



Міністерство освіти і науки України

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій**

**Кафедра електромеханіки, робототехніки,
біомедичної інженерії та електротехніки**

**ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ В МОДЕЛЮВАННІ БІОМЕДИЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ**

**Методичні вказівки
для самостійного вивчення дисципліни**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та
(заочної) форми навчання, спеціальності
163 «Біомедична інженерія»**

**Харків
2023**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій
Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та
електротехніки

ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ В МОДЕЛЮВАННІ БІОМЕДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ТА СИСТЕМ

Методичні вказівки
для самостійного вивчення дисципліни

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та
(заочної) форми навчання, спеціальності
163 «Біомедична інженерія»

Затверджено
рішенням Науково-методичної
ради факультету ЕРКТ
Протокол № 2 від 17 листопада 2022 р.

Харків
2023

УДК 681.5 : 631.1(072)

Схвалено
на засіданні кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії
та електротехніки

Протокол № 1
від 31 серпня 2022 р.

Рецензент:

О.М. Мороз, д-р тех. наук, проф. кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Державний біотехнологічний університет.

Загальні поняття в моделюванні біомедичних процесів та систем: метод. вказівки для самостійного вивчення дисципліни «Моделювання біологічних процесів і систем» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної (заочної) форми навч., спец. 163 «Біомедична інженерія» / Державний біотехнологічний університет; уклад.: В.О. Шигимага. – Харків: [б. в.], 2023.– 25 с.

Методичні вказівки з дисципліни "Моделювання біологічних процесів і систем". Видання включає основні поняття теорії моделювання біомедичних процесів та систем для самостійного засвоєння здобувачами, проблемні питання та методичні роз'яснення до них, питання для самоконтролю.

Видання призначене здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання спеціальності 163 Біомедична інженерія.

Відповідальний за випуск: В.О. Шигимага, д. т. н., проф.

Самостійна робота № 3

Загальні поняття в моделюванні біомедичних процесів та систем

1. Мета роботи: Засвоїти базові поняття теорії моделювання біомедичних процесів та систем. Вивчити класифікацію моделей, що застосовуються в медицині та біології, а також суть математичного моделювання в біомедицині.

2. Математична модель. Історія.

Для того, щоб дізнатись про поведінку якого-небудь об'єкту, дослідники будували математичну модель, а потім по результатах її вивчення судили й про оригінал. В цьому випадку вчений вже не шукав схожий об'єкт в живій природі, а по визначеним правилам конструював його модель. Так, італійський натураліст 17 ст. Джованні Альфонсо Бореллі намагався створити декілька штучних біологічних моделей. Одна з них, описувалась у роботі "De motu animalium" і представляла собою аналіз руху тварин і людини з точки зору механічних моделей. В. Гарвей, який відкрив кровообіг, розглядав серце, як своєрідну механічну модель, а рух крові вважав підлеглим певним механічним закономірностям. А.М. Філомафитський і Н.І. Пирогов проводили багато модельних експериментів на тваринах. М. Біша в 18 – 19 ст. вперше побудував двадцять одну описову модель тканин людського організму.

В медицині до згаданих моделей додалися уявні побудови, основані на ідеалізації деяких властивостей організмів. Велика роль у цьому належала застосуванню двох методів – математичного (раціоналістичного) Декарта і індуктивного (дослідницького) Бекона. Розглядаючи переваги застосування методу індукції, не слід забувати й значення аналогії. Останню слід застосовувати при лікуванні ідентичних захворювань однаковими засобами, оскільки те, що допомагає одному хворому, дасть позитивну дію і в іншому подібному випадку. Деякі терапевтичні методи в медицині завдяки саме такому

підходу отримали широке розповсюдження (наприклад, кровопускання). Вже в той період, як відмічає Е.І.Чазов, "коли емпіризм і мислення по аналогії визначили рівень і діагностичні можливості лікаря, наука, науковий аналіз вторгалися в медицину, руйнуючи стереотипи, що склалися, відкидаючи догми, що здержували її розвиток".

Отже, поступово в надрах медицини і біології накопичувались підходи, необхідні для становлення методу моделювання на основі аналогії, створення спрощених копій, встановлення подібності паталогічних процесів. Це призвело в кінцевому рахунку до формування нового методу дослідження, оскільки можливості фізичного (натурного) експерименту у екології і охороні здоров'я обмежені з етичних і моральних міркувань, а також із-за нестачі матеріальних ресурсів. З тих пір моделі міцно ввійшли у "побут" медико-біологічної науки.

На межі 19-20 ст. вчені все ясніше стали розуміти, що всяке знання відносне. В світі цього навіть виважені теорії стали розглядатися не як кінцеві істини в останній інстанції, а як етапи на шляху проникнення в сутність явищ. Теорія в цьому плані схожа на своєрідну модель дійсності, так як модель виконує ту ж функцію, що і теорія, – сприяє пізнанню об'єктів, і до того ж в спрощеній, абстрактній формі.

В цьому відношенні досить типовою є доля найбільш старих моделей в генетиці мікроорганізмів – моделей вакцинних штамів. Вони створювались не тільки шляхом схематизації відповідних експериментів, але й будувались методом трансляції, тобто переносу вже сформованих понять (таких, як "корналієві тільця", мікроби і т.п.) в нову мережу наукових досліджень. Ці поняття грали роль елементів, на основі яких розроблялися уявні моделі. Після дослідної перевірки виявилось, що моделі вірно виражають сутність деяких біологічних явищ і процесів. Ф. Енгельс писав в "Діалектиці природи": "Досліди Пастера.... важливі, так як проливають багато світла на ці організми, їх життя, їх зародки і т.п.". В подальшому на моделях вакцинних штамів доводились закони мікробіології.

