

ДИСКУСІЙНА РУБРИКА

УДК 621.391

Мирон Николишин

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра радіоелектронних пристроїв та систем

ПРО ДЕЯКІ ФІЛОСОФСЬКІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

© Николишин Мирон, 2001

До розглянутих у статті питань належать поняття інформації, інформаційного алфавіту, повідомлення, сигналу, вільного і зв'язаного електромагнітного випромінювання. На основі якісного аналізу та порівняння сутностей цих понять при використанні їх у філософії та радіоелектроніці запропоновано адекватне їх трактування.

The questions searched in this paper are: concept of information, information alphabet, message, signal, free and coupled electromagnetic radiation. On the basis of qualitative analysis and comparison of essens of these concepts when using them in philosophy and radioelectronics their more adequate description is proposed.

В основі наукових досліджень лежить певна сукупність філософських і методологічних передумов, якими керуються дослідники, засвідчуючи ступінь глибини свого розуміння сутності досліджуваних явищ.

Радіоелектроніка як наука виникла внаслідок започаткованих М. Фарадеєм досліджень електричних та магнітних полів, що їх згодом теоретично осмислив Дж. К. Максвелл. У результаті з'явилася гіпотеза про існування електромагнітних хвиль або вільного електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Вільного в тому розумінні, що воно не пов'язане з конкретним матеріальним об'єктом, а існує само по собі у просторі та часі. На відміну від вільного, зв'язане ЕМВ зумовлене рухом електрично заряджених частинок. Воно існує постільки, поскільки існує об'єкт, в якому ці частинки рухаються. Гіпотеза про існування вільного ЕМВ була підтверджена експериментально Г.Герцом. Згодом зусиллями, в основному, Г.Герца, О.Гевісайда та Х.Лоренца теорія ЕМВ набула сучасного вигляду.

Парадоксальним, однак, є те, що вільне ЕМВ, щоправда, значно вищого діапазону частот коливань, а саме – світло, споконвіку було відоме людству. Воно, переносячи на Землю енергію Сонця, сформувало життя і забезпечує його існування протягом мільярдів років.

Та чи тільки енергію переносить вільне ЕМВ? Згідно з рівнянням А. Айнштейна всяка енергія (E) пропорційна масі (M) речовини, і навпаки

$$E = Mc^2, \quad (1)$$

де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість розповсюдження ЕМВ.

Разом з тим ЕМВ, зокрема і немодульоване, є переносієм інформації, нижню межу кількості якої можна оцінити, помноживши інформаційну ємність, що визначається формулою К.Шеннона [2], на тривалість передавання інформації

$$I_{min} = \Delta t \Delta F \log_2 (1 + E_c / E_u), \quad (2)$$

де Δt – тривалість передавання інформації; $\Delta F = F_{\max} - F_{\min}$ – діапазон частот коливань вільного ЕМВ, яким передається інформація; E_c – енергія переносія інформації; $E_{ш}$ – енергія хаосу (шуму) приймального середовища.

Відомо [10], що 99,9% енергії ЕМВ, а саме $1,75 \cdot 10^{17}$ Дж, кожної секунди переноситься на Землю коливаннями в діапазоні частот від $F_{\min} = 30$ МГц до $F_{\max} = 1,5$ ПГц. Отже, згідно з (1) і (2) протягом однієї секунди на Землю переноситься вільне ЕМВ масою $M_3 = 1,944$ кг, яке містить не менше $1,5 \cdot 10^{15}$ біт інформації.

Відтак для коректнішого опису явищ, пов'язаних з електромагнітним випромінюванням, яке є визначальним структурним елементом радіоелектронних об'єктів, необхідно враховувати не лише енергетичний і речовинний, але й інформаційний аспекти ЕМВ.

У статті виділено дві групи філософсько-методологічних питань, які стосуються:

1. інформаційно-ентропійних аспектів функціонування радіоелектронних об'єктів;
2. вільного і зв'язаного ЕМВ.

