системи, в якій, як і в радіотехнічному ланцюгу, що складається з конденсатора і резистора, процес звуження або розширення (аналогічно заряду — розряду конденсатора) не може здійснюватися миттєво. Як і в RC ланцюга зіничній реакції за таких умов властивий перехідний процес, крива якого нагадує експоненту і може бути виражена показовою функцією: $d = d_0 + ke^{-at}$, де d — діаметр зіниці в даний момент, d_0 — максимально звужена зіниця, k — константа (вихідна ширина зіниці при $t = 0$), a — показник зменшення швидкості, визначений за нахилом кривої.

Диференціюючи наведений вираз, визначаємо швидкість реакції в будь-який момент часу t : $d' = -ak e^{-at}$.

Логарифмуючи цей вираз, одержуємо пряму лінію $\ln \frac{d - d_0}{k} = -at$, кут нахилу якої до осі абсцис визначить показник величини зменшення швидкості a .

Це дозволяє нам розглядати скорочення зіниці, як аперіодичне загасаюче коливання, при якому регульована величина (вегетативна функція) після її примусового відхилення монотонно повертається до свого рівноважного стану. Для кількісної оцінки перехідних станів ми взяли такі величини: t_L — латентний час; $t_{\frac{1}{10}}$ — прийнятий у теорії регулювання «активний час» тривалості реакції, відраховуваний на рівні $\frac{1}{10}$ встановленого значення амплітуди; t_u — час, протягом якого досягається

скорочення зіниці; u — амплітуда звуження зіниці; $\frac{u}{t_u}$ — швидкість звуження;

$\frac{u}{t_{\frac{1}{10}} - t_u}$ — швидкість розширення, $\frac{t_{\frac{1}{10}} - t_u}{t_u}$ — відношення швидкості

звуження до швидкості розширення.

Вивчення зіничної реакції провадиться давно. Проте, і при сучасних технічних можливостях реєстрація динамічних станів зіниці, в тому числі і перехідних функцій, залишається важкою для розв'язання проблемою. Величезній кількості розроблених і застосовуваних засобів від простого фотографування, до електронного сканування зіниці в інфрачервоних променях властиві ті чи інші недоліки. Більшість запропонованих прийомів призначені для реєстрації реакції зіниць ока людини, що, на нашу думку, є менш складним завданням щодо реєстрації цієї реакції у тварин. Фотоелектричні пупілографи навіть із застосуванням сканування не дають достатньо точних вимірювань. Тим більше непридатними виявились для роботи з тваринами фотоелектричні методи реєстрації діаметрів зіниці при інфрачервоному опроміненні ока внаслідок постійних артефактів, що виникають з рухами ока.

Тому після випробування різних методів ми віддали перевагу неновому, технічно складному і громіздкому за обробкою інформації кінематографічному методу

реєстрації. При численних недоліках цей метод є найбільш стійким до завад, найбільш точним, здатним передати тонкості реакції, звичайно масковані при застосуванні інших.

У нашу лабораторну установку вмонтована кінознімальна 16 мм камера «Пентафлекс». Об'єктив «Біометар» 2,8 з фокусною відстанню 80 мм для одержання макрозйомки в масштабі 1:1 висунутий з допомогою спеціальної насадки на 80 мм. Зйомка проводилась при незадіафрагмованому об'єктиві і розкритому обтюраторі на 180° на плівки ОВЧ, А-16 (180 од ГОСТ) і Дн (350 од). Плівку А-16 для підвищення її чутливості до 1500 од проявляли у фенідоновому проявнику. Двигун знімальної камери встановлений на постійну швидкість протяжки плівки 10 кадрів за секунду. Наведення на різкість при досить малій глибині різко відтворюваного

