

БІОМЕДИЧНА РАДІОЕЛЕКТРОНІКА

519.816:007.001.33

Лариса Гліненко

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій

БІОТЕХНІЧНІ ЕФЕКТИ ЯК ЕЛЕМЕНТ БАНКУ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ

© Гліненко Лариса, 2004

Проаналізовано підходи до тлумачення біофізичних та біохімічних ефектів та їх відповідність задачам у галузі БТМС і на основі біосистемотехнічного підходу запропоновано моделювання цих ефектів у вигляді біотехнічних ефектів.

Approaches to interpreting the biophysical and biochemical effects and their compliance to BEMS concerned problems are analyzed and biomedical system engineering approach is used to ground modeling these effects as bioengineering ones.

Постановка проблеми

Ефективне керування процесами розвитку та вдосконалення біотехнічних та медичних систем (БТМС) неможливе без широкого застосування для розв’язання задач синтезу таких систем фундаментальних знань про перебіг фізичних та хімічних процесів у біологічних об’єктах (БО). Проте накопичення таких знань йде набагато інтенсивніше і екстенсивніше, ніж створення методів їх ефективного аналізу та застосування для практичного використання в процесі проектування та експлуатації БТМС. Ефективним способом вирішення цієї проблеми є створення і використання в певний спосіб організованих комп’ютерних баз науково-технічних ефектів, які є невід’ємною складовою діалогових систем структурного синтезу, проте жодна з відомих сьогодні таких баз [1] практично не містить відомостей про ефекти, що мають місце у живій природі. Якщо і робиться спроба введення до складу бази науково-технічних ефектів описів явищ, пов’язаних з БО, то це стосується виключно явищ, які можуть бути застосовані як замітники аналогічних “неживих” інструментів реалізації певних технічних функцій, тобто обмежуються застосуванням БО, як об’єктів по перетворенню неживого (наприклад, очищення стічних вод тощо). Не існує БД, які б містили відомості про біофізичні та біохімічні явища в самих БО, впливи на них різноманітних полів та речовин, тобто про можливість реалізації певних функцій стосовно БО. Це призводить до затримки у створенні принципово нових БТМС та ускладнює процес прогнозування наслідків застосування медичної апаратури різного призначення стосовно основного її споживача – людини. До основних причин цього можна, на наш погляд, віднести неоднозначність тлумачення понять “біофізичне (біохімічне) явище”, і, як наслідок, невизначеність понять “біофізичний (біохімічний) ефект”, що робить неможливим подання цих ефектів у вигляді науково-технічних ефектів, що є необхідною передумовою організації таких ефектів у прикладну базу даних, ефективну для розв’язання задач синтезу БТМС.

Аналіз останніх досліджень та виділення невирішених задач

Під ефектом розуміють перетворення, яке охарактеризоване його початковою ситуацією (до перетворення), результатом перетворення і умовами, за яких початкова ситуація перетворюється в результат перетворення [2].

Структура звичайного наукового ефекту виглядає так: якщо певний об'єкт X , який може бути описаний множиною своїх елементів $X=\{x_i\}$, взаємозв'язків між ними $L=\{L_{ij}(x_i, x_j)\}$, властивостей елементів та зв'язків $P=\{P_j(x_i)\} \cap \{P_k(L_{ij})\} \cap \{P_{rcum}\}$, з системними властивостями P_{rcum} включно, опиниться в умовах $Y=\{Y_i\}$ або буде підданий дії умов Y , то відбудеться перетворення $Z(X)$ об'єкта X з отриманням результатів перетворення $X^I + X^n$, яке може полягати у зміні елементного складу, структури та властивостей об'єкта, аж до повного знищення або виникнення нового об'єкта.