Хоча від часу виникнення радіоелектроніки минуло понад століття і за своєю сутністю радіоелектроніка є наукою інформаційною (вивчає добування, зберігання та передавання інформації за допомогою ЕМВ), ідеї та методи теорії інформації використовуються в ній недостатньо і часто неадекватно. Наприклад, такі поняття, як інформація, ентропія, повідомлення і сигнал є чи не найбільш невизначеними з філософським підтекстом поняттями радіоелектроніки.

Що ж таке інформація? На нашу думку, інформація – це міра просторово-часової різноманітності та неоднорідності матерії, міра її самовідмінності та неідентичності. Інформація є об'єктивною і атрибутивною, як енергія, властивістю матерії, однак, на відміну від неї є нематеріальною. Саме нематеріальність створює труднощі у розумінні сутності інформації.

Об'єктивне існування просторово-часової різноманітності, неоднорідності та неідентичності матеріальних явищ може бути як саме по собі, так і у відображеннях адекватних розподілів змін параметрів інших явищ, які, окрім цього відображення, мають ще свою власну просторово-часову різноманітність, неоднорідність та неідентичність. Згідно з [5] власна просторово-часова різноманітність, неоднорідність та неідентичність репрезентуються інформаційним ресурсом. Власна міра руху та інерційність репрезентується відповідно енергетичним та речовинним ресурсом. Можливість відображення зовнішніх змін визначається потенціалом взаємодії, який в загальному випадку є трикомпонентним: інформаційним, енергетичним, речовинним. У [5] його названо трикомпонентним вектором метаболізму.

Мінімальна кількість розрізняваних ознак або змін, при яких ще може існувати відмінність, є дві, тому логічним є вибір за одиницю кількості інформації двійкового логарифму саме числа 2. У динамічних імовірнісних процесах кількість інформації визначається за відомою формулою К. Шеннона [2], яка є узагальненням формули Р.Гартлі для різноймовірнісних розподілів інформаційних ознак. У цих формулах логарифми також беруться при основі 2.

Специфічною особливістю інформації, як нематеріальної сутності, є її властивість зникати і виникати через хаос. Відтак за аналогією до тверджень старогрецьких філософів “...що все із землі виникає і у землю повертається знову”, можна стверджувати, маючи на увазі тільки інформаційний ресурс матеріального об'єкта, що все з хаосу виникає і в хаос повертається знову. Очевидно, що саме через цю специфічну особливість інформації,

спроби встановити передумови об'єктивних законів збереження інформації на основі існуючих гіпотез [11], не мали успіху. Інформаційний ресурс конкретної форми руху матерії при перетворенні її в іншу, на відміну від речовинного і енергетичного ресурсів, кількісно не зберігається.

Інформація, як нематеріальна субстанція, не може самоідентифікуватися. Тому свого часу ввели поняття повідомлення, яке нібито створює перехідну ланку між нематеріальним і матеріальним, між інформацією і сигналом. З одного боку, повідомлення ще не вважається сигналом, який можна передавати чи зберігати, а тільки вираженою у певній формі інформацією [6]. З іншого боку, повідомлення вважається чимось матеріальним, бо може перетворюватися у сигнал. Штучність поняття повідомлення очевидна, оскільки будь-яке матеріальне явище, у зміні параметрів якого міститься будь-яка інформація, є сигналом [7]. Відтак поняття повідомлення, як його розуміють в радіоелектроніці, є зайвим, тому від нього треба відмовитися і розглядати лише взаємозв'язок інформація – сигнал.

Математичну інтерпретацію інформації, ідентифікованої в переносіях, можна представити так:

$$I = \lim_{M \rightarrow M_x} M(I) = \lim_{M \rightarrow \infty} M(I), \quad (3)$$

де M – матеріальний (речовинно-енергетичний) ресурс переносія інформації I ; M_x – матеріальний ресурс хаосу середовища, в якому існує переносій інформації.

