

О.В. ПАЛАГІН

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *palagin_a@ukr.net*.

М.В. СЕМОТЮК

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *seto@i.ua*.

ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ, ЩО ВЛАСТИВІ ЖИВИМ ІСТОТАМ

Анотація. Розглянуто одну із складових інформаційних технологій — технології віртуалізації, що властиві винятково живим істотам. Показано взаємозв'язок технологій віртуалізації з іншими складовими інформаційних технологій, як-от кількісними технологіями, технологіями даних, технологіями знань. На прикладі моделі внутрішнього вуха людини продемонстровано, як технології віртуалізації працюють на практиці, даючи змогу одні фізичні параметри замінювати на інші в тому разі, коли можливості живої істоти є обмеженими.

Ключові слова: інформаційні технології, рівні технологій, технології віртуалізації, технології даних, технології знань, верифікація, стоячі хвилі, біжуча хвиля, поперечний резонанс, уявний експеримент, фізичний експеримент, віртуальне слідування, внутрішнє вухо, завитка, мембрана Рейснера, базилярна мембрана, квантування.

ВСТУП

Інформаційні процеси у живій природі поширені набагато більше, ніж це може здатися на перший погляд. Спроможність зберігати, передавати й отримувати інформацію є однією з особливостей живої матерії. Без неї неможливі нормальний обмін речовин, пристосування до умов навколишнього середовища, навчання тощо. У неживій природі інформаційні процеси також здійснюються, але відрізняються кількома особливостями і насамперед є мірою впорядкованості системи.

Відповідно до більшості формулювань інформація знижує невизначеність, надаючи відомості про навколишній світ і сприяючи приведенню системи до одного з безлічі станів. Для того, щоб інформація привела до правильного рішення, вона повинна мати певні характеристики — зрозумілість, корисність, повноту, об'єктивність, достовірність, актуальність.

Усі різноманітні дії, які можна виконувати з інформацією, називають інформаційними процесами. Це, зокрема, отримання інформації, її пошук, передавання, копіювання, упорядкування та фільтрування, а також захист та архівування. Інформаційні процеси у живій природі трапляються буквально на кожному кроці. Будь-який організм, одноклітинний або багатоклітинний, постійно отримує відомості про навколишнє середовище, які спричиняють зміни його поведінки у цьому середовищі. Без збору, оброблення та зберігання інформації важко уявити собі життєдіяльність будь-якої істоти. Найпростішим прикладом є мислення людини. За своєю суттю це не що інше, як процес постійного оброблення інформації про навколишнє середовище, стан тіла, а також відомостей, збережених у пам'яті тощо.

Усі інформаційні процеси, наявні у природі, здійснюються в межах певної системи [1]. Вона має три складові: передавач (джерело); приймач (одержувач); спосіб передавання або канал зв'язку. Передавачем може бути будь-який організм або навколишнє середовище. Наприклад, звуження або розширення зіниці відбувається під дією світла. Джерелом інформації у цьому процесі є простір навколо людини або тварини. Одержувачем у цьому випадку буде сітківка

ока. Каналом зв'язку називають середовище, що забезпечує доставляння інформації. Ним може виступати звукова або світлова хвиля, а також коливальні рухи середовища, що має іншу природу.

ВІРТУАЛІЗАЦІЯ У ЖИВІЙ ПРИРОДІ

Нині людство переживає науково-технічну революцію, матеріальною основою якої слугує комп'ютерна техніка. Як наслідок, з'явився новий вид технологій — інформаційні. Це процеси, де «вихідним матеріалом» і «продукцією» є інформація. Зрозуміло, що перероблення інформації пов'язано з певними матеріальними носіями, отже, воно включає також перероблення речовини та енергії. Але останнє не має істотного значення для інформаційних технологій, тому головну роль тут відіграє інформація, а не її носій. Як виробничі, так і інформаційні технології виникають у результаті цілеспрямованого активного впливу людини на ту чи іншу галузь виробництва. У свою чергу інформаційні технології мають низку складових, як-от технології віртуалізації, кількісні технології, технології даних та технології знань. У роботі [2] показано, що основою інформаційних технологій є технологія віртуалізації, яка ставить у відповідність реальним об'єктам, які спостерігає та чи інша жива істота, абстрактні об'єкти, що зберігаються в пам'яті цієї істоти (рис. 1).

Це пов'язано з тим, що, розглядаючи інформаційні процеси з погляду сучасних інформаційних технологій за схемою з рис. 1, ми стикаємося з невизначеністю певного типу. Відповідно до визначення терміна «інформаційні технології» суттєвою є власне інформація, а не її носій. Тому ми вважаємо живу істоту приймачем інформації в цілому. Насправді цей ланцюжок має продовження (рис. 2).

