Лекция № 3.7

ТЕМА: Бионика

Основные вопросы, рассматриваемые на лекции:

1. Бионика как одно из направлений биологии и кибернетики, рассматривающее особенности морфофизиологической организации живых организмов и их использование для создания совершенных технических систем и устройств по аналогии с живыми системами.

Содержание лекционного материала по теме № 3.7

**Бионика и кибернетика**

Биокибернетика (от греч. kubernetike -- искусство управления), научное направление, связанное с применением идей и методов кибернетики в биологии. Исторически зарождение и развитие К. б. связаны с эволюцией представлений об обратной связи в живых системах (А.А. Богданов, П.К. Анохин и др.). В дальнейшем в связи со становлением кибернетики её биол. направление сформировалось в науку об общих закономерностях управления и связи в биологических системах, о процессах хранения, передачи и переработки информации в этих системах и способах её кодирования (Н. Винер, А.А. Ляпунов, И.И. Шмальгаузен). Дифференциация биологических наук привела к делению К. б. на ряд самостоят, разделов (нейрокибернетика, физиологическая кибернетика, математическая генетика, математическая экология, математическая биофизика и т. п.). Естественная иерархия живых систем определяет иерархию объектов, изучаемых К. б. Со структурно-функциональной и информационной точки зрения всё многообразие живого может быть подразделено на 4 главных уровня: молекулярно-генетический (клеточный), онтогенетический (организменный), популяционно-видовой и биогеоценотический, или биосферный. Для каждого из этих уровней характерны свои способы кодирования и переработки информации, свои системы управления и связи и их иерархии. На молекулярно-генетическом уровне осн. внутриклеточные управляющие системы (хромосомы и нек-рые др. органоиды) осуществляют ауторепродукцию клеток и передают наследственную информацию от поколения к поколению. Расшифровка наследственной информации и её реализация происходят на следующем уровне-- онтогенетическом. Онтогенез организмов определяется согласованной реализацией наследственной информации за счёт работы управляющих систем особи. На популя-ционном уровне происходит процесс изменения и закрепления наследственной информации, приводящей к образованию пусковых механизмов эволюции, дифференциации, возникновению адаптации, видообразованию и в конечном счёте -- к эволюционному прогрессу. На биогео-ценотическом уровне популяции разных видов образуют сообщества, находящиеся в сложных взаимоотношениях как между собой, так и со средой. Т.о., биосфера -- это иерархически организованная система объектов разных уровней организации, каждый из к-рых может быть расчленён на объекты более низкого уровня; между всеми объектами системы происходит объединяющий их обмен энергией, веществом и информацией. Для рассмотрения конкретных биол. систем как кибернетических необходимо специфическое имитационное моделирование, при к-ром следует отвлечься от многих спец. свойств системы (размеров, способов формирования сигналов и т. п.), но отразить в модели такие типичные для данной системы особенности, к-рые связаны с её функционированием, структурой, передачей и преобразованием информации. Поэтому для К. б. особенно существенны понятия структуры, законов функционирования и критериев функционирования системы, причём её структура определяется характером связей между элементарными единицами системы. Описание функционирования системы задаётся функциями, определяющими изменения состояния её элементов, задающими выходные сигналы и команды на изменения структуры. И, наконец, поскольку К. б. имеет дело с управляющими системами, необходимо задать критерий (или цель) управления. Это может быть поддержание гомеостаза системы, оптимизация некоторой её функции или приспособление к меняющейся среде. Необходимо заметить, что для многих биологических систем понятие цели управления не определено (напр., что является целью эволюции?). Поэтому зачастую задание критерия или цели управления является лишь удобным приёмом, позволяющим построить замкнутую модель при недостатке конкретной информации. Исследование простых систем может быть проведено средствами классической математики. Для сложных систем, с к-рыми обычно приходится иметь дело в биологии, эти методы оказываются, как правило, непригодными. Эффективное исследование таких систем, состоящих из большого количества элементов с разнообразными и нерегулярными связями между собой, не сводящимися к простым закономерностям, классическими дедуктивными методами оказывается невозможным. Поэтому в качестве основного метода исследования сложных систем в К. б. используют метод вычислительных экспериментов на ЭВМ, к-рый с сер. 20 в. стал новым методом научного познания. Вычислительный эксперимент основан на использовании т. н. имитационных моделей, являющихся переложением на машинный язык описаний моделируемых процессов. Во многих случаях (напр., при исследовании экологических систем) этот метод единственно возможен, т. к. натурные эксперименты часто неосуществимы или неоправданно рискованны. В последние годы термин «биологическая кибернетика» употребляется реже, в основном по отношению к процессам управления в живых системах. Многие проблемы, к-рые ранее рассматривали в рамках К. 6., стали относить к сфере системного анализа или информатики (в приложении к биологии).

