

Ройзман В. П.
*Хмельницький
національний
університет*

Богорощ О. Т.
*Національний технічний
університет України
"Київський політехнічний
інститут"*

Шайко-Шайковський О.Г.
*Черновецький національний
університет
ім. Юрія Федьковича*

Royzman V. P.
*Khmelnytskyi National
University*

Bogorosh O. T.
*National Technical University
of Ukraine "Kyiv Polytechnic
Institute"*

Shayko-Shaykovskiy O.G.
*Yuriy Fedkovych Chernivtsi
National University*

УДК 621.1/2

ПРОГНОЗ МЕХАНІЧНОГО РУЙНУВАННЯ МЕТОДАМИ ТЕПЛОБАЧЕННЯ

В статті висвітлюється історія створення теплобачення, сучасний стан, досягнення Київської школи з КПІ на чолі з проф. Вороновим С.О. Наводяться приклади застосування телебачення в різних сферах народного господарства. Особлива увага надається можливості прогнозування механічного руйнування.

Ключові слова: теплобачення, інфрачервона область, тепловізор, фотокатод, яскравість.

Постановка проблеми. Протягом всієї історії розвитку людина прагнула до досконалості: літати як птах, занурюватися в безодні океану як риба і бачити в темряві як кішка.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історія створення тепловізорів із чутливістю в інфрачервоній області спектра на основі піроелектричних матеріалів завдяки вивченню виникнення електричного поля в кристалах при зміні в них температури. Перша згадка про піроелектричні ефекти міститься в записках Теофрастуса, датованих 314 роком до н. е., який зауважив, що при нагріванні кристали турмаліну притягують до себе соломинки і частинки попелу. Вивчення цих властивостей турмаліну були подовжені в 1707 році Іоганном Георгом Шмідтом і далі Епінусом в 1756 році.

Проте у деяких авторів початок розвитку теплобачення вважається відкриттям у 1800 році Вільямом Гершелем теплового випромінювання за межами видимого випромінювання. Пропускаючи видиме випромінювання через диспергуючу призму, Гершель виявив за допомогою термометра невидиме випромінювання теплової дії. Але лише у 1881 році Вільямом Абнеєм вперше введено поняття «інфрачервоні промені» і

знадобилося майже 50 років для того, щоб використовувати згадані інфрачервоні промені поза стінами наукових лабораторій.

Крім того, незважаючи на те, що явище фотоефекту було відомо ще в кінці 19 століття, інтенсивні роботи в області створення фотоелектричних оптичних приладів відносяться до 1920-1930 років.

Першим тепловізором вважають евапорограф (1920 р.), що представляє собою тонкий аркуш паперу, змочений спиртом (маслом, камфорою), на одній стороні якого, покритого сажею, отримували теплове зображення об'єкта. За рахунок нерівномірності випаровування спирту формується видиме теплове зображення. Під час другої світової війни у Німеччині та США були створені поліпшені варіанти евапорографів, які відносили до класу несканіруючих тепловізорів, що мають температурне розділення $\delta T = 1^\circ \text{C}$ і частоту кадрів $f = 0,01 \dots 0,1$ Гц.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на чималу кількість конструкцій до класу нескануючих тепловізорів відносять також еджеографи, в основі роботи яких лежить зсув спектральної границі коефіцієнта поглинання в залежності від температури середовища. Якщо



через півку селену пропускати монохроматичне випромінювання, яке відповідає межі поглинання, інтенсивність пройденого світла буде залежати від температури півки. Такі еджеографи мали такі характеристики: $\delta T = 10^\circ\text{C}$, просторове розділення 2 мм^{-1} і частота кадрів $f = 50\text{ Гц}$.

Такі евапорографи і еджеографи не задовольняли користувачів за температурним і просторовим параметрами, а також швидкістю роботи, тому в 50-х роках ХХ століття з'явилися два шляхи розвитку тепловачення: використання інфрачервоних передавальних трубок (піроконів) в тепловізійних системах і дискретних чутливих елементів з оптико-механічним розгортанням.

Мета дослідження: встановлення більш чутливих елементів з мішенню із сульфиду свинцю та довгохвильовою кордоном в 2 мкм й прийнятною чутливістю в інфрачервоній області спектра.