З рис. 2 видно, що метою передачі інформації для живих істот є створення в мозку віртуального (абстрактного) образу об'єктів, які ці істоти сприймають. Дійсно, передавачем інформації виступає той чи інший об'єкт, на якому сфокусована увага живої істоти. Носій (наприклад, світлові, звукові, теплові хвилі) передає інформацію про цей об'єкт до системи органів чуття істоти. У цьому випадку неважливо, якою є система — зоровою, слуховою або тактильною. Органи системи сприймають інформацію, здійснюють її первинне часове оброблення та перетворюють її здебільшого на відповідну відстань, оскільки швидкодія цих систем є низькою (швидкість спрацювання нейронів становить лише 1000 Гц). Далі нейрони мозку класифікують об'єкти, створюючи їхній віртуальний образ, оскільки інформація втрачає свою форму і не є точною копією (фотографією) об'єкта. Пам'ять мозку, зокрема короткотермінова, теж не є таблицею, яку ми зазвичай представляємо в комп'ютерних системах. Пам'ять у мозку є постійним обчислювальним процесом, який поки що не можна коректно визначити у деталях. Однак, можна уявити, що він здійснюється у такий спосіб. Спочатку інформація, проходячи через органи чуття, перетворюється у потрібну форму. Ней-

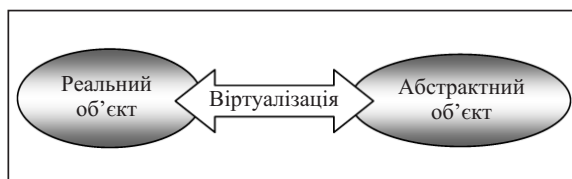


Рис. 1. Схема процесу віртуалізації



Рис. 2. Схема передачі та перетворення інформації для живих істот

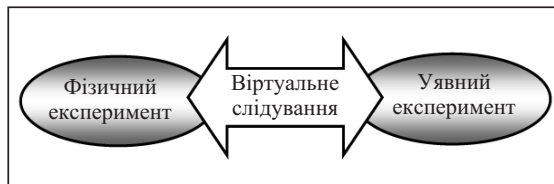


Рис. 3. Зв'язок експериментів

ронна мережа мозку здійснює її класифікацію, вибираючи найбільш вагомі значення. Цей процес є прямим. Далі здійснюється зворотний процес: інформація розповсюджується у зворотному напрямку, тобто відновлюється до образу, що був у початковому стані (зазвичай із

втратами, потрапляючи у периферійні нейрони, що зв'язують органи чуття з мозком). У штучних мережах цей процес називають зворотним поширенням помилки [3]. Периферійні нейрони здебільшого є двоаксонними, тобто вони можуть здійснювати порівняння образів, що надходять від органів чуття, з образами, сформованими самою нейронною мережею. Порівняння за критерієм максимальної правдоподібності дає можливість з'ясувати, з яким саме об'єктом для прийняття рішення ми стикаємося.

Отже, згідно з термінологією інформаційних технологій, здійснюється верифікація цих образів. Однак, реальні або просто фізичні об'єкти можуть змінюватися з плином часу, тобто з ними можуть здійснюватися різні процедури — фізичні експерименти. З іншого боку, мислення живих істот дає змогу також маніпулювати віртуальними образами в мозку (здійснювати уявний експеримент). Тоді можна формально сказати, що фізичний експеримент, який включає той чи інший фізичний об'єкт з набором дій над ним, зв'язаний з уявним експериментом деяким віртуальним слідуванням (рис. 3).

Далі множина допустимих фізичних експериментів та множина відповідних їм уявних експериментів, що пов'язані між собою віртуальним слідуванням, складають технологію віртуалізації. Взаємозв'язок складових інформаційних технологій наведено на рис. 4. Зрозуміло, що крім технології віртуалізації є кількісні технології, технології даних та технології знань. Очевидно, що знання або набір алгоритмів поведінки людини задаються під час народження і ця поведінка закодована у структурі ДНК людини. Інакше кажучи, у контексті інформаційних технологій людина народжується з певною «базою знань». Проте ця база не пристосована до використання, оскільки є універсальною, а за своєю структурою — розподіленою, тобто розкиданою по множині

