

# ТЕРМІНОЛОГІЧНА БАЗА ТЕОРІЇ БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

## *Анотація*

*У роботі розглянуто та ґрунтовно пояснено фундаментальні терміни, які зустрічаються під час вивчення основ теорії біотехнічних систем, а також тематично структуровано їх.*

**Ключові слова:** техніка, біотехнічна система, структурна одиниця, види, властивості, регуляція, застосування, призначення, моделювання.

## *Abstract*

*The work examines and thoroughly explains the fundamental terms encountered while studying the theory foundations of biotechnical systems and thematically structures them.*

**Keywords:** technique, biotechnical system, structural unit, types, properties, regulation, application, purpose, modeling.

## Вступ

Основи теорії біотехнічних систем (далі – ТБТС) є основоположним компонентом вивчення, дослідження та розробки біотехнічних систем будь-якого призначення. Положення і принципи ТБТС використовуються в медичному приладобудуванні, біомедицинській інженерії, ергономіці, проектуванні і розробленні будь-яких технічних систем, які безпосередньо взаємодіють з людиною. Тому сфера застосування ТБТС виходить за межі класичних дисциплін і щодня розширюється.

**Актуальність статті** обумовлено потребою у комплексному викладі широковживаних термінів цієї дисципліни для їхнього полегшеного тлумачення.

**Метою дослідження** є змістовне узагальнення існуючих понять та визначень, які застосовуються в ТБТС, а також їхнє теоретичне обґрунтування.

Завданням цього дослідження є опрацювання основної термінологічної бази ТБТС та представлення їх в одному джерелі. Для цього необхідно розглянути:

- поняття про систему, її види, властивості системи;
- поняття біотехнічної системи (БТС), їх види, способи регулювання БТС, способи застосування БТС, функціональне призначення БТС.

## Матеріали дослідження

Перш за все розглянемо поняття про систему та її види.

Система – це об'єднана узгоджена сукупність елементів, яка має на меті виконання певної функції. Термін «система» запозичено з грецької мови, де воно означає з'єднання, тобто ціле, яке складено з частин [1, с. 4]. Це поняття є загальним серед усіх понять, які використовують при описі взаємопов'язаних об'єктів та явищ різної природи [2, с. 7].

Елементи системи, під час її формування, переважно втрачають власні основні особливості та набувають нових як система [2, с. 7].

Система як практичне явище передбачає існування відповідної організаційної ознаки – системності, яка є фундаментальним чинником існування та якісного розвитку матерії будь-якого виду, адже вона забезпечує її цілісність, структурованість, взаємозв'язок між її частинами, єдність цих частин впродовж виконання якісної роботи системою та їхню алгоритмічну діяльність при цьому [2, с. 7].

За характером взаємодії з навколишнім середовищем (інакше кажучи – з точки зору термодинаміки) системи поділяються на:

- відкриті (обмінюються енергією та речовиною з навколишнім середовищем);
- закриті (обмінюються з навколишнім середовищем лише енергією);
- ізольовані (повністю не взаємодіють із навколишнім середовищем).

Якщо розглядати ємність та гарячий напій, який знаходиться у ній, як цілісну систему, яка взаємодіє з навколишнім середовищем, то прикладом відкритої системи є чай у блюдці, закритої – зачинена банка з гарячим чаєм, ізольованої – термос [3, с. 35]. Необхідно зазначити, що повністю ізольованих систем у природі не існує, а термос є лише модельним наближенням. Найчастіше поняття ізольованої системи використовують в теоретичній фізиці чи для приблизних розрахунків.

Більш практичними та широко поширеними є саме відкриті системи, адже спосіб їхнього існування дозволяє продуктивніше узгоджувати їх стан із навколишнім середовищем.

Вивчення систем здійснюється на основі загальної теорії систем, яка досліджує їх незалежно від їхньої природи, тобто, на основі формальних взаємозв'язків між складовими певної системи та за характером змін її параметрів [2, с. 9].

Слід зауважити, що будь-яку сукупність елементів з певними структурними зв'язками не можна вважати системою доти, доки вона не матиме усіх без винятку ознак системи, а саме: наявності атрибутів, визначеної структури, стану, способу функціонування, цільової функції та зворотнього зв'язку (щоправда, останній може не бути обов'язковим для найпростіших систем).

Атрибут – показник, який визначає стан системи у певну мить часу [2, с. 8]. Якщо розглядати структуру системи статично, відкинувши динамічність процесів, які вона здійснює, то, можна стверджувати, що атрибут також можна описувати як структурну одиницю системи, яка охоплює її певну функціональну складову. Найчастіше використовується саме перше визначення, оскільки переважно об'єктами дослідження стають саме динамічні системи.

