

УДК 621.3.095.221

**Гапіченко А. М., Заболотний В. І.**

### **АНАЛІЗ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ВІДЕОТРАКТУ МОНІТОРА НОУТБУКА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ**

Ноутбуки стали невід'ємною частиною повсякденної роботи з інформацією, включаючи обробку конфіденційних даних у різних сферах діяльності. Основним джерелом побічних електромагнітних випромінювань (ПЕМВ) у ноутбуці є саме відеотракт вбудованого монітора – комплексний ланцюг, що починається від графічного процесора, проходить через внутрішні високошвидкісні відеокабелі (найчастіше eDP або LVDS) і завершується матрицею екрана. Ці випромінювання виникають внаслідок швидких перемикань логічних рівнів у цифрових сигналах відеотракту, що призводить до появи побічних електромагнітних полів, здатних нести інформацію про вміст, який відображається на екрані [1].

Такі випромінювання формують технічний канал витоку інформації (ТКВІ), відомий у літературі як побічні електромагнітні випромінювання (ПЕМВ) або TEMPEST. На відміну від стаціонарних комп'ютерів, де відеотракт часто включає зовнішні кабелі (VGA, HDMI, DisplayPort), у ноутбуках весь шлях сигналу розміщений усередині компактного корпусу. Це створює специфічні умови поширення випромінювань: вони частково поглинаються та відбиваються металевими елементами корпусу, але значна частина просочується назовні через вентиляційні отвори, шарнірні петлі екрана, роз'єми живлення, порти USB/Thunderbolt, клавіатурні щілини та інші конструктивні зазори [2].

Портативність ноутбуків суттєво ускладнює ситуацію з точки зору захисту інформації. Користувачі часто працюють у різних приміщеннях, змінюють положення пристрою, наближають його до інших людей або об'єктів, що робить відстань до потенційного пункту технічної розвідки непередбачуваною. Крім того, через обмежений внутрішній простір можливості для застосування традиційних засобів захисту (товстих екрануючих матеріалів, спеціальних фільтрів на кабелях, повного металізованого екранування) значно обмежені. Саме тому аналіз ПЕМВ відеотракту монітора ноутбука є актуальним завданням сучасного технічного захисту інформації [1].

Попередні роботи в цій галузі переважно присвячувалися стаціонарним моніторам з зовнішніми інтерфейсами, де випромінювання поширюються більш вільно через кабелі [2]. У ноутбуках ситуація інша: випромінювання генеруються ближче до матриці, але їх поширення сильно залежить від матеріалів корпусу (алюміній, магнієвий сплав, пластик з металевим напиленням), розташування компонентів та конструкції шарніра екрана. Це призводить до появи локальних зон підвищеного випромінювання, які можуть бути критичними навіть на відносно малих відстанях [3].

Оцінка рівня ПЕМВ проводиться на основі практичних тестових сценаріїв із застосуванням принципів електродинаміки. Для формування сигналів використовуються спеціальні тестові шаблони зображень – чергування чорних і білих ділянок екрана з високою частотою оновлення, що дозволяє чітко виділити гармоніки відеосигналу в спектрі випромінювань [2]. Дослідження охоплює частотний діапазон, характерний для сучасних ноутбуків (від низькочастотних гармонік від одиниць до частот кількох сотень мегагерц), а також відстані від кількох сантиметрів до кількох десятків метрів. Особлива увага приділяється ближній зоні, де переважає магнітна складова випромінювання, та дальній зоні, де домінують електричні компоненти.

Результати показують, що магнітна складова випромінювання є найбільш вираженою на малих відстанях (до 1–3 м) і низьких частотах. Саме ця особливість робить її критичною в типових сценаріях використання ноутбука – коли пристрій знаходиться на столі, на колінах або передається іншій особі. На більших відстанях інтенсивність випромінювання швидко зменшується, проте в діапазоні високих частот (сотні мегагерц), характерному для сучасних вбудованих відеоканалів eDP та LVDS, сигнал все ще може бути достатньо сильним для потенційного перехоплення [3].

Через компактність конструкції ноутбука значна частина випромінювання екранується металевими елементами корпусу та матриці, але залишаються вразливі місця: вентиляційні отвори для охолодження, гнучкі кабелі в шарнірі екрана, роз'єми на бічних панелях, щілини навколо клавіатури та тачпада. Саме через ці елементи випромінювання найчастіше виходить назовні, формуючи специфічні діаграми спрямованості та зони підвищеного ризику. Найвищий потенціал витоку інформації пов'язаний саме з частотами, на яких працюють сучасні високошвидкісні інтерфейси передачі відеоданих у ноутбуках.

Запропонований підхід дає змогу оцінювати реальний рівень випромінювань за результатами вимірювань безпосередньо поблизу пристрою та прогнозувати їх інтенсивність на більших відстанях. Це значно полегшує процес перевірки відповідності нормам технічного захисту інформації та дозволяє обґрунтовано визначати, де саме потрібні додаткові заходи протидії.

Розроблений метод оцінки побічних електромагнітних випромінювань відеотракту монітора ноутбука створює практичний інструмент для аналізу ризиків витоку інформації в портативних пристроях. Він чітко підкреслює домінуючу роль магнітної складової на малих відстанях, а також специфіку поширення випромінювання через конструктивні особливості ноутбуків. Отримані дані відкривають можливості для вдосконалення технічного захисту інформації шляхом посиленого екранування критичних ланцюгів відеотракту, застосування спеціалізованих фільтрів на лініях живлення та сигналів, оптимізації матеріалів і конструкції корпусу, а також раціонального розміщення компонентів усередині пристрою.

Результати мають пряме практичне значення для організацій, що використовують ноутбуки для обробки інформації з обмеженим доступом, та сприяють підвищенню загального рівня інформаційної безпеки в умовах широкого використання портативної техніки. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення сучасних типів матриць (OLED, mini-LED, високояскраві IPS), нових поколінь вбудованих інтерфейсів (eDP 1.5 і вище) та впливу матеріалів корпусу на ефективність природного екранування [4].

### **Список використаних джерел**

1. Технічні канали витоку інформації. Порядок створення комплексів технічного захисту інформації / С. О. Іванченко. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 101 с.
2. Заболотний В. І. Дослідження зміни форми сигналу у каналі побічних електромагнітних випромінювань монітору / В. І. Заболотний, Є. В. Герасименко, В. І. Перепада // Радіотехніка. 2014. Вип. 176. С. 116–121.
3. Заболотний В. І. Моделювання параметрів відеосигналів для оцінки спектрів

побічних електромагнітних випромінювань / В. І. Заболотний // Радіотехніка. 2018. № 193. С. 1463–1470.

4. ITU-T Rec. K.87. Guide for the application of electromagnetic security requirements – Overview. ITU, 2024.