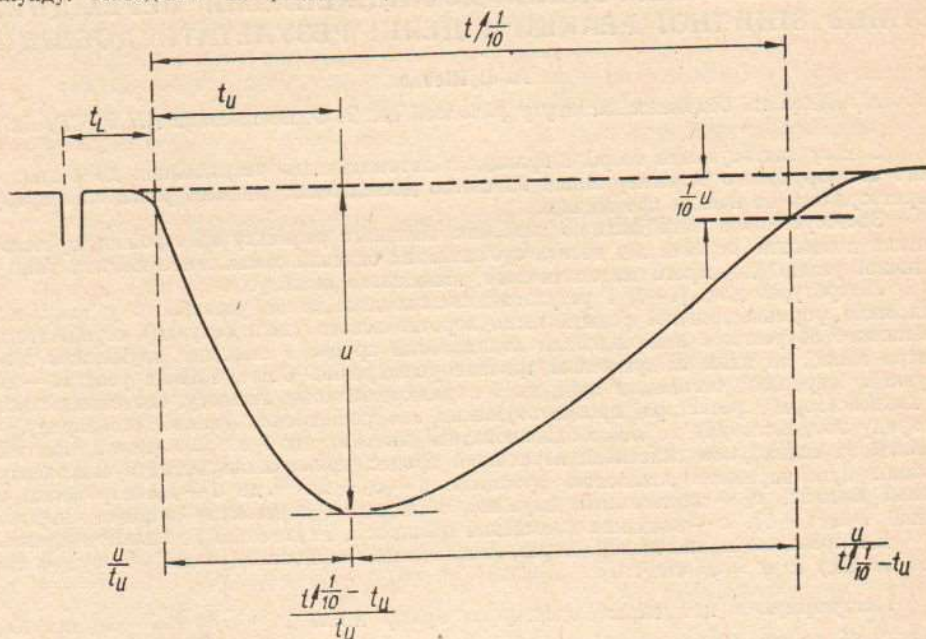


Рис. 1. Крива знічної реакції.
Пояснення в тексті.

простору (частки мм) і установка зображення знічки в кадрі здійснювались переміщенням камери системою мікро- і макровинтів.

Для автоматичного за заданою програмою керування знімальною камерою, здійснення світлового подразнення, підтримання постійності фонового освітлення сконструйований нами раніше прилад [4] був значно удосконалений.

Одним з основних блоків приладу (рис. 2) є програмуючий пристрій, що забезпечує після натискання кнопки «Пуск» ввімкнення реєструючої кінознімальної камери (або іншого реєструючого приладу), потім через регульований проміжок часу від 0,1 до 10 сек подачу стимулу тривалістю від 0,01 до 5 сек і затримку ввімкнення реєструючої камери на час від 1 до 15 сек; багаторазове повторення циклу дослідження на обрану (від одного до двадцяти) кількість повторень і, нарешті, затримку між циклами від 1 сек до 5 хв.

Програмуючий пристрій складається з чотирьох затриманих мільтивібраторів, зібраних на імпульсних германієвих сплавних р-п-р транзисторах П21А.

Мультівібратори керують двома реле, одне з яких вмикає і вимикає виконавчий механізм, що приводить в роботу знімальну камеру, а друге керує механізмом відкриття і закриття шторки джерела стимулу.

Вихід третього мультівібратора через ланцюжок RC тумблером може бути підключений до входу першого мультівібратора. При цьому задній фронт імпульсу третього релаксацийного генератора кожного разу запускати перший генератор. Така кільцева схема дозволяє багаторазово повторювати ідентичні цикли проведення експерименту. Повторення програми припиняється розривом кільця при вимкненні тумблера.

Для встановлення інтервалів між циклами на регульований час до 5 хв, необхідний для більшої адаптації ока, у коло між виходом і входом першого мульти-

вібратора може бути підключений допоміжний четвертий, подібний першим, затриманий мультівібратор.

Програмування кількості повторень ідентичних циклів проведення досліду від одного до двадцяти в апараті здійснюється з допомогою ввімкненого у кільце обчислювального приладу — лічильника із змінним коефіцієнтом обліку. Лічильник складається з п'яти тригерних комірок на транзисторах П16Б і діодного клапана. Останній імпульс такту подається на вхід лічильника. Сигнал виходу клапана керує запуском першого мультівібратора. Вибір кількості повторень експерименту встановлюється перемикачем.

Найважливішою умовою об'єктивної реєстрації зіничної реакції при збуджувальних впливах є підтримання постійності умов досліду і, насамперед, підтримання постій-