Структура системи – незмінна у часі сукупність елементів (ланок) та визначених зв'язків між ними [2, с. 8]. Прикладом структури системи є довершені за будовою та повнофункціональні поверхневий апарат, ядро та цитоплазма, які власним існуванням та завдяки взаємодії формують живу відкриту систему – клітину.

Стан системи – набір значень власних параметрів системи або їхніх похідних показників [2, с. 10]. Це поняття можна розуміти як узгоджену систему шкал (атрибутів), динамічні значення яких спільно відображають здатність системи виконувати її цільову функцію у цю мить часу.

Функціонування системи – поведінка системи, тобто, зміна її атрибутів у часі [2, с. 18]. Функціонування системи розширює поняття стану системи, встановлюючи зв'язок між миттєвими станами системи на певних проміжках часу.

Цільова функція – основне призначення системи, тобто, математичне вираження її мети [2, с. 8]. Ця ознака системи є зв'язуючим чинником для її елементів, який уможливує їхнє об'єднання задля досягнення певної визначеної мети (у випадку розробки певної технічної системи – відповідно до попередніх обрахунків), а також їхнє виокремлення як нового цілісного об'єкту з-поміж будь-якого середовища.

Зворотній зв'язок – вплив результатів роботи системи на її подальше функціонування. Під цим поняттям можна розуміти відношення реальних результатів роботи системи (рівень виконання нею цільової функції) до очікуваних, за яким визначається подальша доцільність ресурсної підтримки функціонування тієї чи іншої системи:

$$K = \frac{A}{P} \cdot 100\%,$$

де:  $K$  – коефіцієнт зворотнього зв'язку (у відсотках),  $A$  – реальні (actual) результати роботи системи (%),  $P$  – очікувані (predetermined) результати роботи системи (%).

У поданій формулі реальні результати роботи системи визначаються за її дійсною ефективністю ( $E_a$ ), очікувані – за передбаченою ( $E_p$ ), отже, її також можна записати наступним чином:

$$K = \frac{E_a}{E_p} \cdot 100\%.$$

Для повноцінного опису і аналізу систем необхідно визначити їх властивості.

До властивостей системи належать: стійкість, ефективність, надійність та емерджентність.

Стійкість – здатність системи протидіяти зовнішнім впливам за збереження працездатності [2, с. 9]. Стійкою є та система, яка виконує цільову функцію зі задовільним коефіцієнтом зворотнього зв'язку за умови, що на неї впливають певні дестабілізуючі чинники.

Ефективність – рівень виконання системою цільової функції за визначених умов [2, с. 21]. Ефективність встановлює зв'язок між рівнем виконання цільової функції системою та використаними для цього наявними засобами за наступним співвідношенням:

$$E = \frac{G}{R} \cdot 100\%$$

де:  $E$  – ефективність системи (%),  $G$  – рівень виконання цільової функції системою (%),  $R$  – кількість використаних системою наявних засобів (ресурсів) для досягнення цільової функції (%).

Встановлюючи зв'язок між поняттями зворотнього зв'язку та ефективності системи, слід зауважити, що максимальне значення параметра  $R$  серед ефективностей роботи кількох систем визначається шляхом порівняння.

Надійність – здатність системи виконувати цільову функцію за визначений проміжок часу за визначених умов. Вона має тісний зв'язок з ефективністю, оскільки впливає на виконання системою параметра  $G$  [1, с. 24]. Надійність відображається співвідношенням між кількістю невдалих логічних операцій, проведених системою за визначений проміжок часу за визначених умов, та загальною кількістю операцій:

$$N = \frac{F}{S} \cdot 100\%$$

де:  $N$  – надійність системи (%),  $F$  – кількість невдало проведених системою операцій (failed tasks; %),  $S$  – загальна кількість проведених системою операцій (sum of tasks; %).

Надійність як властивість системи є дуже важливою під час моделювання та розробки систем короткострокового, проте високоефективного призначення, оскільки саме за нею визначають доцільність використання того чи іншого структурного атрибуту розроблюваної системи.

Емерджентність – ступінь відмінності властивостей (або функцій) системи від властивостей (або функцій) окремих її елементів [2, с. 8]. Прикладом біологічної емерджентності є відмінність властивостей та функцій опорно-рухової або травної систем органів людини, які поєднуються на організмовому рівні організації живого з утворенням нових властивостей та функцій.

ТБТС вводить поняття біотехнічних систем, для опису яких необхідно дати такі визначення.

Техніка – це неживі об'єкти, які штучно створені людиною для задоволення власних потреб.

Біологічна система – сукупність біологічних об'єктів, які об'єднано задля досягнення вищої від можливостей кожного з її об'єктів окремо мети.

Біотехнічна система (далі – БТС) – система, яка містить біологічну та технічну складову, забезпечує їхню взаємодію, та не існує без одного з компонентів [1, с. 7, 2, с. 7].

