

Цутевич П.А., Котовський В.Й.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Берестейський проспект, 37, Київ,
email: tsutevych.polina@lil.kpi.ua*

СУЧАСНИЙ СТАН РИНКУ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ПРИЛАДІВ

Анотація. У доповіді проаналізовано сучасний стан та тенденції розвитку світового ринку тепловізійних приладів. Розглянуто основні напрями застосування тепловізорів у медицині, промисловості, військовій галузі та системах безпеки. Описано технологічні переваги сучасних приладів. Досліджено вплив економічних чинників на конкурентоспроможність виробників тепловізійної техніки. Виявлено потенційні напрями подальших розробок.

Abstract. The report analyzes the current state and development trends of the global thermal imaging device market. The primary areas of thermal imaging application in medicine, industry, military, and security systems are examined. The technological advantages of modern thermal imaging equipment are described. The influence of economic and regulatory factors on the competitiveness of thermal imaging manufacturers is studied. Potential directions for future developments have been identified.

Ключові слова: тепловізійні прилади, інфрачервона термографія, неінвазивна діагностика, ринкові тенденції.

Keywords: thermal imaging devices, infrared thermography, non-invasive diagnostics, market trends.

У сучасних умовах стрімкого розвитку, зростання потреб у неруйнівних (неінвазивних) методах діагностики та постійне вдосконалення відповідних технологій сприяють значному розширенню ринку тепловізійних приладів. Тепловізори знаходять застосування у медицині, військовій сфері, промисловості та системах безпеки, що робить їх важливим елементом сучасного світу [1], [2]. Провідними країнами у виробництві тепловізійних приладів є США, Німеччина, Японія, Велика Британія, Франція, Швеція та Китай. Завдяки значним інвестиціям у дослідження і розробки, ці країни впроваджують інноваційні рішення та технології. Серед провідних компаній на світовому ринку можна

відзначити FLIR Systems, L3Harris, Testo та Seek Thermal, продукти яких задають тенденції розвитку тепловізійних приладів.

Таблиця 1.1 - Популярні виробники та їх моделі.

Виробник	США, FLIR Systems	США, L3Harris	Німеччина, Testo	США, Seek Thermal
Модель	FLIR E4 	L3Harris SLS MWIR Camera Core 	Testo 885 	Seek CompactPRO 

Основною перевагою тепловізійних приладів є можливість безконтактного вимірювання температурних полів об'єктів. Сучасні прилади працюють за принципом перетворення інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, яке природно випромінюється тілом, у видиме зображення [3]. Чутливі матриці сенсорів здатні фіксувати навіть незначні зміни температури з точністю до 0,1 °С, а спеціальне програмне забезпечення показує отримані дані у вигляді чорно-білих і кольорових цифрових зображень. Завдяки цьому користувач може оцінити розподіл температури на поверхні об'єкта досліджень, що дозволяє своєчасно виявляти теплові аномалії, як у промисловому обладнанні, так і при медичних обстеженнях [2], [3].

Тепловізори працюють у різних спектральних діапазонах. Пристрої в діапазоні 3–5 мкм забезпечують високу температурну чутливість, проте потребують ретельного контролю умов експлуатації через залежність від зовнішніх факторів. Натомість пристрої в діапазоні 8–14 мкм демонструють більшу стабільність, що забезпечує їх широке застосування у медицині, де важлива точність вимірювання за різних умов навколишнього середовища [1], [4].

Розвиток ринку тепловізійних приладів обумовлений інноваціями в галузі неохолоджуваних матричних технологій. Нові рішення дають змогу зменшити енергоспоживання і спростити конструкцію приладів, що знижує собівартість та

сприяє широкому впровадженню тепловізійних технологій в промисловість, галузь безпеки та медицину [2], [5]. Водночас удосконалення алгоритмів обробки зображень значно підвищує чутливість і точність аналізу термограм, дозволяючи автоматизувати оцінку отриманих даних [3]. Зростання інвестицій у дослідження та стандарти сертифікації стимулюють підвищення конкурентоспроможності виробників тепловізійної техніки [2], [3].

Перспективи подальшого розвитку ринку тепловізійних приладів полягають в їх співпраці з неінвазивними методами діагностики, такими як ультразвукові дослідження або комп'ютерна томографія. Такий підхід дозволяє створювати комплексні системи, здатні надавати широкий спектр даних та проводити всебічну оцінку стану об'єкта, що має важливе значення для сучасної медицини, промисловості та безпеки [5], [6]. Тепловізійні камери преміум-класу можуть також пропонувати такі функції, як передача даних через Wi-Fi/Bluetooth, щоб забезпечити пряму передачу у даних на смартфони, планшети або комп'ютери для більш універсального аналізу та звітності. Актуальними є розробки портативних та мобільних тепловізійних систем, які можна застосовувати в польових умовах або під час виїзних обстежень, що сприяє зростанню обсягів продажів.