Основні результати дослідження. Дослідження виконували на кафедрі прикладної фізики КПІ з мішенню із сульфиду свинцю та довгохвильовою кордоном в 2 мкм . Проте використання таких мішеней вимагає низьку температурну роботу, та відповідно, - охолодження системи. Прилади нічного бачення (ПНБ) розвивалися поетапно з поступовим поліпшенням дальності виявлення і кращою якістю зображення, зниженням маси і габаритів, збільшенням часу роботи, підвищенням стійкості до світлових перешкод і цілим рядом інших удосконалень.

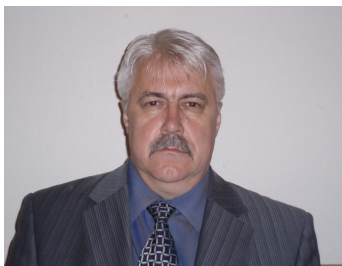
Подальший розвиток тепловачення тривало з появою багатолужних фотокатодів. При цьому зросла світлочутливість електронно-оптичних приладів (ЕОП) і термін служби підсилювальної трубки виріс до 2000 годин, однак відсутність автоматичного захисту ЕОП від яскравих спалахів заважало їх використання під час бойових дій. Тому, починаючи з

середини 60-х років з появою пластини вакуумної мікроелектроніки із понад 2 мільйонів паралельних і злегка нахилених мікроканалів досягнуто більш сильне посилення картинки і термін служби збільшено до 5000 год, а після свіченням усунуто спотворення зображення.

Наступним етапом розвитку тепловачення було застосування в ЕОП нового фотокатода S-20R і люмінесцентного екрану P-22, що призвело до збільшення якості приладів нічного бачення і стали порівнянні з американськими тепловізорами 3-ого покоління. Далі за рахунок спеціального фотокатодного покриття на основі арсеніду галію в тепловізорах досягнуто значне збільшення світлочутливості і терміну їх служби до 10000 годин в умовах низької освітленості. Багато розробок вчених КПІ дозволили збільшити час життя ЕОП до 15000 годин і поліпшити захист від яскравого світла, що перейнято навіть американськими дослідниками для збільшення чутливості ПНБ і досягнення більшої продуктивності.

Значно кращі результати отримані при використанні тригліцинсульфату (ТГС) для підвищення чутливості мішеней. Прилади з використанням таких мішеней назвали піровідіоконами або піроконами. Вони мають рівномірну спектральну чутливість в діапазоні від 2 до 16 мкм і не потребують охолодження.

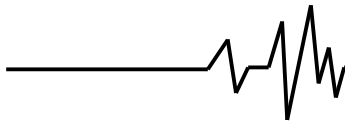
Перші пірокони були започатковані в Київському політехнічному інституті в 60-х роках ХХ століття на кафедрі електронних та іонних приладів під керівництвом старшого наукового співробітника, к.т.н. Цикунової Т.В. З 1981 року колектив очолив доктор технічних наук, професор Воронов Сергій Олександрович, нині завідувач кафедри прикладної фізики Фізико-технічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ КПІ).



Доктор технічних наук, професор
Воронов Сергій Олександрович, нині
завідувач кафедри прикладної фізики

Колектив наукових співробітників під його керівництвом створив спільно з вченими НДІ «Електрон» (Ленінград, нині С.-Петербург) прилади нічного бачення ІК діапазону з чутливістю 8-12 мкм. Біля витоків створення піроконів та тепловізорів на їх базі були такі

вчені КПІ, як Матахнюк А.Х., Семенов Г.Ф., Цикунова Т.В., Рабишко В.О., Зашивайло Т.В., Балановська О.Ю. та інші. Ці прилади були багаторазово запатентовані авторським колективом.



Головним досягненням колективу вчених з КПІ є, починаючи з 1981 року, впровадження запатентованих перших промислових тепловізорів та доведення їх до серійного виробництва на Азовському оптико-механічному і заводі і електровакуумному заводі у м. Нальчик. Вже тоді пропонується професором Вороновим С.О. до впровадження технологія виробництва тепловізійних компонентів вигідно відрізняється від

абсолютної більшості представлених на ринку технологій, параметри яких випереджали кращі зарубіжні аналоги на 7-8 років і лягли в основу процесу виробництва тепловізійних приладів широкого застосування, в т.ч. ПНБ для оборони.