кибернетика бионика биология кодирование

**Бионика**

(от греч. biфn -- элемент жизни, буквально -- живущий)

наука, пограничная между биологией и техникой, решающая инженерные задачи на основе анализа структуры и жизнедеятельности организмов. Б. тесно связана с биологией, физикой, химией, кибернетикой и инженерными науками -- электроникой, навигацией, связью, морским делом и др.

Идея применения знаний о живой природе для решения инженерных задач принадлежит Леонардо да Винчи, который пытался построить летательный аппарат с машущими крыльями, как у птиц -- орнитоптер. Появление кибернетики, рассматривающей общие принципы управления и связи в живых организмах и машинах, стало стимулом для более широкого изучения строения и функций живых систем с целью выяснения их общности с техническими системами, а также использования полученных сведений о живых организмах для создания новых приборов, механизмов, материалов и т.п. В 1960 в Дайтоне (США) состоялся первый симпозиум по Б., который официально закрепил рождение новой науки.

Основные направления работ по Б. охватывают следующие проблемы: изучение нервной системы человека и животных и моделирование нервных клеток -- нейронов -- и нейронных сетей для дальнейшего совершенствования вычислительной техники и разработки новых элементов и устройств автоматики и телемеханики (нейробионика); исследование органов чувств и других воспринимающих систем живых организмов с целью разработки новых датчиков и систем обнаружения; изучение принципов ориентации, локации и навигации у различных животных для использования этих принципов в технике; исследование морфологических, физиологических, биохимических особенностей живых организмов для выдвижения новых технических и научных идей.

Исследования нервной системы показали, что она обладает рядом важных и ценных особенностей и преимуществ перед всеми самыми современными вычислительными устройствами. Эти особенности, изучение которых очень важно для дальнейшего совершенствования электронно-вычислительных систем, следующие: 1) Весьма совершенное и гибкое восприятие внешней информации вне зависимости от формы, в которой она поступает (например, от почерка, шрифта, цвета текста, чертежей, тембра и других особенностей голоса и т.п.). 2) Высокая надёжность, значительно превышающая надёжность технических систем (последние выходят из строя при обрыве в цепи одной или нескольких деталей; при гибели же миллионов нервных клеток из миллиардов, составляющих головной мозг, работоспособность системы сохраняется). 3) Миниатюрность элементов нервной системы: при количестве элементов 1010--1011 объём мозга человека 1,5 дм3. Транзисторное устройство с таким же числом элементов заняло бы объём в несколько сот, а то и тысяч м3. 4) Экономичность работы: потребление энергии мозгом человека не превышает нескольких десятков вт. 5) Высокая степень самоорганизации нервной системы, быстрое приспособление к новым ситуациям, к изменению программ деятельности.

