

**Є.Ф. Венгер¹, В.І. Гордієнко²,
В.І. Дунаєвський¹, В.Й. Котовський³, В.П. Маслов¹**

¹ Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ

² ДП «Науково-виробничий комплекс "Фотоприлад"», Черкаси

³ НТУ України «Київський політехнічний інститут», Київ

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОГРАФІЇ В УКРАЇНІ



В огляді наведено результати застосування в Україні термографії для діагностування новоутворень, вертеброгенного болю у спортсменів, судинних патологій, травм суглобів, щелепно-лицьової патології, дослідження механізму патогенної дії елементу живлення у біологічно-активному середовищі, дослідження неоднорідності теплових полів інкубаторів для новонароджених, моделювання в екології процесів розповсюдження забруднюючих речовин. На основі власних розробок вітчизняна промисловість забезпечила виробництво тепловізійних приладів для вирішення військових задач. Численне й різноманітне застосування тепловізійної термографії в Україні дозволяє зробити висновки, що в найближчі роки теплобачення одержить всебічний розвиток.

Ключові слова: термографія, тепловізор, медицина, приладобудування, військова техніка.

Теплове випромінювання було відкрито у 1800 р. англійським астрономом *Уільямом Гершелем*, який дав йому назву «*інфрачервоне випромінювання*» (ІЧ), тобто випромінювання, яке лежить за червоною границею видимого спектра. Перша «теплова картина» отримала назву «*термограма*», цей термін використовують і у сучасній літературі.

У клінічній практиці термографічний метод вперше реалізував канадський хірург доктор *Р. Лоусон* в 1956 р. Він використав військовий прилад нічного бачення для ранньої діагностики злоякісної пухлини молочних залоз у жінок, що й поклало початок медичній термографії. Вірогідність визначення даної патології (особливо на ранній стадії) склала тоді близько 60–70 %, що при масових обстеженнях виправдувало економічність теплобачення [1, 2].

З моменту відкриття ІЧ-випромінювання ученими була проведена велика кількість термо-

графічних досліджень, присвячених вивченню його природи з поверхні біологічних об'єктів (БО) і використання цих особливостей для діагностики різних патологій [2–11].

В Україні перші термографічні дослідження були виконані професором *А.І. Позмоговим* у 70-х роках минулого сторіччя у Київському науково-дослідному рентгенорадіологічному інституті АМН України на термографі з охолодженням типу «Радуга» (СРСР), а до середини 90-х років існувала школа клінічної термодіагностики, започаткована академіками *О.Ф. Возіановим* та *Л.Г. Розенфельдом*.

Відомі також теоретичні дослідження та їх узагальнення авторським колективом відділу фізики і технології низьковимірних систем ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, який очолює чл.-кор. НАН України *Ф.Ф. Сизов*, спільно з фахівцями Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України (м. Харків). У 2003 р. були започатковані тепловізійні дослідження для медицини з використанням лінійки фотоприймальних сен-

сорів [12–14], а в подальшому розроблено матричний термограф [15]. Але потім дослідження цього колективу було переорієнтовано на дослідження у терагерцевому діапазоні випромінювання [16].

Цікаву розробку виконали фахівці Донецького фізико-технічного інституту ім. О.О. Галкіна НАН України, в якій термограму отримували завдяки контактному матричному сканеру [17]. Цю роботу було впроваджено у медичних закладах Донецька, що показало достатню ефективність при діагностуванні пухлин, а собівартість приладу в десятки разів була меншою, ніж безконтактного тепловізора. У зв'язку з війною на Сході України ця установа переїхала до Києва. З об'єктивних причин, незалежних від розробників, подальша робота з виготовлення та впровадження контактного термографа була призупинена.

Незважаючи на велику кількість монографій, статей і інших публікацій з медичної ІЧ-термографії (ІЧТ) та на наявність методів тепловізійної діагностики в медичних протоколах, повного осмислення та підтвердження корисності цього методу для завдань біомедицини, поряд із уже існуючими методами функціональної діагностики, поки не відбулося.

В значній мірі це по'язано з тим, що термографи перших поколінь через їх недосконалість загальмували розвиток і впровадження термодіагностики в клінічну практику і викликали стійке неприйняття серед лікарів, не переборене і до цих пір. Перші апарати були громіздкі, потребували особливих умов експлуатації і в них практично була відсутня обробка термограм [18]. Все це вимагало додаткових знань обслуговуючого персоналу та навичок в інтерпретації теплових картин.

Методи променевої діагностики, які широко застосовуються у сучасних біомедичних дослідженнях, засновані на використанні електромагнітного випромінювання енергетичного спектру на основі тільки одного фізичного параметра. Наприклад, при рентгенографії та комп'ютерній томографії (МРТ) — це коефіцієнт

поглинання рентгенівських променів. Широкого розповсюдження набуло проведення ультразвукових досліджень (УЗД), на результати яких впливає ехогенність (рівень відбиття сигналу) тканин. Рентгенографія, комп'ютерна томографія та ультразвуковий метод характеризуються рядом переваг та недоліків і, відповідно, відрізняються певними межами діагностичних можливостей. Всі вони потребують зовнішніх джерел випромінювання, які тим чи іншим чином впливають на біологічний об'єкт (БО).

Метод медичної ІЧТ є неінвазивним і нерадіоактивним діагностичним інструментом для контролю та аналізу фізіологічних функцій БО. Ця унікальна технологія використовується для виявлення і локалізації теплових аномалій. Практично при всіх патологічних станах зміна температури є найпершим симптомом, що вказує на порушення в організмі. Температурні реакції, завдяки своїй універсальності, виникають при всіх типах захворювань: бактеріальних, вірусних, алергічних, нервово-психічних та ін. [2, 19].

Сучасний рівень розвитку тепловізійної техніки надає можливість надійно діагностувати широкий спектр захворювань (до 150 різних форм), що є приводом активного впровадження термографії у світову клінічну практику, поряд з іншими сучасними методами, які є в арсеналі лікарів: мамографія, КТ, МРТ, УЗД [1, 3, 20].

