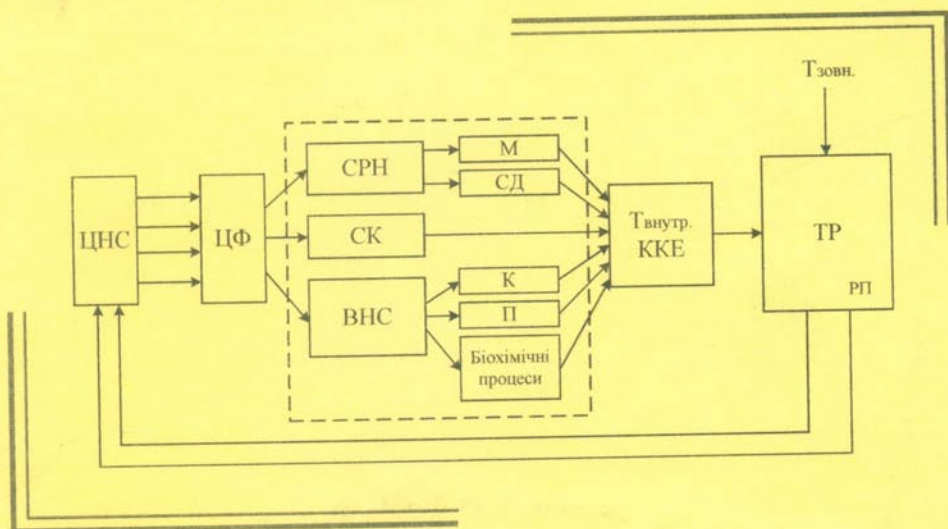


БІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Частина перша

БІОЛОГІЧНІ ТА БІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЯК
ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

С. М. Злепко, М. М. Данильчук, Л.В. Загоруйко

Біотехнічні системи медичного призначення

Частина перша

БІОЛОГІЧНІ ТА БІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЯК ОБ'ЄКТИ
ДОСЛІДЖЕННЯ

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів напряму підготовки 0910 – «Електронні апарати» спеціальності 6.091002 – «Біотехнічні та медичні апарати і системи». Протокол № 9 від « 26 » лютого 2008 р.

Вінниця ВНТУ 2008

Рецензенти:

І. І. Хаймзон, доктор технічних наук професор
В. Г. Петрук, доктор технічних наук професор
В. М. Кичак, доктор технічних наук професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

С. М. Злепко, М. М. Данильчук, Л.В. Загоруйко

3 67 **Біотехнічні системи медичного призначення. Частина перша. Біологічні та біотехнічні системи як об'єкт дослідження.** Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 95 с.

Навчальний посібник є коротким викладом курсу "Біотехнічні системи медичного призначення" для студентів, що навчаються за спеціальністю "Біотехнічні та медичні апарати і системи". Посібник розроблений у відповідності з планом кафедри та програмою дисципліни.

УДК 621.382:612(075)

ЗМІСТ

Вступ.....	4
<i>Глава 1. Система як об'єкт дослідження. Основні поняття</i>	8
1.1. Системний підхід до вивчення об'єктів живої та неживої природи	8
1.2. Класифікація систем	15
1.3. Способи опису систем	18
1.4. Системні аспекти керування	28
1.5. Основні функціональні характеристики складних систем	31
Резюме	35
<i>Глава 2. Біологічні системи</i>	37
2.1. Погляд на організм з позицій системного аналізу	37
2.2. Функціональні системи організму	45
Резюме	53
<i>Глава 3. Проблеми аналізу й синтезу біотехнічних систем</i>	56
3.1. Означення, загальні властивості та принципи синтезу біотехнічних систем	56
3.2. Класифікація біотехнічних систем	61
3.3. Типи й засоби керування	69
Резюме	75
Післямова	76
Бібліографічний опис.....	78
Глосарій	85

Пропонований навчальний посібник є коротким викладом курсу "Біотехнічні системи медичного призначення" для студентів, що навчаються за спеціальністю "Біотехнічні та медичні апарати і системи".

Термін «система» походить від грецького *συστήμα* (система), що означає ціле, складене з частин; з'єднання. [1; 2] Цей термін, зазнавши в своєму розвитку певної еволюції, вживається в багатьох галузях людської діяльності – в філософії, соціології, юриспруденції, в природничих і технічних науках та практиці. Узагальнено він означає сукупність елементів будь якої природи, які знаходяться у певних відношеннях і зв'язках. Ми говоримо про систему знань як загальнолюдських, так і фахових, про систему законів держави, про політичну систему, про технічні системи. Системи можуть бути природними (наприклад, екосистема певного регіону або планети) чи створеними зусиллями і знаннями людей (наприклад, енергетична, транспортна системи чи система штучного кровообігу).

Біотехнічною (від грецького *βίος* – життя) називають систему, яка поєднує в собі біологічні (живі) та технічні елементи.

Постановка науково-технічної задачі аналізу й синтезу біотехнічних систем обумовлена в свій час необхідністю розробки загальної теорії комплексування технічних та біологічних елементів у єдиний контур керування. Вперше ця проблема виникла при розв'язуванні міждисциплінарних задач, пов'язаних з розробкою автоматизованих систем штучного кровообігу й дихання, створенням біокерованих протезів кінцівок, штучного серця. Початок цих робіт відноситься на кінець п'ятидесятих років.

Дещо пізніше, на початку сімдесятих, були поставлені нові задачі, пов'язані із застосуванням *біонічної* методології для розробки адаптивних біотехнічних систем *ергатичного* типу, а також біотехнічних систем керування цілеспрямованою поведінкою живих організмів. Термін «ергатичний» походить від грецького *ἐργάτης* (ергатес), що означає «робітник». Це система, складовим елементом якого є людина-оператор (або кілька людей). В ергатичних системах людина виконує (в тій чи іншій мірі) функції керування системою [3, 4]. Прогрес у створенні біотехнічних систем відбиває одну з найважливіших сторін науково-технічної революції – поєднання й консолідацію вчених та спеціалістів точних і біологічних наук.

Розробка теорії й розв'язування задач, пов'язаних зі створенням біотехнічних систем стала одним із найважливіших напрямків розвитку *біоніки*. Біонічний метод полягає у вивченні об'єктів живої природи й використанні її ідей для побудови технічних засобів або для комплексування біологічних і технічних засобів у єдину систему. Як наука біоніка виникла в 60-х роках XX століття. До її становлення спричинились три фактори.

Першим із них є гостра потреба в тісній взаємодії, обміні досвідом, науковою інформацією та ідеями представників біологічних і технічних наук для розв'язування властивих їм задач.

Другою причиною об'єднання стала необхідність розв'язання задач, які стоять на грані цих наук, таких, наприклад, як протезування органів, об'єктивний контроль стану організму людини на борту, інженерно-психологічне проектування людино-машинних систем тощо.

Третім фактором явилось те, що саме в середині ХХ століття накопились певні знання в сфері вивчення структури й функціонування живих організмів та розроблені основні методи їх вивчення, з одного боку, а з іншого, з'явилась наукова й технічна база, необхідна для постановки цих досліджень. Яскравим прикладом тому є вивчення апарату орієнтування кажана, яке започатковано італійцем Ладзаро Спалланцані в кінці ХVІІІ ст.: по справжньому якісно локаційний апарат кажанів був досліджений нашими сучасниками після того, як з'явилась відповідна апаратура, необхідна для експерименту з ультразвуковими полями [5].

Особливо важливим для підвищення ефективності біонічних досліджень виявилось вдосконалення методів математичної статистики, формальної логіки, теорії ігор і операцій, теорії інформації, теорії керованого експерименту, а також технічної бази біонічних досліджень і, в першу чергу, розвиток мікроелектроніки, створення мініатюрних датчиків-перетворювачів, технічні досягнення безпроводної біотелеметрії і, звичайно, поява високопродуктивних і доступних ЕОМ.

Дослідження вчених різних країн довело високу ефективність біонічного підходу для розв'язування прикладних інженерних задач в найактуальніших напрямках техніки: створенні роботів, однорідних обчислювальних середовищ, програм штучного інтелекту, транспортних засобів, розв'язанні задач протезування й медичного приладобудування.

Характерним для біонічного підходу є дослідження саме тих особливостей будови та функціонування організму, які необхідні й достатні для розв'язання конкретних задач синтезу систем певного призначення. Сучасна біоніка відкинула принцип сліпого копіювання, некритичного відтворення живої природи в технічних аналогах і обрала метод функціонального моделювання, що ґрунтується на вимогах ізоморфізму (однаковості побудови, незалежно від природи елементів) технічних систем їх біологічним аналогам.

Наприклад, теорія аеродинаміки Жуковського виявилась продуктивнішою для створення літальних апаратів, ніж спроби послідовників Леонардо да Вінчі створити махоліт. Подібне можна сказати про біонічні підходи у створенні роботів. Тут цілком продуктивним виявилось функціональне моделювання сенсорних і ефекторних систем живого організму.

Розвиток біонічних систем переходить від вивчення окремих елементів біологічних систем до дослідження їх комбінацій, зв'язків та взаємодії. В

останній період перед біонікою виникли принципово нові задачі пов'язані з вивченням властивостей біологічних об'єктів з метою їх адекватного посднання в єдині біотехнічні системи.

Ця проблема була сформульована як синтез біотехнічних систем і вимагала розробки своєї теоретичної бази і специфічної методології [5]. Цікаво, що на необхідність виникнення біотехнічних систем вказував ще в 1964 році Норберт Вінер, пов'язуючи з вивченням можливостей біотехнічних систем краще розуміння проблем автоматизації. В той час розпочались перші роботи над створенням біотехнічних систем на основі біонічних досліджень: біокеровані протези руки та автоматизовані системи штучного дихання та кровообігу.

Як уже відзначалось, біотехнічні системи - це особливий клас великих систем, які являють собою сукупність біологічних і технічних елементів, зв'язаних між собою в єдиному контурі керування. З цього означення випливає, що не зважаючи на різницю цільових функцій до біотехнічних систем в рівній мірі відносяться як системи ергатичного типу, в яких людина виконує роль керівної ланки, так і технічні системи, що керують окремим організмом чи його системою або органом (системи штучного кровообігу й дихання, гемодіалізу тощо), а також системи керування популяціями живих організмів (біотехнічні системи примусового керування поведінкою тварин).

Неодмінною умовою їх оптимального функціонування є спільні для них принципи адекватного узгодження характеристик керування технічних і біологічних елементів системи та ідентифікації інформаційного середовища, яка потребує оптимізації інтенсивності потоків і форми представлення інформації, що нею в процесі функціонування обмінюються біологічні й технічні елементи системи. Інакше кажучи, в процесі синтезу біотехнічної системи режими функціонування й конструктивні рішення технічних елементів повинні бути вибрані таким чином, щоб **максимально відповідати** морфологічним і психофізіологічним особливостям посднаних з ними біологічних елементів системи.

Стосовно задач синтезу ергатичних систем ці вимоги виливаються в доволі актуальну проблему, сформульовану як врахування людського фактору на ранніх стадіях проектування систем керування і керованих комплексів. В залежності від функцій, які виконує людина в ергатичній системі їх можна поділити на складні (людина працює в режимі рефлекторного автомата) та дуже складні, коли діяльність оператора носить інтелектуальний характер (розпізнавання образів, прийняття рішень, багатокоординатне слідкування тощо). Попри все наявність в системі людини, що сама вже є складною ієрархічною багатозв'язною самокерованою системою, яка включає ряд підсистем, що забезпечують адаптацію людини до умов змінюваного навколишнього середовища під час її операторської діяльності, надає кожній ергатичній системі характеру імовірнісної й дуже складної системи.

Враховуючи задачі, які розв'язує біоніка, можна так сформулювати предмет цієї науки: предметом біоніки є дослідження структури й функціонування біологічних об'єктів різної складності (від клітин до живих організмів і їх популяцій) з метою створення нових, більш досконалих комплексів технічних засобів і синтезу біотехнічних комплексів, які оптимально використовують властивості біологічних і технічних елементів, об'єднаних в єдину функціональну систему цілеспрямованої поведінки.

Сучасні дослідження доводять, що в багатьох випадках, особливо, коли необхідно обробляти великі масиви інформації (наприклад для розпізнавання образів) і прийняття рішень в реальному масштабі часу, найбільш ефективними є не повністю автоматичні системи, а біотехнічні системи, які поєднують евристичні методи обробки інформації, властиві людині з точністю вимірювання і оцінки параметрів системи, швидкістю і безпомилковістю аналізу та прогнозування розвитку процесів, вибору варіантів і реакції на швидкоплинні зовнішні впливи, притаманні машинному інтелекту. При цьому на долю ЕОМ випадає первинна обробка інформації і представлення її у вигляді, адекватному сенсорним входам людини. Людина розпізнає ситуацію й приймає рішення.

Бурхливий розвиток обчислювальної техніки, поява доступних і потужних персональних комп'ютерів (ПК) та інтегральних контролерів розкривають нові, ще більш широкі перспективи створення біотехнічних систем. Універсальність ПК, висока продуктивність, розвинуті можливості накопичення, зберігання і передавання інформації у поєднанні з новими методами обробки роблять їх одними із основних елементів біотехнічних систем. Особливо широко останнім часом ПК використовуються для створення медичних комп'ютерних систем. У таких системах комп'ютер є ядром, навколо якого об'єднуються інші елементи.

З іншого боку інтегральні контролери, які містять у собі вбудовані все нові пристрої, пристосовані для обробки як цифрових так і аналогових сигналів, аналого-цифрові і цифроаналогові перетворювачі вже стали базовими елементами для створення різноманітних автономних приладів та «інтелектуальної периферії» систем і комплексів.

Глава 1

СИСТЕМА ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ.

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ

1.1 Системний підхід до вивчення об'єктів живої та неживої природи

Сучасна медицина й біологія під час дослідження організмів широко використовує різну вимірювальну й реєструвальну техніку та інформаційно-вимірювальні комплекси на базі комп'ютерів та мікропроцесорів. Необхідною умовою успішності таких досліджень є оснащення лікувальних та наукових закладів відповідним обладнанням, а також розробка і оволодіння сучасною науковою методикою вивчення біологічних об'єктів (БО).

До певного часу вважалося, що дослідження й кількісні вимірювання в галузі біології й медицини є чимось особливим, що не підпорядковано принципам досліджень в точних, зокрема технічних науках. Це накладало певний відбиток на підходи до розробки приладів для біомедичних досліджень. Дійсно, дослідження БО має ряд специфічних особливостей, пов'язаних з тим, що об'єктом дослідження є живі клітини, групи клітин, орган чи система, окремий організм або ціла колонія (популяція) організмів. І все ж справедливо визначити місце приладобудування для біології й медицини не як окремої відособленої області техніки, а як частини загального приладобудування, що розвивається одночасно з суміжними областями техніки.

Оскільки на процес дослідження впливає велика кількість різноманітних важко враховуваних факторів, важливою для остаточного прийняття рішення є оцінка відповідності (адекватності) отриманих кількісних і якісних характеристик дійсному стану об'єкта. При вивченні БО оцінка адекватності стає особливо важливою, позаяк в залежності від стану визначається подальший хід досліджень, діагностики чи лікувальних впливів.

В складних кібернетичних системах керування, призначених для підтримання фізіологічних умов існування організму, в яких показники його життєдіяльності виступають як керівні, командні, зростають вимоги до об'єктивності результатів вимірювань і оброб-

Умовою успішності досліджень є наявність обладнання, а також сучасної наукової методики вивчення об'єктів

Приладобудування для біології й медицини – частина загального приладобудування

При вивченні БО особливо важлива оцінка адекватності

ки даних. Мінливість та індивідуальний розкид параметрів об'єктів, їх взаємопов'язаність, нелінійність цих зв'язків, наявність значних завад – все це робить об'єктивне оцінювання стану БО доволі складним. Для того щоб розібратись у величезному потоці інформації, що надходить від піддослідного об'єкта, необхідне ясне розуміння його особливостей, структури й законів функціонування.

Знання особливостей БО необхідне для розв'язання багатьох задач, таких, наприклад, як діагностика захворювань і вибір лікувальних заходів, контроль за станом важкохворих і реабілітація після тривалого лікування, керування порушеними функціями організму за допомогою штучних органів і створення біокерованих маніпуляторів, підтримка життєдіяльності організму в екстремальних умовах і оцінювання професійної придатності, оптимізація систем людина - машина і пов'язане з цим вивчення поведінки людини-оператора тощо.

Вивчення особливостей живого об'єкта пов'язане зі значними труднощами. Це пояснюється, з одного боку, надзвичайною складністю організму, що є сукупністю багатьох взаємопов'язаних фізіологічних систем, а з іншого, недосконалістю методів дослідження і математичного апарату, який не дозволяє адекватно описати таку сукупність. В зв'язку з цим БО повинен характеризуватись з більш загальних методологічних позицій. Однією з них може бути *системний підхід*, що є методологією для наукового дослідження й практичного освоєння складноорганізованих об'єктів. Передумовою проникнення системного підходу в науку був, передусім, перехід до нового типу задач, пов'язаних із вивченням і створенням складних об'єктів. В цьому випадку на перше місце ставиться не аналіз складових частин об'єкта як таких, а його характеристика як чогось цілого, розкриття механізмів і зв'язків, що забезпечують цілісність об'єкта [4, 5].

Дослідження загальної теорії систем в технічних та природничих науках тривають уже більше півстоліття. Системний підхід посів міцні позиції в дослідженнях найбільш складних систем – соціологічних, економічних, біологічних тощо, а усвідомлення його загальнонаукового характеру привело до того, що ме-

Об'єктивно оцінити стан БО доволі складно

Знання особливостей БО необхідне для розв'язання задач діагностики, лікування, протезування, створення систем машина-людина тощо

БО повинен характеризуватись із загальних методологічних позицій системного підходу – характеристика об'єкта як цілого

тодологія системного підходу сама стала предметом теоретичного вивчення [4, 5].

Вже в 40-і роки минулого століття стало ясно, що неможливо створювати скільки-небудь складні комплекси без розробки методології системного проектування, тобто розгляду об'єкта як великої системи або як елемента складної системи. Наприклад, стосовно системи забезпечення безпеки польотів система диспетчерської служби, система навігації, система організації ремонтної служби, система медичного забезпечення і т.д. можуть розглядатись як її елементи.

Вже досить давно у фізіології панує погляд на організм як на сукупність складних взаємопов'язаних біологічних регуляторів, однак лиш порівняно недавно теорія автоматичного регулювання стала застосовуватись при вивченні біологічних об'єктів [5, 6].

Застосування цих теорій збагатило як біологію, породивши нові уявлення про біологічну організацію та дозволивши глибше розібратись в закономірностях еволюційного розвитку, так і техніку, відкривши нові, невідомі в техніці принципи організації дуже складних систем, що забезпечують високу надійність виконання певних функцій в умовах постійно й значно змінюваного зовнішнього середовища. Знання про біологічні системи дало поштовх до розвитку нових напрямків науки й техніки – кібернетики, біоніки, біотехнічних систем.

Кожний закон, кожна наука в цілому є узагальненою функціональною моделлю дійсності, здатною передбачати поведінку реальних об'єктів в певному діапазоні умов. Побудова моделей, використання функціональних схем і математичних співвідношень вимагає точної характеристики й строгого визначення понять.

Одним із найзагальніших понять, застосовуваних для опису об'єктів, є поняття система. В літературі зустрічається більше 40 різних означень цього поняття. В одних випадках системи розглядають як деякі класи математичних моделей, в інших означають систему через поняття системного підходу – «елементи», «відношення», «зв'язки», «ціле», «цілісність». А ще означають систему з позицій теорії регулювання через поняття «вхід», «вихід», «переробка інформації», «за-

Неможливо створювати скільки-небудь складні комплекси без методології системного проектування

Організм – сукупність складних взаємопов'язаних біологічних регуляторів

Кожний закон, кожна наука в цілому є узагальненою функціональною моделлю дійсності

В літературі зустрічається більше 40 різних означень поняття «система»

кон поведінки», «керування». Найбільш загальним і простим є таке [5].

Система – сукупність елементів, певним чином пов'язаних і взаємодіючих між собою для виконання заданих цільових функцій. Це так звані системи цілеспрямованої діяльності або поведінки.

З метою розгляду основних задач системного підходу введемо деякі означення, які доповнюють подані вище означення систем та принципи системного підходу:

1. Система є перш за все сукупність елементів, які, в свою чергу, можуть розглядатись як системи, а сама досліджувана система – як елемент більш широкої системи (ієрархічність системного підходу).

З точки зору теоретико-множинного підходу систему розглядають як деякий клас множин S , який містить в собі підклас множин елементів M_i , який, у свою чергу, ділиться на підклас множин піделементів L_i . Сама система S входить як елемент в деяку систему більш високого порядку – метасистему, яка теж являє собою підклас множин K_i . Символічно це записується так:

$$S = \{M_i, L_i, K_i\}.$$

2. Для будь-якої системи характерна наявність інтегративних якостей. Інтегративними називають якості, що притаманні системі в цілому і не властиві жодному з її елементів. З цього випливає важливий висновок, що система не зводиться до простої сукупності елементів і, розчленовуючи її на частини та вивчаючи їх окремо, неможливо пізнати всі властивості системи в цілому.

3. Для будь-яких систем характерна наявність суттєвих зв'язків між елементами, що переважають потужністю (силою) зв'язки елементів системи з елементами, які в неї не входять. Дана властивість дозволяє виділити систему як цілісну з навколишнього середовища.

Ці означення однаково придатні для систем будь-якої природи.

У розвитку системного проектування велику роль відіграла кібернетика, котра вперше відкрила можливість формального опису й аналізу систем керу-

Система – сукупність елементів, пов'язаних і взаємодіючих між собою для виконання заданих цільових функцій

Елементи також можуть розглядатись як системи

Для будь-якої системи характерна наявність інтегративних якостей

Зв'язки між елементами системи потужніші від зв'язків з елементами довкілля

У розвитку системного проектування велику

вання найрізноманітнішої природи.

Предмет теорії системних досліджень формулювався дослідниками по-різному в залежності від області їх наукових інтересів. Поряд з "технічним" підходом до визначення предмета теорії систем, яке стверджує, що вся сучасна техніка являє собою безліч великих систем (Л. Заде, Г. Кастлер та ін.), правомірними можна вважати й інші підходи - "біологічний" (В. І. Кременський, К. М. Хайлов та ін.), "психологічний" (Ш. Піаже, Г. Оллпорт та ін.), "лінгвістичний" (І. І. Резвін, Г. П. Мельников та ін.), "соціологічний" (П. Сорокін, У. Берклі та ін.). У зв'язку з цим природне намагання сформулювати основні положення і означення загальної теорії систем як міждисциплінарної концепції, яка може використовуватись для аналізу явищ, що розглядаються в різних традиційних областях наукової діяльності. Сфера її застосування не обмежується матеріальними системами, а відноситься до будь-чого цілого, яке складається із взаємодіючих компонентів незалежно від їх природи.

Враховуючи сказане, основними задачами загальної теорії систем можна вважати:

- розробку засобів подання досліджуваних об'єктів як систем;
- побудову узагальнених моделей системи та моделей різних властивостей системи;
- дослідження концептуальної структури системних теорій.

Під системними дослідженнями слід розуміти сукупність таких сучасних наукових і технічних проблем, котрі попри все їх розмаїття подібні в розумінні і розгляді досліджуваних об'єктів як систем, тобто як множин взаємопов'язаних елементів, що виступають як єдине ціле.

Відомі також різновиди системного підходу до вивчення найбільш складних проблем науки, наприклад *системний аналіз* – аналіз проблем з позицій системного підходу, який допомагає пов'язати між собою всі відомі факти і взаємозв'язки, які складають сутність аналізованої проблеми, і створити узагальнену модель, яка відображає цю проблему найбільш повно.

Системний аналіз може використовуватись як під час постановки й вирішення нових проблем, так і

роль відіграла кібернетика як наука про керування об'єктами різної природи

Різні підходи:
технічний, біологічний, лінгвістичний, соціологічний

Загальна теорія систем – це міждисциплінарна концепція, яка може використовуватись для аналізу явищ в різних традиційних областях наукової діяльності

Системні дослідження:

системний аналіз

при вивченні існуючих об'єктів, створених природою і людиною. Він дозволяє досліднику глибше зрозуміти особливості організації живих систем.

При розробці нових систем, особливо біотехнічних, в які БО включається як одна з ланок, велике значення має *системний синтез* – синтез систем з позицій системного підходу, який дозволяє на основі вихідних даних (які містять відомості про призначення системи, її характеристики і функції), знанні елементної бази й досвіду проектування подібних систем запропонувати узагальнену модель системи, що відповідає поставленим задачам з максимальною відповідністю за умов введених обмежень на вибір характеристик її компонентів.

системний синтез

Питання про «біологічну організацію» стало виключно актуальним ще й тому, що воно тісно пов'язане з перспективами застосування нових методів дослідження живих систем. Хоч відомо багато різних методів і технічних засобів дослідження БО, жоден з наявних методів ізолювано, поза зв'язком з іншими, не може дати вичерпних відомостей при дослідженні багатосторонніх явищ і процесів, притаманних організму. Строгий кількісний опис того чи іншого процесу, функції, реакції-відповіді вимагає проведення комплексного вивчення, пов'язаного як з вимірюваннями окремих медико-біологічних показників, так і з тривалою реєстрацією набору характеристик процесів, що вивчаються, з наступним або одночасним (в реальному часі) аналізом цього набору за допомогою ЕОМ.

Строгий кількісний опис процесу, функції, реакції-відповіді вимагає комплексного вивчення

Особливістю дослідження біологічного об'єкта є та обставина, що неможливо з метою дослідження вичленили якусь його частину, для якої можна було б створити такі ж умови, які є в живому організмі, отже такі дослідження будуть неповними і можуть дати результат зовсім неадекватний досліджуваному об'єкту. Це зумовлено багатозв'язністю елементів біооб'єкта, складністю і непередбачуваністю (стохастичністю) зв'язків, їх нелінійністю тощо.

Неможливо з метою дослідження вичленили якусь його частину, для якої можна було б створити такі ж умови, які є в живому організмі

Вибір оптимального набору методів для таких досліджень неможливий без розгляду всієї сукупності методів як єдиної системи, між компонентами якої існують специфічні форми взаємодії. Такий аналіз сукупності методів біологічних і медичних досліджень,

Вибір оптимального набору методів для досліджень потребує розгляду всієї су-

звичайно, повинен враховувати особливості БО як об'єкта дослідження.

Під час аналізу методів досліджень необхідно звертати особливу увагу на їх метрологічний аспект, пов'язаний з підвищенням точності й достовірності вимірювань. БО характеризується великою кількістю показників – динамічних і статичних, кількісних і якісних, вимірюваних прямими й непрямими методами.

Кожний метод вимірювання характеризується специфічними методичними похибками. Наприклад, контактні датчики, взаємодіючи з об'єктом дослідження, спотворюють процеси, які вивчаються, а сам об'єкт впливає на характеристики датчика. Ці джерела похибок можуть спричинити значні помилки при вимірюванні медико-біологічних параметрів чи реєстрації фізіологічних процесів. Аналіз і врахування цих помилок потребує знання особливостей біологічної системи.

Ще більшого значення набуває знання особливостей організації біологічних систем під час розробки (синтезу) біотехнічних систем (БТС), що поєднують в єдиному контурі керування біологічні та технічні елементи. Ефективність БТС вирішальною мірою визначається тим, наскільки точно будуть узгоджені характеристики цих ланок, забезпечене **єдине інформаційне середовище**, в якому відбувається взаємодія різних ланок, і дотриманий **принцип адекватності впливів**. З позицій загальної теорії систем синтез БТС можна віднести до одного з видів прикладних системних теорій поряд із системотехнікою, інженерною психологією, ергономікою і т.д., де дотримання принципів системного проектування є неодмінною умовою для досягнення високої якості синтезу.

Контрольні питання для самопідготовки

1. Сутність біонічного підходу.
2. Предмет і завдання біоніки.
3. Особливості вивчення і опису біологічних та біотехнічних систем.
4. Основні задачі загальної теорії систем.
5. У чому полягає ієрархічність системного підходу?
6. Поясніть на прикладах інтегративні властивості систем.
7. Означення і загальна класифікація систем.

купності методів як єдиної системи

БО характеризується великою кількістю показників; їх врахування потребує знання особливостей біосистем

Ефективність БТС визначається тим, наскільки точно будуть узгоджені характеристики складових, забезпечене єдине інформаційне середовище і дотриманий принцип адекватності впливів

8. Поняття системного аналізу і системного синтезу в теорії систем.
9. Особливість дослідження БО. Поясніть, що є основною умовою успішності наукових досліджень БО.
10. Що являє собою методологія системного підходу до вивчення складних об'єктів?
11. Дайте означення організму і системи.
12. Наявність яких якостей є характерною для будь-якої системи?
13. Чим визначається ефективність БТС?

1.2 Класифікація систем

Реальні системи досить важко віднести до певних груп тому, що вони мають різну природу, призначення тощо. Проте можна виділити деякі ознаки, що дозволяють класифікувати системи і поділити методи їх дослідження.

До цих ознак відносять складність систем, використання різних типів входів та виходів, характеристики елементів і типів зв'язків між ними і таке інше.

Сукупність n ізольованих елементів ще не є системою. Для їх вивчення достатньо провести не більше n досліджень. У той же час для дослідження системи необхідно вивчити $n(n-1)$ можливих зв'язків. Якщо характеризувати ці зв'язки найпростішим способом, тобто відзначати в будь-який момент t_i лише наявність або відсутність впливу, то загальна кількість станів системи складе $2^{n(n-1)}$. Зокрема при $n=7$ це число перевищує $4 \cdot 10^{12}$. Кількість елементів, що входять в структуру біологічних систем, може сягати десятків тисяч. Ця обставина є основною причиною, що виключає точний опис таких складних систем, тому необхідно виділяти певні рівні опису, які дозволяють мінімізувати число елементів системи, та використовувати ЕОМ для виконання великої кількості математичних процедур.

За складністю можна виділити три класи систем:

- прості, що складаються з невеликої кількості елементів і характеризуються простою динамічною поведінкою;
- складні, структури яких відзначаються розгалуженістю й різноманітністю зв'язків, але піддаються точному опису;
- дуже складні системи, точно й детально описати які неможливо.

За характером поведінки розрізняють *детерміновані* й *стохастичні* системи. Для детермінованих систем точно відомий закон поведінки, для стохастичних можна лише визначити імовірність того чи іншого стану, тієї чи іншої реакції.

Інший принцип класифікації систем ґрунтується на введенні поняття про інформаційні, енергетичні та речовинні входи й виходи. Під інформацією в цьому випадку розуміють відомості, сигнали про навколиш-

Сукупність n ізольованих елементів ще не є системою

Сукупність n ізольованих елементів ще не є системою

За складністю маємо поділ систем на прості, складні, дуже складні

За характером поведінки розрізняють детерміновані та стохастичні системи

ній світ, які сприймаються системою, або сигнали, якими обмінюється дана система з іншими. В цій класифікації розрізняють:

- інформовані системи, що мають принаймні один інформаційний вхід;
- інформувальні системи, що мають хоча б один інформаційний вихід;
- інформаційні системи, що мають певну кількість інформаційних входів та виходів.

Можлива класифікація за характеристиками елементів на лінійні, нелінійні та гістерезисні, за типом зв'язків між елементами – замкнуті й розімкнуті, з безпосередніми й опосередкованими зв'язками, прямими й зворотними зв'язками тощо.

За типом структури і організацією системи поділяються на централізовані, децентралізовані або багатозв'язні та ієрархічні (рис. 1.1).

В *централізованих* структурах (рис. 1.1, а), керування здійснюється з єдиного центру. Такі структури можуть ефективно розв'язувати стратегічну задачу, але погано реагують на локальні потреби периферійних елементів. На керівний орган покладається велика відповідальність, між периферією і центром циркулює надто багато командно-звітної інформації, що вимагає великої пропускну здатності центрального елемента. При порушенні його функціонування, або неспроможності опрацювати і адекватно реагувати на потоки інформації система руйнується або стає неефективною.

В *децентралізованих* системах (рис. 1.1, б) функціями керування можуть наділятися різні елементи, причому одні і ті ж елементи, в залежності від виконуваної системою функції, можуть ставати або керованими, або керівними. Системи відзначаються живучістю: в разі відмови або втрати якимось із елементів здатності керувати втрачається одна із функцій, інші ж можуть виконуватись. Однак децентралізація приводить до ускладнення і здорожчання системи, крім того, для узгодження дій багатьох «керівників» у системі доводиться вживати додаткових організаційних і структурних заходів. Системи, в яких кожна ланка може бути наділеною автономною здатністю приймати рішення, виконуючи при цьому свою функцію

За ознаками використання інформації розрізняють інформовані, інформувальні, інформаційні

За характеристиками елементів – лінійні, нелінійні та гістерезисні

За типом структури і організацією системи поділяються на централізовані, децентралізовані або багатозв'язні та ієрархічні

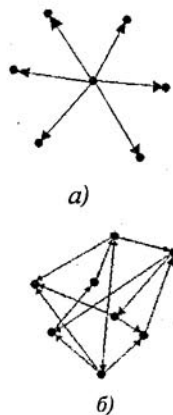
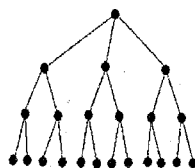


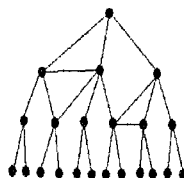
Рисунок 1.1. - Структури систем, а), б)

відповідності з цільовою функцією цілої системи, називаються *анархічними*.

Проміжне положення між централізованими і анархічними системами посідають *ієрархічні* системи (рис. 1.1, в), в яких центральний орган керує не безпосередньо кожним периферійним елементом, а через керівні центри нижчого рівня, кожний з яких в свою чергу може керувати кількома керівними елементами нижчого рівня. При цьому проміжні керівні центри наділяються певною автономією щодо прийняття рішень в межах своєї компетенції. Це зменшує кількість інформації, що передається в центр і від нього. Значні інформаційні потоки замикаються на нижніх рівнях. Система відзначається керованістю і відносною живучістю. Ієрархічна система характеризується як високоорганізована і оптимальна. За таким принципом організовані системи влади в більшості сучасних держав та багато технічних систем. Так організовані живі організми.



а)



б)

Можливі різні варіанти змішаних структур, одна з яких показана на рис. 1.1, з. Вона має ознаки як ієрархічної, так і децентралізованої структур.

Рисунок 1.1.
Структури систем, в), з)

Контрольні питання для самопідготовки

1. Що означає класифікація? Ознаки класифікації.
2. За якими ознаками можна класифікувати реальні системи. Як за складністю поділяють системи?
3. Як розрізняють системи за характером поведінки?
4. Як розрізняють системи за ознаками використання інформації?
5. Охарактеризуйте централізовані системи.
6. Охарактеризуйте децентралізовані системи.
7. Охарактеризуйте анархічні системи.
8. Охарактеризуйте ієрархічні системи.

1.3. Способи опису систем

Різні описи системи відображають певні групи їх властивостей і дозволяють виявити впорядкованість та функціональну організованість системи [6].

Будь-яка система чи об'єкт цікаві перш за все своїм призначенням, місцем, яке вони займають серед інших систем і об'єктів у навколишньому світі, своєю функцією. Тому для характеристики системи передусім повинен бути отриманий **функціональний опис**, який дозволяє оцінити призначення системи, її відношення до інших систем, контакти з навколишнім світом, напрямки можливих змін функції. Функціональний опис пов'язує зовнішні впливи на систему з її реакцією, відповіддю, поведінкою, впливом на елементи системи. Він може задаватись деяким оператором в алгебраїчній, логічній, диференціальній, інтегро-диференціальній формах, який входить в скалярне, векторне, або матричне рівняння. Оператор складається на основі вимірювання зовнішніх характеристик (принцип чорного ящика: вивчення зв'язків вплив–реакція) або на основі знання будови системи.

Уявлення про будову системи дає **морфологічний опис**, що дозволяє виділити основні елементи системи, зв'язки, визначити тип структури.

Ці два види описів доповнюються третім – **інформаційним описом**, який дозволяє судити про рівень її організації (дезорганізації), передбачити в імовірному сенсі реакцію системи на той чи інший вплив. Сюди входить також характеристика інформаційних потоків, які циркулюють в системі в *аферентних* (повідомчих, що передають інформацію з периферії до центра) і *еферентних* (керівних) колах, і даних про алгоритми взаємодії елементів.

Четвертий вид опису системи пов'язаний з характеристикою процесів зародження системи та еволюцією її розвитку в історичному плані – це **генетико-прогностичний опис**.

Розглянемо ці види описів детальніше.

Функціональний опис виходить із однієї чи кількох цільових функцій системи. Серед цих функцій можна виділити такі найпростіші:

- пасивне існування як матеріалу для інших систем;

Функціональний опис виходить із цільових функцій системи

Морфологічний опис дає уявлення про будову системи

Інформаційний опис дозволяє судити про рівень організації системи

- обслуговування систем вищого порядку;
- протистояння іншим системам і середовищу (виживання);
- поглинання чи пригнічування інших систем і середовища;
- перетворення інших систем і середовища.

Для систем вищого порядку формулювання єдиної цільової функції є складною й неоднозначною задачею.

Для складання загального функціонального опису вводяться деякі поняття.

Стан – множина суттєвих властивостей, що їх посідає система в даний момент часу. **Зовнішнє середовище** – множина елементів, які не входять в систему, але зміна їх стану викликає зміну стану системи. **Модель функціонування (поведінка) системи** – модель, що передбачає зміну в часі стану системи в даних умовах.

Функція системи виконується, якщо її характеристичні параметри змінюються в певних межах, поза якими система руйнується або суттєво змінює свої властивості й функцію. *Послідовність дій при виконанні системою деякої функції відбиває зміст закону поведінки*, який залежить від процесів, що протікають всередині системи (тобто закону внутрішнього функціонування), і від процесів, в які втягнута вся система в рамках метасистеми (тобто законів зовнішнього функціонування).

Будь-яка система характеризується наявністю входів та виходів, елементним складом і структурою, набором параметрів, які описують її внутрішній стан, і законом поведінки, що пов'язує вихідні сигнали (ефекти, відповіді, реакції) із вхідними (причиною, стимулом, впливом, збуренням) (рис. 1.2).

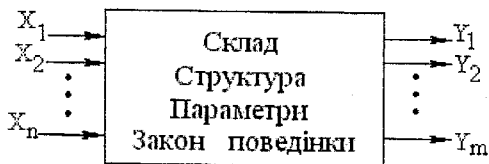


Рисунок 1.2. - Загальна схема системи

Для складання загального функціонального опису вводяться поняття: стан, зовнішнє середовище, модель функціонування (поведінка)

Послідовність дій системи – закон поведінки

Закон поведінки детермінованої динамічної системи в загальному вигляді виражається системою нелінійних диференціальних рівнянь виду

$$\frac{dy_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m, u_1, u_2, \dots, u_r),$$

$$i=1, 2, \dots, m,$$

де y_i – вихідний сигнал на i -му виході;

$x_1, \dots, x_n$ – вхідні сигнали;

$u_1, \dots, u_r$ – визначальні параметри системи;

f_i – функціонал, що пов'язує сигнал на i -му виході зі вхідними сигналами й визначальними параметрами.

Стан системи залежить від значень її визначальних параметрів, положення системи у просторі координат (X, Y) , де $X=(x_1, \dots, x_n)$, $Y=(y_1, \dots, y_m)$, та швидкостей змінювання координат (похідних). Якщо похідні вхідних сигналів дорівнюють нулю, то після завершення певного часу, потрібного для адаптації системи до стану, який відповідає даному вектору вхідних сигналів, система стає статичною. Процес адаптації системи називають перехідним процесом. Статична система описується нелінійною системою рівнянь. Якщо параметри $U=(u_1, \dots, u_r)$ не залежать від (X, Y) , то системи стає лінійною.

Ще більш складною стає картина, коли параметри $U=(u_1, \dots, u_r)$ також є динамічними.

Оскільки функціонування системи залежить від якості виконання функцій елементами системи, то функціональний опис слід представляти у вигляді ієрархічної структури (рис.1.3). Функціональний опис усієї системи вбирає в себе опис зовнішніх функцій, процесів і характеристикних параметрів, котрі визначають закони зовнішнього функціонування та ефективність виконання функцій.

Закони внутрішнього функціонування системи є законами зовнішнього функціонування підсистем 1-го рівня і залежать від функціонування підсистем 1-го рівня, процесів, що протікають всередині системи, і параметрів підсистем. Показники якості функціонування підсистем 1-го рівня впливають на ефективність всієї системи. Закони функціонування підсистем 2-го рівня є законами внутрішнього функціонування для підсистем 1-го рівня і т. д.

Закон поведінки динамічної системи виражається системою нелінійних диференціальних рівнянь

Стан системи залежить від значень її визначальних параметрів, положення системи у просторі координат та швидкостей змінювання координат

Статична система описується нелінійною системою рівнянь

Функціональний опис слід подавати у вигляді ієрархічної структури

Закони внутрішнього функціонування системи є законами зовнішнього функціонування підсистем 1-го рівня

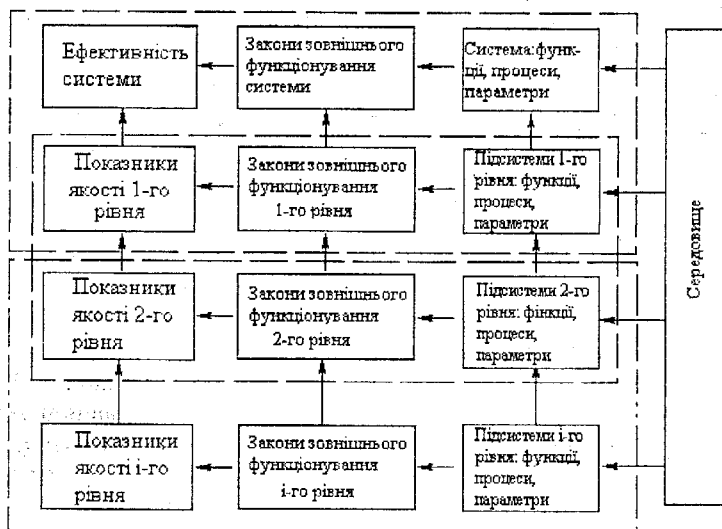


Рисунок 1.3. - Ієрархічна структура функціонального опису

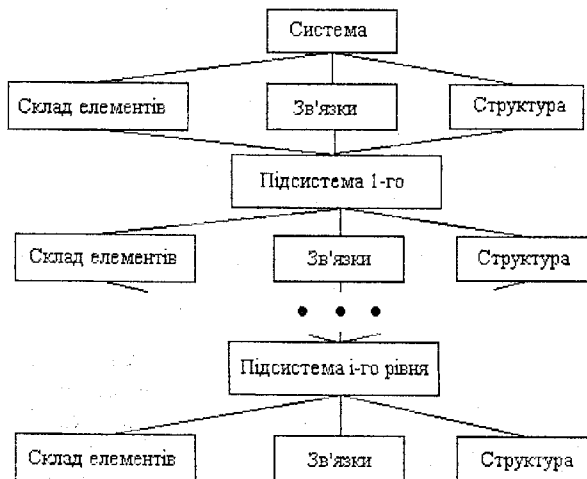


Рисунок 1.4. - Ієрархічна структура морфологічного опису

Таким чином, в міру просування вглиб системи функціональний опис включає в себе нові рівні організації й нові морфологічні структури.

Впливи зовнішнього середовища можуть проявлятися на будь-якому рівні функціонального опису і непрямо викликати зміну ефективності всієї системи.

Морфологічний опис дозволяє судити про елементний склад системи та про зв'язки між елементами – про структуру системи. Розчленування системи на елементи є одним із перших кроків до складання морфологічного опису системи. При цьому мають значення лише ті властивості елемента, які визначають його взаємодію з іншими елементами системи та навколишнім середовищем.

Для уявлення про основні властивості структури морфологічний опис може подаватися на кількох рівнях, тобто морфологічний опис також ієрархічний (рис. 1.4). Слід відзначити, що він не може бути вичерпним; глибина опису, рівень деталізації, тобто вибір елементів, всередину яких опис не проникає, залежать від призначення системи й мети дослідження. На різних рівнях можуть використовуватися принципово інші способи опису. Наприклад, при описі організму на рівні органів використовуються фізіологічні методи, на рівні клітин – мікробіологічні, для опису процесів на внутріклітинному рівні – методи біохімії тощо.

Морфологічний опис починається з характеристики елементного складу, який може бути гомогенним (таким, що містить однотипні елементи), гетерогенним (може містити різнотипні елементи) і змішаним.

Відтак досліджуються властивості елементів, які можуть класифікуватися за змістом, за ступенями свободи, за ступенем спеціалізації та часом активної участі у виконанні функції.

За змістом виділяють інформаційні, енергетичні, речовинні та змішані елементи. За спеціалізацією розрізняють елементи, що призначені для виконання однотипних, близьких (суміжних) і різнотипних функцій. За ступенем свободи у виконанні функцій елементи ділять на програмні, адаптивні та ініціативні, а за часом дії – на регулярні, неперервні, нерегулярні й змішані.

Морфологічний опис дозволяє судити про структуру системи

Морфологічний опис також ієрархічний

Жоден опис не може бути вичерпним. Його глибина визначається метою дослідження

Морфологічний опис відображає характеристики, елементний склад, властивості елементів

Елементи: інформаційні, енергетичні, речовинні та змішані; програмні, адаптивні та ініціативні

Наступною частиною морфологічного опису є характеристика зв'язків між елементами всередині системи та між усією системою й середовищем. Зв'язки оцінюють як інформаційні, енергетичні, речовинні та змішані, а за їх спрямуванням як прямі, зворотні й нейтральні. Якість зв'язків оцінюють пропускну здатністю, ефективністю й надійністю каналів зв'язку. Пропускна здатність визначається як максимальний об'єм речовини, енергії або інформації, що її може пропустити канал зв'язку за одиницю часу. Ефективність визначається втратами інформації, енергії або речовини під час їх передавання каналом. Надійність визначається величиною та імовірністю похибок перетворення й передавання. Надійність тісно пов'язана з ефективністю. Наприклад, помилки при передаванні інформації приводять до її втрат.

Розрізняють прямі й зворотні зв'язки. Прямі зв'язки призначені для передавання інформації, енергії або речовини або їх комбінацій від елемента до елемента згідно з послідовністю виконання елементами функцій для досягнення заданої мети у відповідності з цільовою функцією системи (функціональною послідовністю). Зворотні ж зв'язки, в основному, виконують контрольну функцію, яка забезпечує якість керування процесами. Найбільш поширені інформаційні зворотні зв'язки, які передають інформацію у напрямку, протилежному функціональній послідовності. Наявність таких зв'язків характерна, зокрема, адаптивним системам, які здатні пристосовуватись до умов, що змінюються, або цілеспрямовано змінювати навколишнє середовище.

В результаті морфологічного опису виникає поняття структури – сукупності елементів та зв'язків між ними. Інше означення впливає з розуміння структури як множини всіх можливих відносин між елементами всередині даної системи.

Будь-яку систему можна подати у вигляді структурної схеми або графа, що відбивають її структуру, тобто як сукупність виділених елементів (підсистем) і їх взаємозв'язків (див. рис. 1.4). Перехід системи із одного в інший стан називають процесом, сукупність процесів складає сутність процесу керування при цьому керування обов'язково передбачає наявність каналу керування

Структурні властивості системи визначаються ха-

Зв'язки: інформаційні, енергетичні, речовинні та змішані, прямі й зворотні

Зв'язки характеризуються пропусковою здатністю, ефективністю й надійністю

Прямі зв'язки призначені для передавання у напрямку функціональної послідовності

Зворотні служать для інформавання керівного центру про стан системи і довкілля

Структура – сукупність елементів та зв'язків між ними

Будь-яку систему можна подати структурною схемою або графом

рактором та стійкістю цих відносин. За характером відносин можна виділити централізовані, багатозв'язні, ієрархічні (багаторівневі) та змішані структури (див. рис. 1.1.). Для ієрархічних структур характерна наявність керівних (командних) елементів. В неієрархічних багатозв'язних структурах керівні функції розподілені між елементами або групами елементів. Наявність ієрархії, як правило, є ознакою високого рівня організації. Такі структури більш економічні і в функціональному відношенні.

На рис. 1.5 у вигляді графів подані приклади різних типів структур

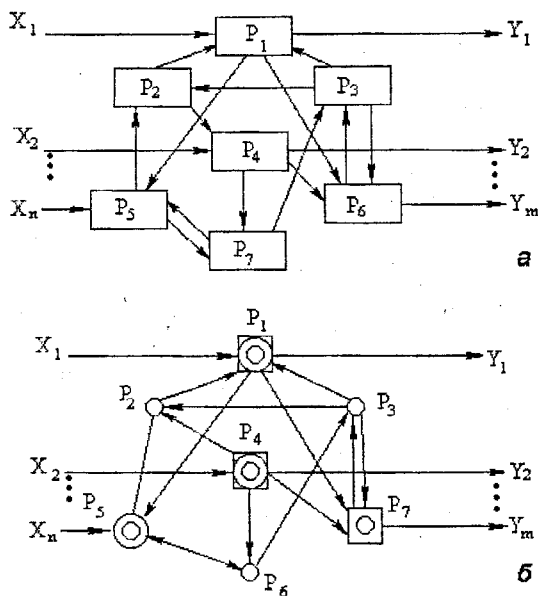


Рисунок 1.5. - Зображення структурної схеми (а) і графа (б) системи

P_1-P_7 - елементи системи; маленьким кружечком позначені елементи, що мають внутрішні зв'язки; більшим кружечком - ті, що мають зовнішні входи; квадратом - ті, що мають зовнішні виходи

Стійкість міжелементних відносин характеризує стабільність розміщення елементів у просторі. Найстійкіші детерміновані структури, тобто такі, в яких відносини або незмінні, або змінюються за певним відомим законом. Якщо відносини описуються імовірнісними законами, структура називається імовірнісною (стохастичною). Існують також хаотичні структури, в яких міжелементні відносини непередбачувані для будь-якого моменту часу, тобто будь-які відносини можуть існувати з однаковою імовірністю.

Існують також хаотичні структури, в яких міжелементні відносини непередбачувані. Сукупність еле-

Властивості структури залежать від внутрішніх ресурсів, властивостей елементів і зв'язків. Сукупність елементів даної системи разом зі зв'язками між ними можна розглядати як підсистему. Це дає можливість розбити дану систему на підсистеми і суттєво спростити її опис.

Підсистеми самі можуть бути складними системами. Розрізняють такі типи підсистем (елементів):

- ефекторні, здатні перетворювати керівні впливи і впливати речовиною, енергією та інформацією на інші підсистеми, системи та навколишнє середовище;

- рецепторні, здатні перетворювати зовнішні впливи в інформаційні сигнали;

- рефлексні, здатні відтворювати всередині себе процеси впливів на інформаційному рівні;

- невизначені, які не можуть бути точно віднесені до одного з перерахованих вище типів.

При визначенні ступеня впливу одних підсистем на інші важливе значення набуває поняття лідерства. Підсистемою, яка лідирує, є та, що, не маючи детермінованого впливу з боку якоїсь підсистеми, керує більшістю інших підсистем.

Поняття "структура" включає також конфігурацію системи – просторове розміщення елементів, геометричні властивості. Розрізняють точкову, лінійну, плоску, об'ємну та змішану конфігурації.

Інформаційний опис дозволяє оцінити організованість (або неорганізованість) системи, характеризує інформаційні потоки, що циркулюють в системі, визначає впорядкованість системи і, як наслідок, виражає здатність системи передбачати свою майбутню поведінку, дає перспективу. Інформаційний опис тісно пов'язаний з поняттям ентропії (міри невизначеності наслідків тих чи інших дій, впливів тощо). Величина ентропії H залежить від імовірності p_i перебування системи в будь-якому з можливих станів

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i,$$

Чим більш неупорядкована система (чим більше n), тим у більшій мірі її майбутнє залежатиме від випадковості. При однакових ймовірностях перебування системи в кожному зі станів, вона може стати повністю дез-

ментів даної системи разом зі зв'язками між ними можна розглядати як підсистему

Типи підсистем: ефекторні, рецепторні, рефлексні, невизначені

Підсистемою, яка лідирує, є та, що керує більшістю інших підсистем

Поняття "структура" включає також конфігурацію системи

Інформаційний опис дозволяє оцінити організованість системи

Чим більш дезорганізована і непередбачувана система, тим більша її ентропія

організованою і змінити стан на будь-який інший. Ентропія такої системи буде максимальною. Підвищення впорядкованості означає збільшення залежності між факторами, що визначають поведінку системи, виділення станів, яким надається перевага за даного збігу факторів, це надає поведінці системи передбачуваності. Можливість передбачення поведінки системи з'являється завдяки наявності в системі моделей зовнішнього середовища і самої системи. Для існування системи в навколишньому середовищі вона повинна обмінюватись з ним інформацією. Цей процес обміну інформацією між системою й середовищем називають інформаційним метаболізмом, який в сукупності з речовинним та енергетичним складають повний метаболізм. Функціональні процеси в системі тісно пов'язані з інформаційними. Джерелом інформації для функціонування системи є внутрішній ресурс (можливості структури та елементів) і середовище, а носієм – речовина й енергія (сигнали).

В принципі, інформаційний опис можна отримати із морфологічного й функціонального, але через неповноту описів і недостовірність знань про властивості елементів часто буває краще отримувати інформаційний опис експериментально і користуватись ним самостійно. Крім того, для хаотичних, слабоструктурованих, нестійких систем інформаційний опис є єдиним.

Генетико-прогностичний опис дозволяє прослідкувати шлях розвитку системи в історичному аспекті. Він виявляє походження системи (об'єкта), відбиває головні етапи в її розвитку, дозволяє оцінити перспективи подальшого існування. При дослідженні складних систем простеження еволюційного шляху дозволяє розібратися в особливостях їх структури й функціонування, зрозуміти роль і призначення підсистем, оцінити роль зовнішніх та внутрішніх факторів в еволюційному розвитку та на основі цього аналізу отримати ясні уявлення про системи в цілому. Особливо корисним прогностичний опис може бути при дослідженні біологічних систем.

Таким чином, різні види описів систем взаємно доповнюють один одного, і сукупність функціонального, морфологічного, інформаційного та генетико-прогностичного описів дозволяє розкрити основні властивості систем.

**Підвищення
впорядкованості
надає поведінці
системи перед-
бачуваності**

**Для існування
системи в на-
вколишньому
середовищі вона
повинна обмі-
нюватись з ним
інформацією**

**Функціональні
процеси в сис-
темі тісно
пов'язані з ін-
формаційними**

**Для хаотичних,
слабоструктуро-
ваних, нестійких
систем інформа-
ційний опис є
єдиним**

**Генетико-
прогностичний
опис дозволяє
прослідкувати
шлях розвитку
системи в істо-
ричному аспекті**

**Різні види опи-
сів систем взає-
мно доповню-
ють один одного**

Контрольні питання для самопідготовки

1. Що дозволяє оцінити функціональний опис системи?
2. Які поняття вводяться для складання загального функціонального опису?
3. Що є законом поведінки системи?
4. Яке уявлення дає морфологічний опис про будову системи?
5. Що визначає рівень організованості системи?
6. Як описується закон поведінки динамічної системи?
7. Від чого залежить стан системи?
8. Чим різняться опис статичного і динамічного станів системи?
9. Поясніть як слід подавати функціональний опис у вигляді ієрархічної структури?
10. Про що дозволяє судити морфологічний опис?
11. Які характеристики відображає морфологічний опис?
12. Охарактеризуйте морфологічний опис з точки зору зв'язків між елементами всередині системи та між усією системою й середовищем.
13. Дайте поняття структури системи.
14. Дайте означення підсистеми і охарактеризуйте типи підсистем.
15. Який опис існує для хаотичних, слабоструктурованих, нестійких систем?
16. Які можливості дає генетико-прогностичний опис?
17. Зміст закону поведінки.

1.4 Системні аспекти керування

Формування процесів, що визначають поведінку системи, складає задачу керування. Керування, що здійснюється з боку іншої системи, називається зовнішнім, а керування всередині системи з боку однієї з підсистем – внутрішнім. Розрізняють керівну і керовану підсистему (системи). Часто функції взаємних впливів одних елементів на інші доволі складно переплітаються, особливо в біологічних і біотехнічних системах. Особливістю керованих систем є їх здатність змінювати поведінку, місцеположення, переходити в новий стан під впливом команд керування. При цьому, зазвичай, розуміють наявність певної множини станів, положень, форм поведінки, з яких здійснюється вибір. Таким чином, керування пов'язане з цілеспрямованим вибором з деякої множини можливих варіантів.

Властивістю керованості наділені не будь-які системи. Необхідною умовою наявності хоча б потенційної керованості системи є її організованість, тобто наявність певної структури і доцільних елементів складу та зв'язків між елементами.

Керування пов'язане з переробкою інформації. Для його здійснення необхідний зв'язок між керівною і керованою системами. Такий зв'язок може бути інформаційним, енергетичним, речовинним. Для високоорганізованих систем характерна наявність саме інформаційних зв'язків. Керівні системи отримують інформацію як від керованих систем про їх стан, так і від навколишнього середовища. При необхідності керівні системи коригують стан керованих систем, передаючи відповідну керівну інформацію. Остання надходить на керовану систему через так звані еферентні зв'язки (лат. *effe renti* – той, що виносить, – відцентрові нервові волокна, через які збудження передаються від центральної нервової системи до клітин) і ефекторну підсистему (див. 1.3). Зворотна інформація про стан системи і наслідки керування надходить в керівну систему через аферентні зв'язки (лат. *afferenti* – той, що вносить, – доцентрові нервові волокна) й рецепторну підсистему (рецепторні елементи).

В складних системах процес переробки інформації є багатоступеневим і може включати такі операції, як

Керування пов'язане з цілеспрямованим вибором з деякої множини можливих варіантів

Необхідною умовою наявності хоча б потенційної керованості системи є її організованість

Для здійснення керування необхідні прямі і зворотні зв'язки між керівною і керованою системами

її збирання і зберігання, відбір і класифікація, кодування і передача тощо.

Керування визначене наперед цільовою функцією системи. Залежність керівного впливу від стану системи визначається законом керування. Його можна визначити в математичній, логічній або лінгвістичній формах. Спосіб його формування залежить від типу і властивостей системи. Закони керування можуть бути надзвичайно складними, але найскладніший закон можна розбити на послідовність відносно простих одиничних фактів переробки інформації (кроків). Така послідовність називається алгоритмом керування. Час від надходження чергової порції інформації до появи команди керування називається тривалістю циклу керування.

Керівна інформація може формуватись у ході змінування ситуації на основі апостеріорної інформації про навколишнє середовище і стан системи або на основі апіорної інформації і передбачення ситуації. Можливий змішаний спосіб формування керівних сигналів. Реалізація функцій керування може здійснюватись у вигляді централізованого або децентралізованого керування. Існують також змішані типи керування, коли частина команд формується централізовано, а частина – децентралізовано. Для біологічних систем характерна ієрархічна ступенева організація керування, коли інформація передається від верхніх (центральної) систем до нижніх (підпорядкованих), при цьому можлива передача команд через кілька «сходинок» – рівнів організації системи.

Формування закону керування потребує аналізу і розпізнання ситуації. Між ситуацією і поведінкою системи повинна встановлюватись відповідність, оцінка якої і складає основу керування. Помилки в розпізнаванні ситуації спричиняють помилки керування. Розмаїття методів формування закону керування можна розділити на три групи: реакція, стереотип, моделювання.

Керування тісно пов'язане з гомеостазом і характеризується стійкістю. Під гомеостазом (грец. *homoios* – подібний, той же, + *stasis* – стояння) розуміють сукупність реакцій пристосування організму, що забезпечує сталість основних параметрів, наприклад, температури, складу крові тощо попри вплив змінюваних зовнішніх факторів. Джерелами випадкових впливів є зміни навколишнього середовища (наприклад, атмосферні явища,

Керування визначене наперед цільовою функцією системи

Для біологічних систем характерна ієрархічна ступенева організація керування

Оцінка відповідності між ситуацією і поведінкою системи складає основу керування

Керування тісно пов'язане з гомеостазом

атмосферні явища, електромагнітні завади тощо), випадкові коливання навантаження, внутрішні фактори (наприклад, зміни режимів, внутрішні шуми, старіння елементів тощо). Отже, найважливішою властивістю системи є її адаптивність, тобто здатність самоналаштовуватись в умовах змін. Системи, що здатні стійко зберігати характер взаємодії з навколишнім середовищем попри впливи випадкових факторів, називаються самоорганізованими.

Враховуючи унікальну здатність живих організмів пристосовуватись і виживати в широкому діапазоні змін навколишнього середовища в побудові самоорганізованих систем доцільно використовувати біонічний підхід.

У забезпеченні високої ефективності значну роль відіграють зворотні зв'язки. Без зворотних зв'язків неможливі процеси адаптації. Зворотні зв'язки поділяються на додатні і від'ємні. Перші з них підвищують чутливість системи до всіх, у тому числі до дестабілізуювальних факторів. Від'ємні зв'язки стабілізують систему. Раціональне використання зворотних зв'язків обох видів дозволяє сформувати необхідний вид характеристик системи.

В побудові самоорганізованих систем доцільно використовувати біонічний підхід

Без зворотних зв'язків неможливі процеси адаптації

Контрольні питання для самопідготовки

1. Дайте означення поняття зовнішнього і внутрішнього керування.
2. Що є особливістю керованих систем?
3. З чим пов'язане керування?
4. Що є необхідною умовою наявності потенційної керованості системи?
5. Що складас основу керування?
6. Яка організація керування характерна для біологічних систем?
7. Що є необхідною умовою побудови самоорганізованих систем?

1.5. Основні функціональні характеристики складних систем

Для вивчення і зіставлення різних систем, оцінювання їх якості тощо необхідна певна сукупність параметрів, які повинні задовольняти низку умов, а саме:

- залежати від процесу функціонування;
- просто обчислюватись чи вимірюватись;
- давати наочне і порівнянне уявлення про одну із властивостей системи;
- допускати просту наближену оцінку за результатами експерименту.

До таких параметрів належать: ефективність, надійність, якість керування, заводозахисність, стійкість і ступінь складності. Ефективність виконання цільової функції і вартісних витрат на її досягнення оцінюється кількісним чи якісним функціоналом.

Показником ефективності є величина, що показує ступінь пристосованості системи до виконання поставленої задачі і залежить від взаємостосунків системи з навколишнім середовищем. Якщо система переборює протидію навколишнього середовища чи інших систем, то її ефективність знижується. Згідно з принципом де Шателє підтримка стабільності в умовах зовнішніх впливів потребує певного зменшення ефективності. Окремі системи можуть під час перехідного періоду за рахунок зниження ефективності здійснювати відповідно до зовнішніх впливів перебудову структури чи елементного складу. Після завершення перебудови ефективність частково чи повністю відновлюється.

Узагальнено ефективність визначають як відношення ефекту до витрат:

$$E=P/W,$$

де P – ефект, W – витрати на досягнення ефекту. Під ефектом можуть розуміти в залежності від цільової функції системи продуктивність, пропускну здатність, кількість інформації, що опрацьовується чи добувається, імовірність виконання задачі тощо. Витрати можуть виражатись роботою (енергією), фінансовими засобами, психофізичною енергією, кількістю енергоносіїв, часу тощо, які необхідні для досягнення даного ефекту.

Отже, ефективність різних систем буде виражатись різними одиницями. Для того, щоб різні за призна-

Для вивчення і зіставлення різних систем, необхідна певна сукупність параметрів

До таких параметрів належать: ефективність, надійність, якість керування, заводозахисність, стійкість і ступінь складності

Ефективність визначають як відношення ефекту до витрат

ченням системи можна було порівнювати та для оцінювання рівня досконалості системи, використовують відносну ефективність, яка визначається відносно базової системи:

$$e = E/E_0,$$

де E_0 – ефективність базової системи. За базову часто приймають ідеальну систему. Показник ефективності системи є функцією внутрішніх – $u_1, u_2, \dots, u_n$ і зовнішніх – $x_1, x_2, \dots, x_m$ параметрів:

$$E = E(u_1, u_2, \dots, u_n, x_1, x_2, \dots, x_m).$$

Наступною характеристикою системи є надійність. Вимоги до надійності систем зростають у зв'язку з ростом відповідальності, яка покладається на системи, і зі зростанням ціни помилки. Досить згадати лиш деякі з катастроф, спричинених технічними і біотехнічними системами.

Такі традиційні показники, як «середній час напруцювання на відмову» та «імовірність безвідмовної роботи в заданому інтервалі часу», що використовувались для характеристики простих систем, малопритатні для складних систем. Вирішальним для оцінювання надійності складних систем є правильне врахування наслідків (з точки зору кінцевого ефекту функціонування системи), до яких приводять відмови тих чи інших елементів системи. Особливо складним є оцінювання надійності біологічних і біотехнічних систем. Під відмовою елемента розуміють вихід його характеристик за припустимі межі або припинення функціонування.

Нехай $E_{н0}$ – ефективність системи за умови абсолютної надійності елементів, $E_{н*}$ – ефективність оцінюваної системи. Тоді величина

$$\Delta E = E_{н0} - E_{н*}$$

може бути показником надійності складних систем [6].

Він характеризує втрату ефективності системи, обумовлену ненадійністю її елементів. Якщо ΔE велика, то це свідчить про низьку елементну надійність.

Якість керування – один із важливих критеріїв оцінювання складних систем. Він визначається як функціонал параметрів керування:

$$\Phi = \Phi(a_1, a_2, \dots, a_r),$$

де a_i – параметри керування. Функціонал Φ може мати

Для порівняння різних за призначенням систем використовують відносну ефективність, яка визначається відносно базової системи.

Традиційні показники «середній час напруцювання на відмову» та «імовірність безвідмовної роботи в заданому інтервалі часу» малопритатні для складних систем

Надійність системи можна оцінити через ефективність

Якість керування визначається як функціонал параметрів керування

екстремум за певних значень вектора керування $(a_1, a_2, \dots, a_r)$. В ідеальному випадку екстремум функціонала якості керування повинен був би відповідати екстремуму ефективності. Однак на практиці не завжди так буває. Як приклад досить згадати, що досягнення максимальної надійності пов'язане зі зростанням витрат, яке знижує показник ефективності.

При оцінюванні якості керування важливо враховувати тривалість циклу керування. За надто великої тривалості керування інформація буде застарівати, що обумовить динамічні похибки керування і погіршить його якість.

Якість керування можна оцінити, порівнюючи показники ефективності систем із різними режимами керування. Можна розглянути величину

$$\Delta E_{\text{кер}} = E_{\text{кер},0} - E_{\text{кер},*},$$

де $E_{\text{кер},0}$ — ефективність системи з ідеальним керуванням, $E_{\text{кер},*}$ — ефективність системи з даним варіантом керування. Таким чином можна оцінювати вплив на якість керування організаційних заходів, зміни алгоритму керування тощо.

Ще одною характеристикою системи є її завадозахищеність. Звичайно розглядають деякі нормальні умови роботи системи. В цих умовах функціонування системи називається незбуреним. Завадами називають зовнішні чи внутрішні фактори, що змінюють параметри системи. Тобто, фактичними параметрами системи будуть збурені параметри:

$$u_i^* = u_i + \Delta u_i,$$

де Δu_i — завада, що впливає на i -й параметр системи.

Вплив завад теж можна оцінити через ефективність системи:

$$\Delta E_{\text{зав}} = E_{\text{зав},0} - E_{\text{зав},*},$$

де $E_{\text{зав},0}$ і $E_{\text{зав},*}$ — ефективності ідеально завадостійкої і реальної систем відповідно.

Стійкість також є функціональною характеристикою складної системи. Під стійкістю розуміють здатність системи зберігати потрібні властивості в умовах дії збурень. Порушення стійкості можливе у системах, що мають зворотні зв'язки. Важливо знати область зміни

Якість керування можна оцінити, порівнюючи показники ефективності систем із різними режимами керування

Характеристикою системи є її завадозахищеність

Стійкість також є функціональною характеристикою складної системи

параметрів елементів, у якій зберігається стійкість.

Ступінь складності системи на інтуїтивному рівні визначається як якісна характеристика. В процесі синтезу для порівняння різних варіантів використовують кількісні характеристики складності систем.

Нехай система має n типів елементів.

Складність елементу i -го типу оцінимо числом T_i .

Тоді складність системи може бути кількісно виражена як

$$T = \sum_{i=1}^n T_i k_i,$$

де k_i – кількість елементів i -го типу, які входять в систему.

Можна також ввести оцінку складності зв'язків. Найбільша можлива кількість зв'язків у системі із

$N = \sum_{i=1}^n k_i$ елементів становить $N(N-1)$. Фактично реалізована кількість зв'язків – M^* . Відносна кількість зв'язків

$$\alpha = \frac{M^*}{N(N-1)}$$

може бути показником складності зв'язків у системі. Загальна складність системи може бути охарактеризована таким показником:

$$T = (1 + \nu\alpha) \sum_{i=1}^n T_i k_i,$$

де ν – коефіцієнт, що враховує складність зв'язків у порівнянні зі складністю елементів.

Контрольні питання для самопідготовки

1. Яка сукупність параметрів необхідна для вивчення і зіставлення різних систем?
2. Як визначають ефективність?
3. Як оцінюють надійність складних систем?
4. Як визначається якість керування?
5. Що є характеристиками системи?
6. Показники складності систем.

В процесі синтезу для порівняння різних варіантів використовують кількісні характеристики складності систем

Резюме

На закінчення розглянемо послідовність системного аналізу. Можна виділити основні етапи системного аналізу:

1. Вивчення законів функціонування, які описують поведінку системи в умовах реального існування, і аналіз можливих похибок в її поведінці, накопичення помилок (функціональний та інформаційний опис).

2. Вивчення ступеня організованості об'єкта як складної системи. При цьому аналізується елементний склад, зв'язки і структура системи при фіксуванні її стану у певний момент часу (морфологічний опис моментного стану).

3. Вивчення інформаційних потоків і ступеня організованості та детермінованості системи (інформаційний опис).

4. Вивчення шляхів розвитку об'єкта, його походження перспектив подальшого існування (генетико-прогностичний опис).

На першому етапі слід розглянути об'єкт, що вивчається, як елемент (підсистему) ширшої метасистеми, в якій він виконує певні функції, взаємодіючи з іншими елементами і середовищем, певним чином реагуючи на його впливи. Зміни, що відбуваються в об'єкті, зумовлюються як внутрішніми, так і зовнішніми факторами.

На другому етапі можна виділити дві задачі: з'ясування складу і властивостей елементів-підсистем, що входять у систему, (елементний аналіз) і визначення того, як вони між собою пов'язані (аналіз зв'язків і типу структури).

Системне дослідження виходить із принципу цілісності, згідно з яким об'єкт розглядається за визначенням С. Біра як «відносно відособлена система» (тобто така, що має скінченне число входів і виходів для спілкування з іншими системами й середовищем), властивості якої не зводяться до властивостей її складових частин. Розглядаються лише ті елементи, які є необхідними і достатніми для самого існування системи і виконання призначених їй функцій. Це дає змогу відділити органічно притаманні системі елементи від випадкових. Оцінити необхідність тої чи іншої підсистеми можна, розглядаючи структурну впорядкованість об'єкта, яка забезпечує функціонування його як цілого. Визначальним є підхід за принципом: від цілого до частин.

Під час складання морфологічного опису розв'язується кілька основних задач:

- виявлення взаємозв'язків елементів, які надають об'єкту цілості і породжують нові властивості, що відсутні у кожного окремо взятого елемента;

- вивчення характеру взаємозв'язків між елементами, виділення вищих і нижчих рівнів організації, визначення головних і підпорядкованих елементів, прямих і зворотних зв'язків, типу структури, конфігурації тощо;

- порівняння даної системи з іншими, що дає можливість виявляти загальні закони побудови складних систем.

Таким чином, перший етап системного підходу пов'язаний із вивченням законів внутрішнього і зовнішнього функціонування. Закони зовнішнього функціонування розкривають характер взаємодії із зовнішнім середовищем: тип обміну енергією, речовиною та інформацією, вибірковість сприйняття і ступінь опрацювання впливів середовища, ступінь активності при впливах на середовище з боку об'єкта, наявність адаптивних властивостей і здатність до самоорганізації тощо.

Закони внутрішнього функціонування визначаються елементним складом та зв'язками між елементами і обумовлюють виконання елементами певних функцій, необхідних для нормальної роботи цілого.

Вивчення законів функціонування і зв'язків зовнішніх та внутрішніх факторів необхідно проводити на всіх рівнях дослідження, починаючи з вищого - рівня метасистеми - і до окремих елементів і підсистем.

Системний аналіз містить як обов'язковий етап аналіз об'єктів як систем чи елементів систем, які мають свою історію і перспективи розвитку, що відповідає принципу діалектичної методології - вимозі єдності логічного та історичного досліджень. Цей етап закінчується формуванням генетико-прогностичного опису.

Розглянута послідовність не є догмою, а лише доцільною рекомендацією, що може дати спрямування при вивченні об'єкта як складної системи.

БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

2.1 Погляд на організм з позицій системного аналізу

Організм являє собою досить складно організовану, еволюційно виниклу систему, що розвивається і характеризується як будь-яка система своїми специфічними властивостями.

Еволюційний аспект системних досліджень є найважливішим при дослідженні організму з огляду на важливість еволюції у формуванні кожного виду, у його пристосованості до навколишнього середовища, здатності виживати у складних екстремальних умовах. Аналізуючи організми різного рівня складності, які є в біологічному світі, в плані еволюційного розвитку від простих форм до найскладніших можна відзначити, що:

1. Існування організму в навколишньому середовищі, що постійно змінюється, пов'язане з великими **енергетичними витратами**. Тому важливою є економічність обміну речовин, висока ефективність використання енергії навколишнього середовища. Вищі організми використовують для живлення енергомісткі продукти, що містять речовини, з яких простіше отримати потрібні для побудови організму елементи, тваринну їжу замість рослинної;

2. Прості організми знаходяться в несприятливих умовах внаслідок недосконалості форм перетворення енергії поживних речовин (основний процес – **бродиння**) і через більшу площу контакту з навколишнім середовищем відносно об'єму організму, що приводить до значних енерговитрат на контроль внутрішніх обмінних процесів. Тривалість існування простих організмів мала, а виживання досягається інтенсивним розмноженням. У вищих організмів досконаліші клітинні механізми перетворення енергії (**окислювальне фосфорилювання, ферментне розщеплення і синтез біологічно важливих речовин**);

3. На вищих рівнях клітини, об'єднані в організмі, ізолюють себе від зовнішнього середовища, створюючи сприятливіше проміжне регульоване **внутрішнє середовище**. Зменшення контакту клітин із навколишнім

Еволюційний аспект системних досліджень організму

Вищі організми використовують для живлення енергомісткі продукти

Виживання простих організмів досягається інтенсивним розмноженням

середовищем знижує питомі витрати енергії;

4. Поява внутрішнього середовища і необхідність підтримки його параметрів викликала необхідність появи спеціалізованих **систем регулювання** параметрів внутрішнього середовища (температури, кислотності тощо), формуються системи **кровообігу, травлення, газообміну тощо**. Причому на рівні окремих систем організму принцип економічності часто приймає форми мінімізації витрат енергії. Параметри окремих систем видозмінюються так, що мінімізують витрати енергії на виконання тої чи іншої функції, наприклад, дихання, кровопостачання, руху тощо;

5. Ускладнення структури збільшує імовірність відмов підсистем, це потребує розгалуженої мережі контролю різних параметрів, що здійснюється за допомогою **рецепторної підсистеми** (хемо-, баро-, термосенсорними, проприоцептивними та іншими рецепторами), яка пронизує все внутрішнє середовище організму;

6. Проходить відокремлення сприйняття і опрацювання інформації від рухової діяльності. Формується **нервова система**, яка має замість продуктивних функцій організації і керування. Ускладнюється взаємодія з навколишнім середовищем: від реакції на подразники — до складніших форм поведінки, основаних на стереотипах і моделюванні. Відповіді на зміни в навколишньому середовищі стають диференційованими і складнішими, такими, що враховують не лише даний подразник, а й минулий досвід, прогнозування. Це дає можливість реалізувати життєві програми у значно змінюваному середовищі;

7. Порівняння різних рівнів організмів показує, що найзначніші зміни відбуваються в будові нервової системи. Зростає маса головного мозку, в ньому з'являються все нові **утворення і спеціалізовані центри**, розростаються асоціативні клітинні поля, призначені для формування різноманітних тимчасових зв'язків, кількість яких багатократно зростає. Відносно цього можна виявити високий рівень спеціалізації, який дозволяє певним видам, наприклад, комахам реєструвати дуже слабкі зовнішні впливи, а також коливання і поля, що їх не сприймають інші види (ультразвук, ультрафіолетові промені, поляризоване світло тощо). Виникають програми найскладніших форм діяльності, на-

Створюється внутрішнє середовище

Спеціалізовані системи регулювання

Мережа контролю за допомогою рецепторної підсистеми

Формується нервова система, складніші форми поведінки

Найзначніші зміни відбуваються в будові нервової системи

приклад, орієнтування на місцевості, "будівельні роботи", вроджена здатність до певних реакцій тощо. Однак, не зважаючи на позірну "розумність" поведінки комах, вони є все ж автоматами з дуже обмеженими здібностями до незапрограмованих дій.

У найвищих форм, зокрема у ссавців, птахів, велике значення набуває формування **індивідуального досвіду**. З'являється здатність до **самовдосконалення, навчання, аналізу ситуацій, знаходженню нетривіальних прийомів розв'язання задач**;

8. Формування спеціалізованої системи керування, якій підпорядковані всі органи й фізіологічні підсистеми організму, приводить до створення гнучкіших алгоритмів функціонування, за яких всі системи виявляються взаємозв'язаними, взаємозалежними;

9. Передача сигналів керування здійснюється різними фізико-хімічними способами: **гідродинамічним, гуморальним, нервовим** тощо. В процесі еволюції зростає швидкість передачі керівних сигналів, прискорюються реакції на зовнішні впливи;

10. Ускладнення задач керування обумовлює виникнення ефективніших способів керування всім внутрішнім середовищем організму. Виконання життєво важливих програм розподіляється між **кількома рівнями керування**, механізми регуляції поділяються на **центральні і периферійні** (локальні), широко використовуються **блочні принципи** опрацювання інформації й керування, з'являється здатність до попереднього **настроювання й прогнозування**.

11. В процесі еволюції виявляється оптимальність **однотипності, структурної подібності, взаємозамінності елементів** в окремих підсистемах (тканинних і нервових клітин), наявність в деяких підсистемах (легенях, печінці, нирках тощо) **півтора- і навіть трикратного запасу** таких елементів. Цей запас сприяє урізноманітненню поведінки, забезпечує великий **динамічний діапазон функціонування**, дозволяє зберігати життєдіяльність системи в цілому в екстремальних, стресових ситуаціях.

Вже аналіз організму в еволюційному аспекті дозволяє отримати певне уявлення про його структурну організацію і закони функціонування. Поряд із найдосконалішими формами організації і керування існують давніші, менш досконалі. Вони переплітаються і діють

Формування індивідуального досвіду

Формування спеціалізованої системи керування

Прискорюються реакції на зовнішні впливи

Механізми регуляції розподіляються на центральні і периферійні. Використовуються блочні принципи опрацювання інформації

Запас елементів забезпечує великий динамічний діапазон функціонування

не завжди узгоджено.

Розглянемо деякі принципи організації керування, що діють в біологічних системах.

1. Діяльність організму – це **одночасне функціонування** різноманітних систем регулювання, що підпорядковане єдиній головній функції – **виживанню** в умовах мінливого зовнішнього середовища. За результатами фізіологічних досліджень легко виявляється **ієрархічна** структура організації підсистем.

Центральна нервова система, що складається з головного і спинного мозку, виконує **керівну** роль як стосовно взаємодії з навколишнім світом, так і стосовно найскладніших процесів, що відбуваються в організмі. Механізм нервової діяльності полягає в **прийманні** інформації від навколишнього середовища і органів самого організму, **перетворення** її у імпульси, які **передаються** до мозкових центрів і **аналізуються** ними. Результатом є формування відповідної реакції, яка здійснюється через виконавчі органи. Дослідження показують, що діяльність окремих центрів тонко **узгоджена**. Одні групи центрів відповідають за найбільш примітивні функції, інші, більш досконалі, об'єднують підсистеми організму для складніших і багатопланових дій. Наприклад, більшість центрів **спинного мозку** регулює роботу **окремих ділянок** (сегментів) тіла, а значна частина центрів **головного мозку** забезпечують **координацію** різних структур при виконанні складних комплексних реакцій. Характерно, що чим **вище** в ієрархічній структурі керування міститься той чи інший відділ мозку, тим **більшою мірою** йому властива функція **координації**. Наприклад, у проміжному мозку відбувається інтегрування сигналів, що надходять від рецепторів і органів відчуттів, які інформують про сукупність зовнішніх подразників і внутрішніх потреб. Існують підкіркові центри, що визначають емоційний стан – гнів, страх, байдужість, задоволення тощо. Наді всіма цими центрами знаходиться **кора великих півкуль**, здатна тонко **аналізувати** обставини, набувати й використовувати **індивідуальний досвід** і згідно з розв'язуваною задачею керувати (активізувати чи гальмувати) окремими нервовими центрами. Активізовані центри підключають для виконання задачі відповідні органи й фізіоло-

Ієрархічна структура організації підсистем

ЦНС виконує керівну роль

Інформація від рецепторних підсистем опрацьовується і викликає реакції, які здійснюються через ефекторні механізми

Чим вище в ієрархічній структурі керування міститься той чи інший відділ мозку, тим більшою мірою йому властива функція координації

Наді всіма цими центрами знаходиться кора великих півкуль

гічні системи, що регулюють, наприклад, роботу серця, легенів, нирок тощо. При цьому одні реакції жорстко запрограмовані і запускаються автоматично, інші ж можуть суттєво видозмінюватись у процесі реалізації.

2. Органи і підсистеми, керовані нервовими центрами, виконують окремі задачі у відповідності зі своєю складно організованою внутрішньою структурою. Кожний орган як макросистема являє собою сукупність клітин або груп клітин з численними зв'язками між ними. Кожна клітина сама являє собою складну систему, в якій можна виділити ще кілька відносно автономних систем (**ієрархічність** морфологічного опису).

Кожний ієрархічний рівень характеризується своїми просторовими розмірами: елементи клітин менші 10 мкм, клітини - 10-50 мкм, колонії клітин від 200 до 1000 мкм, розміри органів перевищують $5 \cdot 10^4$ мкм, групи органів - 300 мм, а розміри всього організму сягають $10^2 - 10^4$ мм і більше.

3. **Ієрархічність структури** приводить до того, що взаємодія нервової системи з органами й підсистемами будується на принципі послідовності рівнів, через які проходять сигнали керування до виконавчих механізмів регуляції. Таке **багаторівневе керування більш економічне, ніж жорстко централізоване**. Воно зберігає принцип централізації керування з боку вищих рівнів при відносній незалежності (автономності) функціонування нижчих рівнів (підсистем).

4. Для нормального функціонування всього організму необхідний обмін інформацією як із **верхніх "поверхів"** на нижні, так і з **нижніх на верхні**. Тому для вищих організмів характерна наявність розгалужених і розвинутих **рецепторної та ефекторної** систем і багаточисельність **аферентних і еферентних** зв'язків, через які "нагору" передається інформація про стан підсистем і середовища, а "донизу" - керівна інформація.

5. Кожний організм можна характеризувати **сукупністю показників** - суттєвих змінних, що описують фізико-хімічні властивості внутрішнього середовища організму (рН, pO_2 , концентрація різних речовин тощо) і фізичні характеристики (ударний об'єм і частота серцевих скорочень, частота і хвилиний об'єм дихання тощо). Ця сукупність визначає певний **функціональний рівень організму**, який підтримується діяльністю ком-

Кожна клітина сама являє собою складну систему

Багаторівневе керування більш економічне, ніж жорстко централізоване

Наявність розгалужених і розвинутих рецепторної та ефекторної підсистем

Організм можна характеризувати сукупністю показників, яка визначає функціональний рівень організму

плексу різноманітних функціональних систем, що являють собою об'єднання керівних і виконавчих вузлів — нервових центрів і робочих органів, відповідальних за виконання певних функцій. Між різними функціональними системами існують досить складні взаємостосунки.

6. У стані спокою чи слабких зовнішніх впливів кожна підсистема організму працює за **принципом мінімальної взаємодії**, тобто функціонує так, щоб її взаємодія із зовнішнім середовищем та іншими підсистемами була мінімальною. При зростанні впливів встановлюються нові оптимальні умови і новий рівень рівноваги. Після зняття впливу показники знову змінюються, хоча можуть відрізнятися від попередніх. Отже, за одних і тих же умов стан "**рівноваги**" може забезпечуватися за різних значень **суттєвих показників**.

В режимі "фізіологічного спокою" вся діяльність організму точно узгоджена. Узгодженість функціональних систем підтримується за рахунок двосторонніх зв'язків між підсистемами і координувальної дії підсистем керування.

7. За **сильних зовнішніх впливів** на організм принцип найменшої взаємодії порушується, виникають ефекти безпосереднього збурювального впливу одних підсистем на інші - **ефекти ієрархічних впливів, домінування, конкурентних відносин**. Прикладом можуть слугувати взаємовідносини між системами терморегуляції і кровообігу в умовах переохолодження.

8. Потягаючись в **екстремальну ситуацію** організм намагається в першу чергу підтримати сталими **найбільш важливі показники** навіть на шкоду менш відповідальним, тобто діє принцип підтримки сталості внутрішнього середовища. Поділ суттєвих показників за важливістю і домінування одних систем регуляції над іншими визначається їх значимістю для виживання організму.

9. Принципове значення для розуміння процесів функціонування організму має питання про величини суттєвих показників, тобто про так звані **уставки** або опорні величини для систем регулювання.

Внаслідок взаємних впливів вивчення цього питання досить складне. Існують кілька підходів.

У стані спокою діє принцип мінімальної взаємодії

За сильних зовнішніх впливів — ефекти ієрархічних впливів, домінування, конкурентних відносин

Принцип підтримки сталості внутрішнього середовища

Уставки або опорні величини для систем регулювання

У відповідності з концепцією гомеостазу організм може знаходитись у рівновазі, тільки якщо всі його системи знаходяться в рівновазі. При цьому величини вихідних сигналів кожної підсистеми визначаються вихідними сигналами решти. Уставка є концентрованим вираженням сукупності впливів організму на дану підсистему. Отже, відхилення одного показника від норми не завжди свідчить про порушення у тій системі, яка ним керує.

10. Будь-яка підсистема забезпечує виконання функцій за допомогою набору механізмів регуляції, які поділяють на **центральні й локальні**. Центральні відповідають на узагальнені "запити" всього організму, локальні враховують потреби окремих органів. Ці механізми діють **спільно й узгоджено**.

11. В організації виконання функцій у вищих організмів беруть участь одночасно кілька рівнів керування. При цьому регулювальний фактор може передаватись різними шляхами - **нервовим, гормональним, гідродинамічним, біохімічним тощо**. Кожному рівню керування властиві свої способи передавання інформації. На нижчих рівнях використовуються біохімічний та гідродинамічний шляхи, на вищих з'являються гормональний та нервовий (нейрогуморальні механізми).

12. Швидкість протікання процесів для різних способів передавання інформації різна. Для одночасного функціонування всіх рівнів цілісного організму характерна наявність процесів, що протікають у різних часових масштабах, - **принцип різночасовості процесів**.

Зокрема, затримка передачі сигналів нервовим шляхом становить 0,3 с, хімічним - 3 с, нейрогуморальні і гормональні фактори запізнюються на 3 і 7 хвилин відповідно. Окремі процеси (наприклад, старіння) тривають десятиліттями. Часові затримки до 7 хвилин характерні для гомеостатичних механізмів регулювання параметрів внутрішнього середовища. Решта відповідають адаптивним процесам і генетичним ефектам.

13. Підсистеми регулювання розрізняються також за принципами керування. В основі організації керування лежать принципи **зворотного зв'язку, керування за відхиленням, за збуренням, прогнозування (форпостне керування)**. Використовується також утворення спеціальних блоків, наприклад, **блоків складних рухів (мо-**

Концепція гомеостазу: організм у рівновазі тільки якщо всі його системи у рівновазі

Механізми регуляції: центральні й локальні

Кожному рівню керування властиві свої способи передавання інформації

Принцип різночасовості процесів

Принципи зворотного зв'язку, керування за відхиленням, за збуренням, прогнозування, утворення спе-

торна енергія), асоціативність запам'ятовування і обробки інформації.

ціальних блоків
складних рухів,
асоціативність

Об'єднання елементів з багатьма ступенями свободи у блоки дає можливість зменшити число ступенів свободи і робить керування більш економічним та оперативним. Яскравим тому підтвердженням є набуття майстерності спортсменами чи професійної майстерності з будь-якого фаху.

14. Організму часто доводиться вирішувати задачі в обмежений час, а швидкість багатьох біологічних процесів невелика. Це протиріччя усувається завдяки здатності організму до попереднього настроювання і прогнозування.

Здатність до попереднього настроювання і прогнозування, здатність до навчання

Велике значення має здатність організму до навчання, тобто формування певних підпрограм (правил, алгоритмів) повторення дій, особливо у випадках, коли одна і та ж задача розв'язується багатократно.

Контрольні питання для самопідготовки

1. Що являє собою еволюційний аспект системних досліджень організму?
2. Які продукти і чому використовують для живлення вищі організми?
3. Як досягається виживання простих організмів?
4. Чим викликана необхідність появи спеціалізованих систем регулювання?
5. Чому і як формується нервова система, складніші форми поведінки?
6. Де відбуваються найзначніші зміни в будові нервової системи?
7. Як розподіляються механізми регуляції?
8. Які принципи опрацювання інформації використовуються?
9. Яке керування більш економічне: багаторівневе чи жорстко централізоване і чому?
10. Як можна охарактеризувати організм сукупністю показників?
11. Основна концепція гомеостазу.
12. Які механізми регуляції існують?
13. Охарактеризуйте принципи різночасовості процесів.
14. Охарактеризуйте принципи зворотного зв'язку, керування за відхиленням, за збуренням, прогнозування, утворення спеціальних блоків складних рухів.

2.2 Функціональні системи організму

Поняття про функціональну систему вперше було сформульоване в 1935 році академіком П. К. Анохіним [6]. Загальна схема функціональної системи зображена на рис. 2.1. Центральним елементом у схемі є кінцевий корисний ефект (ККЕ) (загальна стійкість організму чи підтримання певного значення фізіологічного параметра організму), від стану й коливань якого залежить поведінка всієї функціональної системи. ККЕ відрізняється відносним консерватизмом і здатний змінюватись у припустимих з точки зору існування організму межах. Другий елемент - рецепторні підсистеми (РП), які пристосовані до хімічних чи фізичних параметрів даного ККЕ.

Центральним елементом у схемі є кінцевий корисний ефект

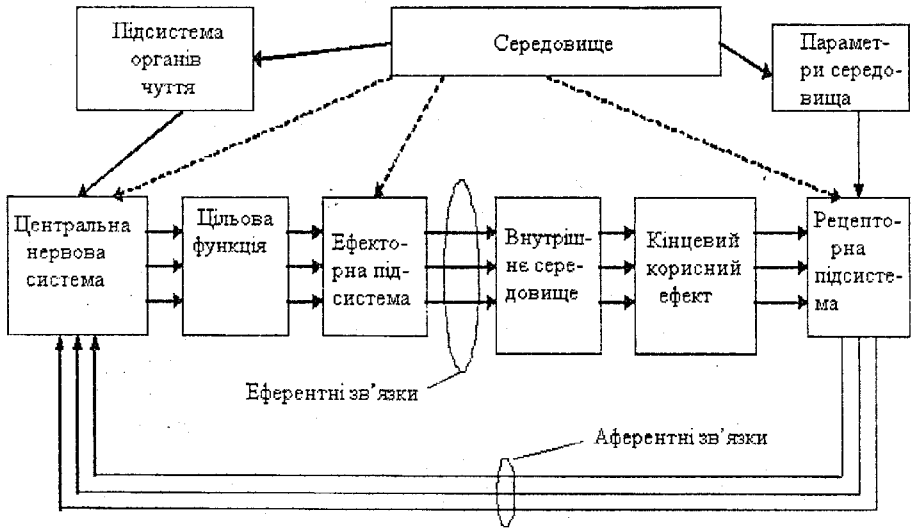


Рисунок 2.1 – Загальна схема функціональної системи

РП відзначаються ще більшим консерватизмом і характеризуються сталістю параметрів (чутливістю, роздільною здатністю, динамічним діапазоном тощо). Внутрішнє середовище (ВС) організму може мати значні флуктуації, які відбиваються на змінах ККЕ. Ці флуктуації разом із параметрами зовнішнього середовища сприймаються рецептор-

Рецепторні підсистеми пристосовані до хімічних чи фізичних параметрів даного ККЕ

ними підсистемами і через аферентні зв'язки передаються в центральну нервову систему (ЦНС). Туди ж надходить інформація від підсистеми органів чуття (ПОЧ). ЦНС у відповідності з цією інформацією визначає цільову функцію (ЦФ), на основі якої вона "вмикає" або "вимикає" різні механізми (засоби досягнення пристосовного результату) - ефекторні підсистеми (ЕП). ЕП підтримують сталість окремих показників внутрішнього середовища і забезпечують тим самим еферентні зв'язки ЦНС із ККЕ. Кількість таких механізмів може бути дуже великою, що забезпечує їх велику пластичність та взаємозамінність. Зовнішнє середовище може неопосередковано впливати на окремі підсистеми на будь-якому рівні організації, може змінити властивості й параметри цих підсистем і навіть порушити виконання ЦФ. Подібна організація функціональних біологічних систем підтверджується численними дослідженнями. В ній відображена інтегративна роль центральної нервової системи, яка формує ЦФ керування внутрішнім середовищем на основі аналізу різноманітної інформації, що надходить від рецепторних підсистем та органів чуття. При цьому в процес випрацювання цільової функції можуть бути залучені й інші периферійні нервові структури організму.

Функціональна система має специфічне походження. Формується вона через цілковито характерні стадії системогенезу. Розглянемо деякі приклади функціональних систем.

Система зовнішнього дихання (рис. 2.2). Мета її функціонування (кінцевий корисний ефект – ККЕ) - підтримання парціального тиску кисню і вуглекислого газу ($pO_2 - pCO_2$). Рецепторна підсистема складається з тканинних інтероцепторів, що вимірюють витрачання кисню на окислювальні процеси в тканинах, артеріальних хеморецепторів, що вимірюють парціальний тиск кисню в аорті та сонній артерії, та модулярних хеморецепторів дихального центру, що оцінюють споживання кисню в системі кровообігу головного мозку.

Ефект пристосування в системі може досягатися за рахунок включення різних механізмів: ве-

ЦНС визначає цільову функцію, на основі якої вона "вмикає" або "вимикає" різні механізми ефекторні підсистеми

Зовнішнє середовище може змінити властивості й параметри підсистем і навіть порушити виконання ЦФ

Мета її – підтримання парціального тиску кисню і вуглекислого газу ($pO_2 - pCO_2$)

гетативної нервової системи, системи рухових нервів, системи кровообігу тощо. Система рухових нервів, що керує дихальною мускулатурою, може

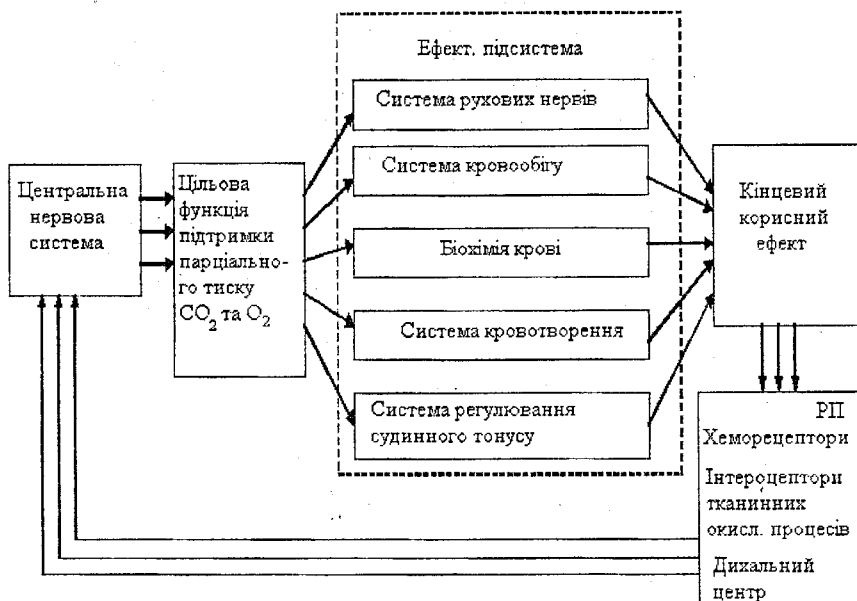


Рисунок 2.2 – Схема системи дихальної функції

вплинути на ККЕ шляхом змін глибини й частоти дихання. Система кровообігу відгукується на зміни корисного ефекту зміною ударного об'єму серця, частоти пульсу, швидкості кровотоку, на яку, в свою чергу, впливає стан периферійних судин. Процеси регулювання можуть торкатися параметрів біохімії крові, змінювати кількість і тип гемоглобіну, кисневу ємність крові, кількість еритроцитів, можуть призвести до змін типу еритроцитів (еритропоез).

Подібну структуру мають також інші системи. Приклад системи дихальної функції підтверджує висновок про взаємозв'язок різних систем. Як механізми регулювання включаються ті, що одночасно включаються в процес регулювання інших фізичних констант.

Ефект пристосування в системі може досягатися за рахунок включення різних механізмів

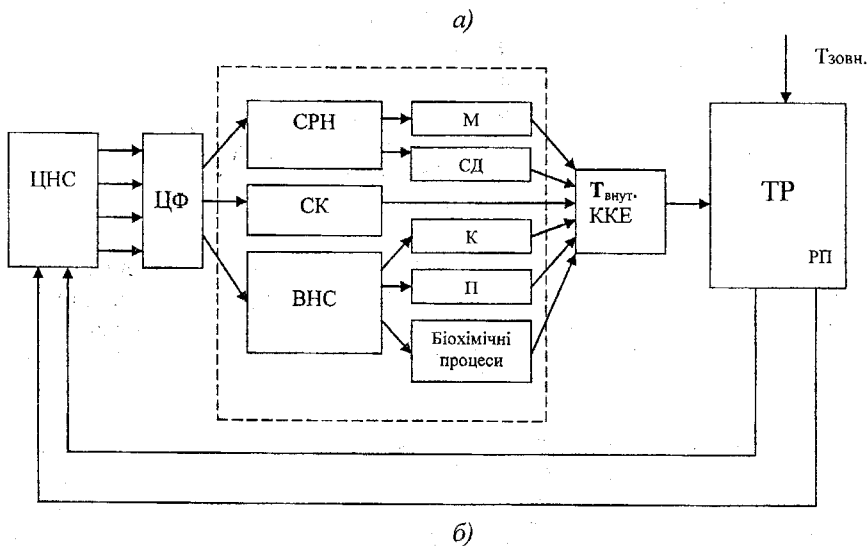
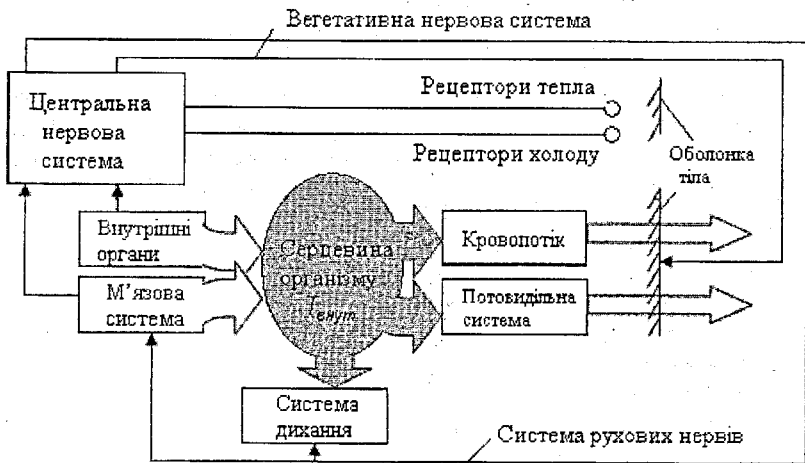


Рисунок 2.3 – Схема підсистеми терморегулювання (а) та її аналог загальній функціональній схемі (б)

Система терморегулювання (рис. 2.3). Відомо, що в організмі людини і багатьох тварин підтримується постійною температура тіла, яка не змінюється при досить різних і значних змінах навколишнього середовища. Ця сталість температури дозволяє підтримувати необхідну швидкість обмінних процесів, дозволяє тварині існувати в несприятливих умовах. Вона обумовлена функціонуванням системи терморегулювання, котра являє собою приклад біологічної системи регулювання. Основний переносник тепла в організмі - кров. Передавання тепла всередині організму здійснюється шляхом конвекції, яка забезпечується кровообігом, оскільки теплопровідність тканин досить мала. Є багато регулювальних факторів, що впливають на температуру тіла. Так, теплопродукція визначається процесами окислення в м'язах (М) та внутрішніх органах, а на тепловіддачу впливає зміна величини поверхні тіла, прискорене дихання, потовиділення (П), зміна інтенсивності кровотоку (К). Конвекцією через нагрівання повітря видаляється 15%, випаровуванням води з поверхні тіла видаляється 25%, майже 60% тепла випромінюється. При температурі середовища $T_{\text{зовн}} = 25^{\circ}\text{C}$ в середньому випромінюється $25 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{год}$. Мінімальна теплопродукція організму складає 1600-1800 ккал/сутки. Вона може збільшуватись багатократно (до 14000 ккал) в результаті інтенсивної м'язової діяльності.

В організмі є кілька вимірювальних елементів. Один із них знаходиться в гіпоталамусі і обмивається кров'ю із внутрішніх областей тіла. В ньому знаходяться нервові утворення - терморецептори, розміщені поблизу центрів терморегуляції. Нагрівання їх вище норми приводить до посилення процесів тепловіддачі, підвищення інтенсивності кровотоку і зменшення теплопродукції. Порівнювальні та вимірювальні пристрої об'єднані в одне ціле, тому центри терморегуляції видають сигнал тоді, коли температура внутрішнього середовища $T_{\text{внут}}$ відхилилася від норми. Норма визначається системою більш високого рівня в ієрархічній структурі керування організмом у вигляді цільової функції для системи терморегуляції.

Сигнали керування підсистемами, що регулюють тепловіддачу (органи дихання, потові залози, судини шкіри і т.д.), передаються через систему рухових нервів

Сталість температури дозволяє підтримувати необхідну швидкість обмінних процесів

Основний переносник тепла в організмі - кров

В організмі є кілька елементів для вимірювання температури

Центри терморегуляції видають сигнал тоді, коли температура внутрішнього середовища відхилилася від норми

(СРН) і вегетативну нервову систему (ВНС). Вони викликають розширення чи звуження шкірних судин, регулюють потовиділення і тонус м'язів. Інший тип термочутливих елементів – терморецептори (Тр) (холодові і теплові), - розташовані на зовнішньому шкірному покриві і пов'язані з центром терморегуляції, вони реагують як на абсолютне значення і знак зовнішньої температури $T_{\text{зовн}}$, так і на швидкість її зміни. Завдяки цьому механізми регуляції приводяться в дію вже через кілька секунд після початку впливу температурного збурювання, поки воно не досягає „серцевини" організму. При швидких температурних збурюваннях можливе інтенсивне регулювання.

Структуру системи терморегулювання можна зобразити у вигляді, аналогічному загальній структурі функціональної системи. Як ККЕ виступає температура внутрішнього середовища організму. Ефекторні впливи здійснюють підсистеми, включені одночасно в інші функціональні системи організму: системи рухових нервів (СРН), дихання (СД), кровообігу (СК) і т.д.

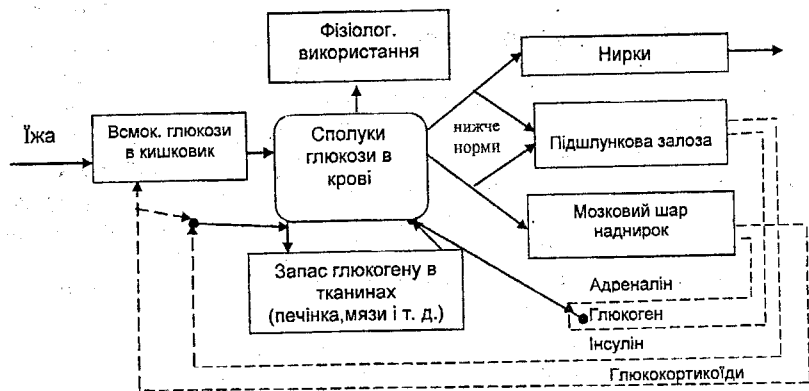
Отже, ефективність функціонування системи терморегулювання залежить від ефективності функціонування інших систем. Можна відзначити, що при сильних впливах на організм ефект залежності функціонування системи терморегуляції від інших систем може виявлятися у вигляді домінуючих і конкурентних відносин. Наприклад, інтенсивна фізична робота і жарка погода можуть викликати різке падіння артеріального тиску (колапс). Відомі також явища переналаштовування заданої величини температури тіла протягом доби з $36,5^{\circ}\text{C}$ в ранкові години, до $37,5^{\circ}\text{C}$ в вечірні, порушення якості терморегуляції шляхом прямого впливу на центральну нервову систему (самогипноз, алкоголь) і т.д. Усі ці явища характеризують складність і неоднозначність алгоритмів керування в живих системах.

Система регулювання вмісту цукру в крові (рис. 2.4). Розглянемо ще одну систему – систему клітинного обміну, що підтримує вміст глюкози в крові, відмінною рисою якої є гормональний механізм керування. Вона має велике значення для функціонування організму, тому що клітини мають потребу в безупинному припливі енергії для покриття її витрат, пов'язаного з протіканням біохімічних реакцій.

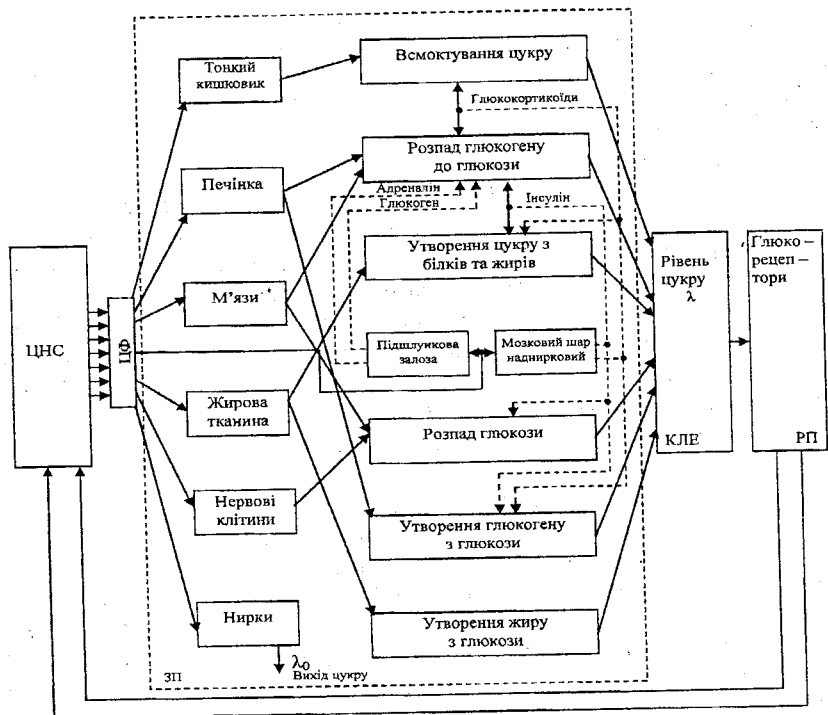
Сигнали керування викликають розширення чи звуження шкірних судин, регулюють потовиділення і тонус м'язів

Ефективність функціонування системи терморегулювання залежить від ефективності функціонування інших систем

Відмінною рисою системи регулювання цукру в крові є гормональний механізм керування



а)



б)

Рисунок 2.4 - Схема підсистеми регуляції рівня цукру в крові (а) і її аналог загальної функціональної системи (б)

Найважливішим джерелом енергії для організму слугує цукор, що знаходиться в крові у вигляді глюкози. Зниження рівня глюкози в крові привело б до припинення діяльності клітин, що неприпустимо навіть на короткий час. Тому в організмі підтримується суворосталість рівня цукру: 80–120 мг глюкози на 100 г циркулюючої крові. Система регуляції рівня цукру (λ), як і інші функціональні системи, є системою замкнутого типу.

Велику роль у цій системі відіграють печінка, що служить свого роду акумулятором вуглеводів, і вимірювальні органи – цукрочутливі рецептори (глюкорекцептори), про які поки мало відомо. Припускають, що ними є деякі клітини печінки, підшлункової залози, гіпоталамуса й інших органів. Розрізняють кілька процесів, що регулюють рівень глюкози в крові [63].

1. Збільшення надходження глюкози в кров обумовлено всмоктуванням цукру в тонкому кишковикі (під впливом глюкостероїдів, які виробляє кора надниркових залоз), розпадом глікогену в печінці і м'язах до глюкози (підсилюється під дією адреналіну і глюкагону і сповільнюється під дією інсуліну і глюкостероїдів); утворенням цукру з білків і жирів у печінці (підсилюється глюкостероїдами і послаблюється інсуліном).

2. Зниження рівня цукру відбувається в результаті розпаду глюкози в м'язах і нервових клітках (підсилюється під дією інсуліну і тироксину); утворення глюкагону з глюкози (підсилюється під дією інсуліну і глюкостероїдів), цей процес веде до акумуляції вуглеводів у печінці і м'язах, утворення жирів із глюкози.

Особливу функцію в процесі регулювання виконують нирки, що виводять з організму надлишок глюкози із сечею, якщо її зміст у крові вищий ниркового порогу

$$\lambda_0 = (120 - 160) \cdot \text{вага} \cdot \%$$

Є ще деякі особливості системи. За даними ряду дослідників, гормони, що беруть участь у регуляції рівня цукру, обернено впливають на центри в проміжному мозку і гіпофізі. Цей вплив, імовірно, спрямовано на підтримку постійного рівня цих гормонів.

Найважливішим джерелом енергії для організму слугує цукор, що знаходиться в крові у вигляді глюкози

Печінка слугує акумулятором вуглеводів

Збільшення надходження глюкози в кров обумовлено всмоктуванням цукру в тонкому кишковикі, розпадом глюкагону в печінці і м'язах до глюкози, утворенням цукру з білків і жирів у печінці

Зниження рівня цукру відбувається в результаті розпаду глюкози в м'язах і нервових клітках і утворення глюкагону з глюкози

Таким чином, усередині загального контуру є ще й інші. Очевидно, що зв'язок, який охоплює залози внутрішньої секреції, забезпечує високий ступінь стійкості системи регулювання. Окрім елементи цієї системи можуть мати властивості саморегуляції. Так, печінка може керувати надходженням глюкози в кров незалежно від вмісту інсуліну й інших гормонів.

В організмі існує безліч причин, що викликають вироблення того чи іншого гормону, який бере участь у керуванні рівнем цукру. Так, підвищене виробництво адреналіну виникає не тільки при зниженні глюкози у крові, але і при нервовому порушенні. Тут виявляє свою дію механізм завчасної мобілізації захисних сил організму від зовнішніх впливів: раптовий шум, світло й інші подразники. Викликає адреналіном посилення харчування кліток м'язової і нервової тканин підготовляє організм до успішного функціонування в умовах підвищеної витрати енергії. Однак адреналін не тільки підвищує зміст глюкози в крові. Одночасно підсилюється серцебиття, прискорюється ритм подиху, затримується перистальтика кишок і т.д. Виділення адреналіну зростає також при охолодженні організму, при недостатці кисню, посиленій м'язовій діяльності й інших процесах, що пов'язані з діяльністю функціональних систем.

Підвищене виробництво адреналіну виникає не тільки при зниженні глюкози у крові, але і при нервовому порушенні

Контрольні питання для самопідготовки

1. Що називають кінцевим корисним ефектом?
2. Поняття рецепторної підсистеми і особливості її пристосування.
3. Яку роль виконує ЦНС в ефекторній підсистемі?
4. Вплив зовнішнього середовища на зміну властивостей й параметрів підсистем.
5. Мета системи зовнішнього дихання.
6. Які механізми впливають на ефект пристосування в системі?
7. Що є основним переносником тепла в організмі?
8. Які вимірювальні елементи існують в організмі?
9. Функції центрів терморегуляції
10. В чому виявляється ефект залежності функціонування системи терморегуляції від інших систем?
11. Опишіть систему регуляції цукру в крові.

Резюме

Розглянуті приклади організації функціональних систем лише приблизно описують, процеси регулювання, що відбуваються в організмі. В той же час вони підкреслюють такий складний взаємозв'язок між різними системами регулювання фізіологічних показників, що доцільніше було б говорити про єдину функціональну систему цілісного організму. Однак поки створити модель цілісного організму нікому не вдалося, хоча спробу її побудувати починають багато дослідників.

1. Будь-яка біологічна система надзвичайно складна, включає безліч різноманітних підсистем з різноманітними і рухомими зв'язками і функціями, що приводить до великої кількості можливих станів.

2. Стан біологічної системи описується набором фізіологічних процесів і великою кількістю різнорідних медико-біологічних показників, число яких остаточно не встановлено. При цьому показники і процеси неоднозначно визначають стан системи, тому що стан її рівноваги (норма) може забезпечуватися при різних величинах визначальних параметрів. Крім того, ці параметри взаємозалежні, причому цей зв'язок іноді нелінійний.

3. Одержання точних математичних залежностей між різними параметрами, фізіологічними процесами і медико-біологічними показниками, що характеризують біологічні системи, утруднено, тому що ще недостатньо вивчені такі системи, а також не розроблений адекватний математичний апарат, придатний для їхнього опису.

4. Для біосистем характерна якісна неоднорідність, що виявляється в тому, що в рамках однієї і тієї ж функціональної системи спільно і злагоджено працюють різнорідні підсистеми з різними постійними часу, з якісно різними керівними сигналами (хімічними, фізичними, інформаційними).

5. Велике число параметрів, що описують біологічну систему, затрудняє, а іноді і виключає можливість їхнього одночасного фіксування для одержання уявлення про миттєвий стан системи, тому, виконавши процедуру вимірювання, можна оцінити лише імовірність цього стану.

6. Відсутність кількісних характеристик стану і функцій біологічної системи приводить до того, що результат зовнішніх керівних впливів на неї не може бути перевищений однозначно.

7. Неоднозначність реакції на один і той самий набір сигналів зовнішнього середовища чи суміжних ієрархічних рівнів вказує також на нестаціонарність самих біосистем.

8. Різного роду патологічні явища, що виникають чи виявляються в тих чи інших підсистемах (наприклад, в органах і тканинах людини), можуть рефлекторно впливати через вищі рівні керування системою (наприклад, через судинну нервову рецепцію) на функції вищих рівнів, змінюючи і спотворюючи їх, як наслідок, порушувати найрізноманітніші процеси в біосистемі, а це, у свою чергу, затрудняє інтерпретацію одержуваних результатів.

9. Індивідуальний розкид вимірюваних медико-біологічних показників, внутрішньогрупова мінливість обумовлюють фіксування й апріорне обмеження групи досліджуваних об'єктів, а облік генетичних ефектів викликає введення вікових груп для досліджень тих самих проявів. Наявність безлічі механізмів регуляції з різними сталими часу регулювання вимагає здійснення контролю тривалості експерименту для уникнення нестаціонарності в досліджуваних процесах.

10. Мінливість і індивідуальність параметрів приводять до широкого використання в медицині і біології методів математичної статистики (біометрії). Однак, при цьому, для одержання достовірних результатів потрібно збирати й обробляти величезний статистичний матеріал за різноманітними характеристиками біологічного об'єкта, вимір яких іноді зв'язаний зі значними витратами часу, тому що деякі біологічні процеси порівнянні з тривалістю існування біологічної системи.

11. Дослідження біологічних систем доцільно проводити в умовах їхнього реального існування, без обмеження рухомості, закон поводження системи в більшості випадків заздалегідь невідомий, що створює значні труднощі, наприклад при дослідженнях людини в космічному польоті чи при дослідженнях фізіології праці та спорту.

12. Великі труднощі виникають при вимірюванні параметрів внутрішнього середовища біологічних систем без порушення їхньої цілісності, без внесення спотворень у вимірюваний параметр через порушення фізіологічності експерименту.

13. Складність вимірювання пов'язана також з порівняно малими абсолютними значеннями вимірюваних величин при великих рівнях шумів як внаслідок роботи інших підсистем (внутрішніх шумів), так і через завади, що наводяться з зовнішнього середовища. Спектр вимірюваних сигналів, що характеризують фізіологічні процеси, лежить в області інфранизьких частот (до сотих, тисячних часток герца).

Перераховані особливості біологічних систем як об'єктів вивчення змушують дослідників вирішувати численні проблеми як методичного (при розробці методів дослідження біологічних об'єктів), так і технічного характеру (при одержанні біомедицинської інформації від об'єкта і подальшій її обробці).

Проте успіхи, досягнуті при синтезі БТС, вказують на реальність розв'язання багатьох з цих проблем і намічають шляхи, якими можуть рухатися подальші дослідження.

ПРОБЛЕМИ АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

3.1 Означення, загальні властивості і принципи синтезу біотехнічних систем

Означення терміна "біотехнічна система" було сформульовано і прийнято першою міжнародною конференцією з біоніки у Варні (Болгарія) в 1975 році. Воно найбільш повно відбиває його суть:

Біотехнічна система - це сукупність біологічних і технічних елементів, об'єднаних в єдину функціональну систему цілеспрямованої поведінки.

Переваги біотехнічних систем (БТС) перед системами технічними і біологічними полягає в поєднанні позитивних якостей цих систем при взаємній компенсації їх недоліків. Основною властивістю БТС є їх особлива здатність до адаптації, що обумовлена наявністю двох контурів адаптації: зовнішнього і внутрішнього. Наявність біологічних ланок надає загальним властивостям системи особливу пластичність, покращує адаптивні характеристики у зовнішньому контурі. Можна сформулювати такі основні принципи узгодження біологічних і технічних елементів:

1. Принцип адекватності, який вимагає узгодження основних конструктивних параметрів та "характеристик керування" біологічних і технічних елементів БТС.

2. Принцип єдності інформаційного середовища, який вимагає узгодження властивостей інформаційних потоків, що циркулюють між технічними і біологічними елементами як в аферентних, так і ефекторних колах БТС.

З метою дотримання вказаних принципів синтез БТС здійснюється на основі біонічної методології. Найбільш виразно вона проявляється під час синтезу БТС ергатичного типу. В цьому випадку біонічний підхід характеризується прийняттям моделі нервової системи вищих хребетних, зокрема, людини, за функціональну модель БТС. Принципи цього підходу викладені нижче [6].

1. Для побудови структурно-функціональної схеми БТС використовується принцип обробки основних інформаційних потоків у спеціалізованих периферійних

Основною властивістю БТС є їх особлива здатність до адаптації, що обумовлена наявністю двох контурів адаптації: зовнішнього і внутрішнього.

Основні принципи узгодження біологічних і технічних елементів:

принцип адекватності

принцип єдності інформаційного середовища

Синтез БТС здійснюється на основі біонічної методології

Принцип обробки інформаційних потоків у периферійних підсистемах

підсистемах. Ці підсистеми мінімізують об'єм інформації і перекодовують її у адекватну для сприйняття оператором форму, тобто здійснюють процедуру оптимальної фільтрації.

2. Периферійні системи можуть наділятися відчуттям, а інформація може розподілятися між різними сенсорними входами тільки на запити з керівного центру системи.

3. Основні елементи системи здатні обмінюватись інформацією для забезпечення зовнішньої і внутрішньої адаптації.

4. В основу адаптивних програм технічних органів відчуття, розподільників та перетворювачів інформації (так званих логічних фільтрів-перетворювачів - ЛФП) закладаються принципи, виявлені в біологічних дослідженнях сенсорних підсистем організму людини, з наступною формалізацією їх характеристик і побудовою математичних моделей.

5. При синтезі ефекторних підсистем реалізуються результати біонічних досліджень процесів діяльності людини як керівної ланки, що знайшли втілення в адаптивних органах керування.

6. Для встановлення зв'язку між режимами функціонування систем сприймання і станом оператора досліджуються психофізіологічні корелянти організму оператора, які використовуються при виборі режимів ЛФП (наприклад, при оптимізації частотно-часових параметрів сигналу і визначенні оптимальних порогів чутливості інформаційних каналів).

7. Використовується властивий живим організмам принцип якісного оцінювання ситуації з наступним уточненням за допомогою відносних вимірювань і порівняння з вибраним еталонним порогом.

8. Вводиться спеціальний контур регенерації системи (контур нормалізації стану оператора), керований системою поточної діагностики станів психофізіологічних характеристик організму оператора.

Біонічний підхід дозволяє також забезпечити найважливіші, загальні для БТС всіх типів такі властивості, як наявність зовнішньої і внутрішньої адаптацій. Під час синтезу БТС ставиться задача функціонування і виживання системи в умовах змінюваних зовнішніх і внутрішніх факторів, які завдають іноді дезорганізуючих і

Інформація розподіляється на запити з керівного центру

Забезпечення зовнішньої і внутрішньої адаптації

При синтезі сенсорних та ефекторних підсистем реалізуються результати біонічних досліджень

Досліджуються психофізіологічні корелянти організму оператора

Принцип якісного оцінювання ситуації з наступним уточненням

Спеціальний контур нормалізації стану оператора

Біонічний підхід передбачає наявність зовніш-

руйнівних впливів на систему. Внутрішня адаптація передбачає пристосування окремих підсистем одна до одної в умовах, коли кожна з них зазнає певних змін. Це забезпечується наявністю зв'язків між технічними й біологічними елементами системи. Теоретичні й прикладні аспекти даної проблеми являють собою сукупність особливо складних задач. Для їх здійснення оператор повинен постійно отримувати адаптовану, зручну для сприйняття і побудови концептуальної моделі ситуації інформацію про стан навколишнього середовища і підсистем.

Ще складнішою є задача адаптації технічних елементів системи, їх сукупності і режиму функціонування до стану поєднаних з ними систем і органів живого організму. Вона вирішується створенням системи неперервної поточної діагностики стану живого організму. Системи поточної діагностики самі можуть бути автономними біотехнічними системами. Можна сказати, що саме такими системами є більшість БТС медичного призначення, призначених для поточного контролю стану організму і підтримки життєдіяльності шляхом підключення приладів активного втручання, які виконують тимчасово втрачені функції живих органів.

Нетрадиційних підходів при аналізі й синтезі БТС вимагають особливі властивості живих елементів. До цих властивостей належать:

➤ недетермінованість з точки зору однозначності зв'язків між входами і виходами, що виключає можливість дослідження методами "чорного ящика";

➤ значна нелінійність, що ускладнює застосування теорії автоматичного регулювання, відпрацьованої, в основному, для лінійних систем;

➤ багатозв'язність, яка виключає постановку "числого експерименту" на окремо ізольованому органі чи системі, а також утруднює вивчення і побудову структури функціональних моделей живих організмів. В умовах стабілізації процесів у зовнішньому середовищі живі елементи можна розглядати як обмежено детерміновані, що дозволяє в багатьох випадках з достатньою для практики точністю моделювати їх поведінку.

В [6] пропонується метод поетапного моделювання, що передбачає поетапний перехід від змішаної біотехнічної моделі до математичної моделі БТС. Розглянемо даний метод.

пної і внутрішньої адаптації
Внутрішня адаптація передбачає пристосування окремих підсистем одна до одної

Адаптація технічних елементів системи до стану поєднаних з ними систем і органів живого організму є складною задачею

Особливі властивості живих елементів:
недетермінованість,
значна нелінійність,
багатозв'язність

Живі елементи можна розглядати як обмежено детерміновані

Метод поетапного моделювання

1-й етап - підготовчий. Розробляється структурно-функціональна схема БТС, конкретизується її цільова функція і можливі режими роботи. Визначається біологічний об'єкт і попередній алгоритм його функціонування в системі. На основі апріорної інформації створюється модель БТС з математичною моделлю біологічного елемента (наприклад, для людини-оператора - модель функції передавання керівної ланки, для апарата штучного кровообігу - модель функції транспортування кисню тощо). При відсутності апріорних даних для наближеного математичного опису будується змішана модель, на якій проводиться біонічне дослідження об'єкта з метою зняття відповідних кількісних характеристик.

2-й етап - узгодження характеристик керування елементів БТС. Здійснюються процедури ітераційного узгодження характеристик елементів БТС в єдиному контурі керування. При цьому всі технічні елементи і зовнішні впливи достатньо коректно моделюються на ЕОМ. Виходи моделі узгоджуються зі входами моделі біологічної ланки. Проводиться комплексне дослідження моделі БТС з метою оптимізації характеристик кожної з ланок. В результаті отримують комплекс характеристик-вимог, що їх повинен задовольняти біологічний елемент для нормального функціонування БТС у заданому діапазоні режимів. З'ясовується необхідність проведення додаткових дослідів над біологічними елементами чи їх заміниками (наприклад, тваринами чи їх органами).

За результатами цього етапу можна, наприклад, за певною множиною ознак відібрати операторів для БТС ергатичного типу чи підібрати прямий біологічний аналог людському організму при експериментах зі штучним серцем, що призначене для імплантації людині.

3-й етап - інформаційне забезпечення. Досліджуються процеси, що забезпечують дотримання принципів адекватності та ідентифікації інформаційного середовища. Для ергатичних систем етап зводиться до вивчення можливості мінімізації кількості повідомної (аферентної) інформації та вибору сенсорних входів і форм подання інформації оператору для побудови концептуальної моделі в його уяві, моделі простої і в той же час достатньо повної для прийняття правильного рішення. Розробляються вимоги до спеціальних пристроїв узго-

1-й етап – підготовчий
Розроблюється структурно-функціональна схема
Визначається біологічний об'єкт
Створюється модель БТС

2-й етап - узгодження характеристик керування елементів

Здійснюються процедури ітераційного узгодження характеристик елементів

3-й етап - інформаційне забезпечення
Мінімізація кількості аферентної інформації та вибір сенсорних входів і форм подання інформації опе-

дження інформаційних параметрів біологічних і технічних елементів – логічних фільтрів-перетворювачів.

4-й, заключний етап. Проводяться дослідження БТС в напівнатурних (модельних) і натурних умовах. За результатами експериментів коригується математична модель, формулюються завдання на інженерне опрацювання і розробку БТС.

ратору

4-й, заключний
етап

Контрольні питання для самопідготовки

1. Основні властивості БТС.
2. Основні принципи узгодження біологічних і технічних елементів.
3. Як здійснюється забезпечення зовнішньої і внутрішньої адаптації?
4. Поясніть основні моменти принципу обробки інформаційних потоків у периферійних підсистемах.
5. Для чого використовуються результати біонічних досліджень?
6. Поясніть особливі властивості живих елементів
7. Розкрийте сутність чотирьох етапів методу поетапного моделювання.

3.2 Класифікація біотехнічних систем

За характером цільової функції БТС поділяють на

- біотехнічні системи медичного призначення (БТС-М);
- біотехнічні системи ергатичного типу (БТС-Е);
- біотехнічні системи цілеспрямованого керування поведінкою цілісного організму (БТС-К);
- біотехнічні системи керування популяціями організмів.

БТС поділяють на БТС-М, БТС-Е, БТС-К

Розглянемо типові структурні схеми БТС.

Біотехнічні системи медичного призначення

Виходячи з назви, ця група систем призначена для використання в медичних цілях, головними з яких є:

- а) діагностика поточна, що проводиться в реальному часі, і диференціальна, що здійснюється в процесі апостеріорної обробки медико-біологічної інформації;
- б) керування станом організму для його нормалізації;
- в) коротко- чи довготривала компенсація втрачених функцій організму;
- г) протезування і корекція функцій сенсорних систем або опорно-рухового апарату;
- д) медико-біологічні дослідження і лікувальні процедури, пов'язані з застосуванням приладів активного втручання, з'єднаних з організмом в єдину систему.

БТС-М для:

- діагностики,
- керування станом,
- компенсації функцій,
- протезування,
- дослідження

Вся медико-біологічна інформація, що надходить від пацієнта або оператора поділяється на повільнозмінні процеси (ПП) та швидкозмінні процеси (ШП). До повільнозмінних належать процеси, верхня частота яких менша 1 Гц, наприклад, температура тіла, частота пульсу, частота дихання тощо, а до швидкозмінних відносять, головним чином, електрофізіологічні процеси, що характеризуються зміною електричних потенціалів на поверхні шкіри чи на окремих локальних ділянках організму та під його покривами, наприклад, електрокардіосигнал (ЕКС), електроенцефалосигнал (ЕЕС) тощо. Частотні спектри ШП знаходяться від 0,1 до 1 Гц і вище.

Медикобіологічні процеси поділяються на повільнозмінні та швидкозмінні

Сучасні діагностичні медичні системи будуються на основі персональних ЕОМ, оснащених спеціалізованим периферійним обладнанням. Типова структурна схема діагностичної медичної системи показана на рис. 3.1. Вона включає персональну ЕОМ у складі сис-

Сучасні діагностичні медичні системи будуються на основі персональних

темного блока, відеомонітора, клавіатури, інтерфейсу керування і аналого-цифрового інтерфейсу, засобів реєстрації та модему; канали адаптерів ПП і ШП, відповідні датчики-перетворювачі інформації ДПП ШП та ДШП ШП. Елементами системи є також пацієнт, лікар та лікувальні засоби.

Вся медико-біологічна інформація про повільно-змінні і швидкозмінні процеси сприймається відповідними датчиками-перетворювачами інформації ДПП ШП і ДШП ШП. Електричні сигнали підсилюються до необхідного рівня каналами адаптерів ПП і ШП. Канали можуть включати комутатори сигналів датчиків а також проводити первинне опрацювання сигналів. Підсилені до необхідного рівня сигнали надходять у аналого-цифровий інтерфейс, оцифровуються і передаються в ЕОМ. Для керування системою використовуються логічні сигнали, що передаються через цифровий інтерфейс керування.

ЕОМ

Медико-біологічна інформація сприймається датчиками-перетворювачами інформації ДПП ШП і ДШП ШП, оцифровується і передається в ЕОМ



Рисунок 3.1 – Узагальнена структурна схема біотехнічної системи медичного призначення

ЕОМ може керувати також активними засобами впливу, які належать до лікувальних засобів. Крім цього до лікувальних відносять інші терапевтичні засоби. Лікар спостерігає відображувану інформацію і може за допомогою команд через клавіатуру вплинути на процес, змінити програму обробки і весь процес. При необхідності може використовуватись банк даних як самої ЕОМ, так і обмін інформацією із банками даних цієї або інших лікувальних установ через лінії зв'язку.

Дана структурна схема охоплює широкий клас біотехнічних систем. Конкретні типи БТС можуть відрізнятися хіба що типами датчиків, лікувальними засобами й каналами адаптерів та програмами обробки й відображення інформації.

Описана система ще називається автоматизованим робочим місцем лікаря (АРМ-Л).

Біотехнічні системи ергатичного типу. Подібні системи називають людино-машинними системами, іноді системами «людина-техніка-середовище». Біологічна ланка в таких системах – людина-оператор – виконує в замкнутому контурі керування певні функції.

Оскільки властивості біологічних елементів неінваріантні впливам зовнішнього і внутрішнього середовищ, оптимальна БТС-Е повинна мати властивості подвійної адаптації: на системному рівні інтегральною адаптацією до змін зовнішнього середовища і ситуацій (зовнішньою адаптацією); на підсистемному та елементному рівні внутрішньою адаптацією до змін характеристик технічних елементів чи цілих підсистем.

Основним інструментом синтезу БТС-Е є моделювання. Складність його обумовлюється необхідністю побудови ієрархічної багаторівневої моделі з різними рівнями деталізації в залежності від конкретних задач дослідження. В процесі аналізу й синтезу доводиться моделювати на чотирьох рівнях, а саме:

- на рівні тканин (у випадку моделювання процесів метаболізму при визначенні енерговитрат організму в процесі життєдіяльності);
- на рівні органів (при біонічних дослідженнях органів сприйняття для оптимального узгодження з технічними елементами інформаційних каналів);
- на рівні організму (при дослідженні поведінки оператора в процесі керування динамічними об'єктами);

ЕОМ може керувати також активними засобами впливу, які належать до лікувальних засобів

Біотехнічні системи ергатичного типу називають людино-машинними системами

Основним інструментом синтезу БТС-Е є моделювання. В процесі аналізу й синтезу доводиться моделювати на чотирьох рівнях:
тканин,
органів,
організму,
популяції

➤ на рівні популяції (при опрацюванні методів керування популяціями організмів з метою організації їх цілеспрямованої діяльності).

Якщо врахувати наявність зв'язків ще й між різними рівнями ієрархії, то стає цілком сумнівною можливість практичного використання такої моделі. Становить тим більше ускладнюється з урахуванням браку апіорної інформації. Таким чином, традиційні методи синтезу, основані на математичному моделюванні, не завжди приводять до успіху при синтезі БТС-Е.

Найбільш перспективним [6] щодо цього є використання методу поетапного моделювання, що дозволяє синтезувати складні біотехнічні системи з урахуванням найрізноманітніших властивостей організму людини в умовах нестаціонарних впливів середовища. Сутність методу полягає у використанні змішаних моделей, коли технічна частина представляється математичною моделлю, що реалізується ЕОМ, а оператор досліджується як об'єкт в реальному вигляді, включений у загальний контур керування. Ефективність методу забезпечується послідовним коригуванням моделі на різних етапах її створення в результаті поступової оптимізації психофізіологічного портрета оператора і характеристик цілої людино-машинної системи.

Основними задачами поетапного моделювання під час синтезу БТС-Е є такі:

1) узгодження характеристик керованого процесу з відповідними показниками організму оператора як керівної ланки системи (етап "управлінського" узгодження);

2) узгодження потоків інформації, що надходить до оператора від технічних елементів системи, з пропускну здатністю оператора, яка передбачає його нормальне функціонування у заданому часовому режимі (етап "інформаційного" узгодження);

3) розробка вимог до психофізіологічного портрета оператора для системи даного класу, порівняння його на моделювальному комплексі з портретом реального оператора і видача рекомендацій щодо організації логічного фільтра-перетворювача, що узгоджує характеристики оператора й машин;

4) комплексні модельні дослідження з реальним оператором (у випадку необхідності з вмиканням логічних фільтрів-перетворювачів);

Найбільш перспективним є метод поетапного моделювання

Основні задачі поетапного моделювання під час синтезу БТС-Е:

узгодження характеристик процесу і організму;

узгодження потоків інформації;

розробка вимог до оператора; дослідження з реальним оператором; коригування структури;

5) коригування структури системи і технічних характеристик її елементів;

6) розробка рекомендацій щодо професійного відбору, навчання, тренування для обслуговування систем даного класу.

Технічна реалізація методу поетапного моделювання втілюється в тренажно-модельні комплекси (ТМК).

Тренажно-модельний комплекс є багатоцільовою універсальною системою, яка призначена для

- врахування людського фактора на ранніх стадіях синтезу БТС;
- оптимізації режиму роботи операторів, відпрацювання кількісних оцінок ефективності їх діяльності на пультах керування різної конструкції, розробки інженерних рекомендацій щодо вдосконалення існуючих систем керування ергатичного типу;
- отримання апіорної інформації з метою обґрунтування моделі ідеального оператора стосовно системи даного типу;
- розробки методики професійного відбору, навчання й тренування операторів, а також для підготовки операторів методом стадійного тренування;
- тренування операторів для комплексів у період їх розробки задовго до втілення в діючі конструкції;

Виконання перерахованих функцій в ТМК забезпечується наявністю систем: моделювання зовнішньої обстановки (середовища і об'єктів впливу); моделювання динаміки об'єкта керування; аналізу операторської діяльності; аналізу психофізіологічного стану оператора; оцінювання вартості результату; реалізації режимів роботи.

На робоче місце оператора, в залежності від режимів роботи ТМК, подається інформація про зовнішню обстановку (стан середовища і об'єкта впливу), стан об'єкта керування, а також інформація для самоконтролю в умовах тренування (канал індикації вартості результату). В процесі роботи оператора контролюються параметри, що кількісно характеризують його діяльність і психофізіологічний стан, котрі комплексно обробляються відповідними системами, що видають попередньо опрацьовану інформацію в систему, яка обчислює вартість діяльності оператора.

розробка рекомендацій

ТМК призначений для:

- врахування людського фактора;
- оптимізації режиму роботи;
- обґрунтування моделі оператора;
- розробки методики професійного відбору;
- тренування операторів

В процесі роботи оператора контролюються параметри його діяльності і психофізіологічний стан, за якими визначається вартість діяльності оператора

Особлива увага приділяється розробці об'єктивних методів оцінювання вартості результату, що виражається, наприклад, відношенням кількісної оцінки діяльності оператора до узагальненого показника напруженості праці, що характеризується поточними значеннями психофізіологічних показників стану організму. Оскільки діяльність оператора може бути розчленована на характерні етапи (спостереження за станом середовища, виявлення корисного сигналу, його класифікація, прийняття рішення, виконання дій керування), для кожного з них враховується свій показник – коефіцієнт складності розв'язуваної задачі. Оцінка вартості результату діяльності дозволяє характеризувати підготовленість різних операторів, які виконують однакові завдання, їх емоційну стійкість, оцінювати конструктивні рішення інформаційних і виконавчих елементів, дотичних до оператора, а також кількісно характеризувати вплив часових режимів, зовнішніх і внутрішніх факторів на поведінку оператора на різних етапах його діяльності.

Поетапне моделювання БТС-Е виявляє певні можливості для оптимізації структури, функціональних зв'язків, часових режимів та для вдосконалення технічних елементів системи. Надається також можливість обґрунтування психофізіологічного портрета оптимального оператора з метою коригування критеріїв професійного відбору операторів і розробки методик, технічних засобів для навчання та тренування. Це досягається завдяки системному кількісному аналізу і відповідному системному синтезу ергатичної системи.

Аналіз тенденцій розвитку керованих систем показує, що розрив між можливостями людини як ланки керування і зростаючими потребами технічних систем у керівних впливах, який уже позначився, не скорочується. Пришвидження процесів, яке викликає інтенсифікацію інформаційних потоків за підвищених вимог до точності керування, а також збільшення потужності систем, керованих оператором, у корені змінили характер праці оператора. У зв'язку з цим зростають вимоги до надійності як усієї системи, так і оператора.

Оцінка вартості результату діяльності дозволяє характеризувати підготовленість різних операторів, які виконують однакові завдання, їх емоційну стійкість, оцінювати конструктивні рішення інформаційних і виконавчих елементів

Контрольні питання для самопідготовки

1. Види БТС.
2. Для чого використовуються БТС-М?

3. Які біотехнічні системи називають людино-машинними системами?
4. Який метод використовують при синтезі БТС-Е?
5. Який метод моделювання є найбільш перспективним?
6. Основні задачі поетапного моделювання під час синтезу БТС-Е.

3.3 Типи і засоби керування

Для керування поведінкою і станом об'єкта, а останнє так само, як і поведінка, є об'єктом керування, можуть бути використані й інші, частково вже розглянуті нами, керівні впливи.

В замкнених біотехнічних системах керування поведінкою і станом цілісного організму як впливи використовуються технічні (контактні і неконтактні – через середовище) впливи на «входи» організму. Як уже вказувалося, такими «входами» можуть бути як сенсорні і нервово провідні системи керованого організму, так і структури його головного мозку.

Для впливів на сенсорні системи служать так звані сигнальні подразники, технічні параметри яких повинні бути адекватні використовуваному сенсорному входу. Той же принцип адекватності максимально можливо повинен бути покладений в основу технічних керівних впливів на інші структури живого організму, в тому числі, (і особливо) на структури мозку. Якщо передача керівних впливів (команд) здійснюється через інформаційне середовище, то в основу повинен бути також покладений принцип ідентифікації інформаційних середовищ, створюваних технічними пристроями й адекватно використовуваних організмом. Увага керованих біооб'єктів (зокрема операторів, стан і поведінка яких потребує нормалізації), що працюють в умовах тривалих інформаційних перевантажень при постійному дефіциті часу і високому мотиваційному значенні сигналів, перевантажується. У зв'язку з цим варто з'ясувати, куди і як краще адресувати в цих умовах зовнішні впливи (зоровим, акустичним чи іншим органам чуття). Так, результати деяких досліджень указують на те, що краще впливати на одну з різновидів шкірної рецепції. Сигнальні подразники, дія яких заснована на чутливості до місцевої вібрації, викликають локальне і виразне відчуття стомлення, адаптація до нього розвивається повільніше, ніж до статичного тиску. Однак ці питання потребують уточнення.

Зупинимось на деяких структурно-функціональних особливостях будови сенсорних систем з позицій вибору адекватних методів впливу на них сигнальними подразниками і на основі узгодження інформаційних середо-

Для впливів на сенсорні системи служать сигнальні подразники, адекватні використовуваному сенсорному входу

Увага керованих біооб'єктів перевантажується

Важливо правильно підібрати сенсорні входи

вищ, а також найкращої диференціації впливів і вибору їхніх характеристик і параметрів.

В одних сенсорних системах (зір, слух, дотик, нюх, смак, кінестезія) нейронний код відповідає образу, а в інших (вестибулярна і соматосенсорні системи) – сигналу для керування. В усіх живих організмів є характерна риса: рецептори різних сенсорних систем надзвичайно різноманітні. Цей факт указує на те, що системи керування в живих організмах мають подібну структуру і властивості. Як тільки зовнішня інформація перетворена в електричні імпульси, подальший процес переробки її має багато спільних рис для різних сенсорних систем. Раніше особливості цих структур цікавили тільки фізіологів. Однак бурхливий розвиток техніки, створення складних систем, керованих людиною, привів до необхідності вивчення сенсорних систем і, насамперед, рецепторів в аспекті їхніх інформаційних характеристик і узгодження цих характеристик з відповідними технічними пристроями.

Розрізняють три етапи обробки інформації в сенсорних системах: первинну обробку інформації, виділення ознак, що описують сигнал, і виникнення кодованого образу.

Оскільки процеси переробки інформації на другому і третьому етапах подібні, то для формування адекватних керівних технічних сигналів найбільший інтерес викликає перший етап. Він містить у собі операції перетворення енергії сигналу у збудження рецепторного апарата, нагромадження і виділення сигналу із завад (шуму), декореляцію сигналів у часі і просторі. Будь-яке перетворення енергії супроводжується шумами внаслідок її флуктуації. У сенсорних системах селекція корисних сигналів із завад забезпечується процесом нагромадження в результаті просторового і часового підсумовування в нейронних мережах. При підсумовуванні в результаті n повторень сигнал зростає в n разів, а шум – у $\sqrt{n}$ разів.

Для реалізації технічних впливів на рецептори необхідно математично описати залежність реакції рецептора (рецепторний потенціал, частоту пульсації як носіїв інформації) від основних характеристик стимулу. До таких характеристик подразнення (стимулу) можна відне-

Системи керування в живих організмах мають подібну структуру і властивості

Як тільки зовнішня інформація перетворена в електричні імпульси, подальший процес переробки її має багато спільних рис для різних сенсорних систем

Послідовність обробки інформації в сенсорних системах:

- первинна,
- виділення ознак, що описують сигнал,
- і виникнення кодованого образу.

сти як його інтенсивність (голосність звуку, яскравість світла, механічну силу і т.д., так і його склад – частоти звукових коливань, довжину світлової хвилі і т.п., а також зміни характеристик подразнення в часі. Чуттєві клітини будь-якого роду перетворюють отримане подразнення незалежно від його характеру в серії нервових імпульсів. У той же час принцип адекватності БТС у ряді випадків вимагає перекодування вхідної інформації, що надходить на сенсорні органи сприйняття живої системи, а також перерозподілу керівної інформації з інформаційних входів різної модальності (зір, слух, тактильна рецепція і т.д.).

Ці функції, як уже відзначалося, у БТС-Е виконують логічні фільтри-перетворювачі (ЛФП). У БТС-Е є можливість доповнювати і розвивати керівні впливи, що, як правило, виконують функції тільки позитивних чи негативних підтверджень за допомогою природних органів сприйняття, властивих даному біологічному об'єкту. Ця можливість досягається тим, що при дотриманні принципу адекватності центральна і вегетативна нервові системи керованого біооб'єкта не позбавляються своїх нормальних функцій. Тому тварина сама, без зовнішніх впливів, завдяки попередньому навчанню в змозі, наприклад, візуально пізнати об'єкт – ціль свого руху, хоча момент початку руху, швидкість і порядок поворотів могли бути підказані за допомогою технічних засобів керування.

Керування станом живого організму може здійснюватися автоматично за допомогою ЕОМ керування, що використовує дані автоматичного аналізатора станів, або напівавтоматично оператором чи лікарем з пульта керування. До основних методів керування станом живого організму, використовуваним у БТС, відносять енергетичний, речовинний і інформаційний.

Енергетичне керування передбачає вплив на біологічну систему в цілому чи на її підсистеми фізичних керівних агентів, що не змінює кількості речовини біологічного об'єкта. До цих агентів відносять, насамперед, різні фізичні поля: електричне, магнітне, теплове, акустичне, радіаційне, електромагнітне в різних діапазонах частот, включаючи і видимі ділянки спектра. Фізичні поля можуть підводитися через контактні електроди або спеціальні випромінювачі безпосередньо до поверхні живо-

Чуттєві клітини будь-якого роду перетворюють отримане подразнення незалежно від його характеру в серії нервових імпульсів

До основних методів керування станом живого організму, використовуваним у БТС, відносять енергетичний, речовинний і інформаційний

го організму чи локально вводиться в його тканини чи органи. Ці системи одержали найменування *контактних*. Крім цього, керівні енергетичні впливи на організм можуть здійснюватися через середовище, тобто *неконтактно*.

Суть енергетичного керування станом організму полягає в стимулюванні (інтенсифікації) функціонування окремих його підсистем (органів чи фізіологічних систем) придушення деяких патологічних процесів, що протікають у хворому організмі. Як найпростіші приклади такого керування станом біологічних об'єктів можна навести електричні стимулятори серцевих ритмів [33], широко використовувані в практичній медицині. Зокрема, колективом лікарів і інженерів під керівництвом професора Н. П. Бехтеревої успішно застосовується електричний контактний вплив на певні зони головного мозку з метою придушення прогнозованих випадків епілепсії [22]. До дуже перспективних методів енергетичного керування станом живого організму варто також віднести вплив на біологічно активні точки електричними (електроакупунктура), оптичними (наприклад, лазерне лікування) і тепловими полями [32, 49]. Як показали роботи Ф. Г. Портнова, А. М. Карпухіної, В. М. Інюшіна й інших дослідників і практичних лікарів, стимуляція біологічно активних точок живого організму може служити не тільки терапевтичним лікувальним цілям, але також здатна вирішувати задачі профілактики шкідливих впливів розумових і фізичних навантажень [50].

З неконтактних методів найбільш розробленим є спосіб нормалізації стану живого організму шляхом зміни світлових і теплових полів, особливо в замкнутих екологічних об'ємах (наприклад, у скафандрах, батискафах, батисферах і т.д.), а також опромінення просторів різними видами фізичних полів з метою придушення шкідливої для людини біосфери.

Енергетичне керування може мати як безперервний, так і дискретний характер, обумовлений методом і функцією біотехнічної системи.

На відміну від енергетичного керування, що виключає введення в організм яких-небудь матеріальних керівних агентів, речовинне керування використовує усілякі фармакологічні, гормональні, хімічні й інші агенти у твердому, рідкому і газоподібному стані для керу-

Енергетичні впливи на організм можуть здійснюватися контактним або неконтактно

Суть енергетичного керування станом організму полягає в стимулюванні (інтенсифікації) функціонування окремих його підсистем

Енергетичне керування може мати як безперервний, так і дискретний характер
Речовинне ке-

вання станом живого організму і його окремими фізіологічними підсистемами. Таким чином, цей вид керування передбачає неодмінну зміну кількості речовини, що міститься в організмі. При цьому можуть використовуватися, наприклад, автоматично керовані рідинні ін'єкції [67, 91], системи введення керівних агентів у газоподібному стані через середовище [89] чи безпосередньо в систему дихання (наркозні, дихальні апарати, системи дихання водолазних скафандрів і т.д.). Системи речовинного керування можуть бути як цілком автоматичними, так і напівавтоматичними, у яких керівний вплив здійснюється лікарем, що одержує рекомендації, вироблені ЕОМ і відображені на інформаційному полі пульта керування.

Інформаційне керування, тобто керування станом людини за допомогою впливу спеціально сформованих потоків інформації на другу сигнальну систему, відносять до числа найбільш ефективних, але і найменш кількісно формалізованих методів керування. Про психофізіологічні механізми цього процесу (див., наприклад, у роботах [6, 50, 61]).

Розглянемо методи інформаційного керування, що найбільш ефективно використовуються в БТС-Е, а також у БТС-М. У БТС-Е величезне значення для нормалізації стану людини-оператора має наявність засобів самоконтролю [77]. Саме ці засоби допомагають людині об'єктивно оцінити якість власних дій (наприклад, шляхом кількісних показників якості керування процесом чи динамічним об'єктом), стан технічної частини системи (наприклад, системи теплорегулювання скафандра чи витрати дихальної суміші) і, нарешті, власний психофізіологічний стан. Усі ці показники стабілізують чи коректують дії і стан людини як керівної ланки БТС, підвищуючи його адаптивність в умовах нестационарного зовнішнього середовища і забезпечуючи максимальну погодженість зі станом технічної частини БТС. Особливо важливі системи самоконтролю при перебуванні людини в незнайомому екологічному середовищі під впливом різних екстремальних факторів (наприклад, в умовах глибоководних занурень, у відкритому космосі і т.д.) [40].

До методів інформаційного керування станом відносять також автогенне тренування та інструментальний гіпноз, що звичайно поєднуються із системами самокон-

рування використовує фармакологічні, гормональні, хімічні й інші агенти

Інформаційне керування відносять до числа найбільш ефективних

До методів інформаційного керування станом належать

тролю [10, 30]. Вони відрізняються особливою ефективністю, оскільки в їхньому розпорядженні знаходиться емоційно-мотиваційний апарат, здатний істотно змінювати як стан організму, так і форсувати енерговитрати, необхідні для забезпечення нормального функціонування ергатичної БТС [96]. Гіпноз і автогенні тренування дуже ефективні і для медичних лікувальних і профілактичних цілей. Однак, якщо говорити про замкнуті автоматизовані біотехнічні системи, то ці методи поступаються різним медичним тренажерам і навчальним засобам, призначеним, наприклад, для розвитку втрачених функцій органів, кінцівок, а також для розробки й активізації ефекторних нервових каналів керування [34].

Велику роль у процесі машинного керування станом біооб'єкта відіграє підсистема контролю за станом, що містить прилади активного втручання. Вони являють собою технічні пристрої, що поєднуються безпосередньо з організмом людини і призначені для тимчасової або тривалої компенсації втрачених функцій органів фізіологічних систем живого організму. До таких приладів відносять системи штучного дихання і кровообігу (наприклад, апарат штучного кровообігу (АШК), штучне серце-легені (ШСЛ) тощо), дихальні автомати і технічні протези цілого серця чи його лівого шлуночка. Але ці апарати можна віднести до біотехнічних систем лише в тому випадку, якщо вони функціонують в адаптивному режимі, автоматично оптимізованому, відповідно до потреби організму, що визначається в реальному масштабі часу керівною ЕОМ.

Вхідні дані для визначення режиму роботи приладів активного втручання надходять в ЕОМ від системи поточної діагностики станів. Такий метод керування станом організму іноді називають *машинним контактним методом* [14], підкреслюючи цим роль технічної частини системи, включеної в єдиний контур керування БТС. Як приклад можна вказати на реєстраційно-інформаційний і керівний комплекс для хірургічних операційних і реанімаційних, розроблений особливим конструкторським бюро біологічної і медичної кібернетики [6].

Дуже важливе питання про вибір методу мінімізації критерію якості, тобто створення алгоритму побудови вхідних параметрів в інтервалі їх припустимих значень.

також автогенне тренування та інструментальний гіпноз

Велику роль у процесі машинного керування станом біооб'єкта відіграє підсистема контролю за станом, що містить прилади активного втручання

Вхідні дані для визначення режиму роботи приладів активного втручання надходять в ЕОМ від системи поточної діагностики станів

Вибір методу мінімізації

Відсутність апіорної інформації про вид поверхні критерію якості включає можливість аналітичного опису об'єкта регулювання і змушує вдаватися до різних методів пошуку екстремуму. Для цього в експериментах, наприклад, системою «оксигенатор – дезоксигенатор» використовують градієнтний метод, метод Гаусса – Зейделя або інші методи. Зокрема, оптимальний вектор керівних параметрів знаходять, використовуючи модифікований градієнтний метод. Для цього був розроблений алгоритм, що дозволяє використання будь-яких ЦВМ, що мають блоки перетворення «напруга - код» і «код - напруга». У випадку виходу регульованих параметрів за припустимі фізіологічні межі передбачається включення звукової і візуальної сигналізації.

критерію якості

Контрольні питання для самопідготовки

1. Що називають сигнальними подразниками і для чого вони використовуються?
2. Етапи обробки інформації в сенсорних системах.
3. Призначення чуттєвих клітини будь-якого роду.
4. Основні методи керування станом живого організму, що використовуються у БТС.
5. Як можуть здійснюватися енергетичні впливи на організм?
6. В чому полягає суть енергетичного керування станом організму?
7. В чому полягає суть речовинного керування?
8. В чому полягає суть інформаційного керування?
9. Як здійснюється вибір методу мінімізації критерію якості?

В замкнутах біотехнічних системах керування поведінкою і станом цілісного організму як впливи використовуються технічні (контактні і неконтактні – через середовище) впливи на «входи» організму.

Для впливів на сенсорні системи служать так звані сигнальні подразники, технічні параметри яких повинні бути адекватні використовуваному сенсорному входу. Той же принцип адекватності максимально можливо повинен бути покладений в основу технічних керівних впливів на інші структури живого організму, в тому числі, (і особливо) на структури мозку. Якщо передача керівних впливів (команд) здійснюється через інформаційне середовище, то в основу повинен бути також покладений принцип ідентифікації інформаційних середовищ, створюваних технічними пристроями й адекватно використовуваних організмом. Увага керованих біооб'єктів (зокрема операторів, стан і поведінка яких має потребу в нормалізації), що працюють в умовах тривалих інформаційних перевантажень при постійному дефіциті часу і високому мотиваційному значенні сигналів перевантажується. У зв'язку з цим варто з'ясувати, куди і як краще адресувати в цих умовах зовнішні впливи (зоровим, акустичним чи іншим органам чуття). Так, результати деяких досліджень указують на те, що краще впливати на одну з різновидів шкірної рецепції. Сигнальні подразники, дія яких заснована на чутливості до місцевої вібрації, викликають локальне і виразне відчуття стомлення, адаптація до нього розвивається повільніше, ніж до статичного тиску. Однак ці питання потребують уточнення.

Розрізняють три етапи обробки інформації в сенсорних системах: первинну обробку інформації, виділення ознак, що описують сигнал, і виникнення кодового образу.

Керування станом живого організму може здійснюватися автоматично за допомогою ЕОМ керування, що використовує дані автоматичного аналізатора станів, або напівавтоматично оператором чи лікарем з пульта керування. До основних методів керування станом живого організму, використовуваним у БТС, відносять енергетичний, речовинний і інформаційний.

Інформаційне керування, тобто керування станом людини за допомогою впливу спеціально сформованих потоків інформації на другу сигнальну систему відносять до числа найбільш ефективних, але і найменш кількісно формалізованих методів керування.

ПІСЛЯМОВА

Кожен новий напрямок у науці вимагає певного часу для становлення, розробки загальної теорії, методології дослідження і, нарешті, практичних рекомендацій для розв'язання прикладних задач. Усе це можна віднести і до предмета нашого посібника – біотехнічних систем.

У посібнику автори намагалися сформулювати основні принципи, якими необхідно керуватися при аналізі і синтезі біотехнічних систем, запропонували їх класифікацію, а також проілюстрували її функціональними схемами БТС різного призначення. На жаль, малий обсяг посібника не дозволив приділити належну увагу питанням формального опису теорії синтезу біотехнічних систем. Ця проблема досить глибока і потребує спеціального висвітлення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

1. Дружинин В. В., Конторов Д. С. Проблемы системологии. — М., 1976.—296 с.
2. Философский энциклопедический словарь/ Редкол.: С. С. Аверинцев и др. — М.: Сов. энциклопедия, 1989.—815 с.
3. Енциклопедія кібернетики/ Редакційна колегія В. М. Глушков та ін. — К: Головна редак. УРЕ, 1973. т. 1. —584 с., т. 2. —574 с.
4. Ахутин В. М. Бионические аспекты синтеза биотехнических систем.— Информационные материалы// Кибернетика.- 1976. - №4(92).
5. Ахутин В.М. Автоматизированные информационные и управляющие комплексы медицинского назначения. Информационные материалы// Кибернетика. - 1972. - №5(61).
6. Биотехнические системы: Теория и проектирование. Учеб. пособие./Ахутин В. М. и др. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. —220 с.
7. Адаптивные эргатические системы "человек-машина".—В кн.: Проблемы инженерной психологии и эргономики. Вып. 2.— Ярославль, 1974.— С. 141-145
8. Блауберг И. В., Юдин Ю. Г. Становление и сущность системного подхода.—М., 1973.—270 с.
9. Методы математической биологии. Книга 7. Методы анализа и синтеза биологических систем управления.— Киев: Выща школа. Головное изд-во, 1983.— 272 с.
10. Павлов В. В. Начала теории эргатических систем. — К.: Наук. думка, 1975.—240 с.
11. Алеев Л. С. и др. «Миотон» в управлении движениями.—Киев : Наук. думка, 1980.— 143 с.
12. Амосов Н. М. Регуляция жизненных функций и кибернетика.— Киев: Наук., думка, 1964.— 116 с.
13. Андерсен Т. Статистический анализ временных рядов.— М.: Мир, 1976.— 755 с.
14. Анохин П. К. Принципиально новые вопросы общей теории функциональных систем.— М.: Наука, 1971.— 61 с.
15. Антомонов Ю. Г. Принципы нейродинамики.— Киев: Наук. думка, 1974.— 199 с.
16. Антомонов Ю. Г., Кифоренко С. И. и др. Математическая теория системы сахара крови.— Киев: Наук., думка, 1971.— 83 с.
17. Баевский Р. М. Кибернетический анализ процессов управления сердечным ритмом.— В кн.: Актуальные проблемы физиологии и патологии кровообращения. — М.: Медицина, 1976. - С. 161-175.
18. Балантер Б. И., Ханин М. А., Чернавский Д. С. Введение в математическое моделирование патологических процессов.— М.: Медицина, 1980.— 263 с.

19. Беллман Р. Динамическое программирование. -М.: Изд-во иностр. лит., 1960.— 40 с.
20. Беллман Р. Проблемы регулирования с адаптацией.— М.: Наука, 1964.— 358 с.
21. Бехтерева Н. П. и др. Устойчивое патологическое состояние при болезнях мозга: Лечебные электрические стимуляции в лечении эпилепсии. - Л., 1978. - С. 152-208.
22. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление.— М.: Мир, 1974.- 406 с.
23. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления.— М.: Наука, 1969.- 408 с.
24. Введение в эргономику /Под ред. В. П. Зинченко. — М.: Сов. радио, 1974.- 352 с.
25. Воронов А. А. Основы теории автоматического управления.— Л.: Энергия, 1968. - Т. II. 372 с.
26. Воронов А. А. Основы теории автоматического управления.— Л.: Энергия, 1970. - Ч. III. 327 с.
27. Воскресенский А. Д., Вентцель М. Д. Статистический анализ сердечного ритма и показателей гемодинамики в физиологических исследованиях. - В кн.: Проблемы космической биологии.— М.: Наука, 1974. - Т. 26. 222 с.
28. Глушков В. М., Саноцкий И. В. и др. Математическое моделирование реакции организма на повторяющиеся воздействия химических веществ.— Киев: Изд. Ин-та кибернетики АН УССР, 1978.- 64 с.
29. Гноенский Л. С., Каменский Г. А., Эльсгольц Л. Э. Математические основы теории управляемых систем.— М.: Наука, 1969. - 512 с.
30. Гродинз Ф. Теория регулирования и биологические системы. - М.: Мир, 1966.- 254 с.
31. Вагралик В. Г., Вагралик М. В. Иглорефлексотерапия. - Горький, 1978. — 295 с.
32. Валуужис К. и др. Устройство дискретизации электрокардиосигналов. - В кн.: Теория и практика автоматизации электрокардиографических исследований. - Пушкино, 1976. - С.47-48.
33. Дженкинс Г., Ватте Д. Спектральный анализ и его приложения. - М.: Мир, 1971. - Вып. 1. 316 с.
34. Дженкинс Г., Ватте Д. Спектральный анализ и его приложения.— М.: Мир, 1972. - Вып. 2, 287 с.
35. Иванов-Муромский К. А. Саморегуляция головного мозга. - Киев: Наук. думка, 1971.— 242 с.
36. Инженерная психология / Под. ред. Г. К. Середы. - Киев: Выща школа, 1976.— 308 с.
37. Кабикин В. Е. Диагностика оперативного мышления.— Киев: Наук. думка, 1977.

38. Катковник В. Я., Полуэктов Р. А. Многомерные дискретные системы управления.— М.: Наука, 1966.- 416 с.
39. Корн Г., Корн. Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров.— М.: Наука, 1973. - 686 с.
40. Котова А. Б. Структурно-функциональное единство клетки.— Киев: Наук. думка, 1999. – 296 с.
41. Крылов А. Н. Лекции о приближенных вычислениях. - М., Л.: ГТТИ, 1950.— 400 с.
42. Летов А. М. Динамика полета и управление. - М.: Наука, 1969. - 358 с.
43. Ломов Б. Ф. Человек и техника. - М.: Сов. радио, 1966. - 463 с.
44. Лоскутова Т. Д. Оценка функционального состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой двигательной реакции. // Физиологический журнал. -1975. - № 1. - С. 3 - 12.
45. Любимов Н. Н. Многоканальная организация афферентного проведения в анализаторных системах головного мозга. Автореф. дис. д-ра мед. наук. - М., 1969. - 51 с.
46. Медич Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление. - М.: Энергия, 1973.- 440 с.
47. Инюшин В. М., Чекуров П. Р. Биостимуляция лучом лазера и биоплазмой. – Алма-Ата, 1975. - 119 с.
48. Психофизиологическое состояние человека и информативность биологически активных точек кожи. – В кн.: Материалы научной конференции Минпроса УССР/ Под ред. В. И. Войтко, А. М. Карпухиной. – К., 1979. - С. 17-21.
49. Месров М. В. Системы многосвязного регулирования. - М.: Наука, 1967. - 384 с.
50. Методы математической биологии. Кн. 1. Общие методы анализа биологических систем. - Киев: Выща школа, 1980. - 239 с.
51. Методы математической биологии. Кн. 2. Методы синтеза алгебраических и вероятностных моделей биологических систем. - Киев: Выща школа, 1981. - 310 с.
52. Методы математической биологии. Кн. 4. Методы идентификации математических моделей биологических систем. - Киев: Выща школа, 1982. - 192 с.
53. Методы математической биологии. Кн. 5. Информационные методы синтеза моделей биологических систем. - Киев: Выща школа, 1982. - 240 с.
54. Мещерский Р. М. Анализ нейронной активности. - М.: Наука, 1972. - 222 с.
55. Милсум Дж. Анализ биологических систем управления. - М.: Мир, 1968. - 502 с.

56. Митропольский Ю. А. Проблемы асимптотической теории нестационарных колебаний. - М.: Наука, 1964. - 428 с.
57. Моисеева Н. И. Влияние внезапного изменения временной среды на некоторые циркадные ритмы человека. // Физиологический журнал СССР. - 1975. - № 12. - С. 1798 - 1804.
58. Моисеева Н. И. и др. Саморегуляция циркадного ритма сна как одно из проявлений механизма адаптации организма к изменениям условий среды. - В кн.: Адаптивная саморегуляция функций. - М.: Медицина, 1977. - С. 194 - 205.
59. Крылов А. А. Человек в автоматизированных системах управления. - Л.: Энергия, 1972. - 192 с.
60. Новосельцев В. Н. Гомеостаз организма как система управления. - М.: Изд. Ин-та проблем управления АН СССР, 1973. - 66 с.
61. Основы инженерной психологии/ Под ред. Б. Ф. Ломова, — М.: Высшая школа, 1977. - 335 с.
62. Лабутин В. К. Адаптация в биологии и технике. - Л.: 1970. - 160 с.
63. Понтрягин Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. - М.: Наука, 1970. - 331 с.
64. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г. и др. Математическая теория оптимальных процессов. - М.: Наука, 1969. - 382 с.
65. Проссер Л., Браун Ф. Сравнительная физиология животных. - М.: Мир, 1967. - 480 с.
66. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. - М.: Мир, 1969. - 215 с.
67. Руттенбург С. О., Слоним А. Д. Циркадный ритм физиологических процессов и трудовая деятельность человека. - Фрунзе: Илим, 1976. - 188 с.
68. Свирежев Ю. М., Логофет Д. О. Устойчивость биологических сообществ. - М.: Наука, 1978. - 352 с.
69. Серебренников М. Г., Первозванский А. А. Выявление скрытых периодичностей. - М.: Физматгиз, 1965. - 244 с.
70. Словарь по кибернетике/Под. ред. акад. В. М. Глушкова. - Киев: УСЭ, 1979. - 621 с.
71. Спиди К., Браун Р., Гудвин Дж. Теория управления. - М.: Мир, 1973. - 247 с.
72. Ханин М. А. и др. Экстремальные принципы в биологии и физиологии. - М.: Наука, 1978 - 256 с.
73. Хрунов Е. В. и др. Человек-оператор в космическом полете. — М.: Машиностроение, 1974. - 400 с.
74. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. - М.: Наука, 1968. - 399 с.
75. Чаки Ф. Современная теория управления. - М.: "Мир", 1975. - 424 с.

76. Янушевский Р. Т. Теория линейных оптимальных многосвязных систем управления.— М.: Наука, 1973. - 464 с.
77. Cox D. R., Lewis P. D. W. The statistical analysis of series of events. - London : Methuen, 1966. - 286 p.
78. Crosbie R. J., Hardy J. T., Fessenden E. Electrical analog simulation of temperature regulation in man.— IRE Trans, on Bio-Med. Electron., 1961, 8, N 4, p. 245-252.
79. Jacquez J. A compartmental analysis in biology and medicine.— Amsterdam - London - N. Y. : Elsevir Publ. Co., 1972. - 365 p.
80. Kamiya A., Togawa T., Jamamoto A. Theoretical Relationship between the Optimal Models of the Vascular Tree. - Bull. Math. Biol., 1974. 36, p. 311-323.
81. Patten B. C. A primer for ecological modelling and simulation with analog and digital computers.— In: Systems analysis and stimulation in ecology. - N. Y. - London : Acad. Press, 1971, 1, p. 4 - 122.
82. Prins J., Cornelissen G. Numerical signal averaging for cycle determination. - J. Interdiscipl. Cycle Res., 1975, 6, N 1, p. 95 - 102.
83. Rashevsky N. The Principle of Adegnate Designe. - In: Foundation of Math. Biol., Ed. R. Rosen, - N. Y.: Acad. Press., 1973, 3, p.143-175.

ГЛОСАРІЙ

Аналізатор електрокардіосигналів

Апарат призначений для проведення масових кардіологічних обстежень населення з метою виявлення кардіологічних хворих за допомогою електрокардіосигналів.

Анализатор электрокардиосигналов

Analizer of electrical cardiosignals

Аналізатор частотного спектра біологічних сигналів

Апарат призначений для автоматичної обробки в реальному масштабі часу біологічних сигналів з метою визначення їх амплітудно-частотних спектрів.

Застосовується в науково-дослідних інститутах і клініках для удосконалення діагностики різних захворювань і проведення експериментальних досліджень.

Анализатор частотного спектра биологических сигналов

Analyzer of frequency the spectrum of biological signals

Апарат

Технічний пристрій, що забезпечує дію на об'єкт яким-небудь видом енергії з метою зміни стану об'єкта або визначення його характеристик.

Аппарат

Apparatus

Апарат штучного кровообігу

Апарат призначений для тимчасової заміни нагнітальної функції серця і газообмінної функції легенів під час операції на серці і магістральних судинах. Працює в автономному режимі, а також в кардіосинхронізованому режимі контрапульсації. Мікропроцесорний пристрій забезпечує автоматизацію процесу управління роботою апарата.

Аппарат искусственного кровообращения (АИК)

Apparatus of artificial circulation of blood

Апарат штучної вентиляції легень

Апарат для проведення керованої або допоміжної штучної вентиляції легенів шляхом примусового нагнітання в них повітря (дыхальної газової суміші) із забезпеченням активного або пасивного видиху.

Аппарат искусственной вентиляции лёгких

Apparatus of artificial ventilation of lights

Апарат рентгенівський

Апарат, що генерує рентгенівське випромінювання, призначений для проведення рентгенологічних діагностичних і лікувальних процедур.

Апарат рентгенівський польовий - переносний А. р., призначений для проведення рентгенологічної діагностики уражень і захворювань в польових умовах.

Аппарат рентгеновский (рентгеноустановка)

Apparatus x-ray photography

Біотелеметрія

Дистанційне дослідження функцій і вимірювання показників життєдіяльності біологічного об'єкта; Б. дозволяє реєструвати динаміку фізіологічних показників безперервно протягом довгого часу і в реальному навколишньому оточенні.

Биотелеметрия

Biotelemetry

Біотехнічна система (БТС)

Система, що є сукупністю біологічних і технічних елементів, об'єднаних в єдину функціональну систему цілеспрямованої поведінки.

Биотехническая система (БТС)

Biotechnical system (BTS)

Біотехнічна система медичного призначення (БТС-М)

Система призначена для використання в медичних цілях, основними з яких є: діагностика стану живого організму; управління станом організму для його нормалізації; різні медико-біологічні дослідження.

Биотехническая система медицинского назначения (БТС-М)

Biotechnical system of the medical setting (BTS-M)

Біотехнічна система підтримки гомеостазу ізольованих органів

Система призначена для підтримки гомеостазу життєво важливих ізольованих органів за основними фізико-хімічними і гемодинамічними параметрами. Забезпечує оптимізацію умов консервації трансплантатів з метою гарантованого тривалого збереження їх перед пересадкою; вивчення прямої дії фармакологічних засобів на ізольовані органи; збільшення числа трансплантатів, придатних для пересадок, збільшення термінів консервації їх і поліпшення результатів пересадки.

Биотехническая система поддержания гомеостаза изолированных органов

Biotechnical system of the support of homeostasis isolated organs

Біотехнічна система керуванням станом цілісного організму (БТС-У)

БТС з контуром керувального зворотного зв'язку, яка призначена для формування керівних дій для нормалізації стану організму.

Биотехническая система управления состоянием целостного организма (БТС-У)

Biotechnical control system of state of integral organism (BTS-C)

Біотехнічна система ергатичного типу (БТС-Е)

БТС, в якій біологічна ланка представлена людиною-оператором, що виконує різні функції в замкнутому контурі, керуючи технічною системою.

Биотехническая система эргатического типа (БТС-Э)

Biotechnical system of ergatic type (BTS-E)

Векторокардіограф

Пристрій для реєстрації векторелектрокардіограм, пишучий елемент якого функціонує під кутом (звичайно під прямим) в одній площині сил, що відповідають двом електрокардіосигналам.

Векторокардиограф

Vectorcardiograph

Давач, датчик

Конструктивно відособлена ланка вимірювального приладу, призначена для сприйняття контрольованої величини і перетворення її в сигнал, зручний для передачі на вторинну апаратуру з метою його подальшого перетворення або реєстрації; різні Д. знаходять широке застосування в діагностичній, лікувальній і дослідницькій апаратурі.

Датчик

Sensor, data unit, detector, sensing transducer

Дефібрилятор

Апарат призначений для лікування гострих і хронічних порушень серцевого ритму і відновлення серцевої діяльності, яке здійснюється шляхом пропускання через груднину короткого електричного імпульсу.

Дефибрилятор

Defibrillator

Дефібрилятор синхронізувальний

Прилад призначений для застосування в стаціонарних медичних установах і машинах швидкої допомоги, забезпечує дозування вискоєфективного біполярного імпульсу, всі параметри якого, що визначають ефекти-

вність і безпеку лікування, стабілізовані і не залежать від міжелектродного імпедансу пацієнта.

Дефібрилятор синхронизирующий
Defibrillator synchronized

Кардіограма

- 1) крива, що відбиває зміну якого-небудь показника функції серця;
- 2) крива механічних коливань груднини, обумовлених діяльністю серця.

Кардиограмма
Cardiogram

Кардіограф

- 1) прилад для реєстрації скорочень серця за допомогою датчика, що сприймає механічні коливання груднини (серцевий поштовх), який перетворює їх, передає на реєструвальний пристрій; застосовується переважно при фізіологічних дослідженнях;

- 2) загальна назва приладів, які реєструють будь-яку функцію серця.

Кардиограф
Cardiograph

Кардіокомплекс

Апарат призначений для вимірювання частоти серцевих скорочень і амплітуди біопотенціалів серця, а також для генерування прямокутних імпульсів струму з метою електричної стимуляції серця. Застосовується для контролю за станом серцевої діяльності важкохворих.

Кардиокомплекс
Cardiocomplex

Кардіомонітор

- 1) Прилад призначений для вимірювання частоти серцевих скорочень, частоти пульсових хвиль і їх різниці. Застосовується для оцінювання стану хворого і ефективності терапії, що проводиться, в палатах інтенсивної терапії кардіологічних відділень і в операційних. Кардіомонітор має світлову та звукову індикацію ритму серцевих скорочень і забезпечує світлову й звукову сигналізацію перевищення частоти серцевих скорочень і дефіциту пульсу встановлених меж.

- 2) Комплекс приладів і апаратів, що забезпечують можливість тривалого безперервного спостереження за серцевою діяльністю у хворого, сигналізацію про порушення серцевого ритму, а також можливість електричної стимуляції серця.

Кардиомонитор, монитор
Cardiomonitor

Кардіореанімаційний комплекс

Апарат призначений для проведення екстренної електрокардіографічної діагностики і надання невідкладної реанімаційної допомоги.

Застосовується, в першу чергу, в кардіологічних, інфарктних, кардіохірургічних відділеннях, лікарнях для реабілітації інфарктних хворих і в кардіологічних санаторіях, велоергометричних кабінетах. Може бути використаний у всіх інших відділеннях багатопрофільних стаціонарів у випадках, коли потрібна невідкладна реанімаційна допомога.

Кардіореанимационный комплекс

Cardioresuscitation complex

Комплекс кардіологічний комп'ютерний діагностичний

Автоматизований апаратно-програмний комплекс, призначений для реєстрації, комп'ютерної обробки й аналізу, зберігання і передачі електрокардіограм.

Комплекс кардиологический компьютерный диагностический Complex is cardiologic computer diagnostic

Плетизмограф

Прилад для реєстрації змін об'єму всього тіла людини, частини тіла або окремого органа, головним чином пульсових коливань об'єму кінцівки.

Плетизмограф

Pletizmograph

Плетизмографія

1) Метод реєстрації змін об'єму тіла або його частини, пов'язаних з динамікою кровонаповнення;

2) метод дослідження судинного тонуусу і кровотоку в судинах дрібного калібру, оснований на графічній реєстрації пульсових і повільніших коливань об'єму якої-небудь частини тіла, пов'язаних з динамікою кровонаповнення судин. Як особливий метод виділяють так звану загальну плетизмографію, або плетизмографію всього тіла, яка використовується для дослідження функцій зовнішнього дихання і хвилинного об'єму кровообігу.

Плетизмографія ємнісна — П., основана на реєстрації змін ємності конденсатора, між пластинами якого розміщують досліджувану частину тіла.

Плетизмографія імпедансна (англ. *Impedance* — опір; син. *реоплетизмографія*) — П., основана на реєстрації змін імпедансу (сумарного опору ємності) частини тіла; на відміну від реографії при П. і. використовують струми вищої частоти.

Плетизмографія механічна — П., здійснювана за допомогою гідравлічної і (або) пневматичної системи передачі змін об'єму органа на реєструвальний пристрій.

Плетизмографія оклюзійна — механічна П. кінцівки, при якій за допомогою затисної манжети переривають венозний відтік, а потім реєструють збільшення об'єму кінцівки.

Плетизмографія орбітальна — П. м'яких тканин очної ямки.

Плетизмографія

Pletizmography

Поліаналізатор

Прилад призначений для автоматизованої обробки електрокардіограм, фонокардіограм, реоплетизмограм і кривих розведення індикатора з метою визначення показників центрального і периферійного кровообігу.

Полианализатор

Polianalyzer

Поліанізатор мікропроцесорний медичний

Прилад призначений для оцінювання функціонального стану зовнішнього дихання і кровообігу шляхом вимірювання і обчислення об'ємних показників зовнішнього дихання і центральної гемодинаміки.

Поллианизатор микропроцессорный медицинский

Polianizator mikroprocessor medical

Поліграф

Багатоканальний реєструвальний пересувний прилад для одночасного запису декількох фізіологічних процесів при діагностичних або експериментальних дослідженнях. Забезпечує можливість отримання візуальної інформації досліджуваних процесів, результатів їх обробки і (або) документування цих даних на паперовому носії.

Полиграф

Polygraph

Поліграф кардіологічний чотириканальний

Апарат призначений для реєстрації електрокардіограми, фонокардіограми, сфігмограми і реограми при проведенні функціональної діагностики.

Полиграф кардиологический четырехканальный

Polygraph cardiological four-channel

Перетворювач для сфігмоартеріографії і апекскардіографії

Прилад призначений для прямого визначення параметрів функціонування серцево-судинної системи шляхом вимірювання сили і складається з венозного датчика електромеханічного типу і проміжного електричного аналогового перетворювального елемента.

фин Преобразователь для сфигмоартериографии и апекскардиогра-

Transformer for sfigmoarteriography and apekscardiography

П'єзокерамічні датчики кровотоку

Прилад призначений для вимірювання відносної швидкості потоку крові в середніх і малих, неглибоко розташованих судинах, використовується при дослідженні стану периферійних судин обличчя, рук, ніг.

Пьезокерамические датчики кровотока

Guages piezoceramic

П'єзоелектричний перетворювач (датчик тонів серця)

Прилад призначений для прослуховування тонів серця. П'єзодатчик з вбудованим струмовим повторювачем може працювати в безперервному режимі.

Пьезоэлектрический преобразователь (датчик тонов сердца)

Converter piezoelectric (sensor of heart tone)

Рєсстратор біологічних процесів

Прилад призначений для реєстрації біомедичної інформації в умовах медичних і науково-дослідних установ. Може застосовуються як самостійно, так і у складі моніторних систем, в поліграфічних комплексах з осцилоскопами.

Регистратор биологических процессов

Biological processes registrator

Рєсстратор ЕКГ і АТ

Прилад призначений для проведення дослідження одночасно ЕКГ за трьома відведеннями і артеріального тиску в амбулаторних і стаціонарних умовах

Регистратор ЭКГ и АД

ECG, AP registrator

Реоаналізатор

Апарат призначений для визначення діагностичних показників центральної і периферійної гемодинаміки непрямыми методами шляхом автоматизованої реєстрації і обробки реокардіо-, реовазо- і реоенцефалосигналів.

Реоанализатор

Rheoanalyser

Реограма (електрореограма)

Крива, що відбиває зміни в часі повного електричного опору тканини і, тим самим, кровонаповнення її судин.

Реограмма

Rheogram

Реограф

Прилад призначений для реєстрації змін повного електричного опору людського тіла, що виникають в результаті зміни кровонаповнення судин.

Реограф

Reograph

Реограф чотириканальний

Апарат дозволяє автоматичним методом досліджувати стан центральної і регіональної систем кровопостачання шляхом вимірювання міжелектродного імпедансу і реєстрації змін цього імпедансу в різних областях організму людини.

Реограф чегырехканальный

Reographe four-channel

Сиреограф

Дистанційно керований універсальний рентгендіагностичний пристрій, призначений для дослідження плунково-кишкової області, черепа, скелета, легенів і т.д.

Сиреограф

Syregraph

Система медична моніторна

Система являє собою комплекс технічних засобів, що забезпечують безперервне знімання фізіологічних параметрів від одного або декількох чоловік, необхідну обробку і аналіз цих показників в реальному масштабі часу, відображення і реєстрацію як первинних, так і оброблених даних і вироблення необхідних керувальних сигналів.

Система медицинская мониторинная

Medical monitor system

Система медична моніторно-комп'ютерна

Система медична моніторна, до складу якої входить комп'ютер для обробки фізіологічних параметрів, дані про які надходять від одного або декількох чоловік.

Система медицинская монитрно-компьютерная

Medical monitor computer system

Сканер ультразвуковий лінійний

Прилад, який дозволяє одержати ехозображення внутрішніх органів з високою роздільною здатністю в бічному напрямі, що забезпечує високу точність зображення, а також широкий огляд структур, розташованих близько до поверхні зонда.

Сканер ультразвуковой линейный

Scanner ultrasound linear

Томографія

Методика рентгенологічного дослідження структури внутрішніх органів, оснований на отриманні зображення вибраного зрізу тіла людини. Див. комп'ютерна томографія.

Комп'ютерна осьова томографія, аксіальна комп'ютерна томографія (CAT, computerized axial tomography) — діагностичний метод, який передбачає використання комп'ютера для аналізу рентгеновського зображення. Дозволяє одержати зображення пошарових поперечних зрізів тіла на різних рівнях.

Томография

Tomography

Тренажерно-модельовальний комплекс (ТМК)

Комплекс є універсальною багатоцільовою системою, призначеною для врахування людського чинника на певних стадіях синтезу БТС-Е; оптимізації режиму роботи операторів; отримання апріорної інформації, розробки методик відбору і тренування операторів.

Тренажёрно-моделирующий комплекс (ТМК)

Trainer-designing complex (TDC)

Фонокардіограф

Апарат призначений для реєстрації звукових процесів серця.

Фонокардиограф

Phonocardiograph

Фотофонокардіограф

Апарат для вивчення серцево-судинної діяльності вагітної жінки і плоду за допомогою візуального спостереження і запису фізіологічних процесів.

Фотофонокардиограф

Photofonocardiograph

Електрокардіограф

Прилад для реєстрації біоелектричної активності серця шляхом відображення на екрані електронно-променевої трубки змін його електричного поля.

Электрокардиограф
Electrocardiograph

Електрокардіограф п'ятиканальний

Призначений для дослідження електричної активності серця людини в клінічних і поліклінічних умовах. Застосовується при комплексному обстеженні серцево-судинної системи. Використовується з фотозаписом.

Электрокардиограф пятиканальный
Electrocardiograph five-channel

Електрокардіографія

Метод запису електричних потенціалів, що супроводжують роботу серця. Ці потенціали фіксуються електрокардіографом за допомогою електродів, що накладаються на шкіру. Метод застосовується для діагностики захворювань серця.

Электрокардиография
Electrocardiography

Електрокардіомонітор

Апарат призначений для тривалого контролю за станом серцевої діяльності хворого.

Электрокардиомонитор
Electrocardiomonitor

Електрокардіосигналізатор

Прилад може використовуватися як:

а) портативний електрокардіоскоп — для ургентної діагностики і серійних обстежень в терапевтичних стаціонарах, в приймальних покоях, черговими лікарями швидкої допомоги при невідкладних викликах, при масових обстеженнях;

б) електрокардіосигналізатор — для дистанційного візуального і слухового контролю за станом серцевої діяльності пацієнта в операційних і післяопераційних палатах, а також для тривалого спостереження за важкохворими в терапевтичних стаціонарах.

Электрокардиосигнализатор
Electrocardiosignalizator

Електрокардіостимулятор (для невідкладної допомоги)

Переносний електронний медичний прилад, призначений для нормалізації і відновлення порушеного або втраченого ритму серцевої діяльності в умовах швидкої допомоги і клінічної практики.

Электрокардиостимулятор (для неотложной помощи)

Electrocardiostimulator for emergency

Електроплетизмограф

Прилад для реєстрації змін кровонаповнення органа або ділянки тіла за супутніми змінами його об'єму шляхом безперервного вимірювання ємності електричного конденсатора, утвореного двома електродами і досліджуваним органом (ділянкою тіла).

Электроплетизмограф

Electroplethysmograph

Навчальне видання

Сергій Макарович Злепко
Микола Михайлович Данильчук
Любов Василівна Загоруйко

БІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Частина перша

БІОЛОГІЧНІ ТА БІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЯК ОБ'ЄКТИ
ДОСЛІДЖЕННЯ

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено Л. В. Загоруйко

Редактор В. О. Дружиніна

Науково - методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ.

Підписано до друку 24.06.2008 р.
Формат 29,7×42^{1/4}
Друк різнографічний
Тираж 75 прим.
Зам. № 2008-089

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк. 6.0

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомвидаву України
серія ДК №746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