Встановлено, що теплобачення дозволяє прогнозувати механічне руйнування та зростання вібрації конструкцій (рис.1).

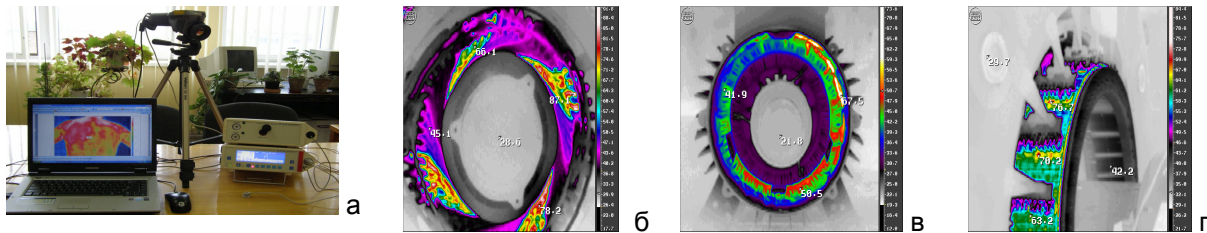


Рис. 1. Тепловізор у складі дослідного комплексу (а) та знаходження вузлів, що починають руйнуватись в ході вібрації та підвищення температури вузлів (б,в,г) турбін, електрообладнання

Тепловізійне виявлення механічних вузлів в ході вібрації й перегрева (рис.2).

Перевірка герметичності та стану обшивки авіатехніки в ході її експлуатації (рис.3).

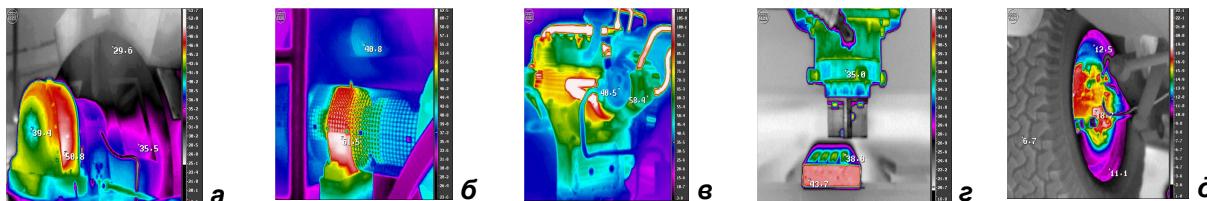


Рис. 2. Перегрів підшипника вузлів опори транспортера (а), вібратора (б), охолоджуючої рідини (в), шліф обладнання (г), гальмуючого вузла (д)

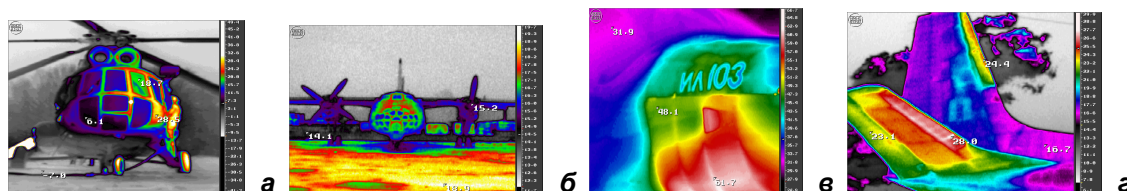


Рис. 3. Моніторинг герметичності та нагріву гелікоптера (а), літака (б) обшивки фюзеляжу (в) та крила, що вібрує (г)

Під час енергетичної кризи дозволяє контролювати й запобігати зайві викиди гарячих газів в атмосферу у великій кількості, а також заздалегідь виявляти тріщини і руйнацію футеровки димових труб з метою продовжувати термін їх експлуатації в теплоенергетиці. Так, на моніторі тепловізора у кольоровому вигляді зі шкалою можна миттєво бачити зміни температури по всій висоті труби і поза нею у газових викидах, що дозволяє оперативно виправити і зменшити помилково занадто зайве використання палива, а також завчасно проводити необхідний по температурному

режиму відбір викидів послідовної рекуперації, та планувати локальні точки ремонту димової труби (4).