На сьогодні основною причиною того, що в Україні цей метод діагностики не впроваджується на практиці, є відсутність вітчизняної апаратури та висока вартість імпортованих термографів. Хоча слід зазначити, що в цілому у питаннях неруйнівного контролю технічних засобів методами тепловізійної діагностики Україна займає одне з перших місць у Європі, а в технічних галузях застосування є активним членом Європейської Федерації неруйнівного контролю (EFNTD) та Міжнародного комітету неруйнівного контролю (ICNTD) [21]. Новим напрямом у вітчизняній термографії було дослідження впливу температурного фактору

на похибки прецизійних фотоелектричних приладів [22–24].

У багаторічних дослідженнях, що проводилися спільно в рамках договору про науково-технічне співробітництво між Національним технічним університетом України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ») та Інститутом фізики напівпровідників ім. В.Е. Лашкарьова НАН України (ІФН НАНУ), створено термографічну базу даних поширених захворювань людини.

Базовою лабораторією для проведення спільних наукових досліджень є міжкафедральна навчально-наукова лабораторія неінвазивних методів досліджень біологічних об'єктів в НТУУ «КПІ», де за допомогою методу інфрачервоної термографії пройшли обстеження більше тисячі людей різного віку, отримано понад п'ять тисяч термограм різних патологічних станів. Крім того, в згаданій лабораторії проходять навчання та переддипломну практику студенти НТУУ «КПІ» профільних спеціальностей.

У дослідженнях нами було використано ІЧ-термографи двох спектральних діапазонів:

1) термограф спільного виробництва ІФН НАНУ (науковий керівник розробки – *Є.Ф. Венгер*, відповідальний виконавець – *О.Г. Коллюх*), Інституту монокристалів НАН України та фірми «Електрон-Оптронік» (Росія) з охолоджуваною матрицею 320 x 280 елементів на базі діодів Шотткі, який мав температурну чутливість не гірше 0,07 °С (спостереження та контроль теплових полів за допомогою цього термографа виконувались в діапазоні 3–5 мкм);

2) термограф ThermoCAM E300 фірми FLIR Systems (США) з неохолоджуваною матрицею хром-ванадієвих мікроболометрів розміром 320 x 240 з температурною чутливістю 0,1 °С (за його допомогою проводились дослідження в діапазоні 8–14 мкм).

НОВОУТВОРЕННЯ В МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗАХ

За даними Інституту онкології АМН України [25] ця патологія є головною причиною смертності жінок. Смертність на 100 тисяч жінок в

Україні у 1,5–2 рази вища, ніж у розвинених країнах, і не має тенденції до зниження.

Одним з можливих шляхів вирішення цієї проблеми є використання тепловізійної діагностики. Як неінвазивний метод ІЧТ набуває особливого значення при масових обстеженнях з метою раннього виявлення новоутворень в молочних залозах. Термографія «бачить» не структури, а фізичні процеси, що протікають у тілі. Тому за її допомогою вдається виявити процес новоутворення на початковій стадії, коли фізичне тіло пухлини має всього малі розміри [26], що дозволяє раніше від УЗД звернути увагу пацієнта на потенційну небезпеку розвитку пухлини.

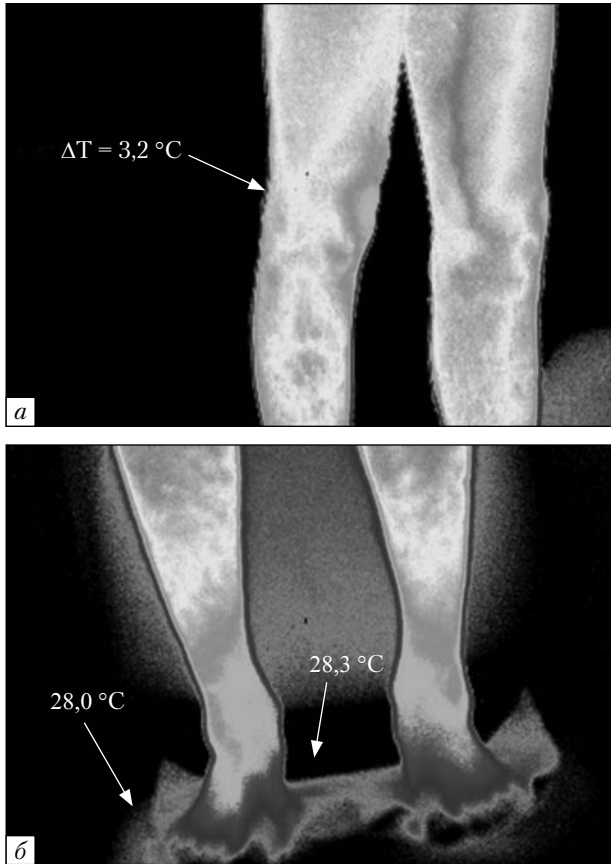
ВЕРТЕБРОГЕННІ БОЛІ У СПОРТСМЕНІВ

Найбільш поширеною скаргою спортсменів є болі в різних відділах хребта (так звані *вертеброгенні болі*, обумовлені остеохондрозом), які різко знижують активність, погіршують спортивні результати і часто є причиною тимчасової непрацездатності [27, 28].

Крім клінічного, так званого *об'єктивного методу* обстеження пацієнтів з вертеброгенними болями, найбільш доступним і широко застосовуваним методом залишається *рентгенологічна діагностика*. На жаль, інформативність її обмежується тільки станом кісткової складової хребта. Значно розширюють діагностичні можливості методи КТ та МРТ, що дають інформацію і про м'якотканинну складову. Однак збільшена доза опромінення при КТ та значна вартість обстеження методом МРТ не дозволяють часто використовувати їх при обстеженні одного і того ж хворого. Наші термографічні дослідження пацієнтів з ознаками патології дали можливість виявити, наприклад, гостру торакалію та хронічну люмбалію в стадії загострення. Нерівномірність розподілу температури у відповідних зонах складала 2 °С.

СУДИННІ ПАТОЛОГІЇ

Термограма пацієнта з варикозно-зміненою великою підшкірною веною лівого стегна (вкла-



Термограми пацієнтів із судинними патологіями: *а* – варикозно-змінена велика підшкірна вена лівого стегна; *б* – порушення кровопостачання дистальних відділів

зано стрілкою) наведена на рисунку, *а*. Різниця температури із симетричною ділянкою правого стегна становить 3,2 °С [28–32].

На рисунку, *б* наведена термограма нижніх кінцівок пацієнта, який скарж не пред'являв, однак при обстеженні було виявлено зниження температури до 28 °С (вказано стрілками) у порівнянні з відносною нормою 32,5 °С. Додатково була проведена осцилометрія і капіляроскопія судин стоп, в результаті чого виявлена функціональна недостатність кровопостачання дистальних відділів.

ТРАВМИ СУГЛОБІВ

Обстеження проходили також спортсмени, які отримали травми в процесі тренувань [33,

34]. Клінічно визначалися досить розмиті межі флуктуації, що ускладнювало видалення гематоми. При проведенні термографічного обстеження виявлено локальну зону підвищення температури до 38 °С з градієнтом температури 4 °С, що значно полегшило подальші терапевтичні заходи лікування. Позитивний результат також було отримано завдяки термограмі пацієнтки, коли скарги були характерні для ушкодження медіального меніска лівого суглоба. Різниця температури на передній поверхні колінного суглоба (виділена зона), у порівнянні зі здоровим становила 1,2 °С.

ЩЕЛЕПНО-ЛИЦЬОВІ ПАТОЛОГІЇ

Процедуру ІЧТ можна успішно використовувати і при діагностиці різних захворювань щелепно-лицьової області [35]. Був приклад, коли термограма пацієнтки із злоякісною плеоморфною аденомою правої привушної залози ідентифікувала гіпертермічну зону.

Плеоморфна аденома привушної залози навіть на стадії доброякісності має, як і будь-яке новоутворення, прилеглу «зону інфільтрації» зі своїм аномальним (гіпертермічним) полем. При переродженні її в злоякісну стадію температура і розміри «зони інфільтрації» збільшуються, оскільки відбувається проростання процесу в найближчі лімфовузли і т.п. Після видалення аденоми аномальне теплове поле прилеглих областей змінюється, причому після операції температура прилеглих до шва тканин може навіть перевищувати температуру доопераційної «зони інфільтрації», поступово спадаючи, по мірі того, як загоюється шов. Після операції з видалення аденоми градієнт термоасиметрії знизився від 1,9 до 1,2 °С і при подальшому спостереженні (в процесі проведення лікувальних заходів) продовжував знижуватися.

Під час проведення термографічного обстеження у десяти осіб з п'ятдесяти обстежених було виявлено відмінність температури лівої і правої очних западин. Градієнт температури становив від 0,7 до 1,7 °С (у здорових людей цей показник, як правило, не перевищує 0,2–

0,4 °С, що стало приводом для проведення подальших обстежень у фахівців та встановлення точного діагнозу.

Таким чином, проведені дослідження показали, що використання в медичній практиці сучасних ІЧ-термографів розширює можливості діагностики різних захворювань людини, а також проведення профілактичних заходів. Процедура ІЧТ дозволяє спостерігати в динаміці і контролювати ефективність лікування, спостерігати загоєння ран на різних стадіях морфогенезу, що надає можливість запобігати розвитку подальших ускладнень.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПАТОГЕННІ ДІЇ ЕЛЕМЕНТУ ЖИВЛЕННЯ У БІОЛОГІЧНО-АКТИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Актуальною і до кінця не вирішеною проблемою у світовій медичній практиці є електрохімічний опік стравоходу у дітей як ускладнення від перебування в його просвіті стороннього тіла у вигляді елемента живлення (ЕЖ) — круглої батарейки діаметром 20—30 мм [36].

Враховуючи тенденцію до різкого збільшення кількості таких випадків, важкий характер ураження, пов'язаний з особливостями розподілу електричних струмів у рідкому провідному середовищі в околі ЕЖ, на прохання лікарів автори [36] провели аналіз механізму патогенної дії ЕЖ, фіксованого у стравоході за допомогою процедури ІЧТ з метою прийняття технічних рішень, які б унеможливили або зводили до мінімуму ризик електрохімічного опіку стравоходу у дітей.

Для експериментального підтвердження теоретичних розрахунків було проведено спостереження за допомогою ІЧ-термографа у діапазоні спектра 8—14 мкм, яке довело, що при змочуванні ЕЖ слабким розчином соляної кислоти (аналог шлункового соку) його температура у «критичній зоні» підвищувалася на 3—4 °С.

Висновком цього дослідження стало те, що електрохімічні опіки відбуваються у зоні з підвищеною хімічною активністю, яка визначається електричним полем і конструктивними особливостями ЕЖ.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОДНОРІДНОСТІ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ ІНКУБАТОРІВ ДЛЯ НОВОНАРОДЖЕНИХ

Спільно з Національною медичною академією післядипломної освіти МОЗ України, Львівським Національним медичним університетом ім. Д. Галицького та компанією «Н.З. ТЕХНО» (представництво австрійської фірми FISHER & PAUKEL в Україні з постачання реанімаційного обладнання) були проведені термографічні дослідження теплових полів новонароджених з малою та надзвичайно малою масою тіла, які знаходяться в інкубаторах [37]. Такі діти втрачають тепло у 2—3 рази швидше, ніж доношені новонароджені. Крім того, новонароджений втрачає тепло в 5—7 разів швидше за дорослу людину за рахунок більшого співвідношення площі тіла, приведеної до його маси.

Ці факти впливають на суттєві втрати тепла недоношеною дитиною, яка перебуває в інкубаторі закритого типу.

Проблема полягає в тому, що у відділеннях реанімації та інтенсивної терапії новонароджених під час проведення медичним персоналом різних маніпуляцій час від часу постає потреба відкривати вікна інкубатора або його маніпуляційні порти, що різко охолоджує повітря всередині інкубатора. Як наслідок перш за все зменшується температура тіла дитини, падає вологість повітря всередині інкубатора і це призводить до гіпотермії тіла та збільшення потреби у O_2 для протікання метаболізму, а якщо дитина одночасно отримує кисневу терапію, то втрачається і відсоток O_2 , що може дуже швидко призвести до втрати такого новонародженого.