Дійсно, іноді для більш точної побудови і розвитку теорії дослідник користується набором додаткових моделей. Зрілість теорії визначається не тільки системою понять, законів, принципів, але і евристичністю використовуваних моделей. Різниця між теорією і моделлю відносна: теорія в своїй практичній дії може стати моделлю особливого роду, яка виражає сутність досліджуваних явищ. Один раз побудована модель може бути об'єктом незчисленної кількості експериментів. Це один із найбільш поширених шляхів пізнання: від окремих явищ до теоретичних узагальнень, а далі до сутності, до закону.

В другій половині ХХ ст. застосування моделей в медицині отримало більш широке розповсюдження. Це обумовлено, по-перше, суттєвим просуванням експериментальних досліджень паталогічних процесів на біологічних моделях; по-друге, новими результатами в області вивчення пухлин, ультраструктур клітин, пересадки органів і тканин, в дослідженні молекулярних основ життя (розшифровка коду генетичної інформації, синтез генів); по-третє, широким застосуванням в біології і медицині системного підходу, який орієнтується на те, щоб діагностувати хворобу як цілісне явище; в-четвертих, застосуванням математики, інформатики і кібернетики, які дозволяють встановити взаємодію між елементами організму на мікро- і макрорівнях. В силу цих обставин поняття моделі в біології і медицині стало застосовуватись надто широко – це і математичний вираз, і дійсна жива система, і уявний образ, який виникає у лікаря, і нозологічна форма. Поняття "модель" нерідко стало ототожнюватись з такими поняттями, як "аналог", "гомолог", "умовний образ", "подібність", "образ образу", "біологічний об'єкт", "інтерференційна система", "інформаційна система", "імітаційна система", "акцептор дії".

3. Введення. Поняття системи.

Сучасна наука при вивченні складних явищ та об'єктів використовує поняття системи. Об'єкт дослідження не може характеризуватися якоюсь

однією ознакою. У його описі одночасно враховуються багато невід'ємних властивостей. Навіть якщо досліджується не весь комплексний об'єкт, а лише його частина, сучасний системний підхід вимагає залучення усього спектра властивостей. Довільний фрагмент комплексу доводиться розглядати не ізольовано, а в багаточисельних суперечливих взаємозв'язках і, що важливо, у різних можливих ситуаціях.

Такий підхід є дуже доречним при розгляді фундаментальних задач медицини. Як правило, кожна з таких медичних проблем характеризується множиною взаємопов'язаних факторів (ознак, показників, аналізів), яким властива мінливість залежно від обставин, та й зрештою від часу.

Живий організм не є простим конгломератом органів. Його функціонування, як будь-якої системи, залежить від природи й особливостей зв'язків її складових частин. Із словом "система" ми зіштовхуємося постійно: сонячна система, людина, нервова система, серцево-судинна система, система травлення. До якої б області ми не звернулися – усюди системи. Здавалося б, найпростіший вихід – розглянути якщо не всі, те більшість з так названих "реальних" систем, і знайти, що ж у них загальне. Які взагалі можуть бути загальні властивості у зовсім різних систем?

Перше, на що звертається увага у всіх цих варіантах вживання терміна "система" є те, що ми маємо справу із деякою упорядкованою множиною елементів і наявність зв'язків між цими елементами, зовнішнім "середовищем" та системами більш високого порядку. Отже, можна сказати, що система – це інтегроване ціле, що складається з множини елементів, взаємозалежних між собою і виконуючих певну функцією. Система в цілому якісно відрізняється від суми складових її частин і має властивості, яких немає у її елементів. Причому важливо, що ці нові властивості визначаються саме взаємозв'язком між елементами.

4. Властивості систем

Системи мають наступні властивості:

– Цілісність: комплекс об'єктів, що розглядається як система, являє собою певне ціле, що має загальні властивості і поведінку, а функціонування елементів підпорядковане єдиній цілі.

– Подільність: цілісний об'єкт являє собою систему, якщо її можна розподілити на елементи (підсистеми).

– Ізольованість: комплекс об'єктів, що утворюють систему, і зв'язки між ними можна відокремити від їх оточення і розглядати ізольовано. Відносна ізольованість: ізольованість систем є відносною, оскільки комплекс об'єктів, що утворюють систему, взаємодіють із оточуючим середовищем через входи і виходи.

– Розмаїття: кожен елемент системи має свою власну поведінку і стан, відмінний від поведінки і стану інших елементів і системи в цілому. Розмаїття пов'язане з функціональною специфічністю й автономністю елементів.

Системи поділяються по ступеню їх взаємодії із зовнішнім середовищем на:

– ізольовані – не мають зв'язку із зовнішнім середовищем.

– закриті – зазнають впливу від зовнішнього середовища, але не навпаки.

– відкриті – взаємодіють із зовнішнім середовищем, обмінюючись речовиною, енергією й інформацією.

Системи можуть бути динамічними і статичними. Будь-який медико-біологічний об'єкт – це динамічна система, у якій протікають неперервні процеси і, яка визначається певними показниками. При дослідженні динамічних систем широко застосовується метод «чорного ящика», який використовується у тому випадку, коли внутрішня структура системи недоступна для досліджень.

Властивості систем описуються за допомогою так званих системних законів:

– закон відкритих систем;

– закон саморегуляції.