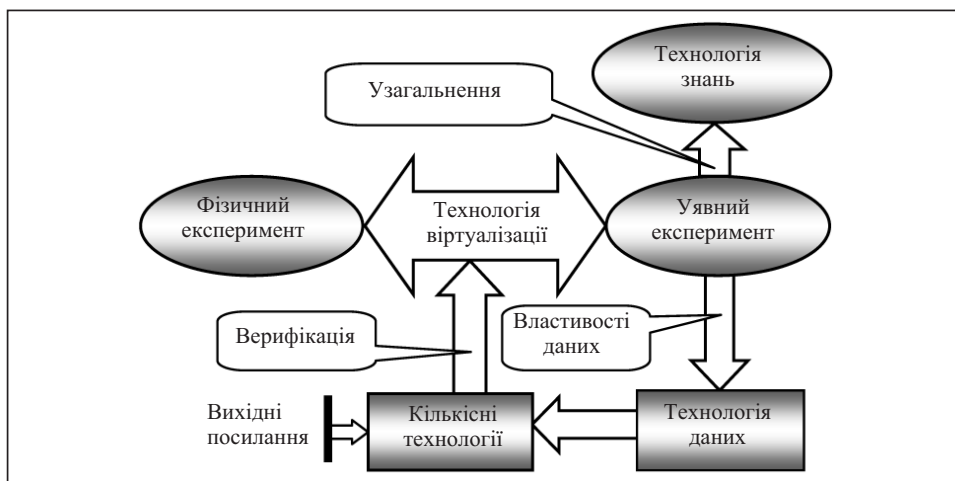


Рис. 4. Взаємозв'язок складових інформаційних технологій

нейронів. Зрозуміло, що для її функціонування потрібні додаткові відомості про ті конкретні параметри змінних, що знаходяться в базі знань. Ці параметри визначаються обстановкою навколишнього світу. Людина, яка щойно народилася, приступає до навчання, тобто до активації знань. Вона по суті наповнює базу даних, яка повністю зорієнтована на навколишній світ і містить значення прийнятних для життя параметрів тих чи інших величин, наприклад тепла, холоду, смаку тощо. У разі виходу за межі цих значень у людини виникають неприємні відчуття. Значення цих величин використовуються під час верифікації як набір констант для кількісних технологій. Зрозуміло, що база даних теж є розподіленою по нейронній мережі мозку та містить значення коефіцієнтів передачі між нейронами та їхніх порогів.

Отже, наївно вважати, що інформаційні технології притаманні тільки кібернетичним системам. Живі істоти здавна користуються інформаційними технологіями, причому задовго до виникнення цього терміна, бо це, принаймні, є їхній спосіб живання у природі. Але виникає таке запитання, що має не лише пізнавальний характер: в який спосіб живі істоти використовують ці технології? Для органів зору він є більш-менш зрозумілим. Око, як оптичний прилад та перетворювач форми інформації відповідно до схеми, наведеної на рис. 3, сприймає відбиті від об'єкта світлові хвилі, перетворюючи їх у зображення на сітківці ока у вигляді відстаней та енергетичних рівнів. Далі ці відстані сприймають і класифікують нейрони мозку. Зауважимо, що це зображення залишається незмінним доти, доки ця істота дивиться на цей об'єкт. Іншими словами, фактор часу, як фізичний параметр, що закладений в основу існування і розповсюдження світлових хвиль не має істотного значення. Це дає змогу істотам з малою швидкістю нейронів сприймати навколишнє середовище, тобто відбувається віртуалізація параметрів об'єктів. Здійснюється заміна часу на відстані та енергетичні співвідношення. Це все повністю вкладається у схему співвідношення фізичного та уявного експерименту (див. рис. 4), оскільки зрозуміло, що ці часові параметри світла ми можемо собі тільки уявити, тоді як у фізичному експерименті ми не можемо виміряти ці параметри, оскільки треба мати засоби, що мають швидкодію, більшу за швидкість поширення світлових хвиль. Отже, таку верифікацію уявного експерименту фізичним точно один до одного здійснити не можна, однак її можна виконати за допомогою аналізу кінцевих станів, тобто через певні проміжки (кванти) часу, так само, як у квантовій фізиці. Саме у такий спосіб ми можемо здобувати знання.

Другою за інформаційною важливістю є слухова система живих істот. Тут не все однозначно, оскільки немає єдиної достовірної теорії, яка пояснює всі аспекти сприйняття звуку людиною. Деякими сучасними теоріями є струнна теорія Гельмгольца, теорія біжучої хвилі Бекеші, мікрофонна теорія, електромеханічна теорія слухової системи живих істот. Основним недоліком цих теорій є те, що в їхніх межах розглядають тільки окремі аспекти слуху людини, не враховуючи власне будову вуха людини, особливо завитку вуха як фізичний прилад. Фізичні процеси, що відбуваються у завитці, у цих теоріях замінюють на вищі системи слуху, відповідно до яких часове оброблення звукових сигналів здійснює нейронна мережа мозку людини. Однак, виникає питання, чи є такі фізичні явища чи ефекти, що могли би скласти основу такої теорії і на це питання можна відповісти ствердно. Це — явище поперечного резонансу, що виникає у хвилеводах, коли поверхня хвилеводу має неоднорідності [4]. Однак, для звукових хвиль воно майже не вивчено, тому ми викладемо його з позицій уявного експерименту. Для цього розглянемо завитку вуха (рис. 5 [5]).