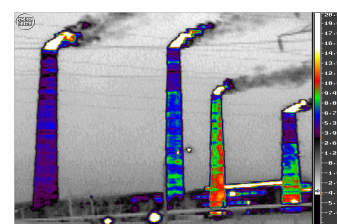
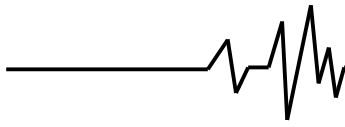


Рис. 4. Діагностування димових труб з виявленням витоку димового газу



Тепловізійна картина контролю газових викидів на промислових підприємствах для поліпшення роботи теплових станцій та економії палива.

Можливість діагностувати градирні, колони хімічного синтезу для планового ремонту, прогарів, зварних швів, корозії в котлах, ховання кислот та їх контролю, що наведено на рис. 5.

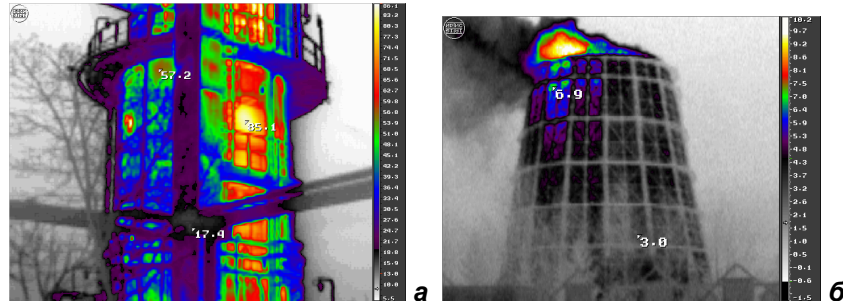


Рис. 5. Тепловізійні картини контролю та діагностики колон хімічного синтезу (а) та градирні (б)

Можна запобігти аварій обладнання газоперекачувальних станцій, систем охолодження різного призначення, лопатей турбін, двигунів, електричних машин, вузлів деталей машин й тертя в машинобудуванні, а також в різних вузлах автомобілів, тепловозів та інших об'єктів залізничного, річкового,

морського та авіаційного транспорту, виявлення дефектів у печатних платах тощо.

Теплобачення дозволяє постійно відслідковувати й контролювати теплові втрати у житлових будинках, давати рекомендації щодо утілення і термоізоляції вікон, дверей, дефектних стін, виявлення вогнища, пожеж тощо (рис. 6).

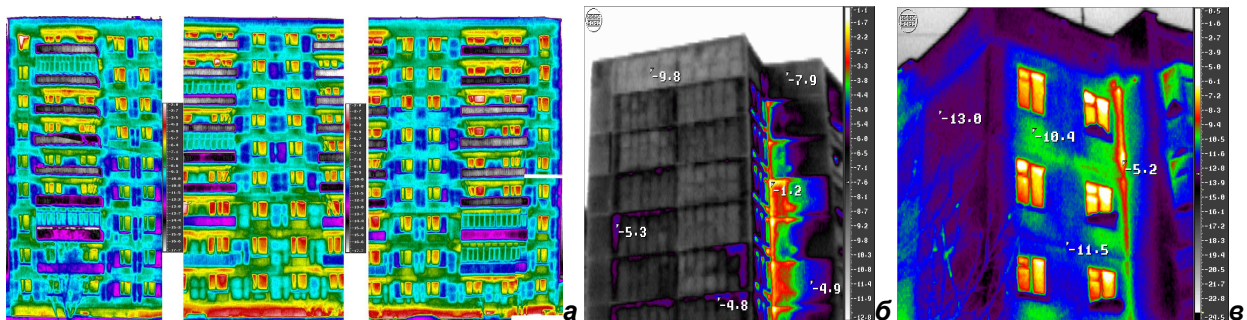


Рис. 6. Тепловізійне виявлення втрати теплової енергії в житлових багатоповерхових домах (а, в) та пожежі (б)

Тепловізори дозволяють знаходити засолені та не працюючі секції радіаторів і

батареї опалення у кімнатах та будинках для виконання планової очистки та ремонту (рис. 7).