Згідно з представленим співвідношенням (3) інформація I не змінюється як при безмежно великій речовинно-енергетичній визначеності переносія, так і при досягненні ним значення речовинно-енергетичного ресурсу хаосу довкілля. Реально, однак, нижня межа речовинно-енергетичної визначеності переносія, що обмежується хаосом середовища, в якому інформація ще існує і не перетворюється в хаос, визначається згідно з [3], [4], [9] співвідношенням

$$E_n = 2\pi k_{\delta} K, \quad (4)$$

де E_n – енергетичний ресурс переносія інформації; $k_{\delta} = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж /К – стала Больцмана; K – температура середовища у кельвінах.

Значення E_n належить також до елементів будь-якого інформаційного алфавіту, яким відтворюється інформація. Певний інформаційний алфавіт – це сукупність неподільних з погляду відтворюваної інформації елементів, які, однак, можуть бути інформаційно насиченішими в інших інформаційних алфавітах. Відтак кожний інформаційний алфавіт придатний для відтворення певної інформації, колігативність якої характеризує цей алфавіт. Зокрема у мовному алфавіті, який містить певну кількість власної інформації, використано об'єктивно існуючу акустичну різноманітність довкілля для відтворення інформації, суб'єктивно сформованої людиною. Діалектична єдність об'єктивно існуючої інформації та інформації суб'єктивно сформованої (переробленої) людиною, що відтворюється акустичною різноманітністю параметрів довкілля, засвідчує незалежність і неприв'язаність інформації як нематеріальної субстанції до будь-якого свого переносія.

Як виникає сигнал? Механізми формування сигналів при використанні різних переносіїв відрізняються між собою, однак, спільною є наявність взаємодії-відображення. Це двоєдиний процес, в якому взаємодія і відображення є різні боки моменту руху – вічного потоку змін усього суцього.

У результаті взаємодії один об'єкт змінює інший відповідно до своєї природи і відображає його зміною своїх параметрів. При цьому неперервно змінюється стан обох об'єктів. Відтак діалектична єдність процесу відображення взаємодії зумовлює діалектику збереження і зміни характеристик об'єктів, що взаємодіють.

Взаємозумовлені процесом взаємодія-відображення інформація і сигнал також мають низку моментів діалектичної єдності, зокрема:

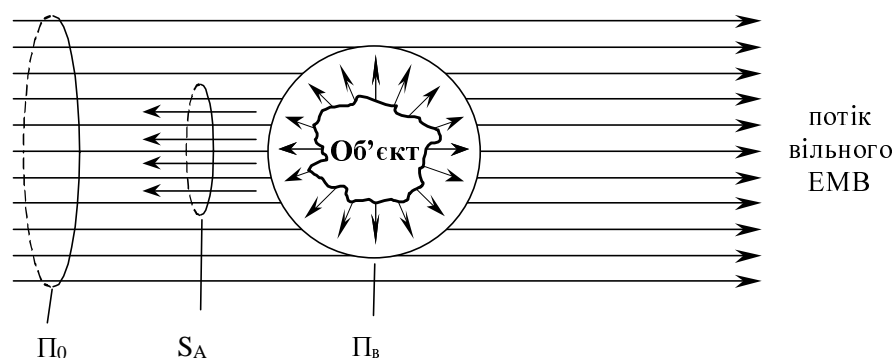
1. будь-яка інформація, як нематеріальна сутність, існує завдяки матеріальному сигналу;
2. будь-який сигнал завжди містить певну інформацію, власну чи зовнішню, що відображена у зміні параметрів свого переносія;
3. інформація із зміною переносіїв залишається незалежною та індиферентною у своїй сутності до цих переносіїв, у той час як переносії змінюють свої характеристики при фіксуванні інформації.

Отже, інформація внаслідок процесу взаємодія-відображення фіксується у зміні параметрів переносія, утворюючи сигнал:

1. статичний, коли переносієм є стійкий щодо впливу зовнішнього середовища матеріальний об'єкт;
2. динамічний, коли переносієм є процес, зокрема, зв'язане чи вільне ЕМВ.