Рис. 5. Схематична будова вуха людини [5]

Вухо складається з трьох частин: зовнішнього вуха, середнього вуха з барабанною перетинкою, молоточком, коваделком та стремінцем та внутрішнього вуха, яким є завитка (равлик), де здійснюється аналіз звукових сигналів. Канал равлика або кістковий лабіринт — це сплющений конус. Елементи будови кісткової завитки є такими: основа завитки, купол завитки, стрижень завитки, кісткова спіральна пластинка, спіральний канал завитки, вестибулярні сходи, барабанні сходи і гачок спіральної пластинки. Кістковий лабіринт — це кісткова оболонка значної щільності, єдина кісткова структура організму, в якій не припиняє діяти механізм перебудови кістки. У завитці кісткова частина представлена веретеном і спіральним каналом завитки (равлика), який утворює 2,5 витка навколо веретена. До того ж, внутрішня поверхня завитки має ребра (сходинки). Інакше кажучи, є неоднорідності поверхні завитки, а отже, і передумови для виникнення явища поперечного резонансу. Суть явища поперечного резонансу полягає в тому, що під час поширення біжучої хвилі у хвилеводі за рахунок неоднорідності внутрішньої поверхні цього хвилевода виникає дифракція хвилі і, як наслідок, створюється стояча хвиля у поперечному напрямку до поширення біжучої хвилі, якщо поперечний діаметр хвилевода є кратним половині довжини хвилі, незважаючи на те, що хвиля є поздовжньою.

Далі стояча хвиля накопичує енергію біжучої хвилі, суттєво збільшуючи її амплітуду, що власне і є явищем поперечного резонансу. Оскільки завитка має форму конуса, то у поперечному перерізі ця хвиля є круговою і має вигляд, наведений на рис. 6.

Нехай рівняння прямої поперечної хвилі має вигляд $s_1 = A \cos(\omega t + \varphi)$, а рівняння відбитої хвилі — $s_2 = A \cos(\omega t - \varphi(D))$, де φ — фаза прямої поперечної хвилі, $\varphi(D)$ — фаза відбитої хвилі, що є функцією діаметра поперечного перерізу каналу завитки, A — її амплітуда. Тоді їхня сума має вигляд

$$s = s_1 + s_2 = 2A \cos(\varphi - \varphi(D) / 2) \cos(\omega t + (\varphi + \varphi(D)) / 2). \quad (1)$$

З цього виразу видно, що член $2A \cos(\varphi - \varphi(D) / 2)$ представляє амплітуду цього коливання, а $\cos(\omega t + (\varphi + \varphi(D)) / 2)$ описує власне коливальний процес. Очевидно, що коли різниця фаз $(\varphi - \varphi(D) / 2)$ залежно від діаметра каналу завитки дорівнюватиме нулю, тоді саме в цьому місці виникає стояча хвиля, а також з часом явище поперечного резонансу. Амплітуда стоячої хвилі в цьому

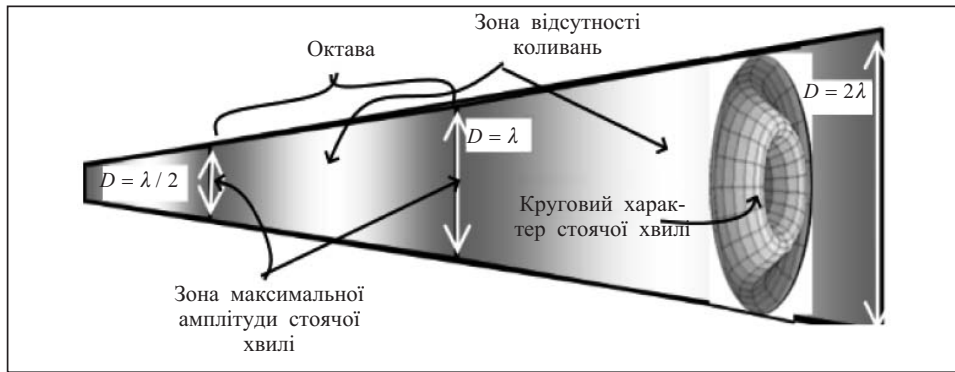


Рис. 6. Патерн (рисунок) стоячої хвилі фіксованої частоти

місці є найбільшою і дорівнює $2A$. Також очевидно, що у разі віддалення від зазначеного місця амплітуда буде спадати за косинусоїдним законом. У тому поперечному перерізі каналу завитки, де різниця цих фаз становитиме 90° , амплітуда дорівнюватиме нулю. Віддаляючись від цього місця, знову спостерігають зростання амплітуди коливань. Амплітуда стоячої хвилі знову досягне максимуму в тому поперечному перерізі, де він буде кратним $D = 2 * \lambda / 2$ і т.д. Очевидно, що відбувається інтерференція хвиль [3], тобто чергування максимумів та мінімумів, як показано на рис. 6.

Якщо частота стоячої хвилі змінюватиметься, то і цей патерн буде відповідно зсуватися вліво або вправо залежно від напрямку зміни частоти хвилі. Тоді, вибравши два близьких діаметра поперечного перерізу ходу завитки, який представляє собою конус, у співвідношенні один до двох і розбивши цю ділянку зазначеного ходу (у цьому випадку відстань між двома максимумами $D(\lambda / 2)$ і $D(\lambda)$) на 12 рівних частин, отримуємо в цих перетинах стоячі хвилі з довжинами, що відповідають частотам нотного ряду, тобто $f_{i+1} / f_i = \sqrt[12]{2}$. Кількість частот цієї ділянки є октавою. Це співвідношення, розподілене по довжині завитки (прив'язане, як кажуть, до місця в межах завитки), є майже лінійним (похибка коливається у межах сотих часток міліметра). Отже, саме завдяки конічній формі завитки можна аналізувати частотний склад звукових сигналів.

Однак, виникає інше запитання, пов'язане з розмірами завитки. Для звукових сигналів вона повинна мати більші розміри, оскільки для частоти, скажімо 200 Гц, довжина хвилі за умови швидкості звуку в повітрі 300 м/с, становитиме $3/2$ м. Тоді діаметр завитки мав би становити $3/4$ м. Тому людина не сприймає звукові сигнали безпосередньо. Вона перетворює звукові коливання у коливання рідини завитки внутрішнього вуха, відомі у фізиці як хвилі зсуву [3]. Це зумовлено тим, що звукові хвилі середнього вуха безпосередньо не можуть бути передані в рідину, якою заповнено внутрішнє вухо, оскільки звукова хвиля відбивається від межі розділу середовищ. Інакше кажучи, звукова хвиля напряму не потрапляє у вестибулярний канал завитки. Перетворення звукових коливань у хвилю в перилімфі здійснюється середнім вухом людини, де є всі необхідні «інструменти», а саме барабанна перетинка, що сприймає звукові коливання, важіль у вигляді двох слухових кісточок (молоточок, коваделко) і стремінце, яке є тим поршеньком, що розхитує перилімфу в каналі завитки. Це створює пружну поперечну біжучу хвилю, проте вже у мембрані Рейснера за рахунок її однорідних еластичних властивостей по всій довжині. Ця хвиля є прототипом відомої в медицині пульсової хвилі.

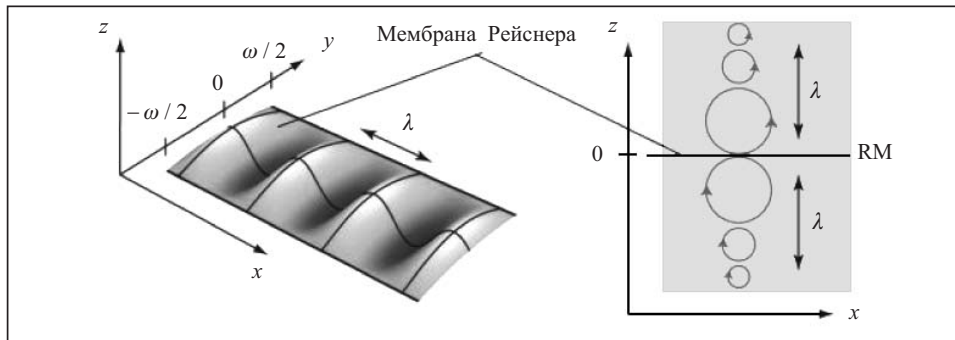


Рис. 7. Поперечна пружна хвиля на мембрані Рейснера

Біжуча пружна хвиля, утворена мембраною Рейснера, має швидкість, що становить близько 2–5 м/с, на відміну від швидкості звуку в рідині, що становить 1500 м/с. Це дало змогу мініатюризувати слухову систему людини, в іншому випадку довжина каналу завитки повинна бути не менше десятка метрів. Про існування таких хвиль свідчить робота, виконана в університеті Рокфеллера США [6]. Зауважимо, що звукова хвиля є поздовжньою хвилею, в якій коливання відбуваються вздовж напрямку поширення. Пружна хвиля, що утворюється на мембрані Рейснера [6], є поперечною хвилею (рис. 7), в якій коливання відбуваються в напрямку, перпендикулярному до напрямку поширення хвилі. Це створює необхідні передумови для утворення хвиль зсуву в каналі завитки та виникнення явища поперечного резонансу.

Коливання, що виникають в результаті руху стремінця за рахунок пружних властивостей Рейснерової мембрани, поширюються вздовж вестибулярного каналу завитки до гелікотреми у вигляді біжучої хвилі. Частина хвилі відбивається від гелікотреми, а частина хвилі проходить через отвір у гелікотремі. Відбита хвиля змінює свою фазу на 180° , водночас хвиля, що проходить крізь гелікотрему, свою фазу не змінює. Тому відбита хвиля у вестибулярних сходах і пряма хвиля у барабанних сходах компенсують одна одну в середніх сходах спірального завиткового ходу між Рейснеровою і базилярною мембранами і в каналі завитки немає відбитої хвилі (див. рис. 5). Отже, в результаті еволюції виник простий спосіб компенсації відбитої хвилі за рахунок відповідного діаметра отвору гелікотреми.

Поперечна складова біжучої хвилі, утворена мембраною Рейснера, у середніх сходах равликового ходу проходить крізь базилярну мембрану в порожнину барабанних сходів, де відстань між базилярною мембраною та внутрішньою кістковою поверхнею зменшується за рахунок деформації мембрани круглого вікна, оскільки перилімфа, як рідина, не стискається, бо є в'язкою. Далі поперечна складова хвилі відбивається від кісткової поверхні барабанних сходів і повертається назад крізь базилярну мембрану, проходить порожнину середніх сходів і повертається через мембрану Рейснера у порожнину вестибулярних сходів (див. рис. 5). У тому місці, де поперечний переріз каналу завитки (її діаметр) дорівнює половині довжині хвилі, утворюється стояча хвиля (див. рис. 6), оскільки в кінцічному перетині завитки завжди знайдеться підходящий поперечний переріз діаметром $D = \lambda / 2$. Далі стояча хвиля накопичує енергію біжучої хвилі, суттєво збільшуючи її амплітуду, тобто виникає явище поперечного резонансу. Однак, у цьому разі явище поперечного резонансу полягає в суттєвому збільшенні амплітуди стоячої хвилі, спричиненому біжучою хвилею у мембрані Рейснера.

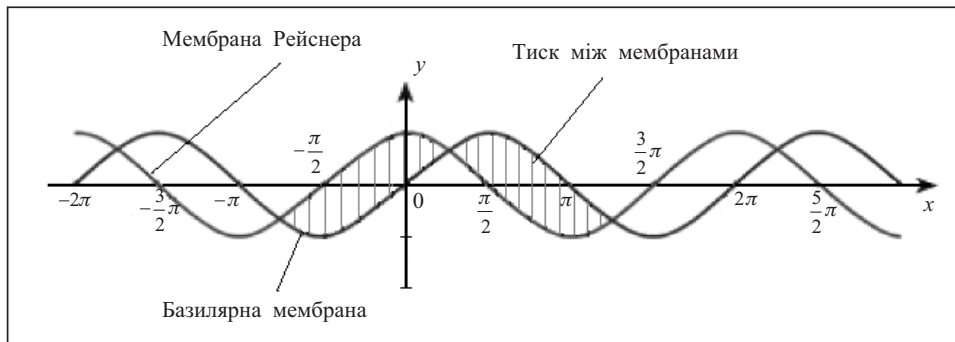


Рис. 8. Залежність тиску між мембраною Рейснера та базилярною мембраною

Зауважимо, що в точках максимуму амплітуди вузли стоячої хвилі будуть знаходитися на кістковій поверхні каналу завитки. Про перехідну зону цього сказати не можна, оскільки немає даних про швидкість біжучої хвилі у мембрані Рейснера. Однак, це не має суттєвого значення. Важливим є те, що в точках мінімуму і максимуму процес буде стабільним і ці точки будуть прив'язані до свого місця, тобто їх завжди можна точно визначити. Тоді дві мембрани, мембрана Рейснера та базилярна мембрана, будуть синхронно коливатися в цих місцях, однак з різними, але постійними фазами. Постійна різниця фаз у точках максимуму та мінімуму (тобто в зоні стоячої хвилі) створить майже постійний тиск між цими мембранами у середніх сходах (рис. 8). Це у свою чергу зумовить майже постійний протягом часу коливання частковий об'єм рідини (ендолімфи) між цими мембранами і, як наслідок, постійний протягом часу коливання заряд цієї ділянки рідини. Ця величина заряду зчитується волосовими клітинами базилярної мембрани і передається далі нейронам слухової системи.