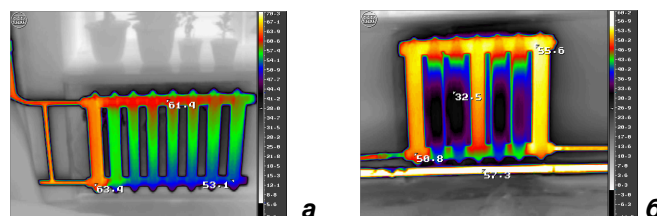
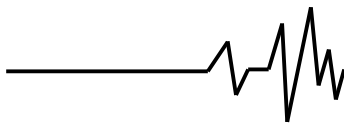


Рис. 7. Тепловізійне виявлення засолення радіаторів та батарей опалення у нижній частині (а) та окремих секцій (б)



Крім того тепловачення дозволяє знаходити пориви теплоTRAS, викиди теплових та охолоджувальних речовин з під землі, у тому

числі за допомогою авіації і безпілотних пристроїв (рис. 8).

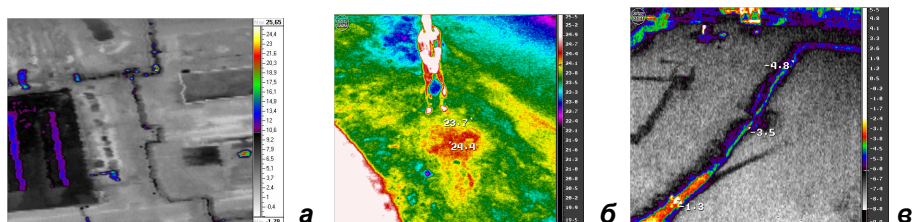


Рис. 8. Тепловізійне виявлення поривів теплоTRAS (а), трубопроводів (б) та локальних теплових джерел (в)

Тепловачення дозволяє діагностувати електричне та електронне обладнання, та знаходити сульфатацію в акумуляторних батареях, виявляти надлишкові перегріву від

перекошу фаз, або у запобіжників, обмоток електродвигунів, вузлів щіток, порушень контактних з'єднань тощо (рис. 9).

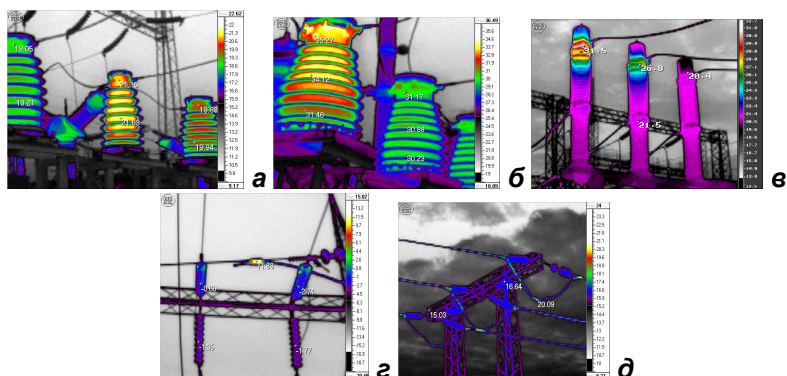


Рис. 9. Тепловізійне виявлення дефектів ізоляторів (а) фаз (б) трансформаторів струму (в), порушень контактів (г) ЛЕП (д)

Тепловачення дозволяє у медицині діагностувати захворювання, у тому числі

онкологічні, вирішувати проблеми кровообігу кінцівок тощо (рис. 10).

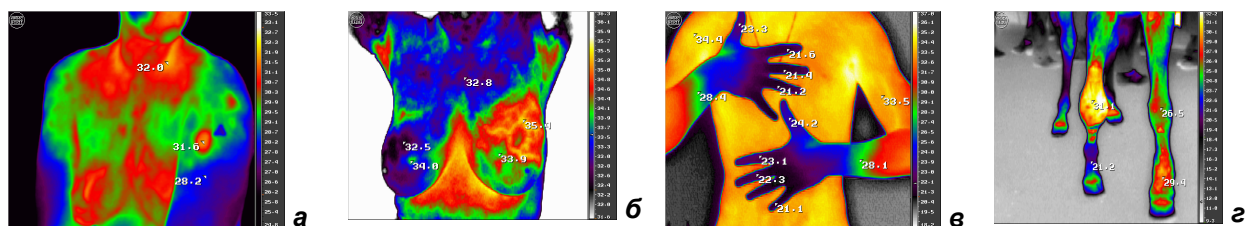
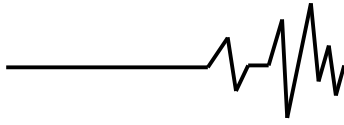