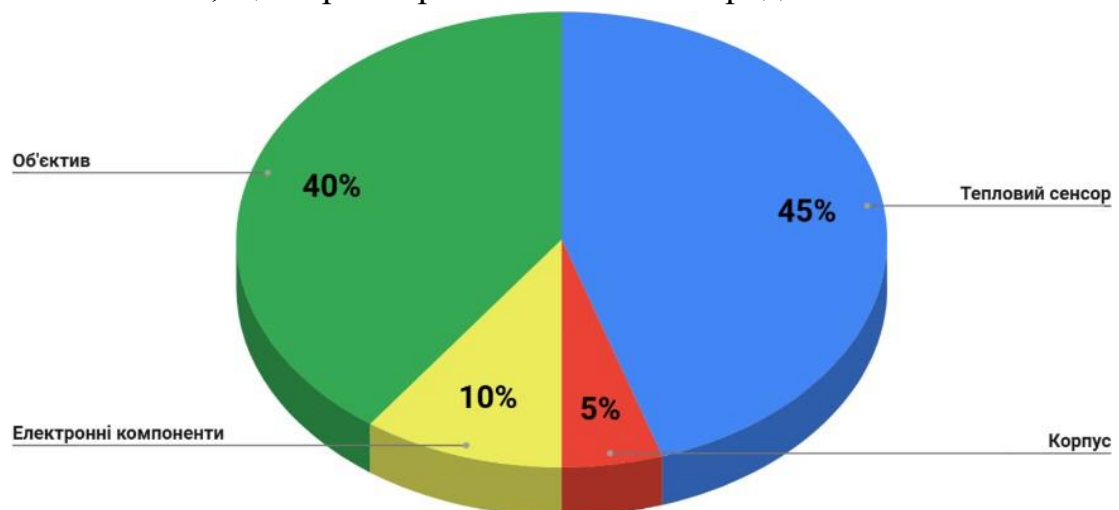


Рисунок 1.1 - Розподіл загальної вартості термографа.

Приблизно 90% загальної вартості становить об'єктив і матриця, вони є основними елементами термографа. Матриця досить складна у виробництві, але її ціна може з часом знизитися. Ситуація з об'єктивами значно складніше. У виробництві об'єктивів застосовують рідкісні і дорогі матеріали, такі як наприклад германій, тому у теперішній час ведеться постійний пошук дешевих і

придатних для цього матеріалів. Таким чином, світовий ринок тепловізорів продовжує стрімко розвиватися.

Очікується, що до 2030 року ринок тепловізорів у Північній Америці перевищить 3 млрд доларів через підвищені вимоги до громадської безпеки. Також за період 2020–2030 років зросте використання тепловізорів у медицині на 12%, неінвазивне обстеження за допомогою тепловізорів набуває популярності у медичному середовищі. Вже зараз тепловізори застосовують у великих аеропортах США, Китаю та Японії для дистанційного виявлення пасажирів із підвищеною температурою тіла. Крім того, розширяться застосування тепловізійних систем у військово-промисловій та нафтогазовій сферах. У найближчі роки лідерами цього ринку залишатимуться США та Китай.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Kaplan, H. (2007). *Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment*. Bellingham, WA: SPIE Press. <https://spie.org/Publications/Book/748833?SSO=1>
- [2] Venger, Y. F., Dunaievsky, V. I., Kotovskyi, V. Y., Bolgarska, S. V., Kyslyi, V. P., Tymofeyev, V. I., ... & Nazarchuk, S. S. (2021). Infrared thermography as an effective tool for research and industrial application. *Science and Innovation*, 17(5), 20–33. <https://doi.org/10.15407/scine17.05.020>
- [3] Minkina, W., & Dudzik, S. (2009). *Infrared thermography: Errors and uncertainties*. John Wiley & Sons. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470682234>
- [4] Ibarra-Castanedo, C., Galmiche, F., Darabi, A., Pilla, M., Klein, M., Ziadi, A., ... & Maldague, X. P. (2003). Thermographic nondestructive evaluation: Overview of recent progress. *Thermosense XXV*, 5073, 450–459. <https://doi.org/10.1117/12.500921>
- [5] Maldague, X. P. (2012). *Nondestructive evaluation of materials by infrared thermography*. Springer Science & Business Media. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-3651-3>
- [6] Hsiao, Y. S., & Deng, C. X. (2016). Calibration and evaluation of ultrasound thermography using infrared imaging. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 42(2), 503–517. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2015.09.021>