Попытки моделирования нервной системы человека и животных были начаты с построения аналогов нейронов и их сетей. Разработаны различные типы искусственных нейронов (рис. 1). Созданы искусственные «нервные сети», способные к самоорганизации, т. е. возвращающиеся в устойчивые состояния при выводе их из равновесия. Изучение памяти (См. Память) и других свойств нервной системы -- основной путь создания «думающих» машин для автоматизации сложных процессов производства и управления. Изучение механизмов, обеспечивающих надёжность нервной системы, очень важно для техники, т.к. решение этой первоочередной технической проблемы даст ключ к обеспечению надёжности ряда технических систем (например, оборудования самолёта, содержащего 105 электронных элементов).

Исследования анализаторных систем. Каждый Анализатор животных и человека, воспринимающий различные раздражения (световые, звуковые и др.), состоит из рецептора (или органа чувств), проводящих путей и мозгового центра. Это очень сложные и чувствительные образования, не имеющие себе равных среди технических устройств. Миниатюрные и надёжные датчики, не уступающие по чувствительности, например, глазу, который реагирует на единичные кванты света, термочувствительному органу гремучей змеи, различающему изменения температуры в 0,001°С, или электрическому органу рыб, воспринимающему потенциалы в доли микровольта, могли бы существенно ускорить ход технического прогресса и научных исследований.

Через наиболее важный анализатор -- зрительный -- в мозг человека поступает большая часть информации. С инженерной точки зрения интересны следующие особенности зрительного анализатора: широкий диапазон чувствительности -- от единичных квантов до интенсивных световых потоков; изменение ясности видения от центра к периферии; непрерывное слежение за движущимися объектами; адаптация к статичному изображению (для рассматривания неподвижного объекта глаз совершает мелкие колебательные движения с частотой 1--150 гц). Для технических целей представляет интерес разработка искусственной сетчатки. (Сетчатка -- очень сложное образование; например, глаз человека имеет 108 фоторецепторов, которые связаны с мозгом при помощи 106 ганглиозных клеток.) Один из вариантов искусственной сетчатки (аналогичной сетчатке глаза лягушки) состоит из 3 слоев: первый включает 1800 фоторецепторных ячеек, второй -- «нейроны», воспринимающие положительные и тормозные сигналы от фоторецепторов и определяющие контрастность изображения; в третьем слое имеется 650 «клеток» пяти разных типов. Эти исследования дают возможность создать следящие устройства автоматического распознавания. Изучение ощущения глубины пространства при видении одним глазом (монокулярном зрении) дало возможность создать определитель глубины пространства для анализа аэрофотоснимков.

Ведутся работы по имитации слухового анализатора человека и животных. Этот анализатор тоже очень чувствителен -- люди с острым слухом воспринимают звук при колебании давления в слуховом проходе около 10 мкн/м2 (0,0001 дин/см2). Технически интересно также изучение механизма передачи информации от уха к слуховой области мозга. Изучают органы обоняния животных с целью создания «искусственного носа» -- электронного прибора для анализа малых концентраций пахучих веществ в воздухе или воде [некоторые рыбы чувствуют концентрацию вещества в несколько мг/м3 (мкг/л)]. Многие организмы имеют такие анализаторные системы, каких нет у человека. Так, например, у кузнечика на 12-м членике усиков есть бугорок, воспринимающий инфракрасное излучение, у акул и скатов есть каналы на голове и в передней части туловища, воспринимающие изменения температуры на 0,1°С. Чувствительностью к радиоактивным излучениям обладают улитки и муравьи. Рыбы, по-видимому, воспринимают блуждающие токи, обусловленные электризацией воздуха (об этом свидетельствует уход рыб на глубину перед грозой). Комары двигаются по замкнутым маршрутам в пределах искусственного магнитного поля. Некоторые животные хорошо чувствуют инфра- и ультразвуковые колебания. Некоторые медузы реагируют на инфразвуковые колебания, возникающие перед штормом. Летучие мыши испускают ультразвуковые колебания в диапазоне 45--90 кгц, мотыльки же, которыми они питаются, имеют органы, чувствительные к этим волнам. Совы также имеют «приёмник ультразвука» для обнаружения летучих мышей.