Рис. 10. Тепловізійне виявлення різних захворювань у людей (а,б,в) і тварин (г)

Сучасні тепловізори нового покоління засновані на болометричних матрицях, що винайшов американський вчений Самуель Пирпонт Ленглі, і вперше створив італійський фізик Меллона. До теперішнього часу вдосконалення технології виробництва ПНБ дозволило створювати матричні приймачі великої розмірності без використання оптико-механічного сканування в реальному режимі.

Використання матриці великої розмірності, зважаючи на особливості формування сигналу з тепловізора, вимагає застосування спеціальних алгоритмів і високопродуктивного спецпроцесора, що забезпечують високоточну обробку сигналів, при великому обсязі потоку інформації в реальному масштабі часу і застосуванні засобів цифрової обробки сигналів дозволили створити



тепловізор з прийнятними масою, габаритами і енергоспоживанням.

Висновки. Якщо комп'ютер став одкровенням від технологій ХХ століття, то в ХХІ столітті - це стане тепловізор. Такий прилад дозволяє проводити всі типи пошукових робіт, системи неруйнівного контролю будівель, машин і механізмів, ранню діагностику захворювань, пошук корисних копалин, охоронні та протипожежні системи. Це далеко не повний перелік можливостей, які відкривають тепловізори для Людства в цілому.

Такі сучасні тепловізори нового покоління, що засновані на болометричних матрицях знайшли широке використання в ході антитерористичних операцій на сході України з роздільною здатністю 2500×2500 пікселів та чутливістю до 0,01 °К, що на порядок перевищує конкуруючі вироби.

Доцільно продовжувати наукові роботи у НТУУ КПІ, Інституті напівпровідників НАН України та інших українськими вченими, що в змозі значно підняти економіку держави з перспективним напрямками їх використання у таких галузях:

- У медичній сфері – побудова динамічної та статичної температурної картини поверхні організму для ранньої диференційної діагностики захворювань; в цій області заступник з наукової роботи НТУУ «КПІ» Котовський В.Й. успішно захистив докторську дисертацію (науковий консультант – професор Воронов С.О.).

- У сфері діагностики – стану трубопровідного транспорту, а також різного устаткування (від друкованих плат і інтегральних схем до тертя в підшипниках і деталей машин).

- Більш раннє визначення можливих несправностей і попередження аварій у сфері пожегогасіння – радикальне підвищення ефективності раннього попередження пожеж (реєстрація їх на самих ранніх стадіях), прогнозування дефектів у приладах радіоелектроніки та авіаційно-космічній техніці.

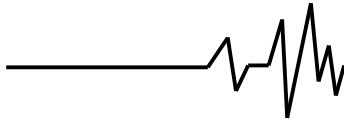
У цьому зв'язку протягом вже декількох десятиліть прилади нічного бачення займають важливе місце в сучасній техніці, активно застосовуються і в цивільній техніці для розвідки і видобутку корисних копалин, рятувальних робіт, астрономічних досліджень, виробничого та екологічного контролю, нічної навігації та водіння автотранспортних засобів у спеціальних кліматичних і погодних умовах, нічної відеозйомки, роботи спецслужб, правоохоронних органів та митних служб, для нічного полювання та рибної ловлі, в системах охорони та пожегогасіння та ін.

Подальші дослідження професора Воронова С.О. ведуться в області розширення спектрального діапазону, у тому числі в області ультрафіолетового спектру, для вирішення питань щодо забезпечення високої якості зображення з рівномірним дозволом по всьому полю зору, достатньої яскравості зображення, правильного розподілу яскравості по області зображення, наявності автоматичного регулювання яскравості для захисту від сильних засвічень, достатньої дальності спостереження, міцності, захисту від бруду і вологи, універсальності живлення, зручності і простоти експлуатації приладу і прийнятної вартості.

Викладене свідчить про те, що вчені України змогли би вирішити значні проблеми в економіці країни, включаючи зменшення руйнації механічних систем, використання дефіцитного палива, електроенергії і багато інших питань у разі зацікавленості відповідних галузей і господарників: від різного машинобудування до енергетики, металургії, електроніки, будівництва, а також в криміналістиці, таможні тощо.