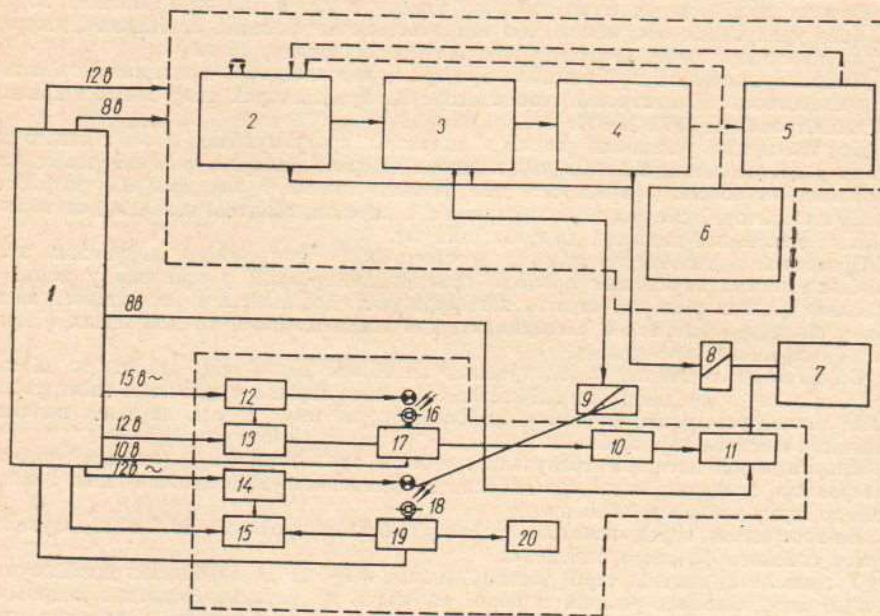


Рис. 2. Блок-схема приладу.

1 — блок живлення; 2, 3, 4, 5 — перший, другий, третій і четвертий мультівібратори; 6 — п'ятирозрядний тригерний лічильник; 7 — знімальна камера; 8 — пускове реле камери; 9 — реле керування стимулом; 10 — люксметр; 11 — захист від похибки; 12 — підсилювач потужності; 13, 15 — підсилювач розузгодження; 14 — підсилювач потужності; 16, 18 — фоторезистори; 17, 19 — прилади порівняння; 20 — люксметр.

ності фонового освітлення і інтенсивності стимулу. Проста стабілізація джерела освітлення, на нашу думку, є недостатньою. Незначні, не завжди вловлювані експериментатором рухи голови і ока піддослідної тварини, зміна кута між освітлюваною поверхнею і оптичною віссю освітлювача — все це вносить додаткові завади у вегетативну регуляцію діаметром зіниці та ускладнює аналіз перехідних процесів у цій коливальній системі.

У нашому приладі для підтримання на одному рівні фонового світлового потоку, що падає на око, застосована система автоматичного регулювання постійного параметра. Регульованим об'єктом у цій системі є низьковольтна (12 в, 30 вт) лампочка розжарювання освітлювача, що дає розсіяне світло.

Пристрій порівняння виконаний у вигляді рівноважного мосту постійного струму, в одно з плечей якого вмонтований спеціально сконструйований фоторезистор діаметром 1,5—2 мм. Цей мініатюрний фоторезистор укріплюється безпосередньо на плексигласовому повікотримачі.

Сигнал похибки утворений в діагоналі показчика мосту, надходить у підсилювач розузгодження, який становить транзисторний підсилювач постійного струму на двох тріодах П16Б з безпосереднім зв'язком та спільним емітером.

Вихідний каскад підсилювача постійного струму на транзисторі П217 керує ланцюгом регулювання (підмагнічування) магнітного підсилювача, в регульовану гілку змінного струму якого ввімкнена згадана лампочка освітлення.

Дана система — це замкнений контур регулювання. З її допомогою досягається достатня постійність раніше встановленого рівня фонового освітлення при наявності

нерегульованих збурень (нестабільність живильної сітки, рух тварини, неточності установки освітлювача щодо ока тощо).

При надмірних збуреннях (наприклад, різкий поворот голови навіть при її фіксації), з якими система автоматичного регулювання не буде спроможна справитися, у приладі передбачене автоматичне відключення кінокамери.

Встановлення рівня освітлюваності здійснюється за стрілочним приладом апарату, проградуйованого в люксах.

Джерело стимулу має діафрагми: круглі з діаметром отвору від 0,1 до 2 мм, трикутної і прямокутної форми. Застосування плями світлового стимулу відповідного діаметра дозволяє досліджувати перехідні процеси в зіничній системі автоматичного екстремального регулювання при замкненому або розімкненому контурі, при слабкому або сильному зворотному зв'язку.

Прилад живиться від сітки змінного струму в 220 в (50 гц). Спожита потужність (без урахування потужності, що витрачається на фоновий освітлювач, джерело стимулу, на електропривід камери та виконавчі реле) порядку 15 вт.

Джерела живлення програмного пристрою, підсилювачів, пристрою порівняння мають низьковольтні електронні стабілізатори на транзисторах типу П21А і кремнієвих стабілітронах Д-810 і Д-811.

До комплексу установки разом з апаратом програмування автоматичного керування дослідженнями, кінокамерою входять: джерело стимулу, фоновий освітлювач, плексигласовий боксик з пристроєм для фіксації голови і ока кролика, розроблені в нашій лабораторії, спеціальні повікотримачі і, нарешті, гвинтові головки для точного наведення знімальної камери і джерела стимулу.