Перспективно, вероятно, устройство не только технических аналогов органов чувств животных, но и технических систем с биологически чувствительными элементами (например, глаза пчелы -- для обнаружения ультрафиолетовых и глаза таракана -- для обнаружения инфракрасных лучей).

Большое значение в техническом конструировании имеют т.н. Персептроны -- «самообучающиеся» системы, выполняющие логические функции опознавания и классификации. Они соответствуют мозговым центрам, где происходит переработка принятой информации. Большинство исследований посвящено опознаванию зрительных, звуковых или иных образов, т.е. формированию сигнала или кода, однозначно соответствующего объекту. Опознавание должно осуществляться независимо от изменений изображения (например, его яркости, цвета и т.п.) при сохранении его основного значения. Такие самоорганизующиеся познающие устройства работают без предварительного программирования с постепенной тренировкой, осуществляемой человеком-оператором; он предъявляет изображения, сигнализирует об ошибках, подкрепляет правильные реакции. Входное устройство персептрона -- его воспринимающее, рецепторное поле; при опознавании зрительных объектов -- это набор фотоэлементов.

После периода «обучения» персептрон может принимать самостоятельные решения. На основе персептронов создаются приборы для чтения и распознавания текста, чертежей, анализа осциллограмм, рентгенограмм и т.д.

Исследование систем обнаружения, навигации и ориентации у птиц, рыб и других животных -- также одна из важных задач Б., т.к. миниатюрные и точные воспринимающие и анализирующие системы, помогающие животным ориентироваться, находить добычу, совершать миграции за тысячи км (см. Миграции животных), могут помочь в совершенствовании приборов, используемых в авиации, морском деле и др. Ультразвуковая локация обнаружена у летучих мышей, ряда морских животных (рыб, дельфинов). Известно, что морские черепахи уплывают в море на несколько тысяч км и возвращаются для кладки яиц всегда к одному и тому же месту на берегу. Полагают, что у них имеются две системы: дальней ориентации по звёздам и ближней ориентации по запаху (химизм прибрежных вод). Самец бабочки малый ночной павлиний глаз отыскивает самку на расстоянии до 10 км. Пчёлы и осы хорошо ориентируются по солнцу. Исследование этих многочисленных и разнообразных систем обнаружения может многое дать технике.

Исследование морфологических особенностей живых организмов также даёт новые идеи для технического конструирования. Так, изучение структуры кожи быстроходных водных животных (например, кожа дельфина не смачивается и имеет эластично-упругую структуру, что обеспечивает устранение турбулентных завихрений и скольжение с минимальным сопротивлением) позволило увеличить скорость кораблей. Создана специальная обшивка -- искусственная кожа «ламинфло», которая дала возможность увеличить скорость морских судов на 15--20%. У двукрылых насекомых имеются придатки -- жужжальца, которые непрерывно вибрируют вместе с крыльями. При изменении направления полета направление движения жужжалец не меняется, черешок, связывающий их с телом, натягивается, и насекомое получает сигнал об изменении направления полёта. На этом принципе построен жиротрон -- вильчатый вибратор, обеспечивающий высокую стабилизацию направления полёта самолёта при больших скоростях. Самолёт с жиротроном может быть автоматически выведен из штопора. Полёт насекомых сопровождается малым расходом энергии. Одна из причин этого -- особая форма движения крыльев, имеющая вид восьмёрки.

Разработанные на этом принципе ветряные мельницы с подвижными лопастями очень экономичны и могут работать при малой скорости ветра. Новые принципы полёта, бесколёсного движения, построения подшипников, различных манипуляторов и т.п. разрабатываются на основе изучения полёта птиц и насекомых, движения прыгающих животных, строения суставов и т.п. Анализ структуры кости, обеспечивающей её большую лёгкость и одновременно прочность, может открыть новые возможности в строительстве и т.п.