Оскільки протяжність у часі звукових сигналів, які сприймаються живими істотами (від 20 мс для мовленнєвих сигналів до 200 мс для музичних звуків), є значно більшою ніж періоди їхніх складових частот, величина тиску між мембранами буде майже постійною протягом часу дії того чи іншого звукового сигналу. За такий час нейронна мережа мозку зчитає їхні характеристики принаймні 20 разів, виходячи з швидкодії нейронів в 1 кГц, узгоджуючи, таким чином, недостачу їхньої швидкодії.

Зазначимо також, що зазначену інтерференцію не можна сфотографувати швидкісною камерою, як у випадку хвиль світла, бо вона розвивається у часі та за напрямком і пов'язана зі швидкістю біжучої хвилі у мембрані Рейснера. Інакше кажучи, максимумами амплітудних значень стоячих хвиль за косинусоїдним законом не є одночасними, бо є функціями часу. З іншого боку, чергування цих максимумів

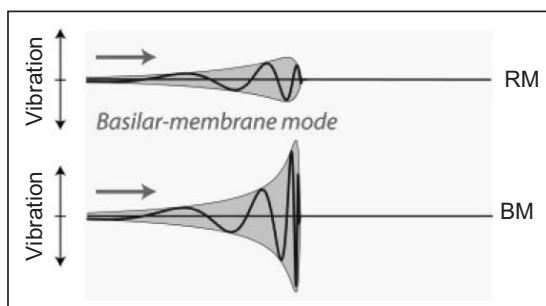


Рис. 9. Біжуча хвиля на базилярній мембрані [6]

більше нагадує процес біжучих вогнів, а це у свою чергу створює ілюзію біжучої хвилі в базилярній мембрані, що і було визначено дослідом Бекеші. Інакше кажучи, біжучої хвилі у базилярній мембрані у класичному розумінні немає, просто її ілюзію створює взаємодія поперечних стоячих хвиль у каналі завитки (рис. 9 [6]).

Людина добре розрізняє музичні твори, тобто вона досить точно визначає частоти нотного ряду. Це означає, що добротність, а разом з тим вибірковість (тобто здатність розрізняти) слухової системи людини є досить високою. Вона визначається таким співвідношенням:

$$Q = (f_i + f_{i+1}) / 2 * (f_{i+1} - f_i) = (f_i + \sqrt[12]{2} * f_i) / 2 * (\sqrt[12]{2} * f_i - f_i) = (1 + \sqrt[12]{2}) / 2 * (\sqrt[12]{2} - 1) \approx 17,32.$$

Як відомо, вухо людини є пасивною системою, оскільки не має в своєму складі підсилювальних елементів. Пасивні системи мають добротність на рівні 1–2. Тому сумнівним є твердження, що зв'язані між собою живі клітини базилярної мембрани мають зазначену вище добротність, оскільки не видно, за рахунок чого може виникати підсилення сигналу. Тільки явище поперечного резонансу дає змогу отримати значення добротності, вказане вище. На початку виникає стояча хвиля, перший період якої збільшує амплітуду сигналу вдвічі. А далі явище поперечного резонансу спричиняє ще більше зростання амплітуди, допоки не встановиться рівновага між припливом енергії з біжучої хвилі та втратами цієї енергії на внутрішнє тертя в перилімфі, як у в'язкій рідині. Тут стояча хвиля поводить як «чорна діра», що поглинає енергію біжучої хвилі. У хвилеводах це явище є паразитним, яке порушує їхню нормальну роботу, але в результаті еволюції воно стало корисним. Інакше кажучи, цей процес можна ототожнити з роботою відомого у радіотехніці режекторного фільтра, який поглинає енергію окремої частоти сигналу, не впливаючи на інші складові.

У більшості моделей вуха завитку розглядають у розгорнутому вигляді, вважаючи, що скручена у спіраль завитка (див. рис. 5) не впливає на сутність фізичних процесів, що відбуваються у внутрішньому вусі [7]. Однак, це не так. Спираючись на результати досліджень отоакустичної емісії, проведених науковцями університету Рокфеллера [6], зауважимо, що хвиля, утворена в мембрані Рейснера, є сферичною хвилею (див. рис. 7). Це докорінно змінює ситуацію. Відомо, що сферична хвиля — це хвиля, фронт якої є сферою. Вектор фазової швидкості сферичної хвилі розходить і орієнтований у радіальному напрямку від джерела (хвиля радіально розходить від джерела або сходиться до джерела). Тоді у поперечному перетині конуса завитки матимемо кругову хвилю, обмежену внутрішньою поверхнею каналу завитки (див. рис. 6). Очевидно, що енергія кругової хвилі, що є перетином сферичної хвилі, у цьому місці буде зберігати своє значення за винятком втрат на тертя у рідині. Однак, якби завитка вуха мала розгорнутий вигляд (рис. 10, а), то стоячої сферичної хвилі не було б, бо за її наявності відповідна енергія розтікалася би по всій довжині завитки (рис. 10, а).