За допомогою ІЧ-термографії було проведено дослідження інкубаторів трьох типів (з огляду на конфіденційність інформації назва виробника не вказується) з метою порівняння температур, вказаних в документації для користувача, та реальних експлуатаційних.

Перед початком досліджень для чистоти експерименту у всіх трьох інкубаторах була встановлена (задана) температура 34,5 °С. Далі за

допомогою ІЧ-термографа в діапазоні 8–14 мкм у режимі реального часу були зняті термограми згаданих інкубаторів і за допомогою спеціальної програми виконані термозрізи по всій довжині верхньої та нижньої частин відповідно. В ідеалі верхня і нижня частини інкубаторів повинні були мати задану температуру, тобто 34,5 °С, що вказувало б на температурну однорідність внутрішнього середовища.

Особливо важливою є підтримка теплового режиму нижньої частини інкубатора, де лежить дитина. У всіх моделях інкубаторів потік нагрітого повітря починає рухатись від лівої частини до правої і дітей згідно з інструкцією укладають головою вліво. Якщо інкубатор не підтримує заданої температури, то голова новонародженого гріється більше, а ноги — менше і остигають швидше. Нерівномірне прогрівання інкубатора значно впливає на загальну температуру новонародженого, який знаходиться всередині.

Результати температурних досліджень дозволили виявити найбільш досконали конструкцію інкубатора з рівномірним прогріванням. За результатами досліджень були надані відповідні рекомендації медичному персоналу із запобігання охолодження недоношених немовлят шляхом додаткового контролю температури внутрішнього середовища інкубатора, яка може не збігатися з попередньо установленою.

Матеріали досліджень також використано в протоколах пологових стаціонарів та відділень виходжування дитячих лікарень.

ТЕРМОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

При дослідженні процесу забруднення водоймищ промисловими та побутовими викидами важливим є питання його динаміки, зокрема стратифікації забрудненої води та її руху. Забруднюючі компоненти часто мають підвищену температуру по відношенню до температури у водоймищі. У цьому випадку необхідно вирішувати також задачу теплообміну. Нами

були проведені дослідження [38] процесу розподілу 20%-го розчину солі NaCl, який було нагріто до температури 60 °С при забрудненні нею замкнутого водоймища. Для моделювання було взято акваріум з прісною водою як приклад замкнутого водоймища. Підігрівання розчину солі дало можливість використати термографію для дослідження процесу розподілу розчину солі в акваріумі. Вибір вказаної солі обумовлений тим, що взимку вона є основним компонентом, який використовується комунальними службами у боротьбі з льодом та снігом на вулицях. Ця соляна суміш в кінці-кінців потрапляє до водоймищ. Актуальність отриманих результатів пояснюється використанням в зимовий час водорозчинних солей в комунальному господарстві для боротьби з обмерзанням на тротуарах і дорогах. Ці забруднення через деякий час при таненні снігу потрапляють у водоймища, і, як показали наші дослідження, осідають на дно та блокують мікроорганізми, які природним чином очищують водоймища. Таким чином, проведені дослідження показали, що необхідно використовувати не водорозчинні реагенти, а по можливості дрібний гравій, який навесні може бути зібраний для подальшого використання в новий зимовий період.

ТЕПЛОВІЗІЙНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЗАДАЧ

В арсеналі військової техніки особливе місце займають прилади нічного бачення (ПНБ). Успіхи застосування техніки нічного бачення зробили війну при світлі зірок прийнятною для військових фахівців. Якість зображення в ПНБ залежить від температурних контрастів об'єкту і фону. На початку 1980-х років більшість армій західних країн почали впроваджувати у бойову техніку тепловізори (ТПВ). У порівнянні з попереднім поколінням ПНБ (прилади спостереження й прицілювання) ТПВ значно поліпшили бойові можливості техніки в нічний час, але одночасно визначили проблему маскування в ІЧ-діапазоні випромінювання. Основним елементом ТПВ є приймач ІЧ-

випромінювання, котрий реагує на теплове поле об'єкту. Якщо це поле має неоднорідну температуру, то потік випромінювання, що падає на приймач, змінюється і перетворюється в електричний сигнал, який підсилюється і відтворюється в зображення на екрані монітору [39–41]. Таким чином, ТПВ дає можливість спостерігати слабко нагріті об'єкти і їх розпізнавати, а через те питання маскуванню і розпізнавання бойової техніки з метою її захисту від високоточної зброї є актуальним, хоча і досить складним. Як оптичне, так і тепловізійне зображення у першу чергу істотно залежать від ракурсу спостереження об'єкту. Зниження ймовірності виявлення бойової техніки, яку треба захистити, зазвичай досягається за допомогою її маскуванню, що зводиться, головним чином, до зміни силуету і контуру або до маскуванню об'єкту під навколишню місцевість (камуфляжне фарбування, маскуванню за допомогою листа, гілок і т. ін.). Наприклад, нанесення покриття «бар'єр» дозволяє зменшити тепловізійний контраст об'єкту маскуванню [42].

Незважаючи на досить високу вартість, ТПВ знайшли широке застосування в збройних силах як прилад спостереження, а також у системах наведення. В Україні технології та оптичні матеріали, необхідні для виготовлення нічних приладів з використанням електрооптичних перетворювачів (ЕОП) і низькорівневих тепловізійних камер, освоєні і виготовляються на НВК «Фотоприлад». Суттєвим кроком у збільшенні дальності роботи в нічних умовах стало використання тепловізійних систем. Особливо широкого застосування набули тепловізійні системи спектральних діапазонів 3–5 та 8–12 мкм, що пов'язано з існуванням вікон прозорості атмосфери в цих спектральних діапазонах і наявністю оптичних матеріалів для цих ділянок спектра (германій, селенід цинку, лейкосапфір, арсенід галію, оптична кераміка).

Нічні тепловізійні канали прицілів з використанням неохолоджуваних мікроболометричних матриць різних форматів (324 × 256; 640 ×

× 512 та ін.) дозволили досягти дальності до 2000–2500 м при прийнятних габаритах оптики. Суттєвому збільшенню дальності сприяло використання в тепловізійних системах охолоджуваних матричних фотоприймальних пристроїв, що працюють у спектральних діапазонах 3–5 та 8–12 мкм.