Саме таку структуру мають ефекти в класичних фізичних або хімічних енциклопедіях, довідниках та підручниках. Наприклад, ефект пам'яті форми – це поновлення внаслідок нагрівання після пластичної деформації початкової форми виробу для виробів зі сплавів $Ni-Ti$, $Au-Cd$; $Ti-Co$; $Ti-Fe$ тощо, а також в деяких полімерних виробках, сформованих у високопластичному стані. *"Щелкни кобылу в нос – она махнет хвостом"*, – писав колись незабутній Козьма Прутков. Несвідомо він виразив формулу прямого вказівника ефектів – від об'єкта та дії на нього до нових якостей системи. Описи ефектів у таких джерелах не впорядковані ані щодо початкових умов, ані щодо результатів перетворень. Щонайкраще можна говорити лишень про певну систематизацію за умовами (природою) перетворень (електричні явища, механічні тощо).

При розв'язанні задач структурного синтезу технічних систем необхідна реалізація зворотного пошуку: за бажаним результатом перетворення \rightarrow спосіб перетворення. Тому в 80-і роки ХХ ст. була запропонована модель ефекту у вигляді науково-технічного ефекту (НТЕ) [2]. Аналогічний порядок пошуку необхідний при знаходженні способів діагностування та лікування захворювань за допомогою БТМС [3].

Науково-технічні ефекти (НТЕ) – це ефекти, описані як певне перетворення стану об'єктів довільної природи за певних умов, структуровані за результатами перетворення та функціями (діями) стосовно довільних об'єктів, реалізацію яких можна забезпечити цим перетворенням безпосередньо або опосередковано, а також за ресурсами (властивостями об'єкта перетворення X та зовнішніх умов Y), необхідними для отримання бажаного перетворення. Перетворення Z об'єкта X подаються через функції по зміні його властивостей; додатковий набір функцій отримується в результаті аналізу можливих безпосередніх наслідків в результаті перетворень. Таким чином, при поданні у вигляді НТЕ ефект розглядається як потенційний носій певного корисного результату, який і виступає як ключова пошукова ознака в базах даних науково-технічних ефектів. Моделі ефектів у вигляді НТЕ є складовою банку моделей як самостійних баз даних ефектів, так і інтелектуальних систем підтримки пошуку нових технічних рішень [4].

Згідно з вищезгаданим визначенням НТЕ класифікуються за такими класифікаційними ознаками [5]: об'єкт перетворення (речовина або поле); результат перетворення (якісна зміна (зміна природи або фізико-хімічного стану об'єкта); кількісна зміна (зміна значення певного параметра об'єкта)). Подання довільного наукового ефекту у вигляді НТЕ дає змогу організувати ефекти у систему (базу ефектів) за ознаками: "результат перетворення", "об'єкт перетворення"; "початкові умови", тобто може задовольнити вимогам користувачів з кола розробників технічних систем, об'єктом дії яких є нежива природа.

Що ж до біофізичних ефектів, то не існує чіткого визначення щодо того, що таке біофізичний ефект узагалі, не кажучи вже про його модель як НТЕ. Розвиток біології та фізіології показав, що для розуміння і вивчення елементарних біологічних явищ, необхідне застосування понять і методів точних наук. Такий підхід виправданий тим, що всі біологічні об'єкти являють собою в кінцевому результаті сукупність атомів і молекул і підпорядковуються фізичним і хімічним закономірностям. Але біологічні системи – це системи, що самоорганізуються і набувають в процесі еволюції багатьох властивостей, відсутніх в неживій природі. Складність біологічних систем забезпечує перебіг процесів, малоймовірних для умов, що переважно беруться до уваги в неживій природі. Біологічні системи переважно розглядаються як цілісні, а не як сполучення хімічних компонент, що піддаються довільній декомпозиції. В зв'язку з цим виникає необхідність, з одного боку, переробляти відомі фізико-хімічні методи дослідження, створюючи високоспеціалізовані біофі-

зичні методи і прийоми дослідження, під якими розуміють специфічні способи застосування фізичних і хімічних явищ в дослідженні БО. Саме так тлумачить біофізику Р. Давид: «Біофізика – це галузь науки, що застосовує комплекс експериментальних і теоретичних методів фізики та фізичної хімії для вивчення біологічних об'єктів» [6]. За такого підходу до біофізичних ефектів будуть відноситися явища, що виникають у біологічних об'єктах під дією фізичних полів, та фізичні і фізико-хімічні явища в біооб'єктах, природа яких піддається дослідженню методами фізики та хімії.