Список використаних джерел

1. Ллойд Дж. Системы тепловидения. / Пер. с англ. под ред. А. И. Горячева. – М.: Мир, 1978, – 416 с.
2. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники, Издательство: Советское радио, год: 1978, - 400 с.
3. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Техника. Применение. М.: Мир, 1988. – 93с.
4. В. А. Дроздов, В. И. Сухарев. Термография в строительстве – М.: Стройиздат, 1987. – 237 с.
5. Инфракрасная термография в энергетике. Т 1. Основы инфракрасной термографии / Под ред. Р. К. Ньюпорта, А. И. Таджибаева, авт.: А. В. Афонин, Р. К. Ньюпорт, В. С. Поляков и др.. – СПб.: Изд. ПЭИПК, 2000. – 240 с.
6. Огирко И. В. Рациональное распределение температуры по поверхности термочувствительного тела ... стр. 332 // Инженерно-физический журнал Том 47, Номер 2 (Август, 1984).
7. Электронная вакцина против гриппа.. operlenta.ru (14.01.2010). Проверено 25 февраля 2010. Архивировано из первоисточника 14 февраля 2012.
8. www.ste.ru/siemens/pdf/rus/ardo_info.pdf.



9. Бураковский Т., Гизинский Е., Саля А. Инфракрасные излучатели: Пер. с польского – Л.: Энергия, 1978.

10. В. В. Коротаев, и др. Основы тепловидения – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 122 с.

9. T. Burakovsky, E. Gizinsky, A. Salya. Infrakrasnie izluchiteli : Per. s polskogo – L. : Energiya, 1978.

10. V. V. Korotaev i dr. Osnovi teplovideniya. – SPb: NIU INMO, 2012. – 122 s.

Список джерел в транслітерації

1. Lloyd Dzh. Sistemy. /Per. S angl. Pod red. A.I. Goryzcheva. – М.: Mir, 1978, – 416 s.

2. kriskunov L. Z. Spravochnik po osnovam infrakrasnoy tekhniki, Izdatelstvo : Sovetskoe radio, god: 1978, – 400 s.

3. Gossorg Z. H. Infrakrasnay termografiya. Tekhnika. Primenenie. М.: 1988. – 93 s.

4. Drozdov V. A., Sukharev V. I. Termografiya v stroitelstve – М.: Stroyizdat, 1987. – 237 s.

5. Infrakrasnaya termografiya v energenike. Т. 1. Osnovi infrakrasnoy termografii / Pod red. R. K. Nuporta, A. I. Tadzhibaeva, avt. : A. V. Afonin, R. K. Nuport, V. S. Polyakov i dr.. – SPb. : Izd. PEPK, 2000. – 240 s.

6. Ogirko I. V. Patsionalnoe raspredelenie temperatury po poverkhnosti termochuvstvitelnosti tela ... str. 3222 // Inzhenerno-fizichesky zhurnal Tom 2, Nomer 2 (Avgust, 1984).

7. Elektronnaya vaksina proniv grippa ... operlenta.ru (14.01.2010). Provereno 25 fevralya 2010. Arhivirovano iz pervoistichnika 14 fevralya 2012.

8. www.ste.ru/siemens/pdf/rus/ardo_info.pdf.

ПРОГНОЗ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ МЕТОДАМИ ТЕПЛОВИДЕНИЯ

Аннотация. В статье освещается история создания тепловидения, современное состояние, достижения Киевской школы с КПИ во главе с проф. Вороновым С.А. Приводятся примеры применения телевидения в различных сферах народного хозяйства. Особое внимание уделяется возможности прогнозирования механического разрушения.

Ключевые слова: тепловидения, инфракрасная область, тепловизор, фотокатод, яркость.

PREDICTING MECHANICAL DESTRUCTION BY METHODS OF THERMAL IMAGING

Annotation. The paper highlights the history of creating thermal imaging, its current status and achievements of Kiev School from KPI led by prof. Voronov S.A. Examples of using television in different areas of national economy are given. Particular attention is paid to the possibility of predicting mechanical destruction.

Key words: thermal imaging, infrared area, thermal imager, photocathode, brightness.