НВК «Фотоприлад» спільно з ІФН НАНУ було вирішено цілий ряд проблемних питань:

- ✦ розроблено та організовано виробництво оптичного германію з поліпшеними оптичними характеристиками;
- ✦ розроблено клейові композиції з нанодомішками;
- ✦ розроблено та впроваджено у виробництво методи обробки германієвих оптичних деталей;
- ✦ розроблено оптичні покриття для підвищення коефіцієнта пропускання оптичних елементів та підвищення стійкості до зовнішніх впливів.

Розроблені і виготовлені НВК «Фотоприлад» тепловізійні приціли для бронетехніки та авіаційної техніки «Буран-Матіс», «Буран-Катрін» (ПТТ-2), «Скат-М», ПНК-6, «Спектр» дозволяють виявляти об'єкти на відстані до 10 км, розпізнавати їх на відстані 5–8 км, ідентифікувати на відстані до 4 км і успішно використовуються для вирішення завдань АТО.

ВИСНОВОК

Численне і різноманітне застосування тепловізійної термографії в Україні дозволяє зробити висновок, що в найближчі роки теплобачення одержить інтенсивне застосування в провідних інформаційних технологіях ХХІ століття.

ЛІТЕРАТУРА

1. Розенфельд Л.Г. Основы клинической дистанционной термодиагностики. — К.: Здоровье, 1988. — 222 с.
2. Nicholas A., Diakides B., Joseph D., Bronzino A. Medical Infrared imaging. — CRC Press Taylor Group LLC, London. 2008. — 451 p.
3. Ткаченко Ю.А., Голованова М.В., Овечкин А.М. Клиническая термография (обзор основных возможностей). — Нижний Новгород: ЗАО «Союз Восточной и Западной медицины», 1998. — 96 с.

4. *Зеновко Г.И.* Термография в хирургии. — М.: Медицина, 1998. — 139 с.
5. *Ammer K.* Diagnosis of raynaud's phenomenon by thermography // *Skin Res. Tech.* — 2006. — V. 2. — P. 182—185.
6. *Ng W.K., Eng M., Ng E.Y., Tan Y.T.* Qualitative study of sexual functioning in couples with erectile dysfunction: Prospective evaluation of the thermography diagnostic system // *J. Reprod. Med.* — 2009. — V. 54. — P. 698—705.
7. *Turner T.A.* Diagnostic thermography // *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* — 2000. — V. 17. — P. 95—113.
8. *Колесов С.Н.* Остеохондроз позвоночника: неврологические и тепловизионные синдромы. — Н. Новгород: ООО «Поволжье», 2006. — 220 с.
9. *Митин Ю.В., Розенфельд Л.Т., Подворный В.Н.* Неинвазивные методы лучевой диагностики заболеваний околоносовых пазух. — К.: Наук. думка, 1993. — 122 с.
10. *Mercer J.B.* Infrared Thermal Imaging in Modern Medical Research- A Technique with Extensive Possibilities // *The Kastelli Symposium: Oulu —Finland.* — 2000. — P. 135—138.
11. *Вайнер Б.Г.* Матричное тепловидение в физиологии: исследование сосудистых реакций, перспирации и терморегуляции у человека. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. — 320 с.
12. *Берчий О.І., Жученко М.І., Бехтір О.В.* Особливості оптимізації оптичних систем з рефракційно-дифракційними елементами мікрооптики головок запису-зчитування інформації // Зб. тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції «*Optoelectronic Information-Energy Technologies*». — Вінниця, 2001. — С. 81.
13. *Забудський В.В., Маслов В.П., Кравченко С.Л. та ін.* Дослідження отримання та обробки тепловізіонних зображень злякисних новоутворень // Труды 4-й международной научно-практической конференции «*СИЭТ 2003*». — Одесса, 2003. — С. 360.
14. *Sizov F.F., Bekhtir O.V., Maslov V.P. et al.* Identification of thermal anomalies in medicine using infrared imager // *International scientific and practical conf. «Spectroscopy in Special Application».* — Kyiv (Ukraine), 2003. — P. 100.
15. *Сизов Ф.Ф., Бехтір О.В., Білевич Є.О. та ін.* Багатоелементний тепловізор з високою температурною чутливістю та тепловізіонною частотою кадрів // Наука та інновації. — 2005. — Т. 1, № 3. — С. 22—33.
16. *High Power Nonlinear Terahertz Photoresponse of Field Effect Transistors.* / D.B. But, O. Drachenko, N. Dyakonova, D. Coquillat, K. Romanov, O.G. Golenkov, F.F. Sizov, A. Gutin, M. Shur, C. Drexler, S.D. Ganichev, W. Knap // *International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology, Kyoto, Japan (2013).*
17. *Пат. України № 78920* Температурний сканер для електронної контактної термографії / Білошенко В.О., Дорошев В.Д., Карначов О.С., Службін Ю.О. // опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7.
18. *Иваницкий Г.Р., Литинская Л.Л., Шахматова В.Л.* Автоматический анализ микрообъектов. — М.: Энергия, 1967. — 224 с.
19. *Абакумов В.Г., Рибін О.І., Сватош Й., Синкоп Ю.С.* Системи відображення в медицині. — К.: БЕК, 1999. — 320 с.
20. *Тепловізори в медицині.* Буклет фірми FLIR Systems. — 2010. — Режим доступу: <http://www.flir.ru/art/9/13/37.html>.
21. *Маслова В.А., Стороженко В.А.* Термография в диагностике и неразрушающем контроле. — Харьков: Компания СМІТ, 2004. — 160 с.
22. *Dorozinsky G., Dunaevsky V., Maslov V.* Thermal-Vision Method of Investigations and Control of Device Based on Surface Plasmon Resonance // *Universal J. of Control and Automation.* — 2013. — № 1(2). — P. 34—39.
23. *Божко К.М., Дунаєвський В.І., Котовський В.Й., Маслов В.П.* Інфрачервона термографія сонячних елементів, нагрітих темновим струмом // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Приладобудування» — 2013. — Вип. 46 — С. 56—63.
24. *Маркіна О.М., Дунаєвський В.І., Маслов В.П., Качур Н.В.* Термографічне дослідження телевізійної відеокамери з ПЗЗ-матрицею // *Sensor Electronics and Microsystem Technologies.* — 2014. — Т. 11, № 4. — С. 103—108.
25. *Ковальчук І.С., Дунаєвський В.І., Венгер Е.Ф. и др.* Возможности дистанционной инфракрасной термографии в диагностике заболеваний молочных желез (доброкачественные изменения) // *Український медичний часопис.* — 2013. — № 3(95). — С. 165—169.
26. *Дехтярев Ю.П., Нечипорук В.И., Мироненко С.А. и др.* Инфракрасная дистанционная термография как вспомогательный метод в диагностике и лечении вертеброгенных болей у спортсменов // *Электроника и связь. Темат. выпуск «Электроника и нанотехнологии».* — 2010. — № 3. — С. 122—125.
27. *Дехтярев Ю.П., Мироненко С.А., Дунаєвський В.І. и др.* Термографическая диагностика заболеваний позвоночника у спортсменов // *Лечебная физкультура и спортивная медицина.* — 2013. — № 8(116). — С. 16—20.
28. *Котовський В.Й.* Неінвазивні дослідження судин нижніх кінцівок за допомогою комплексного методу // *Електроника и связь.* — 2011. — № 1. — С. 124—128.
29. *Пат. України № 62884.* Спосіб ранньої експрес-діагностики захворювань вен нижніх кінцівок / Котовський В.Й., Коваленко М.М., Венгер Є.Ф., Дунаєвський В.І. / опубл. 26.09.2011 р., Бюл. № 18.

30. Розенфельд Л.Г., Богдан Т.В., Тимофеев В.И. и др. Ранняя диагностика заболеваний сосудов нижних конечностей с применением инфракрасной термографии // Украинський медичний часопис. — 2011. — № 2 (82). — С. 28–30.
31. Котовський В.Й., Джежеря Ю.І. Неінвазивні технології у біомедичних дослідженнях. — К.: НТУУ «КПІ», 2014. — 204 с.
32. Дехтярев Ю.П., Мироненко С.А., Неципурук В.И. и др. Применение дистанционной инфракрасной термографии в диагностике заболеваний и последствий травм у спортсменов // Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». — 2009. — Ч. 1. — № 2–3. — С. 220–223.
33. Венгер Е.Ф., Дунаевский В.И., Котовський В.И. и др. Современная термографическая диагностика в выявлении заболеваний биологических объектов // 36. тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування 2012: стан і перспективи». — Київ, 2012. — С. 184.
34. Котовський В.И., Дунаевский В.И., Мироненко С.А. и др. Термографическая диагностика в оценке состояния опорно-двигательного аппарата спортсменов // 36. тез доповідей XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів». — Кременчук, 2014. — С. 96–98.
35. Тимофеев А.А., Киндрась И.Б., Венгер Е.Ф. и др. Дистанционная инфракрасная термодиагностика при заболеваниях челюстно-лицевой области // 36. тезисов докладов. XXIX Международной научно-технической конф. ЭЛНАНО. — Киев, 2009. — С. 236–240.
36. Джежеря Ю. І., Кравчук Б.О., Котовський В.Й., Домарацький В.А. Особливості розподілу електричних струмів в околі елементу живлення при потраплянні його до стравоходу дитини // Вісті академії інженерних наук України. — 2009. — № 2(39). — С. 2–5.
37. Мітін В.О., Котовський В.Й. Забезпечення теплових режимів виходжування новонароджених з дуже та надзвичайно малою масою // 36. доповідей науково-практичної конференції «Дихальна підтримка новонароджених та інші актуальні питання неонатології». — Львів, 2009. — С. 23–24.
38. Bozhko K., Maslov V., Porev V. et al. Thermographic Modeling of Pollution of Reservoirs with Solutions NaCl // Amer. J. of Environmental Protection. — 2014. — V. 3, № 5. — P. 263–266.
39. Курбатов Л.Н. Краткий очерк истории разработок приборов ночного видения на основе электронных оптических преобразователей и усилителей изображения // Вопр. оборон. техники. Сер. 11. — 1994. — Вып. 3(142). — 4(143). — С. 3.
40. Колобродов В.Г., Шустер Н. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування). — К.: Тираж, 1999. — 340 с.
41. Котовський В.Й. Тепловізійні прилади і бойова техніка // Вісті Академії інженерних наук України. — 2006. — № 2 (29). — С. 22–25.
42. Пат. України № 67255, Теплоізоляційна композиція «Бар'єр» / Мачулін В.Ф., Маслов В.П.; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 3/2012.

REFERENCES

1. Rozenfel'd L.G. *Osnovy klinicheskoy distancionnoj termodiagnostiki*. Kyiv: Zdorov'e, 1988 [in Russian].
2. Nicholas A., Diakides B., Joseph D., Bronzino A. *Medical Infrared imaging*. CRC Press Taylor Group LLC, London, 2008.
3. Tkachenko Ju.A., Golovanova M.V. *Ovechkin A.M. Klinicheskaja termografija (obzor osnovnyh vozmozhnostej)*. Nizhnij Novgorod: ZAO «Sojuz Vostochnoj i Zapadnoj medicyny», 1998 [in Russian].
4. Zenovko G.I. *Termografija v hirurgii*. Moskva: Medicina, 1998 [in Russian].
5. Ammer K. Diagnosis of raynaud's phenomenon by thermography. *Skin Res. Tech.* 2006. V.2: 182–185.
6. Ng W.K., Eng M., Ng E.Y., Tan Y.T. Qualitative study of sexual functioning in couples with erectile dysfunction: Prospective evaluation of the thermography diagnostic system. *J. Reprod. Med.* 2009. V. 54: 698–705.
7. Turner T.A. Diagnostic thermography. *Vet. Clin. North. Am. Equine Pract.* 2000. V.17: 95–113.
8. Kolesov S.N. *Osteohondroz pozvonochnika: neurologicheskie i teplovizionnye sindromy*. N. Novgorod: OOO «Povolzh'e», 2006 [in Russian].
9. Mitin Ju.V., Rozenfel'd L.T., Podvornyj V.N. *Neonizirujushhie metody luchevoj diagnostiki zabolevanij okolonozovyh pazuh*. Kyiv: Nauk. dumka, 1993 [in Russian].
10. Mercer J.B. Infrared Thermal Imaging in Modern Medical Research- A Technique with Extensive Possibilities. *The Kastelli Symposium: Oulu –Finland.* 2000: 135–138.
11. Vajner B.G. *Matrichnoe teplovidenie v fiziologii: issledovanie sosudistyh reakcij, perspiracii i termoregulacii u cheloveka*. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004 [in Russian].
12. Berchij O.I., Zhuchenko M.I., Behtir O.V. Osoblyvosti optymizacii' optychnyh system z refrakcijno-dyfrakcijnyh elementami mikrooptyky golovok zapysu-zchytuvannja informacii'. *Zb. tez dopovidej mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi' konferencii' «Optoelectronic Information-Energy Technologies»*. Vinnycja, 2001 [in Ukrainian].
13. Zabuds'kyj V.V., Maslov V.P., Kravchenko S.L. ta in. Doslidzhennja otrymannja ta obrobky teplovizijnyh zobrazen' zlojakisnyh novoutvoren'. *Trudi 4-jmezhdunarodnoj nauchno-praktycheskoj konferencyy «SYET 2003»*. Odesa, 2003 [in Ukrainian].

14. Sizov F.F., Bekhtir O.V., Maslov V.P. et al. Identification of thermal anomalies in medicine using infrared imager. *International scientific and practical conf. «Spectroscopy in Special Application»*. Kyiv (Ukraine), 2003: 100.
15. Syzov F.F., Behtir O.V., Bilevych Je.O. ta in. Bagatoelementnyy teplovizor z vysokoju temperaturnoju chutlyvistju ta televizijnoju chastotoju kadriv. *Nauka ta innovacii*. 2005, 1(3): 22–33 [in Ukrainian].
16. *High Power Nonlinear Terahertz Photoresponse of Field Effect Transistors*. D.B. But, O. Drachenko, N. Dyakonova, D. Coquillat, K. Romanov, O.G. Golenkov, F.F. Sizov, A. Gutin, M. Shur, C. Drexler, S.D. Ganichev, W. Knap. International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology, Kyoto, Japan (2013).
17. *Pat. Ukrainy № 78920* Temperaturnyj skaner dlja elektronnoi kontaktnoi termografii. Biloshenko V.O., Doroshev V.D., Karnachov O.S., Sluzhbin Ju.O. [in Ukrainian].
18. Ivanickij G.R., Litinskaja L.L., Shahmatova V.L. *Automaticheskij analiz mikroobektov*. Moskva: Jenergiya, 1967 [in Russian].
19. Abakumov V.G., Rybin O.I., Svatosh J., Synkop Ju.S. *Systemy vidobrazhennja v medycyni*. Kyiv: VEK, 1999 [in Ukrainian].
20. *Teplovizory v medicine*. Buklet firmy FLIR Systems. 2010. Rezhim dostupu: <http://www.flir.ru/art/9/13/37.html> [in Russian].
21. Maslova V.A., Storozhenko V.A. *Termografija v diagnostike i nerazrushajushhem kontrole*. Har'kov: Kompanija SMIT, 2004 [in Russian].
22. Dorozinsky G., Dunaevsky V., Maslov V. Thermal-Vision Method of Investigations and Control of Device Based on Surface Plasmon Resonance. *Universal J. of Control and Automation*. 2013, N 1(2): 34–39.
23. Bozhko K.M., Dunajevs'kyj V.I., Kotovs'kyj V.J., Maslov V.P. Infrachervona termografija sonjachnyh elementiv, nagrityh temnovym strumom. *Visnyk NTUU «KPI»*. Serija «Pryladobuduvannja». 2013. Vyp. 46: 56–63 [in Ukrainian].
24. Markina O.M., Dunajevs'kyj V.I., Maslov V.P., Kachur N.V. Termografichne doslidzhennja televizijnoi videokamery z PZZ-matryceju. *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. 2014, 11(4): 103–108 [in Ukrainian].
25. Koval'chuk I.S., Dunaevskij V.I., Venger E.F. i dr. Vozmozhnosti distancionnoj infrakrasnoj termografii v diagnostike zabolevanij molochnyh zhelez (dobrokachestvennyje izmenenija). *Ukrains'kij medichnij chasopis*. 2013, N 3(95): 165–169 [in Russian].
26. Dehtjarev Ju.P., Nechiporuk V.I., Mironenko S.A. i dr. Infrakrasnaja distancionnaja termografija kak vspomogatel'nyj metod v diagnostike i lechenii vertebrogennyh bolej u sportsmenov. *Jelektronika i svjaz*. Temat. vypusk «Jelektronika i nanotehnologii». 2010, N 3: 122–125 [in Russian].
27. Dehtjarev Ju.P., Mironenko S.A., Dunaevskij V.I. i dr. Termograficheskaja diagnostika zabolevanij pozvonohnika u sportsmenov. *Lechebnaja fizkul'tura i sportivnaja medicina*. 2013, N 8(116): 16–20 [in Russian].
28. Kotovs'kyj V.J. Neinvazyvni doslidzhennja sudyn nyzhnih kincivok za dopomogoj kompleksnogo metodu. *Elektronika y svjaz*. 2011, N 1: 124–128 [in Ukrainian].
29. *Pat. Ukrainy № 62884*. Sposib rann'oi' ekspres-diagnostyky zahvorjuvan' ven nyzhnih kincivok. Kotovs'kyj V.J., Kovalenko M.M., Venger Je.F., Dunajevs'kyj V.I. [in Ukrainian].
30. Rozenfel'd L.G., Bogdan T.V., Timofeev V.I. i dr. Rannjaja diagnostika zabolevanij sudov nyzhnih konechnostej s primeneniem infrakrasnoj termografii. *Ukrains'kij medichnij chasopis*. 2011, N 2(82): 28–30 [in Russian].
31. Kotovs'kyj V.J., Dzhezherja Ju.I. *Neinvazyvni tehnologii' u biomedychnyh doslidzhennjah*. Kyiv: NTUU «KPI», 2014 [in Ukrainian].
32. Dehtjarev Ju.P., Mironenko S.A., Nechiporuk V.I. i dr. Primenenie distancionnoj infrakrasnoj termografii v diagnostike zabolevanij i posledstvij travm u sportsmenov. *Jelektronika i svjaz*. Tematicheskij vypusk «Jelektronika i nanotehnologii». 2009. Ch.1. N 2–3: 220–223 [in Russian].
33. Venger E.F., Dunaevskij V.I., Kotovs'kij V.I. i dr. Sovremennaja termograficheskaja diagnostika v vyjavlenii zabolevanij biologicheskikh obektov. *Zb. tez dopovidej HII Mizhnarodnoi naukovu-tehnichnoi konferencii «Priladobuduvannja 2012: stan i perspektivi»*. Kyiv, 2012 [in Russian].
34. Kotovskij V.I., Dunaevskij V.I., Mironenko S.A. i dr. Termograficheskaja diagnostika v ocenke sostojanija oporno-dvigatel'nogo apparata sportsmenov. *Zb. tez dopovidej HIII Mizhnarodnoi naukovu-tehnichnoi konferencii «Fizichni procesi ta polja tehnicnih i biologichnih ob'ektiv»*. Kremenčuk, 2014: 96–98 [in Russian].
35. Timofeev A.A., Kindras' I.B., Venger E.F. i dr. Distancionnaja infrakrasnaja termodiagnostika pri zabolevanijah cheljjustno-licevoj oblasti. *Zb. tezisov dokladov. HIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskij konf. JeLNANO*. Kyiv, 2009: 236–240 [in Russian].
36. Dzhezherja Ju.I., Kravčuk B.O., Kotovs'kyj V.J., Domarac'kyj V.A. Osoblyvosti rozpodilu elektrychny strumiv v okoli elementu zhyvlennja pry potrapljanni jogo do stravohodu dytyny. *Visti akademii' inzhenernyh nauk Ukrainy*. 2009, N 2(39): 2–5 [in Ukrainian].
37. Mitin V.O., Kotovs'kyj V.J. Zabezpečennja teplovyh rezhymiv vyhodzhuvannja novonarodzhenykh z duzhe ta nadzvyčajno maloju masoju. *Zb. dopovidej naukovu-praktychnoi' konferencii' «Dyhal'na pidtrymka novonarodzhenykh ta inshi aktual'ni pytannja neonatologii'»*. Lviv, 2009: 23–24 [in Ukrainian].

38. Bozhko K., Maslov V., Porev V. et al. Thermographic Modeling of Pollution of Reservoirs with Solutions NaCl. *Amer. J. of Environmental Protection*. 2014, 3(5): 263–266.
39. Kurbatov L.N. Kratkij ocherk istorii razrabotok priborov nochnogo videnija na osnove jelektronnyh opticheskikh preobrazovatelej i usilitelej izobrazhenija. *Vopr. oboron. tehniki*. Ser. 11. 1994. Вып. 3(142). 4(143): 3 [in Russian].
40. Kolobrodov V.G., Shuster N. *Teplovizijni systemy (fizychni osnovy, metody proektuvannja i kontrolju, zastosuvannja)*. Kyiv: Tyrazh, 1999 [in Ukrainian].
41. Kotovs'kyj V.J. Teplovizijni pryklady i bojova tehnika. *Visti Akademii' inzhenernyh nauk Ukrai'ny*. 2006, N 2(29): 22–25 [in Ukrainian].
42. *Pat. Ukrai'ny № 67255*, Teploizoljacija kompozycja «Bar'jer». Machulin V.F., Maslov V.P. [in Ukrainian].

*Е.Ф. Венгер¹, В.И. Гордиенко²,
В.И. Дунаевский¹, В.И. Котовский³, В.П. Маслов¹*

¹ Інститут фізики напівпровідників

ім. В.Е. Лашкарева НАН України, Київ

² ГП «Научно-производственный комплекс

"Фотоприбор"», Черкаassy

³ НТУ України «Киевский политехнический институт», Київ

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГРАФИИ В УКРАИНЕ

В обзоре приведены результаты применения термографии для диагностирования новообразований, вертеброгенных болей у спортсменов, сосудистых патологий, травм суставов, челюстно-лицевой патологии, исследования механизма патогенного действия элемента питания в биологически активной среде, исследования неоднородности тепловых полей инкубаторов для новорожденных, моделирования процессов распространения загрязняющих веществ в экологии. На основе собствен-

ных разработок отечественная промышленность обеспечила производство тепловизионных приборов для решения военных задач. Большое и разнообразное применение тепловизионной термографии в Украине позволяет сделать вывод, что в ближайшие годы тепловидение получит всеобщее развитие.

Ключевые слова: термография, тепловизор, медицина, приборостроение, военная техника.

*Ye.F. Venger¹, V.I. Gordienko²,
V.I. Dunaevskiy¹, V.I. Kotovskiy³, V.P. Maslov¹*

¹ V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, Kyiv

² SE «Research and Production Complex "Photoprylad"», Cherkasy

³ National Technical University «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv

APPLICATION OF THERMOGRAPHY IN UKRAINE

The review presents the results of applying the thermography for the tumor diagnosis, vertebral pain of athletes, vascular lesions, joint trauma, maxillofacial pathology, the study of the mechanism of pathogenic effects of the battery in a biologically active environment, the study of heterogeneity of thermal fields of newborns' incubators, modeling the propagation of pollutants in ecology. Based on its own developments domestic industry ensured the production of thermal imaging devices to solve military problems. A large and varied use of thermal imaging thermography in Ukraine leads to the conclusion that in the coming years thermal imaging will get overall development.

Keywords: thermography, thermal imaging, medicine, instrumentation, military equipment.

Стаття надійшла до редакції 08.05.15