Проведені з допомогою апарату автоматичного програмного керування попередні дослідження перехідних процесів при зіничній реакції у кроликів у нормі та при впливі різних фізичних агентів підтверджують доцільність і необхідність застосування описаного апарату в експерименті для згаданих цілей та для інших фізіологічних і біофізичних досліджень.

Об'єктом дослідження були кролики альбіноси віком від одного до півтора року. Оскільки у кроликів зір здійснюється монокулярно і у них нема співдружної реакції зіниці, реєстрацію рефлексу здійснювали на тому ж оці, на який подавали ступінчасте світлове подразнення.

Тварин перед дослідом тренували протягом тривалого часу, в процесі чого забезпечувалось звикання їх до обстановки, до фіксованого положення голови і ока, а також до шуму працюючої камери.

Безпосередньо перед початком дослідів тварина протягом 20 хв адаптувалась до умов слабого фонового освітлення.

У проведеній великій серії дослідів (понад 400) на 11 альбіносах досліджували кінетичні типи зіничних реакцій в нормі та вплив на реакцію світлових подразнень тривалістю 100 і 250 мсек при освітленні фокусованого світлового пучка при вході в око приблизно 600 люксів.

Ми не відзначили істотного впливу тривалості стимулу (100 і 250 мсек) на латентний період (t_L). У кроликів він становить, за нашими даними, приблизно 0,3—0,4 сек, дещо більш тривалий, ніж у людини. За літературними даними [1, 5, 6], у людей прихована тривалість реакції становить 0,15—0,3 сек. «Активний» час тривалості реакції $t + \frac{1}{10}$ (звуження і розширення зіниці) виявився досить відмінним при тривалості світлового подразнення 100 і 250 мсек. Так, наприклад, у кролика № 7 цей час при 100 мсек визначався — 2,5 сек, а при стимулі в 250 мсек — подовжувався до 3,1 сек.

Тривалішим стає і час звуження (t_u), збільшуючись від 0,45 сек при стимулі 100 мсек до 0,65 сек при стимулі 250 мсек. Досить наочно це ілюструє імовірнісна функція (рис. 3).

В літературі описаний [1] час звуження зіниці у людини при тривалості світлового подразнення 200 мсек і визначили його в таких самих межах 0,5—0,6 сек.

У дослідях з більш тривалим світловим подразненням (3—5 сек) визначено час звуження — 1,7—2,5 сек.