Коли переносієм є зв'язане ЕМВ, виникає електричний сигнал, а коли переносієм є вільне ЕМВ – виникає електромагнітний сигнал, зокрема, радіосигнал. Електричний сигнал може перетворюватися в електромагнітний або в радіосигнал і навпаки. Оскільки переносій електричного сигналу має лише три змінних параметри (амплітуду, фазу та частоту коливальності), а електромагнітний – шість (три згаданих параметри, а також поляризацію і два кути, що визначають положення у просторі фронту електромагнітної хвилі), то та частина інформації, яка міститься у зміні параметрів, що відсутні у переносія електричного сигналу, губиться при безпосередньому перетворенні електромагнітного сигналу у електричний.

Електромагнітний сигнал, зокрема радіолокаційний, найчастіше утворюється при взаємодії вільного ЕМВ із об'єктом, що знаходиться в його потоці. Інформація внаслідок процесу взаємодія-відображення переноситься на ту частину потоку вільного ЕМВ, який безпосередньо контактує з поверхнею об'єкта (див. рисунок).



Ілюстрація механізму добування інформації за допомогою вільного ЕМВ

Сформований радіолокаційний сигнал відбирає із загального потоку тільки таку частину, яка пропорційна до ефективної поверхні об'єкта S_{ef} . Цей радіосигнал, що має густину потоку потужності P_e , розсіюється у всіх напрямках, розносячи зафіксовану у зміні

параметрів інформацію і зменшуючи, отже, ту її частину, яка повертається назад. На практиці здебільшого для одержання інформації про об'єкт використовують саме цю частину потоку потужності ЕМВ (позначимо її X). Кількісно X становитиме (у відсотках до енергії потоку)

$$X = 100 S_{e\phi} S_A k_e / 16 \pi^2 R^4 \quad [\%], \quad (5)$$

де $S_{e\phi}$ – ефективна поверхня об'єкта; S_A – площа перерізу потоку вільного ЕМВ, що повертається до джерела; k_e – коефіцієнт використання енергії відбитого потоку; R – відстань від об'єкта до джерела потоку вільного ЕМВ.

Згідно з (5) відсоток інформативної частини потоку, а відтак і корисної інформації, що міститься у зміні його параметрів, є незначний (обернено пропорційний четвертому степеню відстані до об'єкта). Це свідчить про низьку ефективність такого способу добування інформації. Для підвищення ефективності потрібно не тільки зібрати всю розсіяну у просторі енергію радіосигналу, але і реконструювати його розподілену у просторі структуру. Отже, потрібно знати алфавіти, якими відтворюється інформація про форму об'єкта, параметри його руху та положення у просторі. Елементами основних алфавітів є перші похідні амплітуди (A) і фази (Φ) коливань вільного ЕМВ за частотою (f), положенням (z) і тривалістю взаємодії-відображення (t). Ці похідні відтворюють таку інформацію [8]:

- $(d\Phi/dt)_{z,f}$ – про відносну швидкість переміщення об'єкта;
- $(dA/df)_{z,t}$ – про розмір об'єкта;
- $(dA/dz)_{t,f}$ – про форму об'єкта;
- $(dA/dt)_{z,f}$ – про зміну форми об'єкта;
- $(d\Phi/dz)_{t,f}$ – про кутову координату об'єкта;
- $(d\Phi/df)_{z,t}$ – про відстань до об'єкта.

Елементи алфавітів на основі вищих похідних, а також їх комбінацій, що відтворюють інформацію про інші параметри об'єкта, очевидно, матимуть незначний енергетичний ресурс, внаслідок чого результативність їх використання дуже обмежена.

Завершуючи цю статтю, хочу звернути увагу на одне методологічне питання. Воно стосується вільного ЕМВ.