З іншого боку, сам перебіг навіть відомих фізичних і хімічних процесів у БО набуває специфіки; крім того, в БО мають місце явища, відсутні в неживій природі взагалі. Усім цим також займається біофізика – наука, предметом якої є вивчення фізичних і фізико-хімічних процесів, що протікають в живих організмах, а також ультраструктура біологічних систем на всіх рівнях живої матерії – від субмолекулярного і молекулярного до клітини і організму в цілому [7]. Таке визначення характерне для школи Тарусова–Блюменфельда, стосовно парадигми якої *біофізика* розглядається як фізична хімія і хімічна фізика біологічних систем [7]. При цьому основна увага зосереджується на специфічних властивостях БО та процесах у них, що ідентифікують БО як живий. Л.А. Блюменфельд визначає біофізику як частину біології, “що має справу з фізичними принципами побудови і функціонування деяких відносно простих біологічних систем, розглядаючи їх як дещо дане і не торкаючись безпосередньо питання їх виникнення і еволюції” [8], а М.В. Волькенштейн говорить: “Біофізика – це фізика живих організмів” [9].

За такого визначення біофізики *біофізичними ефектами* можна вважати всі фізичні ефекти в біологічних об'єктах (БО) як спільні для БО і неживої матерії, так і відмінні, притаманні виключно БО, які як в цілому, так і в плані окремих органів чи тканин в такому випадку розглядаються як певний особливий різновид речовини. Очевидно, що аналогічно виглядатиме і визначення біохімічних ефектів.

Білоруський біолог Тимохов В. І. висуває свою думку щодо біологічного ефекту і говорить, що “...біологічний ефект – це застосування біологічних об'єктів у життєдіяльності людини, у тому числі й винахідничстві”. Як БО можуть виступати як рослини і тварини, так і одноклітинні, бактерії, ферменти тощо [10]. Саме підхід Тимохова використаний при поданні біологічних ефектів в системі TechOptimizer, база даних “Biological Effects” [11].

Це суто “технарський” підхід, за якого біооб'єкт розглядається лише як інструмент (носій) певної технічної функції стосовно живих і неживих об'єктів, яка цілеспрямовано реалізується людиною при створенні технічних систем. Очевидно, що за такого підходу практично всі біофізичні та біохімічні ефекти за Тарусовим (фізичні та хімічні ефекти в БО) з розгляду випадають, що для задач проектування і експлуатації БТМС недопустимо. З другого боку, відкинувши тлумачення Тарусова, ми істотно звизимо можливості застосування БО при розробці ТС, в тому числі і БМАС, якщо БО виступає не як об'єкт функції, а як її суб'єкт.

Отже, різноплановість та розпливчастість тлумачення поняття біофізики як галузі науки ускладнює введення коректного поняття біофізичного ефекту, не говорячи вже про його подання у вигляді НТЕ. Це, своєю чергою, робить неможливим організацію таких ефектів у базу науково-технічних ефектів і ефективне застосування їх для розв'язання задач синтезу БТМС.

Мета роботи – аналіз наявних підходів до тлумачення понять “біофізичний (біохімічний) ефект”, введення несуперечливого його визначення відповідно до вимог ефективного застосування таких ефектів для розв'язання інженерних і медичних задач і подання моделі біофізичного (біохімічного) ефекту як НТЕ.

Основні результати дослідження

Аналіз наведених вище визначень біофізичного та біологічного ефектів дає змогу стверджувати, що кожне з них уможливує подати такий ефект, як НТЕ, проте жодне з них зокрема не відповідає повною мірою вимогам біосистемотехнічного підходу до проектування БТМС [12] і не

охоплює всіх можливостей застосування таких ефектів для розв'язання інженерних і медичних задач. Кожне з цих визначень охоплює лише певну частину корисних для розв'язання цих явищ, перебіг та застосування яких безпосередньо пов'язані з БО.

Тому у цій роботі нами для тлумачення біофізичного (біохімічного) ефекту був використаний прийом об'єднання існуючих вербальних моделей M_i (визначень) таких ефектів, який уможливив запропонувати визначення біофізичного (біохімічного) ефекту як довільного фізичного (хімічного) ефекту (явища), перебіг якого має місце за участі біологічних об'єктів. Модель такого ефекту у вигляді НТЕ пропонується назвати біотехнічним ефектом (БТЕ).

Отже, в цій роботі використано інтегрований підхід до тлумачення, який ґрунтується на визначенні науково-технічного ефекту (тобто ми досліджуємо БФТЕ і БХТЕ, а не просто БФЕ та БХЕ) та біосистемотехнічному підході до проектування БТМС. Це дає змогу ввести коректне визначення БТЕ, достатнє для організації таких ефектів у ефективну базу даних згідно з користувачькою моделлю баз такого типу без остаточного окреслення сфери інтересів біофізики та біохімії.

Іншими словами, як БТЕ, нами розглядається поданий у формі НТЕ довільний фізичний чи хімічний ефект (явище), перебіг якого має місце за участі біологічних об'єктів. При поданні наукового ефекту у вигляді ефекту науково-технічного зберігається опис перетворення $Z(X)$ об'єкта X , проте в структуру ефекту вводяться, на основі теоретичних або емпіричних досліджень умов і результатів перебігання ефекту, нові елементи – ресурси ефекту R та функції Φ . Сам об'єкт X та умови здійснення перетворення $Z(X)$ входять до складу ресурсів, утворюючи підмножину ресурсів першого порядку $R(1)$: $R(1)=X \cap Z(X) \subseteq R$. Дії по безпосередньому перетворенню об'єкта X є найбільш очевидними функціями ефекту, де під функціями ефекту розуміють множину перетворень довільних об'єктів та їх параметрів, яка може мати місце в разі реалізації цього ефекту. Функції ефекту – це різновид технічних функцій, поняття яких впливає з поняття причинно-наслідкового зв'язку і моделювання процесів у термінах операцій.

Зв'язок дії, або причинно-наслідковий зв'язок – це декартів добуток дій на об'єкти та носії дії: $T\Phi = D \times O \times N$, де D , O , N – універсальні множини дій, об'єктів та носіїв дій, достатні для описання довільної функції. Технічні функції i -го ефекту – це підмножина функцій, реалізована за допомогою цього ефекту:

$$T\Phi_{\text{еф}i} = D^i \times O^i \times N^i; D^i \subset D; O^i \subset O; N^i \subset N.$$

Функції ефекту – це підмножина функцій, реалізована за допомогою цього ефекту, в якій враховані виключно об'єкти дій та самі дії:

$$\Phi_{\text{еф}i} = D^i \times O^i; O^i \subset O; O = S(O) \cup P(O),$$

тобто як об'єкт перетворення може розглядатися як сам об'єкт (його стан), так і конкретний параметр (властивість) об'єкта.

Аналіз існуючих баз НТЕ показав, що до складу функцій ефекту включають дії по перетворенню не лише об'єкта – носія ефекту, але і дії стосовно інших об'єктів, що в конкретних умовах можуть реалізуватися стосовно інших об'єктів внаслідок реалізації цього ефекту. Тоді усю множину функцій ефектів доцільно, на наш погляд, розбити на такі підмножини:

- функції першого порядку $\Phi(1) = \{\Phi(1)_i\}$ – дії по перетворенню об'єкта $X(1)$, який є передумовою перебігання цього ефекту і тому віднесений до ресурсів цього ефекту

$$\Phi(1)_{\text{еф}i} = D^i \times O^i; O(1) \subset O; O(1) = S(X) \cup P(X);$$

- функції другого порядку $\Phi(2) = \{\Phi(2)_i\}$ – реальні чи гіпотетичні результати здійснення $\Phi(1)$, які або самі стають умовою, або їх результат (перетворений об'єкт X) стає носієм нового перетворення стосовно іншого об'єкта, який не входив до складу ресурсів первинного ефекту (перетворення X), причому це нове перетворення може вимагати додаткових умов, які також можуть бути віднесені до ресурсів, але вже другого порядку;

• функції третього порядку $\Phi(2)=\{\Phi(2)_i\}$ – реальні чи гіпотетичні результати здійснення $\Phi(2)$, які або самі стають умовами, або їх результат (перетворений об’єкт функції $\Phi(2)$) стає носієм нового перетворення стосовно іншого об’єкта, який не входив до складу ресурсів первинного ефекту (перетворення X), причому це нове перетворення може вимагати додаткових умов, які також можуть бути віднесені до ресурсів, але вже третього порядку.

Тоді, очевидно, коректніше говорити не про ресурси ефекту, а про ресурси здійснення певної функції за допомогою набору перетворень:

$$R(\Phi_i(1))=R(1); R(\Phi_i(2))=R(1)\cup R(2); R(\Phi_i(3))=R(1)\cup R(2)\cup R(3),$$

де $R(\Phi(1))=R(1)$ – ресурси, необхідні для реалізації i -ої функції першого порядку; $R(\Phi_i(2))$ – ресурси, необхідні для реалізації i -ої функції другого порядку; $R(2) = R(\Phi_i(2))/R(\Phi_i(1))$; $R(\Phi_i(3))$ – ресурси, необхідні для реалізації i -ої функції третього порядку; $R(3) = R(\Phi_i(3))/R(\Phi_i(2))$; функції $(\Phi_i(1))$; $(\Phi_i(2))$; $(\Phi_i(3))$ утворюють зв’язаний граф, тобто об’єкт функції нижчого порядку є або об’єктом, або носієм функції наступного порядку.

Виходячи з моделі ефекту у вигляді НТЕ, класифікаційними ознаками БТЕ, істотними для їх організації в базу НТЕ для розв’язання наведених на початку розділу задач, будуть:

- об’єкт перетворення $O(1)_1 \dots O(m)_n$;
- дії (власне перетворення) $D(1)_1 \dots D(m)_n$;
- результати перетворення $O(1)'_1 \dots O(m)'_n$
- носій дії (ресурси); наявність певної речовини або поля взагалі або в певному стані, або наявність факту їх зміни в певному напрямку, що викликає перетворення;
- умови (час, місце тощо) дії, наявність певної речовини або поля взагалі або в певному стані, або наявність факту їх зміни в певному напрямку, що стимулює перетворення;
- функції ефекту, що формулюються як комбінація дій по перетворенню об’єктів та власне об’єктів перетворення ($O_1 \dots O_m \Rightarrow O'_1 \dots O'_m$ в термінах переліку технічних функцій).

Побудова підмножини морфологічної множини для системи БТЕ за заданими інваріантами дає таблицю, наведену нижче.

Морфологічна таблиця для системи “Біотехнічний ефект”

Ознаки	Значення ознаки					
Об’єкт	БО в цілому	Підсистема БО	Неживий об’єкт		Неживий об’єкт з певними властивостями	
Дія (природа)	Фізична	Хімічна	Фізіологічна	Біологічна	Інша	Комплексна
Дія (порядок)	Безпосередня дія		Опосередкована 1-го порядку		Опосередкована 2-го порядку	
Дія (зміст)	Створити	Змінити	Дослідити	Відбити	Сумістити	
Носій	БО в цілому		Підсистема БО		Неживий об’єкт	
Аналог носія	Відсутній	Присутній				
		БО в цілому	Підсистема БО	Неживий об’єкт	Неживий об’єкт з певними властивостями	Об’єкт після перетворення

Виходячи з цієї таблиці, біотехнічні ефекти можуть мати місце у таких випадках:

• коли БО виступає як носій дії, а об’єктом впливу може бути довільний об’єкт. Тоді БО може використовуватися для виконання відповідних технічних функцій, тобто для реалізації якісних і кількісних перетворень у живому і неживому об’єкті;

• коли об’єкт – біологічний об’єкт БО, а як носій виступають:

а) технічна система або об’єкт неживої природи. В цьому разі БТЕ можуть застосовуватися для виявлення впливів ТС на БО з метою лікування, діагностування або запобігання наслідкам (шкідливі випромінювання);

б) БО. В цьому разі БТЕ можуть використовуватися для знаходження способів ініціалізації ланцюгів БФ і БХ перетворень, притаманних виключно БО.

Очевидно, що при поданні морфологічної множини (таблиця) у вигляді морфологічного дерева автоматично буде отримана структура бази БТЕ, яка, виходячи з форми таблиці, матиме мережеву структуру.

Висновки і перспективи подальших робіт

Аналіз існуючих підходів до визначення і використання біофізичних та біохімічних ефектів дав змогу створити модель біотехнічного ефекту БТЕ, яка не суперечить жодному з тлумачень біофізичного та біохімічного ефекту та повністю відповідає вимогам біосистемотехнічного підходу до проектування БТМС. Дослідження цієї моделі і напрямків її застосування для розв'язання інженерних та медичних задач дає можливість стверджувати, що усі фізичні чи хімічні явища, перебіг яких пов'язаний з живими об'єктами, можуть бути подані у БТЕ. Аналіз значень інваріант моделі БТЕ уможливорює визначити структуру бази даних БТЕ та організувати відомі ефекти у базу відповідно до цієї структури або одного з її піддерев. Очевидно, що першочерговими задачами, які слід розв'язати для створення такої бази чи баз, є:

- розділення БТЕ на окремі класи та групи відповідно до виділених ознак;
- дослідження інформації з конкретних явищ, що можуть бути віднесені до певного класу;
- виявлення наборів значень інваріант моделей БТЕ;
- виявлення специфіки моделювання ефектів різних класів при поданні їх у БТЕ;
- виявлення способів забезпечення сумісності цих моделей з існуючими моделями НТЕ для фізичних та хімічних ефектів, що уможливить використати при створенні баз даних БТЕ існуючі бази НТЕ;
- розробка моделі паспорта (опису) БТЕ для БТЕ різних класів;
- створення паспортів конкретних БТЕ.

1. Гліненко Л.К., Смердова Т.А. *Методологічне забезпечення комп'ютерної підтримки пошукових процедур синтезу РЕА / Электроника и связь*. – 1999. – № 7. – С. 141–147. 2. Гліненко Л.К., Смердов А.А., Вибойцик О.М. *Моделювання евристичних задач проектування*. – Львів, 1997. 3. Гліненко Л.К. *Теоретичні основи моделювання фізичних ефектів у біосередовищах / Український журнал медичної техніки і технології*. – 1998. – Вип. 1–2. – С. 15–21. 4. Verbitsky M. *Semantic TRIZ*. – *Journal of TRIZ*, February, 2004 – www.triz-journal.com. 5. Gregory Frenklach. *Classifying the Technical Effects*. – *Journal of TRIZ*, №3 (March). – 1998. – www.triz-journal.com; 6. Р. Давид. *Введение в биофизику*. – М., 1982. 7. Тарусов Б.Н. *Биофизика*. – М., – 1968. 8. Блюменфельд Л.А. *Проблемы биологической физики*. – М., 1974. 9. Волькенштейн М.В. *Молекулярная биофизика*. – М., 1975. 10. Тимохов В. И. *Картоотека биологических эффектов*. – 1993. – www.trizminsk.org; 11. Arel E. *Goldfire Innovator™. Vol. 1. Optimizer User Guide*. – Boston, MA: Invention Machine Corporation. – 725 p. 12. Смердов А.А., Гліненко Л.К. *Біосистемотехніка як методологічна основа створення БТМС / Вісник НУ “ЛП”, “Радіоелектроніка та телекомунікації”*. – 2002. – № 440. – С. 47–53.