Еволюція забезпечила розв'язання цієї проблеми, закрутивши конус завитки у спіраль так, щоб кут падаючої хвилі дорівнював куту відбитої хвилі, що дає змогу купірувати (сфокусувати) енергію сферичної хвилі (рис. 10, б).

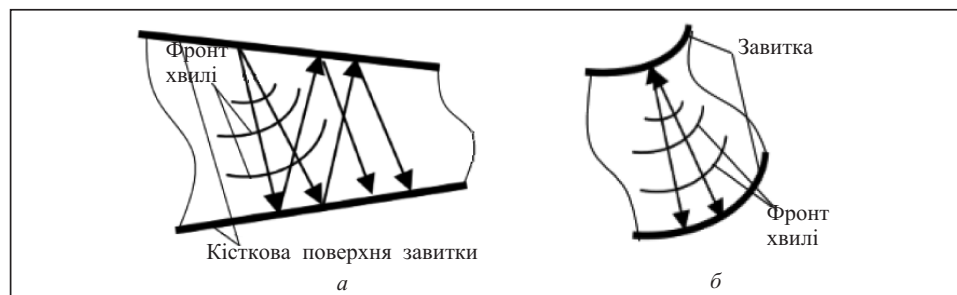


Рис. 10. Сферична хвиля: розгорнута (а), скручена у спіраль (б)

ВИСНОВКИ

Аналіз сучасних інформаційних технологій свідчить про те, що основою цих технологій є технології віртуалізації, використання яких спричиняє застосування технологій знань. Інші складові інформаційних технологій, як-от технології даних та кількісні технології, використовують лише для верифікації технологій віртуалізації.

На прикладі інформаційних процесів, що відбуваються у вусі людини, показано, як працює технологія віртуалізації, коли одні фізичні параметри замінюються іншими і в результаті живі істоти можуть сприймати швидкодійні процеси, що є дуже важливим аспектом їхньої життєдіяльності. Вивчаючи технологію віртуалізації, легко побачити, що обмеження просторово-часових координат спричиняє виникнення періодичності фізичних процесів, тобто їхнє повторення. Так, стоячі хвилі у вусі людини з'являються в результаті обмеження (у той чи інший спосіб) простору у вигляді завитки вуха. Щось схоже можна сказати і щодо органів зору.

Ще одним важливим аспектом віртуалізації є квантування. Відповідно до сучасної наукової парадигми фундаментальні фізичні теорії мають бути квантовими. Під час квантування можуть виникати різні обмеження та фізичні ефекти. Очевидно, що це дає можливість живим істотам створювати певні знання про навколишнє середовище.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов А.Н. Информационное взаимодействие в технических и живых системах. Информационные процессы. 2001. Т. 1, № 1. С. 1–9.
2. Палагін О.В., Семотюк М.В., Устенко С.В. Хаотичні архітектури — новий напрямок розвитку обчислювальної техніки. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. Т. 56, № 3. С. 184–193.
3. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс. Москва: Издательский дом Вильямс, 2008. 1103 с.
4. Ваганов Р.Б., Матвеев Р.Ф., Мериакри В.В. Многоволновые волноводы со случайными нерегулярностями. Москва: Сов. радио, 1972. 232 с.
5. Слюсарев А.О., Самсонов О.В., Мухін В.М. та ін. Біологія: Навч. посіб. Київ: Вища шк, 2002. 622 с.
6. Reichenbach T., Stefanovic A., Nin F., Hudspeth A.J. Waves on Reissner's membrane: a mechanism for the propagation of otoacoustic emissions from the cochlea. *Cell Reports*. 2012. Vol. 1, Iss. 4. P. 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2012.02.013>.
7. Варин В.П., Петров А.Г. Гидродинамическая модель слуховой улитки человека. *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.* 2009. Т. 49, № 9. С. 1708–1723.

O.V. Palagin, M.V. Semotiuk

TECHNOLOGIES OF VIRTUALIZATION OF LIVING BEINGS

Abstract. The authors consider one of the components of information technology — virtualization technologies, which are unique to living beings. The relationship of virtualization technologies with other components of information technologies, such as quantitative technologies, data technologies, knowledge technologies, is shown. Using the model of the human inner ear as an example, it is shown how they work in practice, allowing some physical parameters to be replaced by others when the possibilities of a living being are limited.

Keywords: information technologies, technology levels, virtualization technologies, data technologies, knowledge technologies, verification, standing waves, traveling wave, transverse resonance, imaginary experiment, physical experiment, virtual following, inner ear, helix, Reissner's membrane, basilar membrane, quantization.

Надійшла до редакції 04.02.2022