Із розвитком цивілізації окремі ділянки частотного діапазону вільного ЕМВ освоювалися поступово різними галузями науки і техніки, що призвело до розмежування та різних назв цих ділянок:

- радіохвильове випромінювання, частоти $10^3 \dots 10^{12}$ Гц, освоювалося в радіотехніці та у різних технологічних процесах;
- теплове випромінювання, частоти $10^{12} \dots 3 \cdot 10^{15}$ Гц, освоювалося в енергетиці та техніці теплопередавання;
- оптичне випромінювання, частоти $3 \cdot 10^{11} \dots 3 \cdot 10^{17}$ Гц, поділяється на інфрачервоне, світлове і ультрафіолетове випромінювання, освоювалося в оптиці, світлотехніці, медицині та у різних технологічних процесах;
- рентгенівське випромінювання, частоти $3 \cdot 10^{17} \dots 3 \cdot 10^{20}$ Гц, освоювалося в медицині, рентгенодіагностиці, та у різних технологічних процесах;
- радіаційне випромінювання, частоти $3 \cdot 10^{20} \dots 3 \cdot 10^{23}$ Гц, освоювалося в атомній енергетиці та військовій техніці;
- космічне випромінювання, частоти $3 \cdot 10^{23} \dots 10^{24}$ Гц, освоюється в радіоастрономії та космічній техніці.

Чи виправдана така кількість назв одного і того ж фізичного явища? Нехтування у назвах єдиної фізичної природи вільного ЕМВ та гіперолізація однієї з багатьох властивостей, якою підмінюється справжня назва теплового, оптичного, рентгенівського, радіаційного і космічного електромагнітного випромінювання нерідко призводить до спотвореного розуміння сутності єдиного явища – вільного електромагнітного випромінювання з різною частотою коливань, яку можна ще трактувати як швидкість формування повного коливання електромагнітної хвилі.

1. Біленко І.І. *Фізичний словник*. – 2-е вид., перероб. і допов. – К.: Вища школа, 1993. – 319 с. 2. Шеннон К. *Работи по теорії інформації і кібернетикі*. – М.: ІЛІ, 1963 – 829 с. 3. Бриллюэн Л. *Научная неопределенность и информация*. – М.: Мир, 1966 – 271 с. 4. Бриллюэн Л. *Наука и теория информации*. – М.: Физмат., 1960. – 329 с. 5. Шилейко А.В., Кочнев В.Ф., Химушин Ф.Ф. *Введение в информационную теорию систем*. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с. 6. Игнатов В.А. *Теория информации и передачи сигналов: Учебник для ВУЗов*. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 280 с. 7. Тарасенко Ф.П. *Введение в курс теории информации*. – Томск, Изд. Томского университета, 1963. – 240 с. 8. Скольник М. *Введение в технику радиолокационных систем*. – М.: Мир, 1965. – 748 с. 9. Ребане К.К. *Энергия, энтропия, среда обитания*. – М.: Знание, 1985. – 64 с. 10. Дверняков В.С. *Солнце – жизнь, энергия*. – К.: Наукова думка, 1986. – 112 с. 11. Айламазян А.К., Стась Е. *Информатика и теория развития*. – М.: Наука, 1989. – 174 с.

УДК 621.378

Піотр Марецкі

Вища школа інформатики та управління, м. Бельско-Бяла (Польща)

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ЕЛЕМЕНТІВ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ

© Марецкі Піотр, 2001

Ця стаття присвячена математичному опису фізичних процесів, які лежать в основі т.зв. “квантових обчислень” – нового напрямку в науці, який виник і розвивається протягом двох останніх десятиліть, і відразу став об’єктом міждисциплінарних досліджень. Якщо квантові обчислення ляжуть в основу побудови квантових комп’ютерів, вони спричинять революційний переворот в теорії інформації.

The paper is devoted to a mathematic description of the physic processes in the new branch of science called “Quantum Computing”. The branch emerged quite recently (last two decades) and immediately focused quite interdisciplinary research. It provides a powerfull tools which – if implemeuted – would truly revolutionize the theory of information.

Сучасна квантова теорія інформації займається питаннями перетворення інформації за допомогою мікроскопічних систем, які описує квантова механіка. Аналогічно як підставою існування класичної теорії інформації є наука про електрику, яка пояснює принцип дії електронних приладів, так підставою квантової теорії інформації є квантова