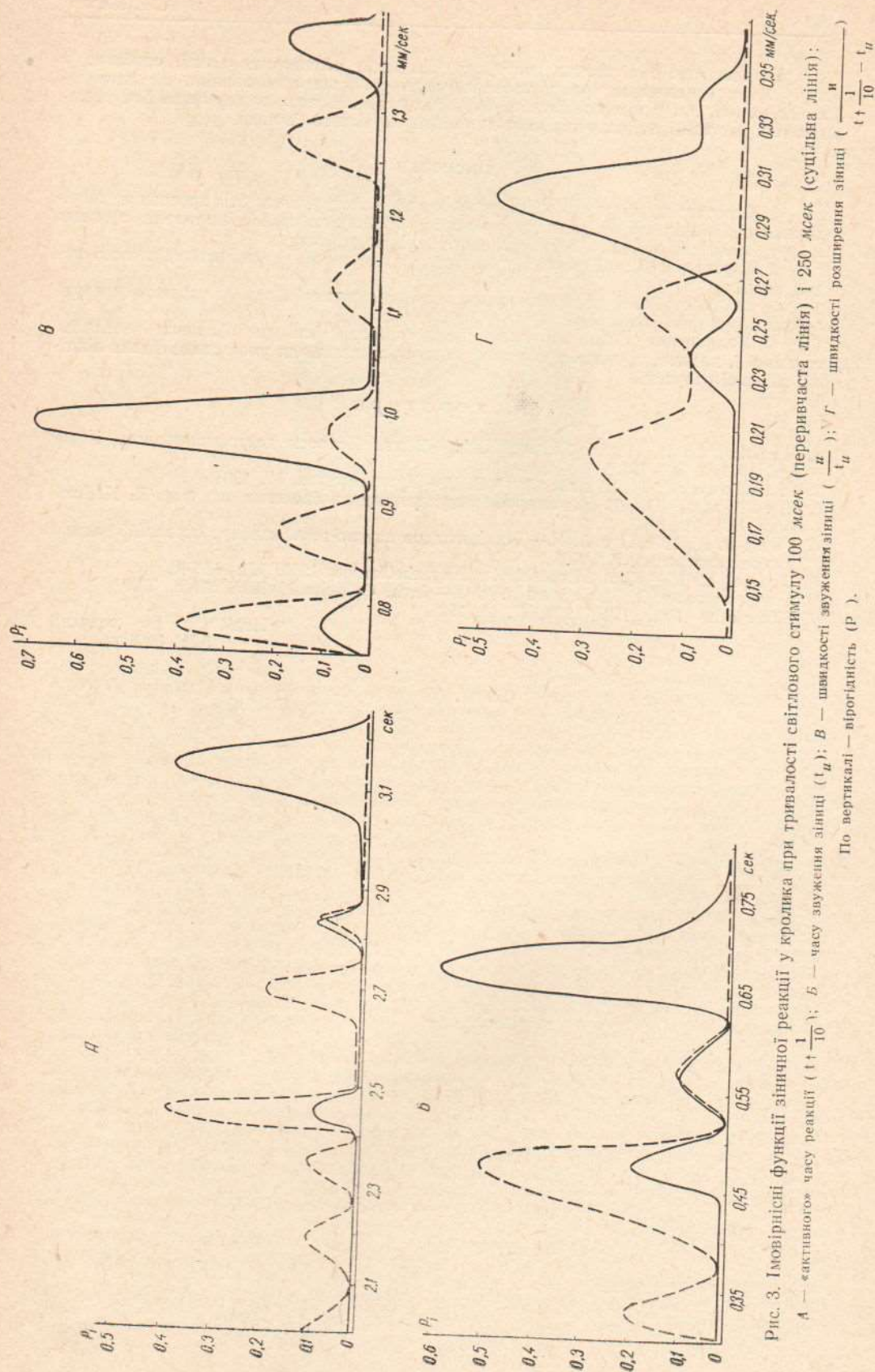
З подовженням тривалості подразнення збільшується й амплітуда звуження зіниці. Це узгоджується з літературними даними [1, 5, 6], в яких вказано на вплив тривалості засвічування на амплітуду реакції.

У наших дослідях ця амплітуда збільшувалась з 0,43 мм при 100 мсек до 0,68 мм при 250 мсек.

Дещо збільшується і швидкість перебігу реакції: 0,97 мм/сек до 1,06 мм/сек. Більш наочна різниця розподілу вірогідної швидкості розширення. Вона становить відповідно 0,208 мм/сек і 0,294 мм/сек (більше на 30%).

Отже, швидкість розширення значно менша (у три-чотири рази) швидкості звуження зіниці.

Слід вказати на значну точність у більшості дослідів, з якою зіниця кроликів після змін повертається до вихідної ширини.



Наведені графіки наочно показують, що лінія розширення зіниці, особливо у другу фазу виявляється промодульованою стохастичними коливаннями, що накладаються на неї. Ми у цих коливаннях вбачаємо наявність пошуку сервомеханізму вегетативної регуляції оптимальних умов для найбільш чіткого бачення.

Висновки

1. Створена нами установка і розроблений метод дозволяють проводити дослідження перехідних процесів зіничної реакції у дрібних лабораторних тварин, а також можуть бути використані в інших фізіологічних експериментах.

2. Характер зіничної реакції у кроликів залежить від тривалості світлового подразнення.

3. Швидкість фази звуження над фазою розширення зіниць у кроликів у нормі перевищує в три-чотири рази.

4. Розширення зіниці кролика в нормі здійснюється при наявності невеликих коливань і, видимо, свідчить про роботу пошуку оптимальних умов симпатичних відділів зіничної регуляції.

Література

1. Меркулов И. И., Бобенко Х. И.— В кн.: Вопросы нейрофталмологии, Харьков, 1961, 7, 87—152.
2. Шахнович А. Р., Шахнович В. Р.— Пупилография, М., 1964.
3. Штегеман Ю.— В сб.: Вопросы регулирования в биологии, под ред. П. К. Анохина, ИЛ, М., 1960.
4. Ткач В. К., Шевко А. И.— Тез. докладов научно-техн. конфер., посвящ. 70-летию изобретения радио, К., 1965.
5. Drischel H.— Klin. Monatsblatter Augenheilkunde, 1957, 131, 6, 740.
6. Lowenstein O., Loewenfeld J.— Arch. Ophthalmol., 1958, 59, 3, 352.
7. Stark L.— Proc. IRE, 1959, 47, 11, 1925.

Надійшла до редакції
5.IV 1968 р.