5. Структура систем

Найважливішою характеристикою системи є її структура. *Структура* – це сукупність елементів і зв'язків, що визначають внутрішню будову й організацію об'єкта як цілісної системи. При дослідженні системи структура виступає як спосіб опису її організації. Структура динамічна по своїй природі, її еволюція у часі і просторі відбиває процес розвитку системи.

З поняттям структури тісно пов'язано поняття елемент. Елемент системи – це найменша ланка у структурі системи, внутрішня будова якої не приймається до уваги на обраному рівні аналізу. Елементи системи вибираються дослідником у залежності від цілей аналізу і є абстрактними елементарними частинами, що складають описуваний об'єкт. У відповідності з властивістю ієрархічності, будь-який елемент сам є системою, але на обраному рівні аналізу ця система характеризується тільки своїми загальними властивостями.

Якщо число елементів у системі занадто велике щоб з ними можна було успішно працювати, потрібно застосувати спеціальний прийом для упорядкування цих елементів, тобто ввести структуру. Що значить занадто велике? Коли задачу вирішує людина, не озброєна ніякими спеціальними приладами обробки інформації, занадто великим числом буде число елементів, що перевищує сім.

Число сім пов'язане з механізмом роботи клітин головного мозку, що, як припускають, мають вісім різних станів. У всякому разі, психологи ретельно і багаторазово досліджували це питання й встановили дійсну наявність магічного числа 7 ± 2 (з урахуванням можливих відхилень у ту або іншу сторону в залежності від індивідуальних особливостей людини або спеціального тренування). Те, що число сім має дійсно якесь граничне значення в мисленні людини, показує й аналіз фольклору багатьох різних народів. Згадаєте численні російські прислів'я і приказки, у яких фігурує число сім: "семи п'ядей у чолі", "семеро одного не чекають", "сім разів відмірай...", "у семи няньок...", "сім лих — одна відповідь". Проблеми організації найкраще відробили в арміях, де вони

відшліфовувалися і випробувалися в критичних обставинах протягом багатьох сторіч. В усіх великих арміях світу число бійців у відділенні не перевищує семи гранично кероване число людей. І будь-яке з'єднання, частина, підрозділ, у свою чергу, підрозділяється ніяк не більше ніж на сімох складених.

По структурному складу системи можна розподілити на деревоподібні і мережні.

Деревоподібні – це довільні структури, у яких відсутні контури і петлі. Вони підрозділяються у свою чергу на:

Послідовні – найпростіші структури, у яких зв'язок між елементами здійснюється тільки по одному шляху і тільки в одному напрямку. Послідовна структура являє собою вироджений випадок деревоподібної.

Радіальні – структури, у яких кожен елемент системи з'єднаний окремою лінією зв'язку з деяким центральним елементом.

Ієрархічні – багаторівневі структури, у яких дотримується принцип підпорядкованості нижчих рівнів вищим.

Мережні – це структура таких систем, у яких елементами зв'язані між собою декількома шляхами. Для структур типу мереж характерна наявність контурів і ланцюгів зворотного зв'язку, рис 1:

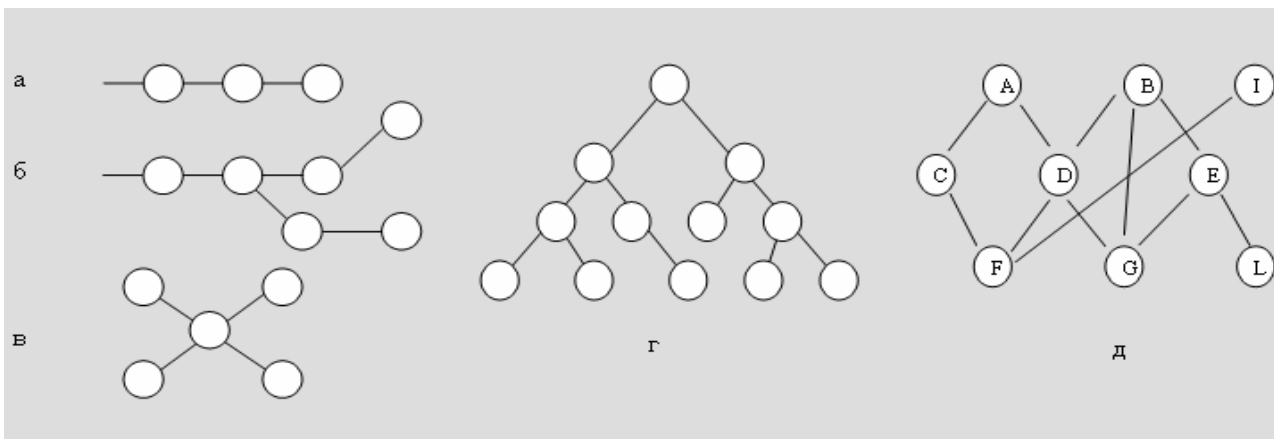


Рис.1 - Типи структур: а — послідовна; б — довільна деревоподібна; в — радіальна; г — ієрархічна; д — мережа.

6. Загальна теорія систем. Системний підхід

Науковий напрямок, пов'язаний з розробкою сукупності методологічних, методичних, конкретно-наукових і прикладних проблем аналізу і синтезу складних систем довільної природи має назву загальної теорії систем. Найбільш загальною і характерною її рисою є міждисциплінарний характер. Загальна теорія систем – це галузь знань, що дозволяє вивчати цілеспрямовану поведінку систем будь-якої складності і будь-якої природи. Усе це обумовлює особливу привабливість загальної теорії систем для дослідження медико-біологічних об'єктів, що є по своїй природі дуже складними.

Одним з основних наукових методів загальної теорії систем є системний підхід. Це поняття підкреслює значення комплексності, широти охоплення і чіткої організації в дослідженні складної системи. Такий підхід відрізняється від традиційного аналітичного підходу, що передбачає розбиття досліджуваного об'єкта на складові елементи і визначення поведінки складного об'єкта як результату об'єднання властивостей цих елементів. Системний підхід ґрунтується на принципі цілісності досліджуваного об'єкта, тобто дослідженні його властивостей як єдиного цілого, єдиної системи. Даний принцип виходить з того, що ціле має такі якості, яких немає в його частин. Появою нових якостей ціле, і відрізняється від своїх частин.

Виникнення загальної теорії систем звичайно пов'язують з особою австрійського фізіолога Л. Фон Бергаланфі, що ще в 20-30-і роки займався питаннями системного підходу при вивченні живих організмів, розвиваючи загальну точку зору на необхідність цілісного підходу в біології і фізіології. Пізніше він висунув ідею створення загальної теорії систем, що могла б вирішувати задачу синтезу багатьох інших наук, об'єднавши них під одним прапором системного підходу.

Методом, що використовується у рамках єдиного системного підходу для вивчення структури реальних об'єктів і їхнього формалізованого опису є системний аналіз. Головні концепції системного аналізу були сформульовані

давно. Та, на жаль, крім філософських міркувань, вони не знаходили реальних практичних застосувань. Привернення уваги до системного аналізу відбулося на початку 1960-х років, дякуючи кільком потужним результатам Р. Белмана в теорії систем. Вітчизняна школа системного аналізу представлена такими прізвищами, як М.М. Красовський, В.М. Глушков, Б.М. Бублик. В останні десятиліття системний аналіз дістав подальший розвиток на базі досягнень науки і техніки (особливо в зв'язку із широким застосуванням ЕОМ). Сучасний день системного аналізу – це використання методів кількісної та якісної теорії систем на базі сучасного апаратного та програмного забезпечення в найрізноманітніших прикладних областях, куди належить і медична інформатика.

Системний підхід є могутнім методологічним принципом дослідження і управління складними об'єктами. Технологія конкретного застосування системного підходу – системний аналіз і його математичний апарат – є основою наукового аналізу складних міждисциплінарних задач, і складають основу сучасних інформаційних технологій.

7. Поняття моделі. Типи моделей

Реальні природні процеси і системи різноманітні і складні. Тому при їх вивченні ми розглядаємо моделі, що деякою мірою відбивають властивості і поведінку реальних систем, що дозволяє прогнозувати поведінку таких об'єктів. Таким чином, модель – це штучно створений людиною об'єкт будь-якої природи, що відтворює й імітує основні властивості досліджуваного об'єкта з метою їх вивчення і дослідження. Модель завжди простіше реального об'єкта, тому що відбиває тільки ту частину його властивостей, яка є предметом вивчення. Метод дослідження об'єктів, заснований на побудові і вивченні моделей, їх теорій і використанні, одержав назву моделювання.

Дослідження гносеологічних аспектів моделювання може бути успішним в тому випадку, коли з самого початку чітко встановлено зміст того поняття моделі, яким користуються в науці. Іншими словами, гносеологічний аналіз

різноманітних видів моделювання в медицині повинен початися із встановлення точного значення терміна "модель".

У спеціальному і загальнонауковому знанні модель розглядається як багатопланове і багатозначне поняття. Слово "модель" пішло від слів "міра", "норма", "виріб", "образ", які при певних умовах пізнання сукупності об'єктів означали "еталон", "зразок", "копія". Видимо, значення слова "модель", як "копія" послужило для античних вчених (філософів, лікарів) поводом використати його як синонім термінів "аналог", "аналогія", "подібність" для визначення схожості функцій органів живих систем. В Древній Греції діяльність філософа, лікаря і математика була невідривною від способу мислення, пов'язаного з визначенням подібних явищ у живих системах або у небіотичних предметах. Відомо, що Платон порівнював свої уявлення про чотири основних речовини з їх геометричними моделями: піраміда відповідає вогню, куб – землі, октаедр – повітрю. Арістотелівська "драбина-модель" веде від тіл неорганічних через ряд все більш складних органічних форм до вищих сходинок організації і завершується людиною.

Емпедокл намагався пояснити дихання живих істот на основі принципу дії водяного сифона (клепсидри): "У всіх (живих істот) майже пусті трубки витягнуті від м'язів до всієї поверхні тіла і отвори цих трубок розміщені на самій поверхні шкіри, так що остання скрізь пронизана багаточисленними щілинами, причому ці щілини розташовані таким чином, що кров не може вийти назовні, а повітря, навпаки, має вільний прохід через пори. Коли рідка кров відтікає з цих трубочок, то за нею шумним потоком йде повітря; коли ж кров підступає назад, то повітря знову зникає, точно так, наче дівчинка грається сифоном із блискучої бронзи".

Тут, безумовно, ми маємо справу з тим, що по своїй сутності може бути названо аналогом. Спосіб функціонування сифону був прийнятий як зразок для пояснення явищ дихання. Логічні кроки, які при цьому були здійснені, характерні для моделювання - біомедичних систем і сьогодні.

Подібні аналогії були необхідним етапом пошуків пояснення і вирішення клінічних задач. При вивченні будь-яких явищ людська думка, стикаючись з чимось невідомим, намагається перш за все пояснити його за допомогою вже відомих достовірних (або тих, що такими вважаються) знань. З розвитком науки все ясніше ставала необхідність створення критеріїв правомірності переносу інформації з аналогії на прототип. По мірі розширення використання аналогії розвивались логічні основи застосування моделей.

8. Типи моделей

В період подальшого становлення експериментальної науки ми зустрічаємося з попередниками сучасного моделювання живих систем трохи іншого роду. Існує безліч різних моделей, що відрізняються складністю, розмаїтістю задач і цілей моделювання, областями застосування. На моделях зовнішньої подоби: манекенах, іграшках, моделях літаків і кораблів – проводять попередні іспити. Тренажери, електрифіковані навчальні таблиці і схеми, а також моделі, що імітують поведінку реальних об'єктів у складних ситуаціях, служать для навчання. Моделі-ерзаци замінюють об'єкти при виконанні певних функцій, їх називають також функціональними. Це протези, пристрої типу "штучна нирка", система "серця-легені", мікропроцесорні маніпулятори й ін. Дослідницькі моделі – математичні й імітаційні – замінюють реальні об'єкти в ході наукових досліджень.

Можна виділити чотири типи моделей, що застосовуються в медицині і біології:

1. Біологічні (предметні) моделі використовуються при вивченні загальних біологічних закономірностей, методів лікування, дії фармакологічних препаратів і т.д. До їх числа відносяться лабораторні тварини, культури кліток і ін. Такий вид моделювання дотепер зберігає своє значення в сучасній медицині.

2. Фізичні (аналогові) моделі – це фізичні пристрої, що мають поводження, подібне до об'єкта, що досліджується. Фізична модель може реалізуватися у виді механічного або електронного пристрою. До фізичних

моделей, наприклад, відносяться технічні пристрої, що замінюють органи і системи живого організму (штучне серце, легені та ін.), електронні схеми, що імітують процеси в біологічній тканині. Фізичне моделювання є традиційним у медицині і лікувальній практиці.

3. Кібернетичні моделі – це різні системи, за допомогою яких моделюються інформаційні процеси в живому організмі. До них відносяться "чорний ящик", інформаційні моделі, системи штучного інтелекту та ін. Модель "чорного ящика" широко застосовується при медико-біологічному моделюванні. Вона охоплює найрізноманітніші об'єкти, часто досить далекі один від одного. Наприклад: діод, нейрон і водопровідний кран, як пристрої з однією провідністю. Ця модель є, також, основною при статистичному (ймовірнісному) моделюванні захворювань. Статистичний підхід не передбачає урахування впливу органів один на одного і причин розвитку тих або інших явищ у процесі лікування. Організм розглядається, як "чорний ящик": на "вході" діють різні патологічні подразники, спадкоємні фактори й умови зовнішнього середовища, а на "виході" ми одержуємо численні прояви захворювань, що можемо досліджувати тим або іншим способом.

4. Математичні моделі – це сукупність формул і рівнянь, що описують властивості досліджуваного об'єкта. Як правило, у моделях використовуються системи диференціальних рівнянь, вони описують динамічні процеси, характерні для живої матерії. В основу метода покладена ідентичність (ізоморфність) математичних рівнянь і однозначність співвідношень між змінними у рівняннях, що описують оригінал і модель. Математичне моделювання будь-якого об'єкта можливо тільки за умови досить детального знання його структури і функціональних закономірностей. У першу чергу це відноситься до складних систем, якими і є медико-біологічні об'єкти. Перша математична модель в біології датується XII століттям. Вона розроблена італійським математиком Фібоначчі при вирішенні задачі "Скільки кроликів на рік народжується від однієї пари". Прикладом однієї з моделей, що

обговорюються як мінімум протягом більш ніж двох сторіч, є модель демографічного вибуху Мальтуса.

9. Ступені складності математичної моделі

За ступенем складності математичні моделі біологічних об'єктів і явищ можуть бути умовно поділені на кілька типів.

До моделей ПЕРШОГО типу відносяться функціональні моделі, що виражають, як правило, прямі залежності між відомими і невідомими величинами. Необхідні для побудови моделі параметри визначаються, в основному, статистичними методами.

Моделі ДРУГОГО типу – це моделі, представлені системою. З математичної точки зору проблема рішення відповідної задачі не представляє принципових труднощів, однак, у випадку великої кількості рівнянь і невідомих вимагає використання досить потужного комп'ютера.

Моделі ТРЕТЬОГО типу – це моделі оптимізаційного типу. Основну частину такої моделі складає також система рівнянь або нерівностей щодо невідомих величин. При цьому необхідно знайти таке рішення цієї системи, що давало б оптимальне значення деякого показника. З математичної точки зору побудова оптимізаційних моделей представляє досить важку проблему.

До моделей ЧЕТВЕРТОГО типу відносяться так звані імітаційні моделі, що використовуються для аналізу складних систем. Імітаційні моделі характеризуються, насамперед, досить точним відображенням біологічного процесу або явища. У зв'язку з цим вони виявляються досить складними – у них присутні нелінійні і стохастичні залежності і змінні. Основний спосіб рішення подібних задач потребує використання спеціальних розрахунків на комп'ютері.

Моделі П'ЯТОГО типу складають більш складні системи і комплекси взаємозалежних моделей перерахованих вище типів. Розвиток таких систем моделей дозволяє точніше відбити всілякі аспекти функціонування біологічних об'єктів, зокрема знаходити оптимальні рішення, що забезпечують раціональну

взаємодію елементів у системі і управління. Вирішення цієї проблеми потребує застосування спеціальних біоматематичних методів і потужного програмного забезпечення.

Моделі першої, другої і третьої групи описуються в основному, простими формулами, регресійними рівняннями, диференціальними рівняннями й ін. З технічної точки зору реально досліджувати моделі четвертої групи, до яких відносяться імітаційні моделі. Моделі п'ятої групи є надзвичайно складними і в даний час практично не створюються і не досліджуються.

Імітаційне моделювання іноді є єдиним практично доступним методом дослідження складної системи, особливо в біології і медицині. Досліджувана система може одночасно містити елементи безперервної і дискретної дії, залежати від численних випадкових факторів складної природи, описуватися досить громіздкими співвідношеннями, що не мають чисельних рішень. При цьому витрати робочого часу і матеріальних ресурсів на реалізацію імітаційних моделей виявляються незначними в порівнянні з витратами на натурний експеримент, а результати моделювання по своїй цінності часто виявляються близькими до результатів натурального біологічного експерименту. Значну роль метод імітаційного моделювання відіграє при вирішенні задач, пов'язаних із процесами керування, що надзвичайно актуальні для медицини і біології.

10. Ступені адекватності

Моделі можуть відображати об'єкт медицини з різною глибиною і широтою проникнення в його сутність. В залежності від цього виникає велике різноманіття моделей, які розрізняються по типу, по цілі, по призначенню, по матеріалу, із якого вони будуються, по взаємовідношенню між моделлю і організмом (нозологічні, діагностичні). Такі побудови на протязі останніх десятиліть сильно змінилися з розвитком знань про людину і про суть її хвороб, але складались в значній мірі стихійно, фактично відображуючи індивідуальні підходи до об'єднання різних моделей.

За ступенем адекватності моделей прототипу їх прийнято розділяти на евристичні (приблизно відтворюють відповідний прототип, що досліджується, але не дозволяють дати відповідь на питання, про якісні і кількісні параметри реального об'єкту), якісні (відображають принципові властивості реального об'єкта і якісно відтворюють його поведінку) і кількісні (досить точно відповідають реальному об'єктові, так що чисельні значення досліджуваних параметрів близькі до значень тих же параметрів у реальності).

Властивості будь-якої моделі не повинні, та й не можуть, точно і повністю відповідати абсолютно усім властивостям відповідного реального об'єкта в будь-яких ситуаціях. Для вивчення стійкості того ж гемоглобінового буферу у будь-якому випадку немає необхідності піклуватися про відповідність фізичної моделі реальному об'єкту по силі впливу на нього скажемо надлишку фракції α -глобулінів над γ -глобулінами.

У математичних моделях будь-який додатковий параметр може привести до істотного ускладнення рішення відповідної системи рівнянь, а при чисельному моделюванні непропорційно зростають витрати комп'ютерного часу і збільшується похибка. Таким чином, при моделюванні істотним є питання про оптимальний, для даного конкретного дослідження, ступень відповідності моделі оригіналові щодо поведінки досліджуваної системи, зовнішніх і внутрішніх зв'язків. У залежності від питання, на який хоче відповісти дослідник, одна й та сама модель того самого реального об'єкта може бути визнана адекватною або такою, що абсолютно не відбиває реальність.

У силу складності внутрішніх і зовнішніх зв'язків будь-якого реального об'єкта (або його моделі), можливої наявності на перший погляд непомітних, але надзвичайно критичних властивостей, питання про вибір моделі, дійсно адекватної щодо мети дослідження і нечутливої щодо неминучих помилок, вимагає великої обережності.

Модель застосовується в медичній практиці, і відповідно, в діяльності лікаря для вивчення не тільки хвороби і окремих її проявів, це спосіб вивчення особистості хворого на протязі більш чи менш тривалого періоду. Специфічна

особливість медико-біологічної моделі виражається в тому, що вона має синтетичний характер. Термін "синтетичний" тут застосовується двояко: по-перше, в тому розумінні, що така модель формується як на дійсно наукових дослідженнях, так і на психологічних, соціологічних знаннях; по-друге, сучасне теоретичне мислення в медицині має тенденцію ставати синтетичним, передбачаючи єдність експериментального, системного, інформаційного, імовірнісного підходів при вирішенні проблем.

Слід зазначити, що модель є не остаточним результатом дослідження, а лише відправною точкою для аналізу поведінки з метою одержання знань про об'єкт або явище, що моделюється. При цьому головна цінність моделі полягає в тім, що на ній можна експериментувати так, як цього не можна зробити на об'єкті, що моделюється. У медичній інформатиці такі експерименти здійснюються, насамперед, з машинними моделями, представленими у формальній математичній формі і введеними у вигляді задачі, що підлягає рішенню на комп'ютері.

11. Математичне моделювання

Поняття моделі в біології і медицині використовується у тісному зв'язку з поняттям моделювання. Моделювання означає імітування існуючої системи на основі побудови, вивчення і перетворення моделей (уявних або матеріальних), в яких відтворюються принципи організації і функціонування цієї системи. Моделювання тут розуміється досить широко – як метод пізнання, що використовується не тільки для дослідження живої системи в якості моделі, але й для її зміни (перетворення) з метою наступної діяльності.

Одним з найбільш важливих і ефективних аспектів системного аналізу вважається метод математичного моделювання. Метод моделювання є природним етапом процесу мислення людиною. Так, наприклад, академік Н.М. Амосов вважає, що могутньої моделюючою системою є сам мозок, що створює свої моделі за допомогою клітинних структур, які формуються в процесі навчання і самоорганізації. Математичне моделювання дозволяє без значних

матеріальних витрат досліджувати поведінку біологічних систем у таких умовах, що складно відтворити в умовах експерименту або клініки, прогнозувати деякі нові явища, скоротити час дослідження і забезпечити оптимальну методику для лікування захворювань.

Законно поставити питання: яка пізнавальна і перетворювальна функція медико-біологічного моделювання? По-перше, моделювання як метод пізнання представляється у вигляді розгорнутої у часі імітації: вивчення стану людського організму (норма, патологія); формування і дослідження моделі; екстраполяція встановлених властивостей моделі на її оригіналах. По-друге, з допомогою даного методу імітується стан організму шляхом проведення дослідів на біологічних об'єктах. Думка лікаря при цьому фіксує особисті припущення і дані математичних розрахунків, приладів, в тому числі комп'ютерів. Процес дослідження живого об'єкта моделює, тобто якби уявно "прокручує", весь сюжет складної діагностичної і лікувальної роботи в цілому. По-третє, моделювання може застосовуватися у вигляді популяційно-статистичного способу імітації поведінки біосистем. Суть вказаного полягає в тому, що результати набувають статистичного характеру в досить широких межах, а саме внаслідок цього одиницею біологічного дослідження (в генетиці, екології, мікробіології) стає не окремим організмом (індивідуум) як носій більше чи менше стабільних ознак, а популяція (група осіб), яка представляє ймовірну можливість їх проявлення. В області медицини це положення стало чітко усвідомлюватись при введенні польових досліджень в епідеміології неінфекційних захворювань (гіпертонічна хвороба, ендокринні розлади, патологія зубощелепної області і т.д.).

Виділення в масі медико-біологічних явищ однорідних властивостей, які допускають кількісний аналіз, привело до використання понятійного апарату математики, фізики, хімії. Такі поняття, як фазовий портрет системи, симетрія взаємодії, біологічні переміни, санітарна статистика і ряд інших, надійно "прописались" у медичній науці. На цьому шляху перетворень деякі розділи

медицини все в більшій мірі рухаються до побудови імітаційних моделей людських популяції і багаточисельних популяцій мікроорганізмів.

Відповідно, дійсний зміст моделі і моделювання проясняється не тільки при їх термінологічному дослідженні (хоча термінологічна ясність – обов'язкова умова ефективної наукової роботи), але і в тісній взаємодії з лікарською діяльністю, яка включає побудову діагностичних моделей хвороби, біологічний модельний експеримент, розробку машинних моделей, розробку режимів спілкування у системі «комп'ютер – хворий» і т.д. Як спосіб наукового пізнання моделювання давно переступило межі попередніх уявлень і виступає зараз як складна система різних видів повсякденної діяльності лікаря.

12. Етапи математичного моделювання

Під час підготовки до створення моделі деякого процесу необхідно розглянути три принципові питання:

1. Принципову можливість рішення задачі взагалі. Оцінка можливості рішення проблеми повинна виходити винятково з наявних на сьогодні наукових знань без врахування рівня технології. Тут можливо усе, що не суперечить вже відомим законам природи й основним науковим принципам. І доти, поки не знайдені конкретні, уже відомі закони природи і логіки, що перешкоджають рішенню даної проблеми, вона повинна бути визнана такою, що принципово розв'язується.

2. Можливість вирішення задачі зараз, за існуючого рівня технології.

Діставши позитивну відповідь на ці питання можна перейти до процесу математичного моделювання, на якому можна виділити три етапи:

I етап – створення математичної моделі у вигляді системи формул і рівнянь на основі результатів експериментальних досліджень щодо процесів, що протікають в системі;

II етап – перевірка і коректування моделі, що передбачає визначення числових значень коефіцієнтів і початкових умов, розв'язок системи рівнянь і порівняння отриманих результатів з даними експерименту, виявлення

відповідності або невідповідності досліджуваного об'єкта і моделі, визначення умов застосовності моделі;

III етап – дослідження математичної моделі і її використання в практичних цілях для одержання нової інформації про досліджуваний об'єкт.

Розглянемо їх більш докладно.

Нехай нам необхідно дослідити деякий об'єкт А. На першому етапі ми конструємо (матеріально або уявно) або знаходимо в реальному світі інший об'єкт В, що є моделлю об'єкта А. Етап побудови моделі припускає наявність деяких знань про об'єкт-оригінал. Пізнавальні можливості моделі обумовлюються тим, що модель відбиває деякі істотні риси об'єкта-оригіналу. Очевидно, що модель втрачає свій зміст як у випадку тотожності з оригіналом (ізоморфізм), так і у випадку надмірної – у всіх істотних відносинах – відмінності від оригіналу. Таким чином, вивчення одних сторін об'єкту, що моделюється, здійснюється ціною відмови від урахування інших (другорядних) сторін. Для будь-яких реальних систем відношення ізоморфізму завжди є ідеалізація. У зв'язку з цим, ізоморфізм доцільно розглядати тільки щодо деяких фіксованих наборів властивостей і відносин порівнюваних систем. Тому, будь-яка модель заміщає оригінал лише в строго обмеженому змісті (гомоморфізм). У гомоморфних моделях вся доступна інформація щодо досліджуваних процесів, об'єктів і явищ, яка містить безліч другорядних, не істотних даних, представляється у більш компактній, зручній і доступній для аналізу формі.

На другому етапі модель виступає як самостійний об'єкт дослідження. Однією з форм такого дослідження є проведення модельних експериментів, при яких свідомо змінюються умови функціонування моделі і систематизуються дані про її поведінку. Кінцевим результатом цього етапу є множина знань про модель.

На третьому етапі здійснюється перенос знань із моделі на оригінал – формування множини знань про об'єкт. Цей процес переносу знань проводиться за певними правилами. Знання про модель повинні бути

скоректовані з урахуванням тих властивостей об'єкта-оригіналу, що не знайшли відображення або були змінені при побудові моделі. Ми можемо з достатньою підставою переносити який-небудь результат із моделі на оригінал, якщо цей результат дійсно пов'язаний з ознаками подібності оригіналу і моделі. Якщо ж певний результат модельного дослідження пов'язаний із відмінністю моделі від оригіналу, то цей результат переносити неправомірно.

Після цього необхідно провести перевірку отриманих за допомогою моделі знань шляхом використання їх для побудови узагальнюючої теорії об'єкта, його перетворення або керування їм. Для розуміння сутності моделювання важливо не випустити з уваги, що моделювання – не єдине джерело знань про об'єкт. Процес моделювання "занурений" у більш загальний процес пізнання. Ця обставина враховується не тільки на етапі побудови моделі, але й на завершальній стадії, коли відбувається об'єднання й узагальнення результатів дослідження, одержаних шляхом різних засобів пізнання.

Моделювання – циклічний процес. Це означає, що за першим циклом може йти другий, третій і т.д. При цьому знання про досліджуваний об'єкт розширюються й уточнюються, а вихідна модель поступово вдосконалюється.. Недоліки, що виявлені після першого циклу моделювання і обумовлені малим знанням об'єкта та помилками у побудові моделі, можна виправити в наступних циклах. У методології моделювання, таким чином, закладені великі можливості саморозвитку.

13. Обмеження і переваги методу математичного моделювання

Метод математичного моделювання знаходить своє застосування в медицині і супутніх їй науках. Він є засобом, що дозволяє встановлювати усе більш глибокі і складні взаємозв'язки між теорією і досвідом. В останнє сторіччя експериментальний метод у медицині почав наштовхуватися на певні обмеження, і з'ясувалося, що цілий ряд досліджень неможливий без моделювання. Якщо зупинитися на деяких прикладах обмежень в області

застосування експерименту в медицині, то вони будуть в основному наступними:

- втручання в біологічні системи іноді має такий характер, що неможливо встановити причини змін, що з'явилися, (внаслідок втручання або з інших причин);
- деякі теоретично можливі експерименти нездійсненні внаслідок низького рівня розвитку експериментальної техніки;
- велику групу експериментів, пов'язаних з експериментуванням на людині, варто відхилити з морально-етичних міркувань.

Проте, моделювання знаходить широке застосування в галузі медицини не тільки через те, що може замінити експеримент. Воно має велике самостійне значення, що виражається в цілому ряді переваг:

- за допомогою методу моделювання на одному комплексі даних можна розробити цілий ряд різних моделей, по-різному інтерпретувати досліджуване явище, і вибрати найбільш плідну з них для теоретичного тлумачення;
- у процесі побудови моделі можна зробити різні доповнення до досліджуваної гіпотези й дістати її спрощення;
- у випадку складних математичних моделей можна застосовувати ЕОМ;
- відкривається можливість проведення модельних експериментів (модельні експерименти на піддослідних тваринах).

Усе це ясно показує, що математичне моделювання виконує в медицині самостійні функції і стає усе більш необхідним шаблоном у процесі подальшого розвитку медичної науки. В інформатиці досліджуються, насамперед, моделі, що представлені у формальній математичній формі, зручній для рішення на комп'ютері.

Завдання для самоконтролю:

1. Наведіть приклад системи.
2. Назвіть та охарактеризуйте властивості систем.

3. Дайте класифікацію систем.
4. Назвіть системні закони.
5. Опишіть структуру системи.
6. Дайте класифікацію систем за структурним складом. Коротко охарактеризуйте кожний тип систем.
7. Розкрийте суть поняття "модель".
8. Виділіть типи моделей, що застосовуються в медицині та біології.
9. Поясніть суть математичного моделювання.
10. Проаналізуйте переваги та недоліки методу математичного моделювання.
11. Наведіть приклади математичних моделей.

Список літератури

1. Лях Ю.Е. Роль и место имитационного моделирования в системном анализе медико-биологических объектов // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 1997. – Т.1, №1. – С. 8-17.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1984. – 265 с.
3. Теоретические исследования физиологических систем. Математическое моделирование. / Под редакцией Н.М.Амосова – Киев: – Наукова думка, 1977. – 246 с.
4. Белоцерковский О.М. Математическое моделирование – отрасль информатики // Кибернетика. Становление информатики. – М.: Наука, 1986. – С. 45-51.
5. Яблоков А.В. Популяционная биология. М.: Высшая школа, 1987
6. Герасимов А.Н.. Математические модели в биологии, экологии и медицине. М.: МИФИ, 1998
7. Добрін Б.Ю., Каширін В.Г.. Основи медичної інформатики. – Луганськ: ЛДМУ, 2003. – 512 с.

**ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ В МОДЕЛЮВАННІ БІОМЕДИЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ**

**Методичні вказівки
для самостійного вивчення дисципліни**

ШИГИМАГА Віктор Олександрович

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.
Ум. друк. арк. 1,57 _____
Наклад 100 пр.
Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44