С. Злепко, С. Павлов, Л. Коваль та І. Тимчик схематично представляють біотехнічну систему, як показано на рис. 1 [4, с. 9–10]:

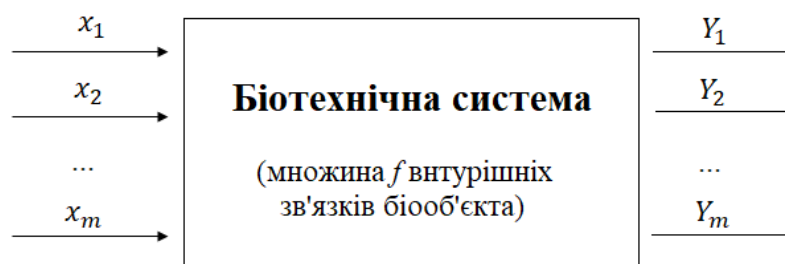


Рисунок 1 – Представлення біотехнічної системи як чорної скрині

На рис. 1  $x$  – це багатофакторні зовнішні впливи ( $x_1$  – контрольовані та керовані зовнішні впливи,  $x_2$  – контрольовані та некеровані тощо),  $Y$  – сукупність власних реакцій біооб'єкта, які характеризують стан та поведінку системи.

На основі поданої схеми можна сказати, що основним призначенням біотехнічної системи є внутрішнє перетворення вхідних параметрів  $x$  з остаточною видачею вихідних параметрів  $Y$ .

Наразі можемо виділити такі види біотехнічних систем

- біологічна;
- медична;

- ергатична;
- діагностична;
- профілактична
- терапевтична;
- БТС управління цілісним організмом;
- БТС контролю.

Біологічна БТС – біотехнічна система, яка містить тваринну або рослинну складову. Прикладом біологічної БТС є апарат для дозованої видачі корму для домашніх тварин.

Медична БТС – біотехнічна система, яка застосовується у медицині [2, с. 11]. Прикладом медичної БТС є будь-яка медична техніка.

Ергатична БТС – система управління біотехнічною системою за участі людини-оператора, тобто, система «людина–машина» [2, с. 11]. Прикладом ергатичної БТС є пульт дистанційного керування безпілотним літальним апаратом.

Діагностична БТС – біотехнічна система, яка визначає стан об'єкта дослідження шляхом точного вимірювання певних його характеристик [2, с. 8] Прикладом діагностичної БТС є тонометр.

Профілактична БТС – біотехнічна система, яка покращує загальний стан об'єкта дослідження. Прикладом профілактичної БТС є апарат штучної вентиляції легень.

Терапевтична БТС – біотехнічна система, яка здійснює лікувальний вплив на об'єкт дослідження [2, с. 11]. Прикладом терапевтичної БТС є крапельниця.

БТС управління цілісним організмом – біотехнічна система, яка створює штучне фізичне або інформаційне середовище для об'єкта дослідження [2, с. 12]. Прикладом БТС управління цілісним організмом є окуляри віртуальної реальності (у поєднанні зі системою управління) або інкубатор.

Система контролю (БТС контролю) – біотехнічна система, яка визначає допустимий рівень працездатності (стан) об'єкта дослідження. Прикладом БТС контролю є система визначення порогу больової чутливості людини [2, с. 149].

### **Висновок**

Результатом нашого дослідження є змістовне узагальнення існуючих понять та визначень, які застосовуються в ТБТС, унаслідок чого їх було теоретично обґрунтовано та тематично структуровано. Результати дослідження використовуються при викладанні дисципліни «Основи теорії біотехнічних систем» для студентів спеціальності 163 Біомедична інженерія у ВНТУ.

### **Список використаної літератури**

1. Злепко С. М., Данильчук М. М., Загоруйко С. В. Біотехнічні системи медичного призначення. Частина перша. Біологічні та біотехнічні системи як об'єкт дослідження. Вінниця : ВНТУ, 2007. 85 с.
2. Мустецов Т. М., Нечипоренко А. С. Теорія біотехнічних систем. Харків : ХНУ імені В. Каразіна, 2015. 188 с.
3. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Основи біофізики і біомеханіки. Миколаїв : Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, 2011. 297 с.
4. Злепко С. М., Павлов С. В., Коваль Л. Г., Тимчик І. С. Основи біомедичного радіоелектронного апаратування. Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2011. 133 с.

**Штофель Дмитро Хуанович** – канд. тех. наук, доцент, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [shtofel@vntu.edu.ua](mailto:shtofel@vntu.edu.ua)

**Гончар Богдан Віталійович** – студент групи БМІ-226, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет

**Shtofel Dmytro** – Cand. Sc. (Biomedical Engineering), Associate Professor of Department of Biomedical Engineering and Optoelectronics, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [shtofel@vntu.edu.ua](mailto:shtofel@vntu.edu.ua)

**Honchar Bogdan** – student of Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia