

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

В.Н. КАНЮКОВ, А.Д. СТРЕКАЛОВСКАЯ, О.А. ЛЯВДАНСКАЯ

ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности 200402.65 «Инженерное дело в медико-биологической практике»

Оренбург 2009

УДК 573.22:61 (075.8)
ББК 28.01я73
К 97

Рецензент
канд. техн. наук, доцент В.Н. Романцов

К 97 **Канюков В.Н.**
Введение в теорию биотехнических систем: учебное пособие /
В.Н. Канюков, А.Д. Стрекаловская, О.А. Лявданская.
Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 121 с.
ISBN

В данном пособии рассматриваются основы создания и моделирования биотехнических систем медицинского назначения. Предназначено для студентов технических вузов по направлению подготовки 200400 «Биомедицинская техника» Специальность 200402.65 «Инженерное дело в медико-биологической практике»

К 4107000000

ББК

ISBN

© Канюков В.Н.,
Стрекаловская А.Д.,
Лявданская О.А., 2009
© ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

Введение.....	4
1 Особенности классификации технических объектов.....	8
1.1 Активная и пассивная техника.....	9
1.2. Сложные технические системы.....	10
1.3 Социальные функции техники.....	13
1.4 Техника, естественные науки и производство.....	15
1.5 Техника и социальное развитие общества.....	17
1.6 Субъект и объект биотехнических исследований.....	22
2. Бионические системы.....	23
3. Биотехнические медицинские системы.....	30
3.1 Классификация и общие свойства систем.....	32
3.2 Функциональное описание.....	36
3.3 Морфологическое описание.....	38
3.4 Информационное описание.....	41
3.5 Прогностическое описание.....	43
4. Методология синтеза БТС.....	55
4.1 Принципы построения сообщенных критериев.....	55
4.2. Принцип адекватности.....	63
4.3 Единство информационных и управляющих сигналов биологических и технических звеньев БТС.....	69
5 Этапы синтеза БТС.....	72
6 Моделирование биотехнических систем.....	77
7 Биотехнические системы лабораторного анализа	88
7.1 Структура и функции биотехнических систем для лабораторных анализов.....	89
7.2 Биотехнические аспекты систем лабораторного типа.....	93
7.3 Методы и средства лабораторного анализа.....	101
7.4 Тенденции развития биотехнических систем для лабораторного анализа.....	111
Заключение.....	119
Список использованных источников.....	121

Введение

Современная наука и инженерная деятельность втягивает в орбиту человеческой жизнедеятельности принципиально новые типы объектов, требующие развития новых стратегий обращения с ними.

В повседневной практике мы все чаще имеем дело уже не просто с техническим устройством или машиной, усиливающими возможности продуктивной деятельности человека, и даже не просто с человеко-машинными системами, а со сложными системными комплексами, в которых увязываются в качестве компонентов единого целого технический процесс, связанный с функционированием человеко-машинной системы, локальная природная экосистема (биоценоз), в которую данный процесс должен быть внедрен, и социокультурная среда, принимающая новую технологию.

Весь этот комплекс в его динамике предстает как особый развивающийся объект, открытый по отношению к внешней среде и обладающий свойствами саморегуляции. Вместе с тем он внедряется в среду, которая в свою очередь не просто выступает нейтральным полем для функционирования новых системных технологических комплексов, а является некоторым целостным живым организмом.

Такие процессы видоизменения технического объекта происходят практически во всех сферах жизни, начиная от рождения и до смерти человека. Да и сама жизнь становится в некоторой степени зависимой от развития техники и технологии в обществе: там, где техническому прогрессу открыты все пути для движения вперед, жизнь имеет больше шансов на продолжение. И я думаю, это утверждение нельзя просто опровергнуть (разработка технологии синтеза инсулина и миллионы спасенных человеческих жизней — один факт из миллиарда, но его одного вполне достаточно).

С другой стороны, взрывное совершенствование и расширение области применения технических средств зачастую все чаще и чаще ставят под сомнение саму возможность существования жизни на планете. Что это — фатальный кризис цивилизации или начало новой эры человечества?

Биомедицинская практика показывает, что без соответствующей материальной базы, широкого применения научно – технических достижений в медицинских исследованиях нельзя вести изучение молекулярных, клеточных системных механизмов развития нормальных и патологических процессов.

Одной из преград между фундаментальной наукой и техникой является нехватка людей, способных по своей подготовке являться «промежуточным звеном» и осуществлять связь науки и производства.

Активное применение достижений научно – технической революции для реализации указанных целей является предметом деятельности специалистов по биотехническим системам медицинского назначения, работа которых определяет успех в практическом использовании научных результатов интенсивно развивающихся смежных дисциплин: медицинских, биологических, сельскохозяйственных и др.

Анализ и синтез биотехнических систем медицинского назначения – это общее название обширного конгломерата научных направлений, объединенных

центральным вопросом исследований: каким образом сочетать живой биологический объект с неживым техническим объектом в единой биотехнической системе, достигающей желаемого результата функционирования?

В такой теоретически строгой постановке вопроса основа биотехнических систем медицинского назначения является новейшим в историческом плане направлением, создающим общую биотехническую базу для решения ряда проблем, что в каждом случае обеспечивает значительный социальный и экономический эффект.

Основные из них:

- восстановление здоровья населения, массовая профилактика заболеваний и поддержание здоровья (включая все виды оздоровительных процедур, физическую культуру);

- для контингента, имеющего невосполнимую утрату здоровья, возвращение к общественно полезному труду, в тяжелых случаях – к самообслуживанию в быту;

- с таких элементов производственной среды, которые не только гарантируют безопасность труда, но и обеспечивают наиболее эффективное использование возможностей человека, особенно при управлении сложными объектами и производственными процессами;

- контроль влияния изменяющихся природных факторов и среды обитания на человека (на его здоровье и трудоспособность);

Разработка технических средств воздействия на разнообразные биологические объекты в сельскохозяйственных, промышленных и иных нуждах.

Усилия, направляемые на решение данных проблем, в ближайшей перспективе должны резко возрасти в связи с объективными процессами, происходящими в обществе, необходимостью разрешать возникающие в процессе его развития противоречия. Гармонично развитый, психически и физически здоровый человек является одновременно и целью развития общества, и одним из источников, ресурсом для достижения этой цели в условиях научно – технической революции. Конкретные проявления некоторых из этих противоречий таковы:

По мере роста арсенала средств, методов лечения и профилактики становится возможным все более продолжительная, интенсивная и разносторонняя борьба за жизнь и здоровье каждого члена общества. С развитием медицинской науки лавинообразно возрастает объем требуемых здравоохранительных услуг населению;

Расширение возможностей спасения жизни человека после тяжелых поражений вследствие болезни или травмы, в значительной степени обеспечиваемое развитием системы скорой медицинской помощи, приводит к резкому увеличению количества полностью или частично утративших трудоспособность людей. К тому же эффекту приводит увеличение средней продолжительности жизни на фоне побочных явлений урбанизации (снижение

двигательной активности, загрязнение среды обитания, учащение стрессов и пр.).

Создание сложных объектов и технологических процессов, управляемых человеком, возрастание цены ошибки одного человека для решаемой производственной или иной задачи в целом, принципиальное изменение характера труда выдвигают новые теоретические вопросы сочетания сложных технических систем с человеком, от решения которых зависит эффективность и безопасность трудовой деятельности;

Применение биологических элементов в системах промышленного назначения, а также технических средств воздействия на биологические процессы в интересах сельского хозяйства имеет общую с ранее перечисленными проблемами методологию исследования и направлено на интенсификацию производства;

Для укрепления обороноспособности страны имеют важное значение исследования человека как элемента управления техническими средствами воздействия на противника и как объекта такого воздействия на противника и как объекта такого воздействия. Важна также разработка экспресс – методов реабилитации пострадавших в особых условиях.

Эффективное решение перечисленных вопросов возможно лишь на основе биотехнической теории. Для этого необходимо достаточное количество квалифицированных кадров разработчиков и специалистов по эксплуатации, владеющих этой теорией. Насыщение только медицинских учреждений соответствующей техникой вызовет массовую потребность в таких кадрах

Таким образом, специальность, охватывающая всю медицинскую технику, выросшая в теоретическом плане в «Биотехнические системы медицинского назначения», обеспечивает разработки новейших технических проблем, на решение которых имеется массовый и неуклонно растущий спрос во многих областях человеческой деятельности, отраслях промышленности. Везде, где человек или иной биологический объект соприкасается с проектируемой технической системой, в разработках должны участвовать работники названной специальности.

Подготовка таких инженерных специалистов весьма специфична. Присутствие сверхсложного по своей структуре биологического элемента в технической системе диктует два условия.

Во – первых, специалистам необходим широкий кругозор, обширная политехническая база знаний для точного представления как об основных, так и о сопутствующих явлениях, протекающих при функционировании устройств. Во – вторых, требуется знание законов живой природы, причем во многих случаях необходимый аспект и глубина таких знаний выявляются собственными нуждами медицинского приборостроения. На их базе синтезируются фундаментальные принципы разработки биотехнических систем.

Данное научное направление является новым, находится на этапе становления. Его становлению способствовало развитие ряда фундаментальных

наук, из которых можно выделить биофизику, биохимию, бионику, системный анализ.

Теоретические основы биотехнических систем являются междисциплинарной наукой, она интегрирует на достижения и вооружает специалистов биотехнической квалификации строгой методологией, позволяющей научно и практически обосновать различные связи в гармонии живого с неживым, создавать и управлять более эффективной новейшей лечебно – диагностической и профилактической аппаратурой.

1 Особенности классификации технических объектов

Типологии реальных технических объектов или искусственных материальных образований весьма многообразны и многочисленны в виду того, что общая задача типологии искусственных объектов много сложнее, чем скажем, задача систематизации природных явлений.

Дело здесь в том, что на фоне многообразных природных форм развиваются многочисленные системы искусственного происхождения, детерминированные как природными, так и социальными закономерностями.

Соответственно общие типологии (они, в основном, являются результатом научно-популярных обобщений) в большей степени отличаются неполнотой или случайностью в выборе оснований типологии.

Большинство классификаций одномерны, следовательно, они составлены либо по одному какому-то основанию, либо эмпиричны [2].

Например, Шеменев Г. И. приводит следующую классификацию: «...классы (совокупности) технических объектов: технологические, энергетические, транспортные, коммуникационные, информационные». Однако, по мнению Щурова В. А., в ней сразу несколько оснований типологии, и это скорее перечисление самих оснований, чем типология технических объектов, а наиболее развернутую типологию техники мы можем найти в работе Волокова Г. Н. [1]. Обратимся к ней.

Техника в «горизонтальном» и «вертикальном» разрезе.

В книге «Истоки и горизонты прогресса» Волков говорит о трех возможных основаниях классификации или типологии техники.

Во-первых, технические объекты дифференцируются по деятельности, в системе которых они являются средствами деятельности.

Во-вторых, техника разделяется на активную и пассивную, где активная техника является средством в системе деятельности, а пассивная средой или условием деятельности.

В-третьих, вводится неопределенное основание типологии техники — «вертикальный разрез» (дифференциация по деятельности — «горизонтальный разрез»), которое отражает иерархическую структуру современной техносферы. Четким является только подразделение техники по ее месту в системе деятельности.

Два другие основания («горизонтальное» и «вертикальное» членение техники) являются интегративными и нестрогими. Рассмотрим эти классы (критерии) более подробно.

Для такой сложной системы, какой является современная техника, следует прежде всего, по мнению автора, произвести «горизонтальный разрез», т. е. выяснить сначала, на какие отрасли она распадается по функциональному признаку.

Горизонтальный разрез дает нам:

* производственную технику;

- * технику транспорта и связи;
- * технику науки (например, синхрофазотрон);
- * военную (оборонную) технику;
- * технику образования (например, кибернетические экзаменаторы);
- * технику культуры и быта, (например, музыкальные инструменты);
- * медицинскую технику (например, кардиограф);
- * технику управленческого и государственного аппарата (например, ЭВМ, АСУ).

Следует отметить, однако, что в данной классификации информационная техника не выделяется в отдельную группу, что, на мой взгляд, сегодня не отражает сложившейся действительности.

Информационную технику можно и должно выделить как самостоятельный и один из важнейших классов, поскольку обработка информации, как мы увидим позже, стала, пожалуй, первой задачей современного общества.

1.1 Активная и пассивная техника

Некоторые из развитых областей техники (производственная, транспорта и связи) могут быть подразделены на технику активную и пассивную.

Пассивная техника включает:

- * сосудистую систему производства и транспорта, играющую особенно большую роль в химической промышленности;
- * производственные помещения: заводы, железные дороги, мосты, каналы;
- * гидромелиоративные сооружения;
- * технические средства распространения информации (телефон, радио, телевидение).

Пассивную технику не всегда удастся четко вычленивать из предметов материальной культуры вообще — гораздо более широкого понятия, чем техника. Здания, например, не относятся к технике, если они служат для жилья, а являются просто предметом потребления и не включаются в систему технического воздействия на природу.

Для анализа активной техники требуется произвести «вертикальный разрез», т. е. рассмотреть логическую последовательность структурных звеньев, которые техника образует в ходе активного воздействия человека на природу.

С этой точки зрения она состоит из:

- орудий общественной деятельности, которые делятся на орудия производства (инструменты ручного труда, орудия машин), орудия умственного труда (например, электронный переводчик) и орудия жизнедеятельности человека (например, очки, слуховые аппараты, некоторые протезы, столовые приборы и пр.);
- производственных машин, управляющих орудиями производства;
- аппаратуры управления производственными машинами;
- аппаратуры управления технологическим процессом в целом;

- аппаратуры управления производственным процессом в целом;
- аппаратуры управления социально-экономическими процессами.

Последовательность перечисленных звеньев технической системы соответствует в принципе исторической последовательности их возникновения. Сначала между человеком и природой существовало лишь одно техническое звено — орудия ручного труда (инструменты).

С возникновением машин человек уже не управляет непосредственно инструментами, которые из орудия труда превращаются в орудие машины. Между человеком и предметом труда, таким образом, имеются уже два технических звена.

Третье звено возникает с введением автоматике (примером может служить машина с программным управлением).

Техническая структура, использующая четвертое из перечисленных звеньев, применяется в некоторых отраслях промышленности, имеющих дело с закрытым технологическим циклом. Таковы, например, атомные электростанции, подавляющее большинство гидроэлектростанций, многие химические предприятия, производства по выпуску изделий микроэлектроники. Интересно отметить, что как раз в этих отраслях техническая система лишена первого звена; иначе говоря, мы имеем дело здесь с безорудийной техникой. Так, в химических процессах в качестве «орудий» выступают химические свойства вещества, обуславливающие взаимодействие элементов, их реакцию. Вполне мыслима также и безмашинная техника.

Что касается пятого и шестого звена, то единственный возможный на сегодня путь решения таких проблем — это применение средств вычислительной техники и реализуемых с помощью нее систем принятия решений и искусственного интеллекта.

В конце своей работы автор делает вывод, что ведущая роль в жизни.

1.2 Сложные технические системы

Далее следует отметить, что современные технические системы становятся настолько сложны, что как таковые уже не являются техническими объектами [2].

Такие образования, как энергетические системы или заводы-автоматы (иногда их называют большими техническими системами), представляют собой совокупности относительно самостоятельных искусственных образований, связанных естественными процессами.

Определенная иерархия технических образований в таких системах позволяет эти образования соответственно классифицировать, но возникает несколько осложнений. Во-первых, экстраполяция из области «чистой техники» в область так называемых больших систем научно некорректна, так как описываемое явление неоднородно и неоднородность обусловлена включением человека.

Причем, с одной стороны, кроме естественных (механических, химических и физических) связей, появляются связи, детерминированные биологическими и социальными свойствами человека, с другой — человек, функционирующий в

подобной системе, может занимать подчиненное по отношению к машине положение, то есть его деятельность обусловлена внутренними процессами технического объекта.

Человек, таким образом, превращается во «вторичную систему» или «придаток машины». Во-вторых, «системообразующим фактором в системе технического объекта и критерием его общественной ценности выступает социальная функция. Она определяет сущность технического объекта, выраженную в его способности принимать на себя ту или иную функцию человека или существенно ее преобразовывать с целью облегчения и повышения эффективности деятельности человека.

Поэтому понятие технического объекта (технического средства) нельзя распространять на составляющие его части (детали). К примеру, поршень, цилиндр или парораспределительный механизм паровой машины еще не являются техническими объектами, так как их назначение в виде социальной функции реализуется только в системе компонентов, составляющих паровую машину» [7].

Подобные составляющие части или детали, выступающие как подсистемы технических объектов, иногда называют «вторичными системами».

Таким образом, критерий иерархичности, эффективный в конкретных технических областях, когда выстроенный ряд оказывается однородным (детали, механизмы, блоки, агрегаты, комплексы и так далее), сам по себе уже ничего не дает в типологии технических объектов.

Рассмотренные типологии, как правило, не обладают эвристичностью, то есть не в состоянии предсказывать появление новых систем или включать их в себя, не разрушая внутренней структуры; ограничены рамками специфических деятельностей, отдельными компонентами искусственной материальной среды.

Техника во всех значениях (кроме нематериальных средств деятельности) является результатом технической деятельности или труда как универсальной материальной деятельности (искусственный обмен веществ).

А. В. Дахин [2] считает, что основаниями типологии технических объектов следует выделить следующие компоненты: субъект деятельности, объект, средства, процесс и результат. Существенным элементом, по его мнению, является также среда, в которой деятельность протекает.

Последовательное рассмотрение отдельных компонентов, их различных сторон позволит сформулировать основания типологии технических объектов.

Субъект деятельности. Биологическая организация человека выражается в биомеханической и психофизиологической формах. Работа мышц, связанная с энергетическими затратами, направлена на преобразование вещества и энергии.

В психофизиологии человека органы чувств выполняют коммуникативную функцию (зрение, слух, а деятельность мозга связана с анализом поступающих ощущений и выработкой соответствующих реакций. На этом биологическом субстрате основана деятельность человека как социального существа.

Объект. Объектом, на который направлена деятельность общества, является естественная и искусственная среда в ее натуральном и знаковом

воплощении. Следует отметить, что если объект деятельности — энергетическое состояние данного тела, то материальный носитель его играет вторичную роль.

Из совокупности ощущений человек формирует представления, которые составляют основу образного мышления. Сформированные представления — понятия — основа логического (абстрактного) мышления. Если представления и абстрактные понятия воплощаются в те или иные материальные носители (знаки), тогда они становятся достоянием общества и выходят за пределы сознания одного человека.

Средства. Это все искусственные материальные системы, используемые в практической деятельности человека над материальными объектами во всех областях духовного и материального производства.

Технические объекты, которые непосредственно не являются компенсаторами ограниченности человека, а выступают как подсистемы компенсатора, образуют вторичные комплексы.

Процесс. Процесс — это совокупность операций воздействия субъекта на объект. Основу их составляют универсальные элементарные функции, наиболее общие из которых — «сохранение» и «изменение». Сохранение имеет две составляющие — «трансляция» и «консервация». Для общей типологии такого уровня рассмотрения достаточно, так как эти функции универсальны для всех проявлений человеческой деятельности.

Результат. Результат деятельности субъекта над материальным объектом выступает в виде суммы продукта и отхода. Продукт — это реализованная цель, отход — нереализованная, то есть результат со знаком минус.

Среда. Ее роль в структуре деятельности двояка: в среде деятельность протекает, и среда, ее преобразование, является результатом деятельности. Изменение среды не самоцель, оно выступает в дальнейшем как новое средство, используемое человеком для своего всестороннего развития.

Параметры субъекта, объекта и процессов взаимодействия между ними являются наиболее общими основаниями для типологии технических объектов. Рассматривая иерархию общих оснований типологии технических объектов можно выделить два первых уровня типологии: по параметрам субъекта и объекта; по характеру выполняемых процессов. Сопоставляя параметры субъекта и объекта (первый уровень), можно выделить четыре группы технических объектов (ТО).

ТО, компенсирующие ограниченность биомеханических органов человека, действие которых направлено на вещественные объекты (станки, здания).

ТО, компенсирующие ограниченность биомеханических органов, но действие их независимо от материального носителя направлено на операции с энергией (мотор, аккумулятор).

ТО, компенсирующие ограниченность органов чувств человека (органы зрения, слуха). Эти ТО оперируют предметными, целостными (в соответствии со своим диапазоном) представлениями по одному или нескольким человеческим каналам (прибор ночного видения, очки, усилители).

ТО, компенсирующие ограниченность способностей мозга.

Независимо от материального воплощения такие системы оперируют абстрактными понятиями с формализованным содержанием (счета, книги, ЭВМ).

По характеру выполняемых процессов (второй уровень) выделяют двенадцать основных типов технических объектов.

По процессу «консервация»:

- консервация вещества. Пример ТО: склад, холодильник;
- консервация энергии — аккумуляторы;
- консервация образов (представлений) — фотоаппарат, ПЗС;
- консервация понятий (информация) — книга.

По процессу «трансляция»:

- трансляция вещества — транспортные системы;
- трансляция энергии — ЛЭП, рефлектор;
- трансляция представления — ТВ, радио;
- трансляция информации — телеграф.

По процессу «изменение»:

- изменение вещества — станки;
- изменение энергии — гидроэлектростанции, ДВС;
- изменение представлений — очки, мегафон;
- изменение информации — ЭВМ, арифмометр.

Каждый из двенадцати типов ТО используется как средство во всех родах деятельности человека, причем универсальные системы используются во всех или нескольких родах. Это третий иерархический уровень типологии.

К приведенной классификации можно добавить, что вычислительная техника (аппаратно-программные средства вычислительных систем) можно отнести сразу к нескольким предложенным группам (например, консервация представлений и изменение информации).

Основания типологии технических объектов не регламентируют жестко реальное проектирование, а могут служить методологической базой для проектировщиков при выявлении сфер использования проектируемых комплексов с учетом функционирования всей среды как целостности.

1.3 Социальные функции техники

Содержательная сторона (ТО) раскрывается как совокупность предметных и человеческих факторов, каждый из которых характеризуется логически развернутым рядом параметров.

Система технического объекта представлена как функция, которая находит отражение в определенной структуре (внутренняя форма) в соответствии с совокупностью всех содержательных факторов и воплощается формально. Каждый технический объект является элементом искусственной материальной среды (ИМС), которая и реализует систему социальных функций техники.

С этой точки зрения можно рассматривать определенные морфологические типы элементов ИМС:

1) Автономные ТО — социальная функция реализуется автономно.

ТО обладают замкнутой системой. По характеру функции элементы этого типа можно подразделить на: монофункциональные и полифункциональные, которые в свою очередь делятся на гетерогенные и гомогенные. К гетерогенным относятся художественно-утилитарные объекты. Гомогенная полифункциональность предполагает совмещение однородных (утилитарных) функций.

2) Большинство современных ТО в полном смысле не являются автономными. В той или иной степени их функционирование связано с различными большими системами (транспортные, энергетические, информационные и так далее).

Таким образом, выполняя человеческую функцию, подобные ТО обладают еще набором материальных связей, являются элементами различных материальных систем, поэтому их структурообразование и формообразование предопределяются и этими связями.

3) Элементы ИМС, не обладающие непосредственной человеческой функцией, в совокупности образуют так называемую «чистую технику» или «вторичные системы». Функция подобных элементов целиком определяется внутренним функционированием технических объектов.

Подобные элементы целесообразно называть техническими системами (ТС), так как в отличие от технических объектов они не обладают непосредственной социальной функцией.

Существование любого технического объекта связано с его функцией, то есть свойством, которое используется в человеческой деятельности. Внешние свойства технического объекта или его функция обусловлены, с одной стороны, внутренними свойствами технического объекта как материального образования; с другой стороны, технические объекты входят в систему производительных сил общества. Являясь элементом человеческой деятельности, технические объекты выполняют прямую социальную функцию.

Прямая функция техники — опосредованное техникой взаимодействие человека и природы. Обратная функция техники — воздействие технических образований, всей системы техники на человека и общество. Таким образом, прямая и обратная функции — это стороны взаимодействия в совокупности всех связей системы: человек — техника — природа.

Основаниями выделения функции техники являются:

Природные основания, являющиеся основой существования искусственных материальных образований.

Свойства человека как биологического существа, которые выступают материальной основой взаимодействия человека и природы.

Система личности как совокупность свойств, раскрывающая меру человека.

Система общества как определенная организация деятельности в обществе.

Система функций техники образуется в результате наложения данных четырех инфраструктур. Раскрывается система прямой функции техники как совокупного средства любой человеческой деятельности. Система обратной

функции в принципе соответствует системе прямой функции, но проявление обратной функции носит не прямолинейный характер (поэлементное соответствие), а так называемый «матричный». Это означает, что функция социализации и организационная функция техники как аспекты обратного воздействия техники на человека и общество проявляются во всей своей системной полноте. Организация общественной деятельности наряду с другими факторами определяется уровнем развития техники, то есть самой техникой, техническими средствами, способами современного взаимодействия общества и природы. Воздействие техники на отдельного индивида – это непосредственное физическое воздействие, приобщение его к опыту человечества как в аспекте знания природных процессов и их использования, так и овладения социальными деятельностями, смоделированными в технических образованиях.

1.4 Техника, естественные науки и производство

Посмотрим на современное состояние техники с другой стороны. В настоящее время во всем мире естественные науки воспринимаются в их тесной связи с техникой [5].

Финансирование естественнонаучных исследований осуществляется в первую очередь ради получения теоретических знаний, в расчете на возможность их практического приложения, ведь чтобы иметь возможность управлять процессами технических изменений в каком бы то ни было смысле, необходимо знать механизмы, посредством которых вообще осуществляются изменения. Успешное вмешательство в них предполагает знание соответствующих взаимодействий. Речь идет о техническом развитии как комплексном, многомерном явлении.

С точки зрения дальнейшей перспективы технику можно рассматривать как элемент хозяйственных процессов.

Ведь любая хозяйственная деятельность имеет целью оптимальное использование наличных или добываемых ресурсов, техника же в этом процессе предназначена для мобилизации и умножения имеющихся ресурсов и открытия новых. Эта взаимосвязь принципиальна и потому действенна независимо от идеологических, политических и хозяйственных структур, господствующих в обществе.

В целом для процесса технизации свойственно следующее. Общество, характеризуемое определенными культурными воззрениями, правовыми институтами, социальными структурами и политическими силами, в рамках экономических процессов, на основе данных технологических знаний и умений, с учетом определенных ценностных и целевых представлений при использовании материальных ресурсов создает и применяет технические системы: этот процесс затем, в свою очередь, влияет на вышеназванные области и тем самым на дальнейший ход технизации.

Возвращаясь к анализу современного состояния в развитии техники, можно выделить два главных взаимообусловленных аспекта ее развития [2]. Первый — это автоматизация существующего производства. С понятием

автоматизации производства связывают самые различные явления от автоматического станка до автоматизированного производства. Здесь автоматизация производства понимается как возможность резкого ускорения производства, того производства, которое существует сейчас, то есть такое изменение современного производства, которое приводит только к количественным изменениям. Но масштабы этих количественных изменений такие, что приводят к противоречиям качественной стороны современной машинной индустриальной техники.

Второй — это реализация систем автоматического проектирования изделий и технологий их изготовления. Комплексное решение всех трех задач: автоматизация производства, проектирование изделий и проектирование технологий — позволяет обеспечить «технологическую свободу» человека. Современное производство (в широком смысле как противоположность потреблению) — это многоэтапный процесс, в котором десятки, а иногда тысячи различных ступеней, а значит и профессий: конструкторы (от художника-конструктора и главного конструктора до разработчиков отдельных технических узлов и деталей), технологи и разработчики технологического оборудования, непосредственные производители (от литья и производства заготовок до сборки и наладки), и все эти ступени автоматизируются.

Пока в реально существующих разработках уровней немного (три — четыре) и базовый модуль может быть в единственном числе, а соединение модулей постоянное, то есть в результате получаются как бы традиционные автономные технические объекты.

Но, во-первых, это уже не отдельный технический объект, а семейство, проектирование и производство которого едино и, во-вторых, подобные многоуровневые технические объекты являются переходными, то есть новые принципы производства сочетаются с традиционным вещным потреблением (особенно в области средств потребления: легковые автомобили, мебель, бытовые приборы и другие).

Функционирование многоуровневых технических объектов приближается к естественным процессам природных образований.

Главное в технической деятельности — это производить. Цель, а вместе с ней и техническая аппаратура являются для сознания первостепенными: напротив, то, что дано природой, отступает во мрак. Природа, которую видит перед собой человек в своей технической деятельности, — это то механическое и познанное исследованием невидимое (например, электричество), которым можно оперировать в неизменных рамках механической среды.

Тот, кто не постиг этого знания и ограничивается только его практическим применением, включая электричество, разъезжая в электрических поездах, совершает примитивные действия без малейшего представления о том, что, в сущности, происходит. То есть люди могут, не вступая в какое-либо отношение с природой, обслуживать непонятную им технику, тогда как в прежние времена для управления техникой необходимы были сноровка, умение и физическая ловкость.

Современная техника требует надлежащей близости к природе. Ряд технических аппаратов – от пишущей машинки до автомобиля – требует особой физической ловкости. Но это почти всегда односторонняя и ограниченная в своем применении ловкость и физическая выносливость, а не результат физической тренировки. Для того чтобы пользоваться технической аппаратурой, необходимо знание.

Техника может либо полностью отдалить человека от природы, оттеснив ее бессмысленным использованием технических достижений, либо приблизить его к познанной природе невидимого.

Техника открывает перед человеком новый мир и новые возможности существования в нем, а в этом мире – новую близость к природе.

Красота технических изделий. Транспортные средства, машины, технические изделия повседневного пользования достигают совершенства своих форм.

Техника дает огромное *расширение реального видения*. Благодаря ей в малом и великом становится зримым то, что скрыто от непосредственного восприятия человека.

Микроскоп и телескоп не существуют в природе, но они открывают совершенно новый мир природы.

Складывается *новое мироощущение*. Пространственное ощущение человека с появлением современных средств связи и сообщений расширилось до предела всей планеты.

В техническом мире для человека существуют новые возможности, специфическое удовольствие от достижений техники, расширение благодаря технике знаний о мире.

Новая близость к природе требует от человека, помимо умения и способности, силы своего созерцания создавать в этой чуждой природе сфере из целого, которого непосредственно нет, некое безусловное присутствие.

1.5 Техника и социальное развитие общества

Основные закономерности развития техники детерминируются основными отношениями техники в системе социальной материи и выражаются обусловленностью техники мерой человека и мерой природы, с одной стороны, и влиянием техники на человека и природу, с другой. Таким образом, функционально-морфологические изменения системы технических объектов можно свести к следующим основным взаимообусловленным закономерностям:

Во-первых, тенденция к усилению степени опосредования в отношении человек — природа.

Во-вторых, усложнение и развитие системы вариативных социальных функций техники.

В-третьих, качественное усложнение морфологической структуры системы техники, которое выражается в формировании многоуровневых технических объектов.

В пределах социального этапа развития материи развитие человека, как собственно социального образования, воплощается в развивающейся технике, являющейся искусственным компонентом единого «тела» человека. Функции компенсаторная, организационная, моделирующая и социализирующая являются выражением сущности техники в ее качественной определенности и сохраняются на всем протяжении ее существования, то есть являются инвариантными.

Развивающимися, изменяющимися являются функции, общие для человека и техники. Их развитие, усложнение выражается в процессе опредмечивания трудовых функций человека в технике.

Исторически этот процесс начинается с опредмечивания орудиями ручного труда функций непосредственной обработки предмета труда. Машины опредмечивают двигательные, энергетические функции человека, а современные автоматы функции управления. В дальнейшем процесс опредмечивания техникой функций человека распространяется практически на все функции человека, то есть все проявления и взаимодействия человека будут опосредованы техникой. Благодаря этому человеческие функции получают возможность развития, то есть происходит усложнение материи.

Усиление опосредования и изменение функций техники воплощается в качественном изменении самой техники. Общая закономерность ее развития выражается в трансформации единичных автономных индивидуальных технических объектов в единую техническую систему, то есть в единый технический объект.

Социальный философ Арнольд Гелен был первым, кто рассмотрел возникновение симбиоза техники, промышленности и политики. Он говорил о «явных судьбоносных процессах», возникающих и протекающих на базе социальных, экономических и политических суперструктур.

«Огромные суперструктуры, — говорил он, — порожденные новой цивилизацией, становятся самостоятельными и «отчуждаются» [3]. По словам Гелена, этот комплекс с возрастанием исследований в промышленности и их развитием приобрел самостоятельность и способность самодвижения, и он незаметно врывается в пространство культуры и общества, вместе взятых. Наряду с политической суперструктурой и ее связью с институтами этот научно-технический комплекс приобрел способность оказывать всеобщее и многостороннее воздействие.

Высококвалифицированный, перспективный инженер все больше отходит от технического производства или от своей основной технической работы, ради которой он, собственно, и получил образование и подготовку; ему приходится посвящать себя задачам управления, ответственности и производительности, что приносит ему более высокий престиж.

Итак, мы рассмотрели общие тенденции развития современной техники. Видно, что практически во всех процессах совершенствования техники, изменения ее социальных функций заметно одно явление — внедрение средств информационных технологий.

Эта тенденция совершенно очевидна, особенно сегодня — в эпоху лавинообразного развития средств телекоммуникаций, повсеместного использования экспертных систем, автоматизированных банков знаний и данных.

Для этих процессов справедливы те же особенности, какие мы рассмотрели выше, а именно все более глубокое проникновение техники в «нетехнические» области деятельности человека.

В грядущем супериндустриальном или, точнее, информационном и системотехнологическом веке информационные системы станут принимать решения во все более растущем объеме.

В сложных областях управления, в области контроля над данными и в управлении системами принятие решений предоставляется компьютерам, имеющим чрезвычайно гибкое математическое обеспечение, обладающим логической приспособляемостью.

По логике вещей, компьютерам будет предоставлена функция принятия решений также по жизненно важным социальным и даже индивидуальным проблемам [5].

Это особенно касается военной области, в которой задействованы сложнейшие технические системы, и в случае чрезвычайных ситуаций человек просто не будет в состоянии достаточно оперативно и быстро принять необходимые решения, притом достаточно ответственные.

С другой стороны, сама передача функции принятия решений компьютерным системам означает, что решения принимаются без «ответственного лица», т.е. человека или группы людей.

Возникает вопрос: идет ли здесь речь о своего рода групповой и даже институциональной «неответственности» за подготовку, реализацию и контролирование реализации решений?

Или другой вопрос в этой же связи: имеем ли мы право «привлекать к ответственности» принимающие решения компьютерные системы? Здесь, по-видимому, речь идет о возникшей и не существовавшей доселе новой опасности — снятия самого чувства ответственности с человека, который по своей природе и роли с производстве и обществе должен нести ее, и передачи этой ответственности компьютерным системам.

Для иллюстрации этого феномена передачи функции «системам» можно привести пример: программирование заранее обусловленных решений о запуске ракет на основе данных систем предварительного оповещения, если иметь в виду слишком часто появляющиеся в печати сообщения о ложных тревогах. Можно ли, позволительно ли доверять ответственность такого рода компьютерной системе, если она даже весьма гибка, способна учиться, крайне чувствительна в сфере восприятия дифференцированных данных? Кто же должен нести ответственность фактически и этически?

За ложное решение, принятое компьютерной системой, не могут нести ответственность в отдельности ни проектировщик, ни создатель программы или математического обеспечения системы, ни руководитель соответствующего вычислительного центра.

Может ли такую ответственность нести политический деятель, стоящий далеко от компьютерных систем и понимания их механизмов воздействия, однако занимающий пост, облеченный ответственностью? И вообще существует ли здесь общая, глобальная ответственность за нормальное функционирование, а также за сбой или выход из строя решающих устройств?

Итак, человек вынужден довериться по возможности безошибочным и безупречным информационным и решающим системам. Означает ли это, что ответственность теперь заложена в системах?

Можно ли сказать, что человек постепенно освобождается от ответственности, в то время как системы становятся все более «ответственными»? И вообще, в каком смысле система может быть ответственна? Относится ли эта передача ответственности системам только к сфере поисков причин тех или иных ошибок или сбоев в системах с целью восстановления безупречного функционирования устройства? Или, быть может, такая «взявшая на себя ответственность» система несет еще и юридическую, и даже моральную ответственность?

Вообще-то, кажется ясно, что компьютеры не являются моральными, социальными существами и что информационные системы не могут брать на себя — в узком смысле слова — моральную ответственность. С другой стороны, если мы хотим воспрепятствовать дальнейшему распространению какого-либо возникшего внутри системы состояния, которое не содержит явного «состава преступления», достаточного для того, чтобы обвинять его в отсутствии ответственности, фактически определенного рода ответственность системы все же налицо.

У.Бехтель и Д.Снэппер в своих работах полностью специфицируют реализуемые условия для гибко, программно регулируемых разрешающих систем, которые, по их мнению, позволяют нам вменить этим системам правовую и моральную ответственность [5].

Снэппер, например, полагает, что с правовой точки зрения законы могут и должны быть изменены так, чтобы компьютеры могли считаться «ответственными» в том смысле, чтобы их эксплуатирующие (а в определенных случаях и их изготовляющие и поставляющие) учреждения и предприятия гарантировали от возможного их выхода из строя, сбоя или от ущерба, нанесенного ими по ходу их функционирования.

Сам компьютер «не может принимать некую (ментальную) установку по отношению к сделанному им выбору». В этом смысле компьютеры не осуществляют каких-либо рефлексивных, тем более направленных на самих себя сознательных процессов или сознательных репрезентаций, которые бы учитывали субъективность и положение действующего субъекта, как и его включение в контекст других действующих субъектов.

В этом, более специфическом, характерном для социальности и моральности смысле компьютеру нельзя, разумеется, вменить никакой ответственности. Компьютер, считает Снэппер, может нести ответственность в плане своей способности обдумывать, однако в плане вполне сознательных и

произвольных (свободных от внешнего условия) действий он никакой ответственности нести не может.

В той мере, в какой компьютерные и решающие системы именно как системы с внутренней адаптационной способностью могут свои внутренние состояния и свою продуктивную способность приспосабливать к сигналам и данным внешней среды, они будут в состоянии изменять свои реакции на данные в соответствии с вводимой программой и со стратегическими метапрограммами.

Такие системы в состоянии изменять свое поведение и даже саму программу своего поведения при реакции на окружающую среду. Для этого, по мнению Бехтеля, понадобятся «метуправила, назначение которых сводится к тому, чтобы изменять правила внутри самой системы.

Например, обучение внутри какой-либо производственной системы требует внутренние правила производства, которые, если их активизировать, могут дополнительно создавать новые выработки, снимать или изменять другие». Конечно, традиционный последовательный компьютер, напоминающий неймановскую архитектуру, не может реализовать что-то подобное, однако существуют формы реализации и модели «параллельно обрабатывающих процессорных автоматов, которые смоделированы в соответствии с нейронной сетью человеческого мозга».

Параллельно работающая адаптивная система, сориентированная на внешнюю среду, также не «регулируется исключительно эксплицитными правилами, накопленными внутри системы», но создает курс и стратегию в зависимости «от начального активирования, от степени переплетения между единицами» и последующими сигналами из окружающей среды. Из приспособительной системы вырастает обучающаяся система, которая «может принимать решения как ответ на различные введенные данные».

Из всего сказанного Бехтель делает вывод, что такого рода параллельно обрабатывающие, обучающиеся средние системы не показывают, конечно, внутренние желания или состояния, базирующиеся на каких-либо убеждениях в реалистическом смысле этих понятий, однако они все же будут реагировать функционально соответственно.

Высокая степень гибкости, способность адаптироваться и обучаться в отношении сигналов и побуждений («раздражителей»), исходящих из окружающей среды, внутренняя способность к формированию обучающих стратегий и соответствующие метуправила над поведенческими правилами позволяют нам, по его мнению, рассматривать систему так, как если бы она имела собственные мнения и желания, имеющие силу причины, лежащей в основе внутренне возникших. Решения должны исходить из причины и находиться под ее контролем с тем, чтобы у нас было основание говорить об их «ответственности».

1.6 Субъект и объект биотехнических исследований

В теоретико-познавательном отношении особенности биотехнических исследований связаны с изменением субъекта и объекта биологического познания — происходит формирование субъекта и объекта биотехнических исследований [6].

Объект биотехнических исследований задается исследователем путем проектирования и конструирования — процедур, традиционно используемых в технических науках и инженерной деятельности. В настоящее время в биологии существует реальная возможность конструировать новые живые системы, направленно изменяя наследственный аппарат вирусов, микроорганизмов. Как результат конструирования и проектирования объект биотехнического исследования становится искусственным (станет ли искусственной сама жизнь?).

Причем процесс конструирования биотехнического объекта подчинен цели последующего производственного использования его, что также не является традиционным для биологии, а составляет особенность технических наук. Меняется характер и направленность познавательной деятельности субъекта биологического познания. Проектная и конструкторская деятельность формирует в научно-биологическом исследовании фигуру биоконструктора, биоинженера.

Характеристики объекта биотехнического исследования, закономерности его функционирования должны описываться адекватной системой понятий. Поэтому закономерной является эволюция понятийного аппарата биологии в условиях ее технизации. В последние годы в научно-биологической литературе появились понятия, ранее не свойственные биологии, — биотехнические системы, биотехника, биоинженерия, конструирование, проектирование, искусственные организмы, биоиндустрия.

Очевидно, что генная инженерия и другие биотехнологии имеют огромное положительное социальное значение. Однако, как и в случае с информационной техникой, возникает множество вопросов об этической приемлемости такого направления развития научно-технического прогресса. Прежде всего, это касается генной инженерии и синтеза интеллектуальных биотехнических систем. До сих пор не утихают дискуссии на тему внедрения технологии клонирования (генного копирования) живых организмов, а полемика вокруг проблемы сосуществования человека и биоробота была начата на страницах научно-фантастических романов еще в прошлом веке.

Фактически здесь возникают те же вопросы, что и в случае глубокой интеграции информационных систем в жизнь общества. Но решение этих вопросов куда более сложная задача, нежели во втором случае.

Дело в том, что, как отмечалось в предыдущей главе, чисто технические системы, как бы они не были сложны, остаются лишь техническими системами, которым не может быть вменена моральная ответственность за их действия. В случае же биотехнических систем такая ответственность может возникать в силу происхождения системы. Кроме того, в этом случае нельзя сбрасывать со счетов ответственность перед такой системой, поскольку моральные устои

современного общества подразумевают ответственность человека перед биологическим существом. Таким образом, возникает реальная опасность создания членов общества, неподвластных самому этому обществу, а это уже прямой путь к нарушению социальной стабильности.

2 Бионические системы

Особенно важным для повышения эффективности бионических исследований оказалось совершенствование методов математической статистики, формальной логики, теории игр и операций, теории информации, теории управляемого эксперимента, а также совершенствование технической базы бионических исследований и в первую очередь развитие микроэлектродной техники, разработка миниатюрных датчиков-преобразователей, технические достижения беспроводной биотелеметрии и, конечно, появление на вооружении биоников электронных вычислительных машин различного назначения.

Исследования, выполненные в последние годы ведущими коллективами в ряде передовых стран, подтвердили особую эффективность бионического подхода при решении прикладных инженерных задач в самых актуальных направлениях техники.

Для бионического подхода характерно исследование именно тех особенностей строения и функционирования живого организма, которые необходимы и достаточны для решения конкретных задач синтеза систем определенного назначения. Таким образом, современная бионика категорически отвергла принцип слепого копирования, некритического воспроизведения живой природы в технических аналогах и приняла метод функционального моделирования, базирующийся на требованиях изоморфизма технических систем их биологическим прототипам.

Например, те, кто пытаются решить задачу создания промышленных роботов не бионическим путем, не способны подняться выше задачи автоматизации станочных линий по жестким ограниченным программам. И наоборот, синтез интегральных роботов, способных собирать и анализировать информацию о внешней среде, а также принимать решения и управлять своим поведением в достаточно сложной реальной обстановке, вполне возможен и продуктивен на базе функционального моделирования сенсорных и эффекторных систем живого организма.

Блестящим примером тому является создание робота, предназначенного для сбора и передачи на землю визуальной информации о марсианском ландшафте; работа выполнена под руководством Л. Сутро и У. Калмера на базе модели нервной системы человека, разработанной У. Маккалоком.

Развитие бионической методологии пошло в последние годы по пути перехода от изучения элементов биологических систем к более сложным исследованиям их комбинаций, связей и взаимодействия.

Действительно, в последние годы перед бионикой возникли принципиально новые задачи по изучению свойств биологических объектов с

целью их адекватного сопряжения с техническими устройствами в единые биотехнические системы.

Эта проблема была сформулирована нами как синтез биотехнических систем (БТС) и требовала разработки своей теоретической базы и специфической методологии.

Небезынтересно отметить, что о необходимости возникновения биотехнических систем писал еще в 1964 г. Норберт Винер:

«В наше время мы остро нуждаемся в объективном изучении систем, включающих и биологические и механические элементы. К оценке возможностей этих систем нельзя подходить предвзято, т.е. с позиции механистического или антимеханистического толка.

Такие исследования уже начались и что они позволят лучше понять проблемы автоматизации»

Биотехнические системы — это особый класс больших систем, представляющих собой совокупность биологических и технических элементов, связанных между собой в едином контуре управления 2 .

Сегодня уже проведены первые работы, на основании результатов которых может быть сделан очень серьезный вывод в пользу биотехнических систем: в ряде случаев, особенно при необходимости анализа значительных объемов информации (например, при распознавании образов) и принятии решений в реальном масштабе времени, наиболее эффективными оказываются не полностью автоматические комплексы, а биотехнические системы, в которых сочетается искусственный интеллект машины с мозгом человека-оператора, т.е. системы со смешанным интеллектом.

С целью консолидации усилий при проведении бионических исследований стало необходимым из многообразия решаемых бионикой задач выделить главные, определяющие основные научные направления ее развития.

В качестве первого шага, направленного на решение этой задачи, ученые и специалисты стран — членов СЭВ разработали долгосрочный прогноз тенденций развития исследований по отдельным направлениям бионики исходя из требований научно-технического прогресса. На основании анализа прогноза и его дополнения в части постановки новых проблем, связанных с синтезом биотехнических систем, были сформулированы основные направления исследований в области бионики в соответствии с ее вышеприведенными задачами.

Одним из особо важных направлений в наши дни становятся бионические исследования, направленные на освоение природных ресурсов Мирового океана. Природные богатства в виде нефти, горючего газа, полезных ископаемых и продуктов питания, скрытые огромными толщами воды, требуют создания специальных технических систем и комплексов, приспособленных к новой, не свойственной для человека среде обитания.

Подводные работы, снабженные техническими сенсорными системами, различные обитаемые и необитаемые подводные аппараты в какой-то мере уже сегодня используют конструктивные и функциональные решения, отобранные в

результате эволюционного развития отдельных видов живых обитателей морей и океанов.

Однако до сих пор остается открытым целый комплекс вопросов, связанных с созданием подводных сооружений — своеобразной подводной архитектуры, для обитания человека на континентальном шельфе, а также для складирования материалов и технических средств, необходимых при освоении отдельных районов Мирового океана. Это прерогатива архитектурной бионики, которая успешно развивается в наши дни в ряде ведущих стран усилиями энтузиастов этого научного направления.

Не случайно научно-координационное совещание по развитию бионики в странах—членах СЭВ в 1981 г. (г. Созопл, НРБ) записало в координационный план в качестве одного из важнейших направлений развития бионики разработку комплексной системы формирования среды обитания под водой на основе сборных конструкций бионического типа и архитектурно-бионических форм для длительного пребывания под водой с целью изучения энергетических минеральных ресурсов и создание комплексной системы жизнеобеспечения человека в сборных формациях подводного типа.

Даже первое ознакомление с внешними очертаниями и формами живых организмов, населяющих подводный мир морей и океанов, позволяет отметить отсутствие правильных геометрических фигур и тел вращения, в то время как технические средства, применяемые для подводных работ, в основном представляют собой различные полые оболочки шарообразной или цилиндрической формы. Это ставит под сомнение адекватность существующих технических решений требованиям особенностей подводной среды применения.

Перспективность бионического подхода при создании подводных конструкций, и особенно при решении архитектурно-строительных задач, подтверждается такими свойствами живых организмов, как: адаптивность формы и структуры к условиям обитания и возможность их трансформации при изменении состояния среды и целевой функции живой системы, а последние 20—30 лет мир стал свидетелем появления в архитектуре необычных форм, напоминающих формы живой природы.

В этих заимствованиях форм из живой природы сказалось не только желание в разных странах оно получило различное название. В Советском Союзе в начале 1960-х годов ему было дано, как уже говорилось, название «архитектурная бионика» по аналогии с существующей тогда технической бионикой.

Название «бионика» восходит к греческому *bios*, означающему жизнь. Соединенное со словом электроника оно дало наименование новому направлению в науке». Кратко — это отрасль науки, усилия которой направлены на исследование биологических систем и процессов, происходящих в живой природе, и на творческое использование их в технике.

Мир живой природы развивался и совершенствовался в течение многих миллиардов лет, выработав в себе целый ряд средств, которым аналогичны

наши технические средства: радиолокационные приборы, летающие аппараты, оптические инструмент - навигационные приспособления.

Инженеры воспользовались готовыми решениями природы и с успехом применяют их на практике в самых различных областях техники.

Так, ученые обратили внимание на то, что медуза за несколько дней до шторма в океане начинает постепенно опускаться на дно. Стали выяснять причины. Оказалось, что у нее есть особое устройство, которое предупреждает о подобных изменениях в водной стихии. Советские ученые сконструировали по его подобию прибор «ухо медузы», заблаговременно информирующий моряков о приближении бури.

Или сложное явление в авиации — флаттер — ритмичное, не поддающееся регулированию колебание крыльев самолета, часто приводящее к их разрушению, особенно при повышенных скоростях. В процессе бионических исследований живой природы обнаружилось, что стрекоза давно «решила» этот технический вопрос: в ее крыльях имеются специальные подвески, предотвращающие флаттер.

То, что изучение «техники» природы может принести практическую пользу, уже не вызывает сомнений. Но интересна другая, познавательная сторона вопроса. Каким образом кажущаяся на первый взгляд далекой от техники живая природа стала для нее источником ценного накопления научного материала?

Философия диалектического материализма доказывает, что в мире все взаимообусловлено, нет вещей и явлений, которые бы не были связаны непосредственно или опосредованно между собой, нет непроходимых барьеров между живой и неживой природой, что существуют законы, объединяющие весь мир в единое целое и порождающие объективную возможность использования процессов и связей элементов живой природы в искусственно создаваемых технических системах.

Человек и мир живой природы биологически едины.

Ф. Энгельс в «Диалектике природы» пишет:

«... И так на каждом шагу факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом, не властвуем над ней так, как кто-либо находящийся вне природы, — что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри нее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять»

Сходство по существу между человеком и остальным живым миром можно рассматривать не только в общем, но и в конкретном, техническом аспекте.

К. Маркс в «Капитале», в главе XIII «Машина и крупная промышленность» проводит прямую параллель между техникой природы и техникой, созданной человеком: «Дарвин интересовался историей естественной технологии, т.е. образованием растительных и животных органов, которые играют роль орудий производства в жизни растений и животных. Не заслуживает ли такого же внимания история образования производительных

органов общественного человека, история этого материального базиса каждой особой общественной организации?»

Не говорит ли приводимая Марксом аналогия о возможности полезного для человека изучения техники живой природы? Если есть сходство, то вполне естественно и влияние, и при этом не только использование т.д. За терминами же скрывается и связь по существу. Общность принципов и закономерностей для живых организмов и технических систем была убедительно доказана кибернетикой. Наш современник академик С.Л. Соболев отмечает: «Как известно, в кибернетике машиной называют систему, способную совершать действия, ведущие к определенной цели. Значит и живые существа, чело век, в частности, в этом смысле являются машинами».

Не так уж неправ был великий французский математик (в философии — дуалист) Р. Декарт, живший 300 лет назад, когда он сравнивал человека с машиной. Лишь общий уровень знаний того времени и механический подход к решению вопроса взаимодействия в человеке идеального («духа») и материального («тела») делает его гипотезу исторически ограниченной. Необходимо также учесть, что мы сравниваем человека с современной машиной, не зная, какими станут машины будущего.

Интересующие бионику закономерности в живой природе, в отличие от чисто биологических или биохимических процессов, можно назвать техническими.

Бионика занимается, например, «механизмами», средствами, которые помогают живому организму видеть, слышать, чувствовать, преодолевать силы сопротивления, тяжести и т.д.

Несомненно, что процесс использования этих средств — процесс творческий, приспособляющий известные закономерности живой природы к потребностям техники.

Рождение современной бионики было подготовлено развитием биологии, химии, физики, механики, математической логики, кибернетики и т.д. Особое место здесь занимает математическая логика — одно из средств, позволяющих связывать в количественных и качественных отношениях явления живой природы с явлениями в технике и в архитектуре.

Математическая логика, родоначальником которой считается Аристотель, представляет собой математическое символизирование форм человеческого мышления — суждений, умозаключений, силлогизмов.

В.И. Ленин отмечал: «Самые обычные логические «фигуры» — суть ... самые обычные отношения вещей» [3] . Это означает, что формы человеческого мышления есть не что иное, как отражение процессов, про исходящих в объективном мире, поэтому математическая логика в итоге облекает в математические сим волы («фигуры») отношения и связи компонентов объективного мира — природы и мышления.

Штофф пишет, что слово "модель" произошло от латинского слова "modulus ", что означает: мера, образ, способ и т. п. Его первоначальное значение было связано со строительным искусством.

Обычно понятие модели употреблялось для обозначения образца , прообраза или вещи , сходной с другой вещью . Сейчас модель употребляется в качестве научного понятия в математических , технических , естественных и социальных науках , в искусстве , архитектуре , бионике , кибернетике и т . п . (схема 1).

Процесс моделирования связан со спецификой научного мышления , не отрицающего объективных законов существования мира . В живой природе имеет место само моделирование живых видов , являющееся в большей мере выражением законов живой природы , но оно не абсолютно , учитывая все прогрессирующее вмешательство человека в жизнь живой природы .

Объективно процесс моделирования возникает и используется в трех направлениях мыслительной и практической деятельности человека.

Первое направление использования моделирования — выражение одной теории через другую, которая обладает структурным подобием (изоморфностью) по отношению к первой, что, например, характерно для абстрактно - математических методов моделирования.

Теория архитектурно - бионического моделирования также изоморфна по отношению к общей теории моделирования, поскольку она интерпретирует структурную схему общей теории моделирования и пользуется ее основными понятиями. Ей мы будем следовать и в нашем анализе, вскрывая, однако , специфику архитектурно - бионического моделирования и конкретизируя его в профессиональном аспекте .

Весь процесс архитектурно - биологического синтеза (гармоничного соединения законов формирования архитектуры и живой природы), осмысливаемой теоретически, также есть процесс изоморфного моделирования — сопоставления и нахождения " точек соприкосновения " между биологической и архитектурно - бионической теориями, отражающими объективные процессы, происходящие в живой природе.

Второе направление использования моделирования — отражение в мысленной или физической форме объективной реальности. В этом значении модели применяются в архитектурной бионике, например на стадии воспроизведения биологических объектов, что является лишь первым этапом архитектурно - бионического моделирования и называется биологическим моделированием.

Еще в древности развитие науки и философии сопровождалось созданием наглядных картин, образов действительности, воспроизводящих явления в космосе или микромире (модель Птолемея, показывающая вращение " мира " вокруг неподвижной Земли; представления Демокрита, Эпикура об атомах, их круглой или крючкообразной форме и т . д.). Такие модели отличаются от математической формализации явлений тем, что они стремятся раскрыть действительность в ее же готовых формах, хотя такие модели не лишены абстрактной формализации и не свободны от субъективности мышления.

Третье направление использования моделирования предполагает изображение одной области явления с помощью другой, более изученной, привычной, легче понимаемой. Например, физики XVIII в. пытались

изобразить оптические и электрические явления посредством механических, или сравнивали электрический ток с течением жидкости по трубам, строение атома со строением солнечной системы и т.п. Такое направление моделирования сливается с понятием о физической аналогии. Поэтому подобные модели часто называют моделями - аналогами (или аналоговыми моделями), независимо от того, воображаемые они или реальные.

Указанные направления моделирования и их смысловые значения можно представить в виде двух групп моделей : моделей научного представления m_i , обозначающих конкретный образ изучаемого объекта или объектов (атом , молекула, хромосома), в которых отображаются реальные или предполагаемые свойства , строение и другие их особенности , и аналоговых моделей.

Этих двух групп моделей для решения научных и практических задач бионики явно недостаточно. Задача бионики синтезировать два явления — живую природу и технику, а архитектурной бионики — живую природу и архитектуру. Поэтому появляется необходимость включения в обиход третьей группы — синтетических моделей (СМ).

Если рассматривать применение указанных трех групп моделей (M_1 , M_2 и СМ) в архитектурной бионике на фоне проводимых научных исследований (которые нельзя отождествлять с процессом моделирования), то получится следующая картина.

Обращение к живой природе происходит на основе знаний архитектурной проблематики и сводится к изучению общих закономерностей развития живой природы, ее форм и технических средств с целью отбора полезных явлений для архитектуры. Сам процесс отбора неизбежно сопровождается умозрительными, а в необходимых случаях и другими видами предварительного моделирования (математического и т. д.) — этап " бионического " моделирования.

3 Биотехнические медицинские системы (БТС)

Формулировка понятия БТС была дана в 1975 году на Международном конгрессе по бионике; звучит она так: «под биотехническими системами понимается особый класс сложных систем, представляющих собой функциональное взаимодействие биологических и технических элементов, связанных в едином контуре целенаправленного поведения»

Следуя этому определению, в класс БТС попадают разнообразные по назначению, структуре и сложности системы – от простых медицинских приборов до сложных человеко-машинных комплексов управления технологическими процессами в различных областях народного хозяйства. В классе БТС, в частности, попадают системы, призванные осуществлять критериальное или адаптивное управление в медицинских или биологических системах – биокибернетические системы.

Разнообразие этих систем характеризуют сложности в изучении проблем взаимодействия и необходимость привлечения нескольких научных дисциплин.

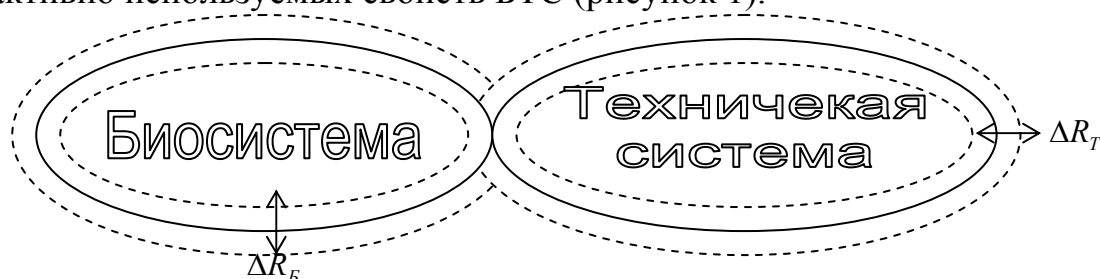
Содержание этих дисциплин раскрывает вопросы строения и функционирования биообъектов различной сложности(клеточных, тканевых, органных, функциональных систем организма), анализ свойств сенсорных и функциональных систем, через которые биологические звенья включаются в техническую систему, параметры аппаратурных средств, которые подключены непосредственно к объекту исследования.

Особая сложность БТС обусловлена как сложностью организма, представляющего собой единое взаимосогласованное функционирование многих физиологических систем, так и несовершенством методов исследования и математического аппарата, не позволяющего адекватно описывать такие системы. В связи с этим биологические и биотехнические системы должны характеризоваться с более общих методологических позиций. В качестве одной из таких позиций может выступать системный подход, являющийся «методологией научного исследования и практического освоения сложноорганизованного объекта», при которой на первое место не анализ составных частей объекта как таковых, а его характеристика как целого, раскрытие механизмов, обеспечивающих целостность объекта. При изучении живых системы встречаемся с ситуацией, когда имеется большой экспериментальный материал, анализ которого с позиции системного подхода помогает глубже понять особенности биологической организации.

При анализе биообъекта как элемента БТС необходимо особое внимание обращать на диапазоны параметров, взаимодействующих с ним физических полей, с помощью которых осуществляется непосредственный контакт с биообъектом. Параметры взаимодействующих с объектом полей не должны превышать физиологический диапазон (адаптацию биообъекта), при котором возможны необратимые изменения.

Эта взаимосогласованная адаптация – толерантность живых систем, тем не менее, не безгранична. Если параметры взаимодействующих полей превысят некоторый предел (радиус адаптации), то возможен переход биообъекта в

патологическое состояние. Если же параметры биообъекта превышают адаптацию технических элементов, то БТС не способна правильно понять и выбрать тактику, например, терапевтического или хирургического воздействия. Эта двухконтурная (супер) адаптация является одним из важных и активно используемых свойств БТС (рисунок 1).



ΔR_B , ΔR_T - «радиусы» адаптации биологической и технологической подсистем в единой БТС. Рисунок 1

Широкий диапазон параметров живых систем, изменчивость понятия «норма» в их оценке, зависимость характеристик от многих трудно учитываемых факторов, взаимосвязь между параметрами разных систем организма затрудняют формирование ясных представлений о биологическом объекте.

Это означает, что инженерам-разработчикам БТС приходится работать в условиях дефицита информации о существе процессов, определяющих состояние биообъекта. Поэтому для практических целей целесообразно пользоваться более общими методическими приемами, которые принято определять как принципы синтеза БТС.

Синтез БТС начинается с формирования целей и задач, решаемых системой. При этом строится целевая функция, с помощью которой проводится оптимизация или сравнительная оценка различных вариантов организации взаимодействия (или управления) элементов БТС.

Часто формирование целевой функции требует самостоятельных исследований, при которых используются специально разработанные методы (например, методы экспертной оценки). Этот принцип получил название эймуниологичности.

К числу принципов синтеза относится принцип адекватности, требующий гармоничного функционирования биологических и технических элементов в единой БТС. Само понятие адекватности многогранно. Поэтому целесообразно бывает выделить несколько уровней адекватности, упорядочить их по степени значимости, чтобы при последовательном их удовлетворении получить результат, близкий к оптимальному (в смысле выполнения целевой функции системой).

Способность технических элементов регистрировать и "понимать" информацию, получаемую с датчиков, расположенных в биологических звеньях, а затем ее "осмыслить" и принимать решение о характере и параметрах воздействия (для терапевтических и хирургических БТС) сформулирована в виде принципа идентификации.

Этот принцип требует единства информационных и управляющих сигналов, с помощью которых производится вещественный, энергетический или информационный метаболизм внутри БТС.

Нетрудно проследить идейное единство и взаимосогласованность трех отмеченных принципов синтеза БТС, которые на практике используются как самостоятельные.

При решении задач синтеза теория биотехнических систем берет на вооружение бионическую методологию. Бионическая методология состоит из трех основных этапов: биологического, теоретического, конструкторского или технологического.

Первый этап - исследовательский. На нем анализируется биологический объект с целью последующего использования его свойств в БТС, проводятся медико-биологические эксперименты, анализируются литературные данные. По завершении первого этапа у разработчика должна быть ясность о виде целевой функции системы, иметься информация, достаточная для построения математической (или физической) модели БТС.

На втором этапе проводятся эксперименты на физической или математической модели, проигрываются различные варианты функционирования системы, проводится структурная оптимизация БТС, определяются параметры, которые целесообразно использовать для диагностики и управления состоянием технической и биологической подсистем.

На третьем этапе с учетом построенной адекватной модели выполняется технологическая или конструкторская проработка БТС. При выявлении существенного несоответствия между ожидаемыми на основе модели БТС и имеющимися экспериментальными данными необходимо возвращаться на предыдущие этапы, чтобы уточнить базовую для модели информацию (или разумно усложнить саму модель).

Рассмотрим аспекты анализа и синтеза БТС более подробно.

3.1 Классификация и общие свойства систем

Уже со времен К.Бернара в физиологии начал господствовать взгляд на организм как на совокупность сложных взаимосвязанных биологических регуляторов, однако только относительно недавно теория автоматического регулирования и теория систем стали применяться при изучении биологических объектов. Применение идей этих теорий для анализа процессов в живых системах позволили получить новые представления о биологической организации, глубже разобраться в закономерностях эволюционного развития, понять и открыть новые, неизвестные в технике принципы организации очень сложных систем, обеспечивающих высокую надежность выполнения определенных функций в условиях непрерывного и значительно изменяющейся внешней среды. В свою очередь, сведения о биологических системах дали толчок к развитию новых направлений науки и техники - кибернетики, бионики, биотехнических систем.

Любой закон и любая наука в целом есть модель действительности, способная предсказывать поведение реальных объектов в определенном

диапазоне условий. Построение моделей, использование блок-схем и математических соотношений требует точной характеристики и строгого определения понятий.

Одним из самых общих понятий, применяемых при описании объектов, является понятие системы. В литературе встречается более 40 различных определений понятия "система". Дадим теоретико-множественное определение этого понятия, которое представляет систему как некоторый класс множеств

$$S = \{M_s^e, L_s^j, K_s^k\},$$

где L_s^j – класс множеств, M_s^e – подкласс множеств элементов системы, S_j , образующихся в результате деления элементов системы S на подэлементы; K_s^k – подкласс таких множеств, в которые рассматриваемая система S сама входит в качестве элемента.

В подклассе M_s^e , например, системы жизнеобеспечения космонавтов, входят системы: M_s^1 – энергоснабжения; M_s^2 – питания; M_s^3 – поддержания и регенерации внутренней среды; M_s^4 – реабилитации и контроля состояния здоровья.

Каждую из выделенных систем можно рассматривать как объединение функционально более простых систем. Так, система поддержания среды включает в себя каналы контроля и регулирования содержания O_2, CO_2, H_2O , освещенности, температуры и т.д. (все это будет обозначаться как L_s^d). В то же время все отмеченные системы входят в единый комплекс K_s^k называемый обеспечением космического полета.

Это определение фиксирует некоторое множество элементов и их взаимоотношения, подчеркивая, что любая система состоит из набора взаимосвязанных элементов (т.е. подсистем, вглубь которых анализ не распространяется), каждый из которых может быть представлен в виде взаимосвязанной совокупности элементов. В то же время исходная система - S сама является элементом системы более высокого порядка (метасистемы). Элементы системы «5» могут иметь различную физическую природу – механическую, электрическую, биохимическую и т.д.

Любая система характеризуется наличием входов и выходов, элементным составом и структурой, набором параметров, описывающих ее внутреннее состояние, и законом поведения, связывающим выходные сигналы (эффекты, ответы, реакции) с входными (причиной, стимулом, воздействием, возмущением).

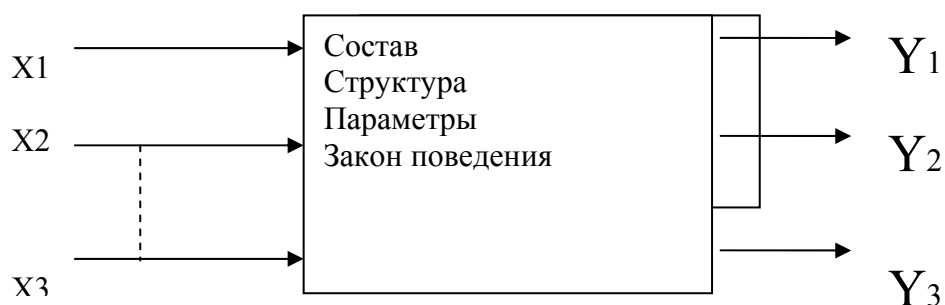


Рисунок 2 – Общая схема системы

Закон поведения системы в общем случае выражается системой нелинейных уравнений вида

$$Y_j = f_j(X_1, X_2, \dots, X_n; U_1, U_2, \dots, U_r),$$

где Y_j – выходной сигнал на j -м выходе системы; $j=1, m$; $X_1, X_2, \dots, X_n$ – входные сигналы; $U_1, U_2, \dots, U_r$ – определяющие параметры системы; f_j – функционал, связывающий сигнал j -м выходе с входными сигналами и определяющими параметрами.

Состояние системы зависит от определяющих параметров, координат и параметров составляющих ее элементов, а также от производных этих величин. Их значения могут изменяться во времени и в пространстве, что означает переход системы из одного состояния в другое. Системы, способные изменять состояние под влиянием воздействий, становятся динамическими. Если производные равны нулю, динамическая система переходит в состояние покоя и становится статической. Переход системы из одного состояния в другое называется процессом, совокупность которых составляет сущность управления.

Любую систему можно представить в виде блок-схемы или графа, отражающих ее структуру, т.е. совокупность выделенных элементов (подсистем) и их взаимосвязей (рисунок 2).

Переход системы из одного состояния в другое может сопровождаться появлением новых связей и исчезновением старых, изменением типа связей, изменением элементного состава системы, которое может привести к изменению функции. Все это приводит к значительным трудностям при изучении систем, даже при относительно небольшом количестве элементов, содержащихся в системе.

Если система содержит n элементов, то каждый элемент может иметь $(n-1)$ связей, поэтому общее количество возможных вариантов систем из n элементов $2^{n(n-1)}$. Так при $n=7$ это количество определяется числом $2^{42} > 4 \cdot 10^{12}$.

Реальные системы не объединяются в естественные группы, так как они разной природы и назначения.

Тем не менее, можно выделить наиболее общие признаки, позволяющие

дать классификацию систем и разделить их методы изучения. К этим признакам относятся сложность систем, использование различных типов входов и выходов, характеристики элементов и типов связей между ними и др. (рисунок 3).

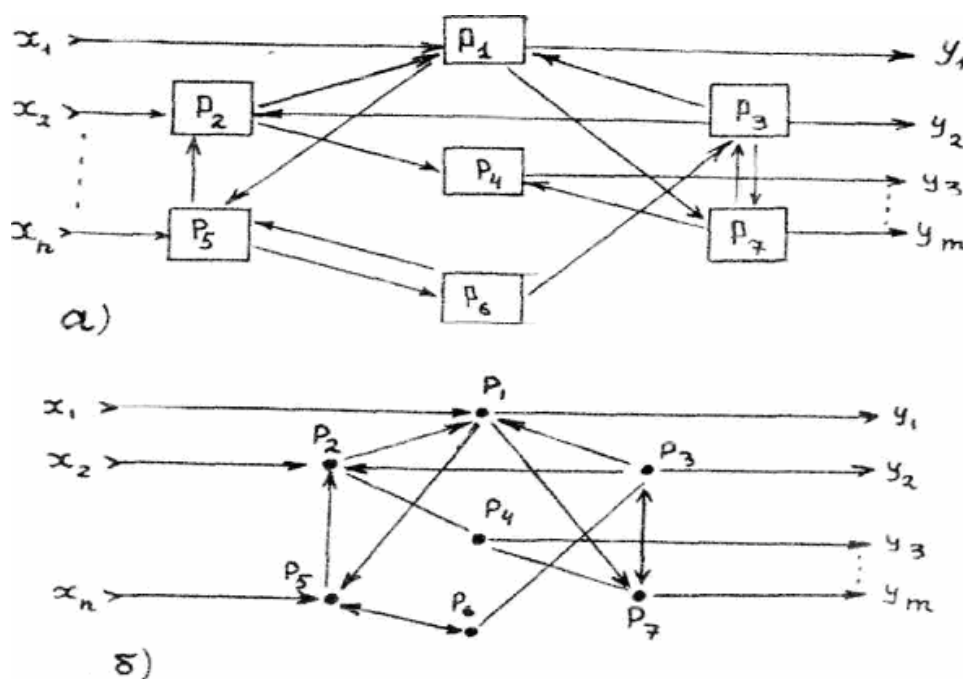


Рисунок 3 – Изображение структуры системы в виде блок – схемы (а) и графа (б), P – элементы системы

По сложности можно выделить три класса динамических систем:

- простые, состоящие из небольшого числа элементов и характеризующиеся простым динамическим поведением;
- сложные, структура которых отличается разветвленностью и разнообразием связей, но поддается точному описанию;
- очень сложные системы, точно и подробно описать которые нельзя.

Различают детерминированные и стохастические системы, Для детерминирован систем точно известен закон поведения; для стохастических можно определить вероятность того или иного ее состояния, той или иной реакции.

В другой способ классификации систем введено понятие об информационных и вещественных входах и выходах, причем; под "информацией" здесь понимаются сведения, сигналы об окружающем мире, которые воспринимаются системой, или сигналы, которыми обменивается данная система с другими.

В этой классификации различают:

- информируемые системы, имеющие хотя бы один информационный вход;
- информирующие системы, имеющие хотя бы один информационный выход;
- информационные системы, имеющие информационные входы и выходы.

Возможна классификация систем по характеристикам элементов, например, линейные, нелинейные, нелинейные и гистерезисные системы; по типу связей между элементами - замкнутые, разомкнутые, с непосредственными и опосредованными связями, прямыми и обратными связями и т.д.

Приведенные примеры классификации не являются строго формализованными и в определенной степени произвольны. В то же время они подчеркивают основные теоретические задачи, связанные с описанием систем.

Описание системы – это модель, отображающая определенную группу свойств системы и позволяющая выявить упорядоченность, структурность, закономерность, организованность в этой группе.

Всякая система или объект, прежде всего, интересны своим назначением, местом, которое они занимают среди других систем и объектов в окружающем мире, высшей функцией.

Поэтому первым описанием системы должно быть функциональное описание, которое позволяет оценить важность системы, ее отношение к другим системам, ее контакты с окружающим миром, направления возможных изменений функции.

Функциональное описание связывает внешние воздействия на систему с ее реакцией, ответом, поведением, воздействием на другие системы. Оно может задаваться некоторым образом в алгебраической, логической, дифференциальной, интегро-дифференциальной форме, входящим в скалярное, векторное или матричное уравнение.

Оператор составляется на основании измерения внешних характеристик (принцип "черного ящика" - изучение связи в воздействие-реакция) или на основании знания устройства системы. Представление о строении системы дает ее морфологическое описание, позволяющее выделить основные элементы, связи, определить структуры.

Эти два вида описания системы дополняются третьим – информационным описанием, позволяющим судить об уровне ее организации (дезорганизации), предсказать в вероятностном смысле реакцию системы на то или иное воздействие.

Четвертый вид описания системы связан с характеристикой процессов зарождения системы и эволюцией ее развития в историческом плане - это генетико-прогностическое описание.

Рассмотрим свойства этих видов описания системы.

3.2 Функциональное описание

Функциональное описание исходит из функций (одной или нескольких) систем. Среди этих функций можно выделить следующие:

- пассивное существование, материал для других систем;
- обслуживание систем более высокого порядка;
- противостояние другим системам и среде (выживание);
- поглощение, подавление других систем и среды;
- преобразование других систем и среды.

О многом функция той или иной системы зависит от точки зрения того, кто ее оценивает. Обычно функция системы выполняется, если параметры изменяются в определенных пределах, вне которых система разрушается или существенно меняет свои свойства и свою функцию

Последовательность действий при выполнении системой определенной функции составляет содержание закона поведения, которое зависит от процессов, протекающих внутри системы (законы внутреннего функционирования), и процессов, в которые вовлечена вся система в рамках метасистемы (законы внешнего функционирования).

Качество выполнения функции можно оценивать количественным (например, числовым, зависящим от функций, которые описывают процессы) или качественным (упорядочение "хуже-лучше") функционалом, значение которого определяет эффективность системы. Можно ввести представление о некотором пороге эффективности (с точки зрения наблюдателя), превышение которого означает выполнение функции, а значение эффективности ниже порога - невыполнение.

Значение эффективности не постоянно» оно зависит от взаимоотношения системы с другими системами и средой.

Если система начинает противодействовать неблагоприятному влиянию другой системы и среды, добиваясь стабилизации некоторого процесса или показателя, то ее эффективность начинает уменьшаться.

В наиболее общем виде идея противодействия любой системы внешнему воздействию выражена принципом Ле-Шателье. В соответствии с принципом Ле-Шателье поддержание стабилизирующего процесса в условиях внешних воздействий требует некоторого уменьшения эффективности системы.

Реакция (ответ) системы на взаимодействие может выражаться в активной перестройке самой системы, а также порождать процессы противодействия, которые могут изменять параметры среды и использовать первоначально неблагоприятные изменения в свою пользу.

При этом за уменьшением эффективности системы может последовать ее увеличение, изменение санкций и пределов работоспособности системы.

Отклонение значения эффективности от условного порога в большую сторону характеризует "запас прочности" системы, т.е. возможность системы сопротивляться неблагоприятным воздействиям выполнять свою функцию. Уменьшение эффективности ниже порога может привести к разрушению системы.

Так как функция системы определяется качеством выполнения функций ее элементами, то функциональное описание имеет иерархическую структуру (рисунок 4).

Функциональное описание всей системы включает описания внешних функций, процессов и характеристических параметров, которые определяют законы внешнего функционирования и эффективность выполнения функций. Законы внутреннего функционирования системы являются законами внешнего функционирования для подсистем I уровня и зависят от функций подсистем этого уровня, процессов, протекающих внутри системы, и параметров

подсистем.

Показатели качества выполнения функций I уровня оказывают влияние на эффективность всей системы. Законы внешнего функционирования подсистем II уровня являются законами внутреннего функционирования для I уровня и т.д.

Таким образом, по мере продвижения в глубь системы функциональное описание включает все новые уровни организации и новые морфологические структуры, воздействия внешней среды могут проявиться на любом уровне функционального описания и вызвать косвенно и изменения эффективности целостной системы.



Рисунок 4 – Иерархическая структура функционального описания

3.3 Морфологическое описание

Это описание позволяет судить о составе элементов, связях и структуре системы. Основные свойства строения могут быть описаны на нескольких уровнях, т.е. иерархично (рисунок 4).

При этом на различных уровнях могут использоваться принципиально иные способы описания. Например, для уровня организма «орган – группа клеток – клетки – внутриклеточные структуры - ...» требуется совершенно различные способы описания и исследования.

Морфологическое описание начинается с характеристики элементного состава, который может быть гомогенным (содержать однотипные элементы), гетерогенным (разнотипные) и смешанном (рисунок 5). Затем исследуются

свойства элементов.

Свойства элементов отражают различные стороны их использования и могут классифицироваться по содержанию, по степени самостоятельности, по степени специализации и по времени активного участия в выполнении функции.

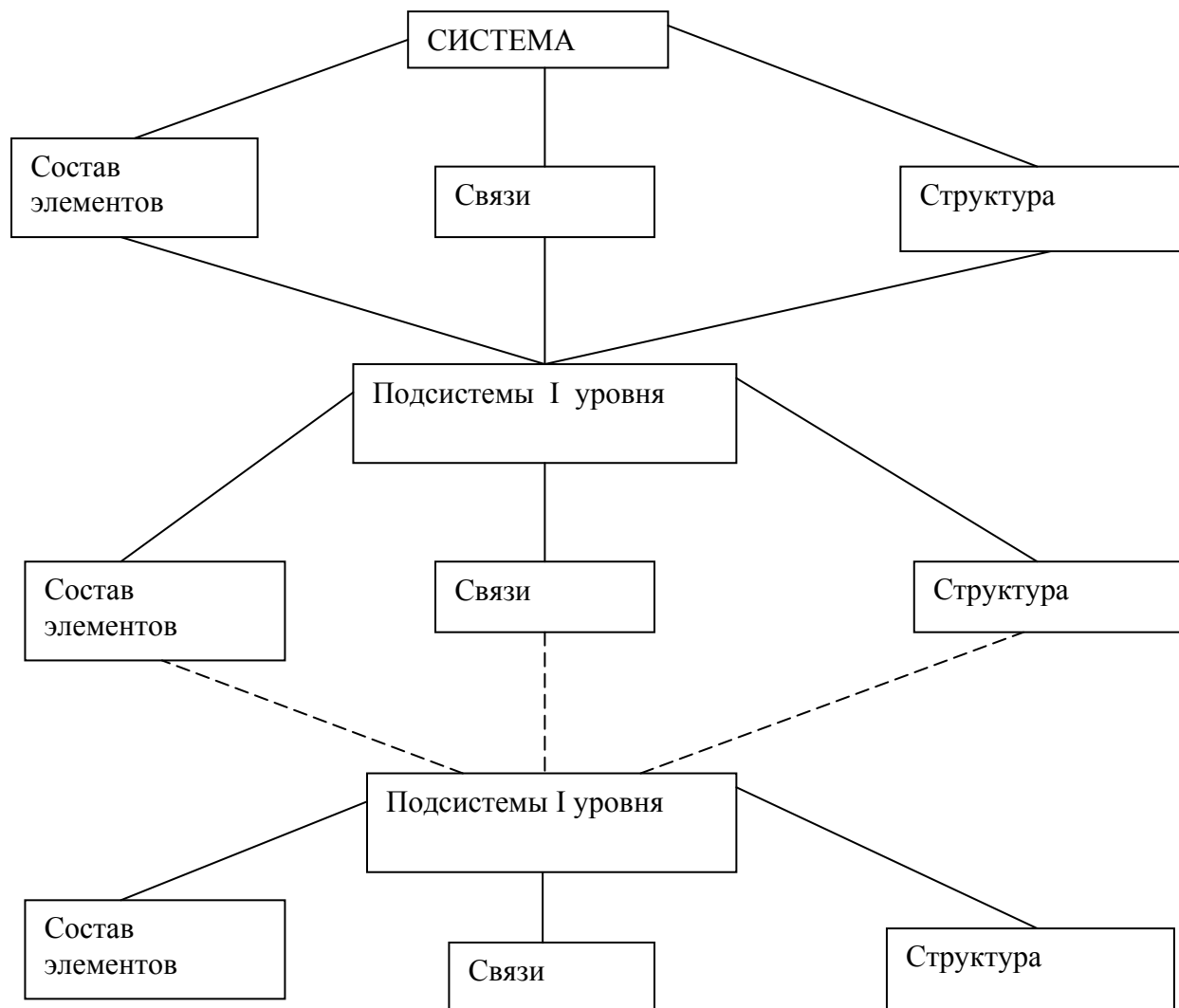


Рисунок 5 – Иерархическая структура морфологического описания

По содержанию различают такие свойства элементов: информационные, энергетические, вещественные, смешанные; по степени самостоятельности: программные, адаптивные, инициативные; по степени специализации: однотипные, смежные (близкие), разнотипные; по времени действия: непрерывные, регулярные, нерегулярные, смешанные.

Морфологические свойства системы существенно зависят от характера связей. По содержанию связи могут быть: информационные, энергетические, вещественные, смешанные; по направленности: прямые, обратные, нейтральные.

Качество связи между элементами можно оценить пропускной

способностью и надёжностью каналов связи. Пропускная способность канала связи в данном случае определяется как максимальный объем вещества, энергии и информации, который может пропускать канал связи в единицу времени. Надежность связи зависит от вероятностей ошибок передачи.

Отметим, что в реальном информационном сообщении в живых системах должен быть шум.

Согласно принципу Данкова, оптимум, достигаемый естественным отбором в природе (имеется в виду выбор между различными по структуре каналами информации), не означает создание идеальной системы связи без шумов. При передаче сообщения борьба с шумами производится с помощью избыточной информации (терпящий бедствие корабль посылает сигнал "доз" многократно, чтобы увеличить вероятность его приема).

Принцип Данкова утверждает, что оптимальное количество избыточной информации равно тому количеству, которое минимизирует сумму стоимости (для системы) ошибок и стоимости их исправления, но не тому количеству информации, которое уничтожает все ошибки. Допускается столько ошибок, сколько совместно с дальнейшим существованием системы, и используется минимальное количество избыточной информации.

Особо выделим прямые и обратные связи. Прямые связи предназначены для передачи вещества, энергии, информации или их комбинации от одного элемента к другому в соответствии с последовательностью функций элементов. Обратные связи в основном имеют контролирующую функцию для обеспечения качества управления процессами. Наиболее распространены информационные обратные связи, которые позволяют передавать информацию в направлении, противоположном функциональной последовательности. Наличие подобных связей характерно для адаптивных систем, способных приспосабливаться к изменяющимся внешним условиям или целенаправленно изменять эти условия.

Под структурой понимается множество всех возможных отношений между элементами внутри системы. Структурные свойства систем определяются характером и устойчивостью этих отношений. По характеру отношений можно выделить многосвязные, иерархические (многоуровневые) и смешанные структуры. Для иерархических структур характерно наличие управляющих (командных) элементов. В иерархических (многосвязных) структурах управляющие функции распределены между всеми элементами или группами элементов. Наличие иерархии, как правило, является признаком высокого уровня организации. Такие структуры более экономичны и в функциональном отношении. На рисунке 6 в виде графов приведены примеры различных типов структур.

Устойчивость межэлементных отношений характеризует стабильность пространственного расположения элементов. Наиболее устойчивы детерминированные структуры, т.е. такие, в которых отношения либо неизменны, либо изменяются по некоторому закону. Если отношения между элементами описываются вероятностными.

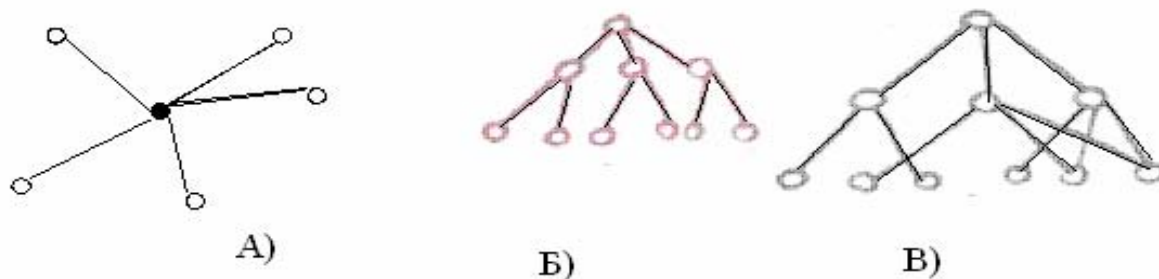


Рисунок 6 – Примеры типов структур (а - многосвязная, б - иерархическая, в – смешанная)

Свойства структуры зависят от действия внутренних сил, свойств элементов и связей. Элементы могут определенным образом объединяться в подсистемы.

Различают следующие типы подсистем (элементов):

- эффекторные, способные преобразовывать воздействие и воздействовать веществом или энергией на другие подсистемы, соседние системы и среду;
- рецепторные, способные преобразовывать внешние воздействия в информационные сигналы;
- неопределенные, свойства, которых не могут быть определены.

При определении степени влияния одних подсистем на другие важное значение приобретает понятие лидерства. Лидирующей подсистемой является та, которая, не имея детерминированного влияния со стороны какой-либо подсистемы, управляет большей частью других подсистем.

Понятие структуры включает также конфигурацию системы - пространственное расположение элементов, геометрические свойства. Различают точечную, линейную, плоскую, объемную и смешанную конфигурацию.

3.4 Информационное описание

Информационное описание характеризует степень организованности (или дезорганизованности), системы, описывает циркулирующие в системе информационные потоки, определяет способность системы предсказывать свою перспективу, свое будущее поведение.

Чем выше хаос в системе (т.е. чем выше S). Тем в большей степени ее поведение зависит от случайных факторов. В случае равновероятностей нахождения системы в любом из ее возможных состояний система полностью дезорганизована, так как она может перейти в любое состояние (хаотическая система).

Повышение упорядоченности означает увеличение зависимости между

факторами, определяющими поведение системы, к выделению предпочтительных состояний, что приводит к предсказуемости ее поведения во времени.

Именно в этом смысле информационное описание систем сближается с прогностическим описанием.

В открытых системах имеется непрерывный обмен информации между рассматриваемой системой и средой (внешними системами). Этот процесс обмена порциями информации называется информационным метаболизмом, который совместно с вещественным.

И энергетическим метаболизмом определяет полный метаболизм (обмен) системы.

Для искусственных систем информационное описание можно получать из функционального и морфологического (в этом проявляется единство функционального и информационного подходов анализа систем), однако для биологических и биотехнических систем из-за недостатка знаний свойств элементов и неполноты описания предпочтительнее получать информационное описание экспериментально или с помощью модельных представлений и пользоваться им как самостоятельным описанием.

Кроме того, существуют неустойчивые, близкие к хаотическим структуры, для которых информационное описание является единственным.

Для биологических систем понятие информационного взаимодействия и его отличие от энергетического и вещественного является предметом особого рассмотрения, для понимания которого необходимо остановиться на некоторых вопросах теории информации.

Теория связи применяет количественную меру уже имеющейся информации, т.е. меру количества сведений, содержащихся в некотором сообщении. Эта теория рассматривает способы кодирования сообщения, оптимизации, преодоления помех и т.п.

Количество информации I при выборе P_1 событий 0 равновероятных событий определяется как:

$$I = K \log P_0 / 1,$$

где K - численный коэффициент.

Если выбирается одно из P_a событий ($P_1=1$), то $I=K \log P_0$.

Такое определение информации обладает свойством аддитивности при перемножении независимых вероятностей. Так, результат бросания игральной кости дает количество информации $k \log 6$, а результат бросания двух костей дает вдвое большее количество информации $2k \log 6 = k \log 36$.

Для количественных расчетов следует определить основание логарифмов и значение K .

Пользуясь основанием 2 и принимая $K=1$, имеем $I = \log_2 P_0$.

Такое определение информации соответствует задачам с некоторым числом различных независимых выборов, каждый из которых сводится к двоичной альтернативе.

При этом $P_0=2^n$ и, значит, $I = \log_2 2^n = n$.

Единицей измерения информации служит один бит, отвечающий одному

выбору, из двух равновероятных возможностей ($P_0=2$).

Сколько бит информации содержит произвольное трехзначное число? Первая цифра имеет 9 различных значений от 1 до 9, вторая и третья - по 10 значений (от 0 до 9).

Тогда $I = \log_2 9 + 2 \log_2 10 = 9,3$ бит.

Принятое определение информации соответствует двоичной системе исчисления, в которой любое число записывается в виде степени числа 2 посредством чисел 0 и 1. Одна десятичная единица дает 3.32 бит, т.е. двоичная запись числа требует в среднем в 3,3 раза больше значащих цифр, чем десятичная.

Если исходные события не равновероятны и распределение вероятностей задано, то количество информации при выборе одного из событий меньше, чем в случае равновероятностей.

Задание распределения вероятностей означает наличие некоторой предварительной информации о сообщении, и эта предварительная информация вычисляется из получаемой. Рассмотрим пример, заимствованный из теории связи, позволяющий получить одну из центральных формул теории информации - формулу Шеннона.

Допустим, что имеется сообщение, содержащее G последовательных ячеек (слово из G букв), в каждой из которых может находиться одна из M букв (M - объем языка).

Пусть в сообщении содержатся N_1 букв А, N_2 букв Б и т.д.

Тогда: $G = \sum_{j=1}^M N_j$. Вероятность появления j -й буквы в слове $P_j = N_j/G$. При

этом выполняется условие нормировки вероятностей $\sum_{j=1}^M P_j$ Общее число

сообщений, т.е. последовательность букв M , буквенного языка, $P = G! / \prod_{j=1}^M N_j!$.

Логарифмируя это соотношение, получим информацию, содержащуюся в одном сообщении,

$$I = \log_2 P = \log_2 G - \sum_{j=1}^M \log_2 N_j = G \log_2 G - \sum_{j=1}^M N_j \log_2 N_j.$$

3.5 Прогностическое описание

Данный вид описания позволяет проследить путь развития системы в историческом аспекте. Это выявляет происхождение системы, отражает главные этапы в ее развитии, позволяет оценить перспективу дальнейшего существования.

При исследовании сложных систем часто только этот вид описания позволяет разобраться в особенностях структуры и функционирования, понять роль и назначение подсистем и на основе такого анализа получить более ясное представление о системе в целом. Особую роль играет прогностическое, а в случае биологических систем - генетико-прогностическое описание при исследовании живых систем и БТС.

Остановимся, прежде всего, на математических аспектах эволюции и эволюционных принципов отбора (эволюционных механизмов).

Когда анализируются различные процессы, которые принято называть эволюционными, то обнаруживается одна общая особенность: в процессе развития у эволюционирующих систем возникают новые качественные особенности. Однако возникновение нового качества трудно перевести на строгий формальный язык математики.

Возникает вопрос: когда мы имеем, а когда не имеем право называть новым качеством непрерывные или скачкообразные изменения характеристик развивающихся динамических систем. Теория систем использует понятие структуры или организации системы.

Когда говорят о структуре, то часто связывают с этим топологию множества стационарных состояний или других особых траекторий системы, в окрестности которых лежат изучаемые движения. Но организация, в том числе и структура особых решений, не остается постоянной, меняется во времени. Однако характерные времена изменения параметров организации системы имеют совсем иной порядок, нежели переменных характеризующих ее мгновенное состояние.

Классификация характеристик систем по характерным временам их изменения как раз и является удобным способом для определения "организации" и "структуры". С этими понятиями связывают те характеристики системы-характерные времена, изменения которых на несколько порядков больше, чем других ее характеристик.

Тогда переход системы в область состояний, где топология стационарных режимов будет иной, можно назвать появлением нового качества.

При анализе эволюционных процессов в неживой природе введение математического формализма опирается на определенные принципы отбора, в основе которых лежат законы сохранения массы, импульса, энергии и т.д. Эти законы сохранения связывают с различными вариационными принципами (Мопертюи, Гамильтона-Остроградского, Гаусса и др.).

Первоначально эти принципы быта установлены в механике, затем в других областях науки.

Вариационные принципы утверждают, что из множества возможных движений системы реализуются лишь те, которые доставляют определенным функционалам экстремальное (или стационарное) значение. Законы сохранения для этих функционалов являются уравнениями Эйлера.

Однако этих принципов часто бывает недостаточно для однозначного описания явлений, поэтому используют еще много иных, причем существуют и такие, которые не имеют каких-либо строгих обоснований, но их действие мы постоянно ощущаем.

В биологических системах одним из важнейших принципов отбора является второй закон термодинамики, который утверждает, что в замкнутой системе могут идти лишь те процессы, для которых прирост энтропии неотрицателен, $\Delta S \geq 0$. Существует еще крайне важный принцип, который называется принципом минимума диссипации энергии.

Он говорит, что если законы сохранения допускают несколько реализаций процесса, то в действительности реализуется лишь тот, у которого диссипация минимальна. Поскольку диссипация энергии определяется как $T \frac{ds}{dt}$ (где T - температура, S - энтропия, t - время), то его часто называют принципом минимума роста энтропии (принцип Пригожина-Гленсдорфа).

К числу принципов отбора относится и принцип устойчивости; он утверждает очевидный факт: мы наблюдаем лишь те из возможных реализаций процесса, которые, будучи в согласии с законами сохранения, имеют большое характерное время существования (из двух равновесий маятника мы видим устойчивое, карандаш мы наблюдаем в лежащем положении и т.д.)

При изучении различных процессов в биосистемах принципов отбора, описанных выше, уже недостаточно. Сегодня известны модели, хорошо объясняющие целый ряд эволюционных механизмов на примере эволюции белковых макромолекул.

Манфред Эйген объяснил механизм редупликации и естественного отбора.

Но живым системам свойственны еще механизмы обратной связи, механизмы самосохранения и адаптации. Разумеется, обратные связи должны находиться в согласии с законами сохранения, но являются ли они следствиями этих законов - этого мы пока не знаем. Чтобы те или иные эволюционные теории использовать, приходится рассматривать подобные принципы в качестве некоторых эмпирических обобщений.

Этот термин ввел В.И.Вернадский. Он означает признание того или иного факта, хотя ему нет объяснения.

Проиллюстрируем сказанное выше на языке математических соотношений.

Отметим, что математические модели эволюционных систем содержат различные эмпирические соотношения типа уравнения состояния.

Рассмотрим модель развивающейся системы.

Обозначим через $\mathcal{V}$ функцию, характеризующую состояние системы. Система характеризуется некоторым вектором параметров τ , который может меняться во времени по некоторому закону

$$d\tau/dt = f(t, \varphi, \dots),$$

где многоточие означает внутренние и внешние параметры системы, случайные факторы и т.п.

Развивающиеся системы подвержены различным внешним воздействиям, которые часто носят случайный характер. Учет этих факторов необходим, так как именно они определяют необратимость эволюции. Обозначим их через ξ . Таким образом,

$$\varphi = \varphi(t, \tau, x, \lambda, \xi),$$

где x - пространственные переменные; λ - собственные параметры системы (с учетом параметров среды).

Пусть φ удовлетворяет некоторому балансовому соотношению (закону сохранения)

$$d\varphi/dt = D\varphi,$$

где D будем называть эволюционным оператором. Он может иметь весьма сложную структуру. Ниже мы приведем несколько примеров, раскрывающих его природу. Сейчас отметим, что он зависит от параметров λ и случайных воздействий:

$$D = D(\dots, \lambda, \xi).$$

К этим условиям еще добавляют одно требование: каковы бы ни были уравнения они должны допускать тривиальное решение. Это требование имеет простой физический смысл: нечто из ничего произойти не может. Учитывать его необходимо при описании процессов в биосистемах.

Приведем пример простейших эволюционных уравнений, описывающих динамику биологических систем. Обозначим через $X(t, \tau)$ количество (биомассу) особей популяции некоторых микроорганизмов, обладающих в данный момент t некоторым свойством τ (например, способность вырабатывать какой-то фермент).

Количество особей предполагаем настолько большим, что функцию $X(t, \tau)$ можно считать дифференцируемой по обеим переменным.

Свойство τ присуще каждому данному микроорганизму и отличает один организм от другого. Поэтому τ естественно считать не зависящим от времени. Это означает, что уравнение для нашего случая будет иметь вид

$$d\tau/dt = 0$$

Популяцию будем считать точечной, от пространственной переменной. Составим теперь эволюционное уравнение, которое должно иметь смысл закона сохранения.

Производная $-dx/dt$, т.е. изменение в единицу времени биомассы микроорганизмов, обладающих свойством τ , зависит прежде всего от коэффициента рождаемости, который запишем в виде $a(t, \tau, s) + \xi \tau s$, где $a(t, \tau, s)$ - количество особей, обладающих свойством τ родившихся в единицу времени от одной особи, обладающей свойством S , а ξ, τ, s - случайная величина, отражающая случайный характер законов генетики и мутаций. Кроме того, мы должны учесть естественную смертность. Ее коэффициент будем представлять в виде $(m(t, \tau) + \xi \tau)$ второе слагаемое учитывает случайные факторы гибели организмов.

Таким образом, если не учитывать внутривидовой борьбы (конкуренцию за ограниченные ресурсы), то закон сохранения - уравнение баланса численности - мы можем представить в следующей форме:

$$dx/dt = -[m(t, \tau) + \xi \tau] x(t, \tau) + \int_0^T [a(t, \tau, s) + \xi \tau s] x(t, s) ds$$

Здесь T - предел интегрирования, т.е. максимальное значение параметра τ (в частности, может быть $T = \infty$).

Предположим, что $G, N_j \gg 1$ и применима формула Стирлинга.

Тогда

$$I = -G \sum_{j=1}^M N_j / G \log_2 N_j / G = -G \sum_{j=1}^M P_j \log_2 P_j.$$

Мы получим формулу Шеннона. Количество информации в расчете на одну букву сообщения

$$I = I/G = - \sum_{j=1}^M P_j \log_2 P_j.$$

Эта формула справедлива во всех случаях, когда имеется дискретный или непрерывный спектр вероятностей "заселенности" различных состояний системы. В случае реальных сообщений формула Шеннона дает оценку сверху количества информации, так как в нем могут иметься дополнительные ограничения. Например, языковой текст содержит меньше (чем по Шеннону) информации, так как в нем вероятности последовательного появления букв взаимосвязаны - они образуют цепи Маркова, т.е. вероятность появления данной буквы зависит от того, какие буквы ей предшествовали. Так, в русском языке появление гласной вслед за гласной гораздо менее вероятно, чем после согласной. Любая корреляция событий уменьшает количество информации, содержащейся в сообщении о них.

Наряду с изложенным подходом теория информации имеет и прямое физическое содержание, тесно связанное с понятием энтропии системы. Подобно количеству информации, энтропия S выражается как логарифм термодинамической вероятности W - числа микросостояний, реализующих данное макросостояние системы:

$$S = KB \ln W; \text{ здесь } KB = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К - постоянная Больцмана.}$$

Сопоставим эту формулу с определением информации, представленной в виде $I = K \ln P$. Это сопоставление формально позволяет выражать информацию в энтропийных единицах, что имеет глубокий физический смысл. Действительно, уменьшение числа микросостояний системы означает увеличение количества информации о системе и одновременно уменьшение энтропии. Таким образом, информация эквивалентна неэнтропии - энтропии со знаком минус. Пусть число микросостояний убывает от P_0 до P_1 . Количество получаемой при этом информации составляет:

$$I = k \ln(P_0/P_1) = S_0 - S_1 = -(S_1 - S_0) = -\Delta S$$

Один бит информации эквивалентен $KB \ln 2 = 10^{-16}$ т.е. это весьма малая величина.

В толковании информации нет субъективизма. Получение информации о системе требует воздействия на нее. Нельзя получить информацию о событии в изолированной системе. Любой эксперимент, дающий информацию о системе, приводит к увеличению энтропии системы или ее окружения, причем в соответствии со вторым началом термодинамики это увеличение энтропии всегда больше количества получаемой информации ("коэффициент полезного действия" такого преобразования высокий). Информация оплачивается энтропией.

Так, жидкость обладает большей энтропией, чем кристалл, ибо ее состояние может быть реализовано большим числом способов распределения молекул, чем состояние кристалла.

При кристаллизации жидкости мы получаем информацию, о расположении молекул в узлах кристаллической решетки; для этого жидкость надо охладить, что невозможно в адиабатических условиях.

Для ее охлаждения необходим холодильник, температура и энтропия которого будут возрастать. Возрастание энтропии холодильника превысит получаемую о кристалле информацию, выраженную в энтропийных единицах.

Анализируя второе начало термодинамики, Максвелл предложил фантастический мысленный опыт, вошедший в историю под названием "демон Максвелла".

Представим себе сосуд с газом, разделенный на две части перегородкой с дверцей. Дверцей управляет "демон" он пропускает в свою половину быстрые молекулы и выпускает из нее медленные. В результате возникает разность температур между двумя половинами сосуда, что противоречит второму началу термодинамики, так как демон не затрачивает энергии.

Брюллюэн рассмотрел этот парадокс с позиций теории информации. Чтобы увидеть молекулу и понять, быстрая она или медленная, демон должен ее "осветить", т.е. располагать источником излучения, не находящимся в равновесии с окружающей средой.

Такой источник имеет меньшую энтропию, чем среда, т.е. обладает негэнтропией, которую демон превращает в информацию.

Полученная информация используется для понижения энтропии газа, т.е. для увеличения негэнтропии. Расчет полного изменения энтропии показал, что энтропия системы в целом не уменьшается, а возрастает, значит, противоречия со вторым началом нет.

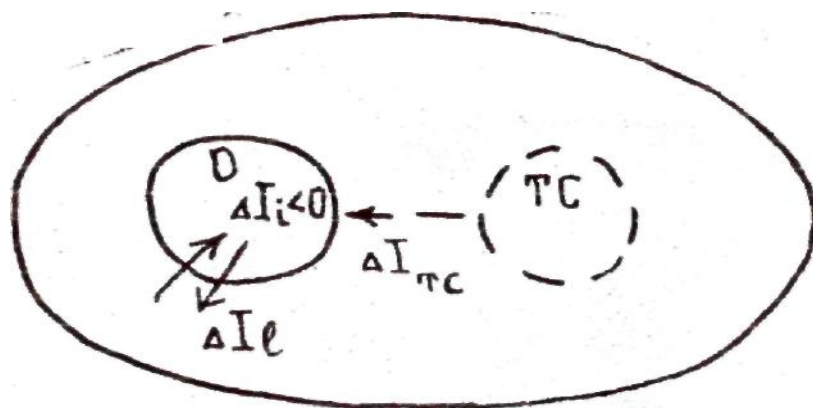
Оценить количество информации, содержащейся в клетке I: в организме, трудно. Если считать, что информация, обеспечивающая биологическую функциональность, полностью определяется атомной структурой, то оказывается, что для отбора одного атома из всего набора атомов клетки и задания его положения с точностью, определяемой тепловыми колебаниями при температуре тела, необходимо ≈ 25 бит, на одну клетку *E. coli* - порядка 10^{10} бит, на одну зиготу млекопитающего $\approx 10^{15}$ бит, на человеческий организм в целом порядка 10^{25} бит.

Увеличение информации при развитии специального рассмотрения. Так как развивающийся организм – открытая система, то общее изменение информации (равно как и энтропии) можно представить в следующем виде:

В обоих случаях возрастания упорядоченности возрастание информации перекрывается увеличением энтропии окружающей среды (холодильника при кристаллизации).

Рассмотрение информационного метаболизма в открытых развивающихся системах позволяет сделать ряд важных выводов для практики.

Пусть имеется объект *O* (ткань, орган, физиологическая система), находящийся в информационном взаимодействии со средой (рисунок 7).



О - объект, ТС - технические средства
Рисунок 7 – Схема процессов обмена информацией

В стационарном состоянии объекта общее изменение информации (негэнтропии) равно нулю: $\Delta I = 0 = \Delta I_i + \Delta I_e$, т.е. имеется соответствие между интенсивностями процессов доставки и утилизации информации ($\Delta I_i = -\Delta I_e$).

Предположим, что условия функционирования B нарушены и в предельном случае отсутствует поток обмена информацией со средой: $\Delta I_e = 0$. В этом случае $\Delta I = \Delta I_i < 0$, и, значит, преобладают процессы дезорганизации, вследствие которых объект переходит в патологическое состояние (деградирует).

Возвратить объект в стационарное состояние можно с помощью технической системы (ТС), информационный поток между которой и объектом соответствует потоку обмена между объектом и средой. Однако пребывание объекта некоторое время в стадии деградации сместило его общее состояние (например, информацию, в нем содержащуюся) в сторону уменьшения. Следовательно, новое стационарное состояние отличается от исходного, а чтобы перевести объект в исходное состояние, он должен развиваться в течение некоторого организма из зиготы требует времени

Таким образом, в течение интервала времени «реабилитации» характер внутривидовой конкуренции может быть различным. В качестве примера рассмотрим лишь тот случай, когда конкурентные особенности проявляются в увеличении смертности. Коэффициент смертности с учетом конкуренции B^* будем представлять в виде:

$$-\{m(t, \tau) + \xi \tau + \int_0^t B^*(t, \tau, s) x(t, s) ds\}$$

Если необходимо с помощью эволюционного уравнения прогнозировать численность микроорганизмов и структуру популяции, то необходимо задать начальное распределение организмов по переменной τ :

$$x(0, \tau) = \Psi(\tau)$$



Рисунок 8 – Качественный вид функции

Функция конкуренции V^* играет важнейшую роль, в развитии эволюционного процесса, можно сказать, что она является его двигателем. При фиксированных t и τ ее качественный вид изображен на рисунке 8.

Функция V^* и ее единственный максимум s^* отвечает свойству микроорганизмов, которое естественно назвать свойством наибольшей приспособленности.

Остановимся более подробно на понятии структуры и организации эволюционирующей системы. Если мы хотим дать строгое определение структуры системы, то увидим, что сделать это отнюдь не просто.

Тем не менее, условимся называть структурой системы или ее организацией совокупность таких характеристик и внутренних связей, которые "практически неизменны", т.е. характерное время изменения которых намного больше характерного времени других процессов, связанных с функционированием системы.

Рассмотрим систему, эволюция которой описывается уравнением

$$Dx/dt = Y(x, \lambda, \xi),$$

где X - вектор уже фазовых координат; λ - параметр системы; ξ - случайное воздействие; Y - некоторый нелинейный оператор. При $\xi(t) = 0$ система может находиться в стационарных состояниях, которые определяются из уравнения

$$Y(x, \lambda, 0) = 0,$$

Множество решений уравнения и их зависимость от λ будем относить к структуре (организации) системы.

Развитие процесса из некоторого состояния X_0 мы можем иногда представить себе, не проводя сложных вычислений, связанных с анализом уравнения. Зная устойчивые стационарные состояния и области их протяжения, мы можем сказать, что с течением времени наш процесс будет локализован в окрестности того или иного стационарного состояния.

Так как система подвержена действию случайных возмущений, то постановка вопроса о точном воспроизведении процесса может оказаться практически неинтересной. В то же время информация о области локализации движения окажется вполне достаточной для решения разнообразных технических проблем.

Структура стационарных состояний системы зависит от ее параметров и изменяется вместе с их изменением. Вернемся снова к уравнению и проследим зависимость структуры системы от параметра λ .

Предположим, что значению $\lambda = \lambda_0$ соответствует стационарное состояние $x=x_0$.

Используем уравнение для определения зависимости этого состояния от λ . Вычисляя полную производную, имеем

$$dY/d\lambda = dy/dx * dx/d\lambda + dY/d\lambda$$

Если $Y(x, \lambda, \xi)$ - некоторая векторная функция вектора x , то dY/dx - матрица. Если ее определить

$$| (dY/dx)_{x=x_0, \lambda=\lambda_0} | \neq 0$$

то уравнение можно разрешить относительно $dx/d\lambda$:

$$dx/d\lambda = -dY/d\lambda (dY/dx)^{-1}$$

Решая (например, численно) задачу Коши для этого обыкновенного дифференциального уравнения, мы сможем найти функцию $x=x(\lambda)$ которая при $\lambda = \lambda_0$ принимает значение $x = x_0$. Но проследить изменение стационарного состояния при изменении параметра мы сможем до тех пор, пока производная, которая является функцией x и λ , не обратится в нуль. В этих точках нарушается единственность решения дифференциального уравнения. Они называются точками бифуркации, или ветвления решений (см. рисунок 9).

Из точки бифуркации может исходить произвольное число ветвей решения уравнения.

Эти точки играют огромную роль в эволюции системы, и множество точек бифуркации мы договорились связывать с характеристикой организации системы. Поведение системы, ее функционирование будет существенно зависеть от того, больше или значения.

Вернемся к системе и предположим, что в начальный момент она была в некотором состоянии X_0 .

Пусть эта точка

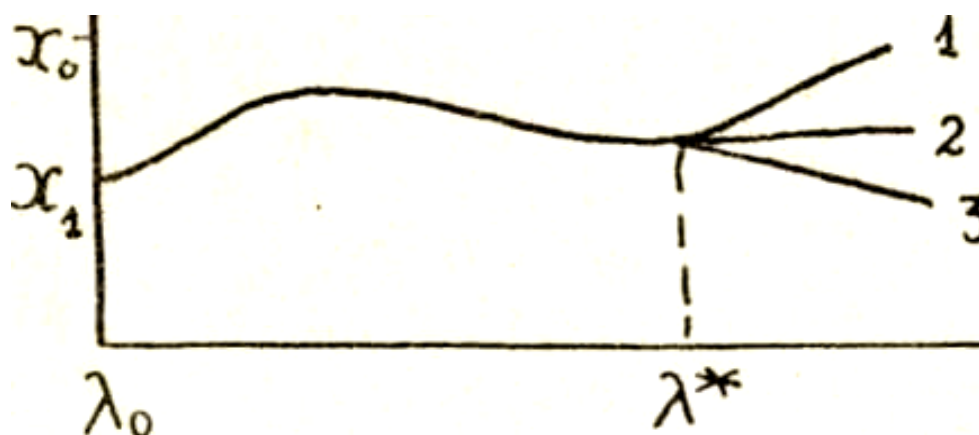


Рисунок 9 – Зависимость стационарных состояний развивающейся системы от параметров (λ^* - точка бифуркации)

Это значит, что в отсутствие возмущений ξ система с точечным временем будет стремиться к состоянию $x_1(\lambda)$, а при достаточно слабых воздействиях

будет находиться в его окрестности. Если λ меняется, то мы можем вычислить изменение $x/(\lambda)$. Однако эти рассуждения имеют смысл до тех пор, пока значение параметра λ не достигло своего бифуркационного значения λ^* .

Если произойдет бифуркация (т.е. если окажется $\lambda > \lambda^*$), то ничего сказать о дальнейшей эволюции системы на основании ее предыстории мы не можем. Если система оказывается в окрестности точки бифуркации, то в окрестности какой из ветвей - 1, 2 или 3 будет проходить дальнейшая эволюция, предсказать в принципе невозможно. Это определяет сколь угодно малое случайное возмущение (некоторые ветви эволюции могут оказаться заведомо неприемлемыми, если они неустойчивы).

В подобной непредсказуемости эволюционного процесса состоит одна из основных его особенностей. Эта непредсказуемость - следствие единства случайного и необходимого. Структура системы, топология ее стационарных состояний и распределение бифуркационных точек - это следствие принципов отбора, основанных на законах сохранения и др. Объяснить любой эволюционный процесс нельзя без учета его естественной стохастичности, именно она определяет его основные особенности.

Таким образом, природа, ее законы как бы определяют каналы эволюции. Вдоль этих каналов и происходит развитие в период "спокойной эволюции", когда за счет медленного изменения параметров происходит постепенное изменение системы. Но вот однажды эволюционирующая система выходит на пересечение этих каналов и тогда меньше параметр λ бифуркационного дальнейший ход развития становится непредсказуемым, по какому из этих каналов будет происходить дальнейшее развитие изучаемого процесса, может определить самое ничтожное случайное воздействие.

Такая трактовка эволюционного процесса снимает вопрос об обратимости эволюции - эволюция необратима.

Управление в эволюционирующих системах должно удовлетворять условиям особого рода. Проиллюстрируем это на примере. Пусть имеется популяция, ограниченная внешними ресурсами, динамика численности которой описывается уравнением $\dot{x} = ax(k-x)$

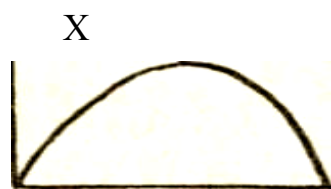


Рисунок 10 - Скорость изменения численности популяции уравнения

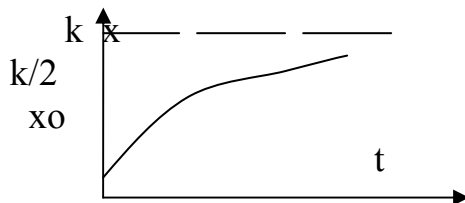


Рисунок 11 - Решение уравнения

При любом исходном состоянии популяции ее численность монотонно стремится к насыщению (рисунок 12).

Пусть управление в популяции состоит в том, что из нее постоянно изымается некоторое количество особей. Рассмотрим два варианта эксплуатации популяции:

- изъятие в единицу времени постоянного числа особей;
- изъятие в единицу времени постоянной доли особей. В обоих случаях имеем следующие соотношения:

$$X = ax(K-x) - f = F(x) - S1(X),$$

$$X = ax(K-x) - f = F(x) - S2(X)$$

где $F(x)$ -невозмущенное состояние; $S_i(x)$ - управление.

Рассмотрим зависимость динамики популяции от интенсивности промысла. Удобно на одном графике представить функции $F(x)$ и $S_i(x)$, так как абсциссы точек их пересечения соответствуют стационарным (устойчивым или неустойчивым) состояниям численности популяции, находящейся под действием заданного режима управления (эксплуатации).

Ординаты точек пересечения соответствуют числу изымаемых особей в единицу времени ("урожаю").

При малой интенсивности эксплуатации $f < f_{кр}$. У популяции два состояния равновесия L' и K' , Нетрудно убедиться, что состояние L' неустойчиво, а K' - устойчиво. В этом случае существует нижняя критическая численность популяции; если начальная численность меньше этой критической, то популяция обречена на вымирание.

Если же интенсивность промысла велика ($f > f_{кр}$), то равновесия у популяции нет вовсе. Популяция не может противостоять промыслу и обречена на вымирание при любых начальных численностях. В граничном случае $f = f_{кр}$ устойчивое и неустойчивое состояние сливаются, образуя полуустойчивое состояние.

Пусть популяция подвергается промыслу и находится в устойчивом состоянии K' . Рассмотрим зависимость устойчивого состояния от f -интенсивности промысла. По мере роста f устойчивая равновесная численность K' сначала монотонно уменьшается, достигает критического значения, $K_{кр}$ после чего скачкообразно падает до нуля. Критическое значение "урожая" $S_{кр}$ в

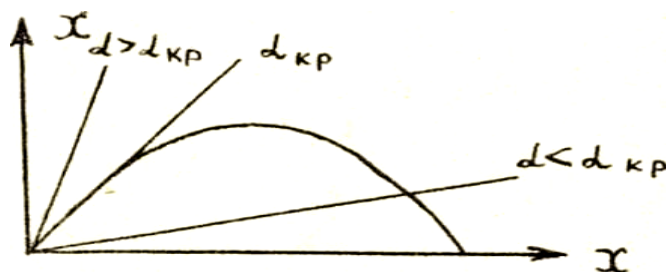


Рисунок 12- Варианты расположения функций $F(x)$ и $S2(X)$

этом случае совпадает с максимальной скоростью роста популяции, не подверженной промыслу.

Если система подвергается циклическому промыслу, то насколько она близка к критической численности, можно судить по времени возвращения к

исходному состоянию; чем оно больше, тем мы ближе к критической численности. Поэтому такой режим управления (промысла) трудно назвать оптимальным.

Этот вариант более предпочтителен, ибо позволяет организовать промысел так, чтобы популяция не вымерла.

В заключение этого раздела отметим, что в биотехнических системах параметры эволюционирующей системы зависят от параметров воздействия (частоты, интенсивности, времени и т.д.) технической части БТС на биологическую, что в свою очередь может привести к изменению характера бифуркационной картины: появляются новые точки бифуркации, изменяется число ветвей развития системы в точках бифуркаций, меняется характер устойчивости ветвей. Следовательно, зная зависимость последних от этих параметров, можно управлять эволюцией биологической системы в желаемом направлении.

4 Методология синтеза БТС

В этой главе рассмотрим методические подходы, применяемые при разработке НТО, причем мы не будем стремиться дать строгорегламентированные рецепты синтеза, сосредоточим внимание на идейной стороне вопроса.

4.1 Принципы построения обобщенных критериев

Сложность проблем, возникающих при проектировании и анализе больших автоматизированных биотехнических систем, привела к тому, что вопросы формирования критериев для анализа и синтеза систем перестали быть только искусством, основанным на биоинженерной интуиции, а превратились в отдельное научное направление, важность которого возрастает с каждым днем.

На этапе проектирования системы трудности по построению обобщенных критериев возникают в первую очередь из-за того, что существует много критериев, не всегда согласованных между собой, а порой и противоречивых. В то же время выбранный критерий (или система критериев) является основой для принятия решений по структуре и алгоритмам системы из некоторого множества, которое будем называть множеством альтернатив. Общая постановка задачи решения имеет вид:

1) имеется некоторое множество альтернатив (вариантов построения системы A), причем альтернатива (a) характеризуется определенной совокупностью свойств $a_1, a_2, \dots, a_n$;

2) имеется совокупность критериев $q=(q_1, q_2, \dots, q_n)$ отражающих количественно множество A системы, т.е. каждая альтернатива характеризуется вектором

$$Q(a)=[q_1(a_1), q_2(a_2), \dots, q_n(a)];$$

3) необходимо принять решение о выборе одной из альтернатив, причем решение называется простым, если выбор производится по одному критерию, и сложным, если выбранная альтернатива не является наилучшей по какому-либо одному критерию, но может оказаться наиболее приемлемой для всей их совокупности;

4) задачи принятия решения по выбору альтернативы на множестве критериев формально сводятся к отысканию отображения, которое каждому вектору q ставит в соответствие действительное число $E=\varphi(q)=\varphi(q_1, q_2, \dots, q_n)$ определяющее степень предпочтительности данного решения. Оператор φ называется интегральным (обобщенным) критерием. Это позволяет упорядочить решения, по степени предпочтительности. Рассмотрим основные методы формирования обобщенных критериев.

1 Наиболее простой метод построения интегрального критерия состоит в том, что один из критериев q_k принимается в качестве обобщенного, а все остальные учитываются в виде ограничений, определяющих область допустимых альтернатив:

$$E = qk, qi \geq q_i^0, i = 1, 2, \dots, e;$$

$$Qi \leq q_i^0, i = e + 1, \dots, n; i \neq k,$$

где $q^0 = (q_1^0, q_2^0, \dots, q_n^0)$ - вектор, определяющий допустимые значения по всем критериям.

В этом случае сравнение альтернатив по векторному критерию эффективности сводится к принятию решений со скалярным критерием, а все остальные критерии переводятся в разряд ограничений. Альтернативы, не укладывающиеся в заданные границы, сразу же отбрасываются как неконкурентоспособные. Полученные рекомендации, очевидно, зависят от того, как будут выбраны ограничения для вспомогательных критериев.

В такой формулировке понятие оптимального решения при выборе альтернатив формируется как задача математического программирования:

макс [qk(a)] либо min [qk(a)] при

$$qi(a) \geq q_i^0, i = 1, 2, \dots, e;$$

$$qi(a) \leq q_i^0, i = e + 1, \dots, n; i \neq k.$$

В соответствии с данным подходом выбор варианта построения информационно-справочной медицинской системы определяется, например, минимальным временем ответа на запрос пользователя, заданной стоимостью системы или ее простоями и т.д. Основным недостатком предложенного подхода является то, что альтернативы оцениваются только по одному критерию, а значения других критериев, если они удовлетворяют ограничениям, не учитываются. Достоинство - то, что это сравнительно простой метод построения критерия.

2 В ряде случаев обобщенный показатель эффективности строят на основе использования аддитивных и мультипликативных преобразований над выбранной системой частных критериев qi . При использовании аддитивных преобразований

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^n biqi,$$

где $biqi$, - коэффициенты, причем положительные при тех критериях, которые стремятся максимизировать, и отрицательные у тех, которые стремятся минимизировать, при условии, что ищется E_{max}

Если используется мультипликативное преобразование, обобщенный критерий формируется следующим образом:

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \prod_{i=1}^n q_i^{\lambda_i},$$

где λ_i - вещественные числа.

Недостатком аддитивных и мультипликативных преобразований является то, что существует неограниченная возможность компенсации. Для ее уменьшения вводятся ограничения, определяющие наименьшие (наибольшие) допустимые значения частных критериев оптимальности, и поиск оптимальной

альтернативы производится на множестве альтернатив, удовлетворяющих этим ограничениям.

3 В некоторых случаях построение обобщенного критерия основано на том, что качество альтернатив оценивается расстоянием между идеальной и рассматриваемой альтернативами, и чем ближе качество рассматриваемой альтернативы к идеальной, тем она лучше. В качестве идеальной обычно принимается альтернатива которой соответствует вектор $q^0 = (q_1^0, q_2^0, \dots, q_n^0)$,

где компонентами являются максимальные значения для максимизируемых и минимальные значения для минимизируемых критериев оптимальности.

Тогда обобщенные критерии могут быть сформулированы в виде:

а) суммы абсолютных отклонений для одномерных критериев

$$E = \varphi(q) = \sum_{i=1}^e (q_1^0 - q_i) + \sum_{i=e+1}^n (g_i - q_i),$$

где $q_i, i=1, 2, \dots, e$ – частные критерии, подлежащие максимизации и для $i=e+1, \dots, n$ – минимизации;

б) суммы относительных отклонений для частных критериев различной размерности

$$E = \varphi(q) = \sum_{i=1}^e (q_1^0 - q_i / q_1^0 - q^{\min}) + \sum (g_i - q_i^0 / q^{\max} - q_i^0),$$

где $q^{\min}, q^{\max}$, – наименьшие значения для максимизируемых и наибольшие для минимизируемых критериев;

в) наибольшего абсолютного отклонения от идеального для частных критериев одной размерности

$$E = \varphi(q) = \max (q_1^0 - q_i);$$

г) наибольшего относительного отклонения от идеального для частных критериев различной размерности

$$E = \max (q_1^0 - q_i / q_1^0 - q^{\min}); (q_j - q_j^0 / q_j^{\max} - q_j^0),$$

где $i = 1, 2, \dots, e; j = e + 2, \dots, n$.

Критерии также обладают неограниченными возможностями компенсации, а критерии на дискретном множестве альтернатив могут дать неверные результаты выбора.

Рассмотренные критерии на основе формальных правил не учитывают относительной ценности частных критериев, и в этом их основной недостаток.

4 Рассмотрим случай аддитивного преобразования с весовыми коэффициентами b_i :

$$E = \sum_{i=1}^n b_i q_i$$

Значения b_i отражают полезность (ценность) критерия q_i . Определение значений b_i производится в результате предварительного опроса группы из m экспертов. Один из путей получения значений b_i – состоит в следующем: каждый j эксперт вначале определяет набор чисел C_{ij} , отражающих его мнения

об относительной ценности i -го критерия, причем C_{ij} записываются в произвольном масштабе. Затем они масштабируются, в результате получается

$$B_{ij} = C_{ij} / \sum_{i=1}^n C_{ij},$$

$$\text{где } \sum_{i=1}^n B_{ij} = 1$$

Окончательные значения коэффициентов B_i - вычисляются в результате определения $B_{ij}(j=1,2,\dots,m)$ всеми экспертами. Если компетентность экспертов в группе считается одинаковой, то

$$B_i = 1 / M \sum_{j=1}^m C_{ij}$$

Если же компетентность j эксперта оценивается числом q_j ,

$$B_i = \sum_{j=1}^m q_j B_{ij},$$

$$\text{где } \sum_{j=1}^m q_j = 1$$

Рассмотрим основные методы формирования коэффициентов C_{ij} отражающих мнение j -го эксперта ценности i -го – критерия.

Будем считать, что вначале каждый эксперт провел ранжировку всех критериев, т.е. упорядочил их в соответствии с относительной ценностью так, что на первом месте находится главный критерий.

Метод ранжировки. В соответствии с данным методом производится нумерация всех критериев полученного ряда, причем все неразличимые критерии, которые оказались на одном месте, нумеруются в произвольном порядке. В результате этой процедуры каждый критерий получает свой номер. Ранг критерия определяется его номером, если на его месте в ряду отсутствуют другие критерии. Если на одном месте находится несколько неразличимых критериев, то ранг каждого из них равен среднему арифметическому, их новых номеров.

Пример - Пусть имеется ряд упорядоченных критериев $q_1, q_2, \dots, q_8$ для j -эксперта:

$$q_3; \left| \frac{q_5}{q_6} \right|; \left| \frac{q_2}{q_4} \right|; q_8; q_7; q_1$$

Переход от рангов к C_{ij} производится на основе гипотезы о линейной связи между рангом и относительной ценностью критерия. Чем ниже ранг, тем более важен критерий. Определение коэффициентов C_{ij} для произвольного $r_{ij}(1 \leq r_{ij} \leq n)$ производится по формуле

$$C_{ij} = 1 - (r_{ij} - 1/n)$$

Отметим, что гипотеза о линейной зависимости между рангом и полезностью критерия делает оценку C_{ij} весьма грубой, но сравнительно достоверной.

Метод непосредственной оценки. В основу этого метода положена менее жесткая гипотеза об убывающей (но не обязательно линейной) связи между рангом и относительной ценностью критерия. Вначале каждый j -й эксперт производит упорядочение всех критериев в соответствии с методом ранжировки.

После этого он эвристическим путем дает численную оценку относительной полезности каждого критерия по сравнению с самым важным, которому присваивается значение, равное 1. Всем неразличимым критериям присваивается одинаковое C_{ij} .

В результате каждому критерию в упорядоченном ряду вместо рангов сразу присваиваются числа C_{ij} , совокупность которых должна образовать невозрастающую последовательность.

При использовании метода непосредственных оценок имеется возможность более дифференцированно подходить к важности отдельных критериев, но при этом понижается достоверность полученной информации.

Метод последовательных предпочтений. Алгоритм последовательных предпочтений предназначен для повышения достоверности информации, получаемой от экспертов методом непосредственных оценок. Он позволяет каждому эксперту провести самоконтроль суждений на основе сопоставления трех подходов: ранжирования критериев, числовой оценки их полезности и сравнения $(n-2)$ пар специально подобранных абстрактных объектов.

Последняя процедура, отражающая суть метода последовательных предпочтений, основана на следующей гипотезе: если ценность i -го критерия объекта некоторого класса для j -го эксперта есть C_{ij} , то ценность объекта по всем критериям определяется как $\sum_{i=1}^n C_{ij}$. В процессе коррекции оценок эксперт должен ответить на ряд вопросов: для $i=1, 2, \dots, (n-2)$ - какой из двух объектов лучше - обладающий только i -м критерием или совокупностью из $(i+1; i+2, \dots, n)$ критериев? В зависимости от ответа на i -й вопрос составляется одно из трех соотношений:

$$C_{ij} R \sum_{k=i+1}^n C_{ik}, \text{ где } R \in \{<, >, =\}$$

Далее производится последовательная проверка каждого из этих условий, начиная с последнего, на соответствие ранее выбранным оценкам C_{ij} и их ранжировке. При выявлении противоречий в i -м условии эксперт должен либо изменить знак соотношения R , либо откорректировать значение C_{ij} . В последнем случае он обязан убедиться в том, что не оказалось нарушенной первоначальная ранжировка критериев. При нарушении ее необходимо либо изменить порядок критериев, либо откорректировать значение C_{ij} .

После направления последней оценки C_{ij} ее значение может отличаться от единицы. Следует отметить, что в этом случае психологические ограничения не

дают использовать метод последовательных предпочтений, когда число рассматриваемых критериев превышает семь.

Рассмотрим пример. Пусть некоторый эксперт выставил ряд коэффициентов C_i , отражающих его мнение об относительной ценности шести частных критериев некоторого объекта

Для уточнения оценок коэффициентов C_i эксперту предлагается сравнить четыре пары абстрактных объектов. Каждому объекту соответствует вектор $x=(x_1, x_2, \dots, x_6)$, где $x_i=(0,1)$, 1 - учитывает полезность i -го критерия, 0- не учитывает. Тогда имеем:

- 1) 100000 хуже 01111;
- 2) 010000 лучше 00111;
- 3) 001000 хуже 000111;
- 4) 000100 лучше 000011;

Эксперт вынес систему решений. Соотношение « x_1 лучше x_2 » соответствует большей предпочтительности для эксперта объекта x^1 по сравнению с x^2 .

Непротиворечивость принятых решений должна подтверждаться выполнением системы неравенств: $C_1 < \sum_{k=2}^6 C_k; C_2 < \sum_{k=3}^6 C_k; C_3 < \sum_{k=4}^6 C_k; C_4 > C_5 + C_6$.

Проверяем неравенства с последнего (четвертого); 4-е и 3-е неравенство выполняются, а 2-е - нет. Значит надо откорректировать значение C_2 причем $C_2=2$. При этом надо изменить и C_1 таким образом, чтобы, во-первых, сохранился первоначальный порядок критериев, определенных экспертом, т.е. $C_1 > C_2$, и, во-вторых, выполнялось 1-е неравенство; примем, например, $C_1=2,5$. В результате применения метода последовательных предпочтений получим ряд непротиворечивых оценок, которые в дальнейшем необходимо масштабировать.

При использовании всех рассмотренных выше методов возникает естественный вопрос: насколько можно доверять результатам оценки коэффициентов C_{ij} , полученных из субъективных мнений экспертов? Достоверность результатов экспертного анализа чаще всего характеризуется степенью согласованности данных ими оценок. Для количественной оценки степени согласованности часто используют коэффициент конкордации

$$W = 12S / m^2(n^3 - n),$$

где $S = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m r_{ij} - 0,5m(n+1) \right]^2$ r_{ij} - место которое заняло i -е свойство в ранжировке j -м экспертом.

Коэффициент W позволяет оценить, насколько согласованы между собой ряды предпочтительности, построенные каждым экспертом. Его значение находится в пределах $1 \geq W \geq 0$, причем $W=0$ означает полную противоположность, а $W=1$ - полное совпадение ранжировок. Практически достоверность считается хорошей, если $W=0,7 \dots 0,8$.

В биологии и медицине при диагностике и анализе патофизиологических процессов широко используется понятие "состояние функциональной системы или органа человека". Понятие часто размытое и неопределенное. Рассмотренные выше методы позволяют на основе определения множества информативных показателей системы q_i характеризовать ее с помощью интегрального показателя эффективности E .

Особенностью БТС является необходимость учета не только биологических, но и технических частных критериев эффективности. Отсюда следует, что критерий E должен иметь смешанную медико-техническую структуру.

Это определяет требования к составу и уровню квалификации экспертной группы в которой должны присутствовать и медики, и специалисты по медицинской технике. В связи с этим отметим два подхода к формированию критерия эффективности биотехнических систем.

Первый из них применяется в тех случаях, когда удастся медико-биологическую задачу повышения эффективности БТС сформулировать как соответствующую физическую или техническую задачу, т.е. перевести на формальный язык (язык формул и соотношений) медико-биологическое понятие «эффективность БТС».

Применение данного подхода возможно только после того, как построена адекватная модель биологической системы и большинство системных физиологических параметров допускает интерпретацию в соответствующих параметрах модели.

Преимуществом данного подхода является возможность проведения оптимального, с позицией обобщенного критерия, режима функционирования БТС. Этот подход целесообразно использовать в тех БТС терапевтического типа, искусственных органах, где осуществляется воздействие на биообъект, определяющее его текущее состояние. Второй подход основан на том, что качество выполнения целевой, функции системой оценивается по достижении биообъектом заданных параметров. Он предполагает наличие модели "отклика" объекта на воздействие (модель адаптивного поведения). Выполнение функции определяется с помощью сравнения ожидаемого изменения параметров и реально регистрируемых.

В качестве иллюстрации области применения рассмотренных методов формирования обобщенных критериев сложных систем рассмотрим поэтапное формирование целевой функции. БТС "Искусственное сердце" с автономным источником питания.

Одной из важнейших характеристик такой БТС, определяющей ресурс ее работы, является коэффициент преобразования энергии в биомеханическую энергию движущейся крови. Требование максимизации коэффициента полезного действия привода БТС "Искусственное сердце" требует минимизации работы, совершаемой БТС в период изгнания. Эта работа складывается из работы против сил внешнего давления q_1 и кинетической энергии движущейся крови q_2 .

Первый вариант целевой функции

$$E_1 = b_1 q_1 + b_2 q_2,$$

где b_1 и b_2 - коэффициенты, зависящие от конструктивных особенностей желудочков и системы управления БТС и отражающие относительные энергозатраты системы на изгнание крови и формирование заданного закона изгнания (затраты на управление). В такой постановке задача сравнительного анализа того или иного варианта построения системы может быть сформулирована в виде $\min\{E_1\}$ при вводимых физиологических ограничениях типа: давление крови не менее заданного, расход крови не менее заданного, гемолиз крови не более заданного и т.п.

На следующем этапе имеется возможность привести ограничения в разряд частных критериев эффективности системы. Рассмотрим факторы, определяющие гемолиз крови в желудочке искусственного сердца. Эти факторы можно разделить на гемолиз, определяемый свойствами материала камеры желудочка q_3 (адгезионные свойства материала камеры и ее геометрия - отсутствие застойных зон крови), и гемолиз, обусловленный механическими факторами движущейся крови (скорость сдвига у стени желудочка q_4).

В результате следующее приближение целевой функции БТС "Искусственное сердце" имеет вид:

$$E_2 = b_1 q_1 + b_2 q_2 + b_3 q_3 + b_4 q_4.$$

Для определения коэффициентов b_i применимы рассмотренные ранее методы. В результате этих процедур имеется критерий, позволяющий численно оценивать различные варианты конструкторской и управленческой реализации системы.

Отметим, что в состав экспертной группы при применении метода ранжировок или последовательных предпочтений должны войти специалисты по системе кровообращения, специалисты по автоматике и электромеханике, специалисты по реологическим свойствам крови и др.

Когда целевую функцию БТС удастся представить в виде функционала, в который входит зависимость параметра управления от текущего времени систолы сердца, применение принципа максимума "Понтрягина" позволяет получить не только сравнительные оценки, но и оптимизировать систему по критерию E . Однако эти вопросы выходят за пределы данного пособия и будут специально рассмотрены в следующих его частях.

Изложенное выше показывает, что при выполнении этапов синтеза БТС должен быть реализован принцип, требующий конкретизации и оптимизации целевой функции системы. Этот принцип получил название - эймуниологичности от английских слов *aim* ~ цель, *Union* - союз и греческого *iogos* - учение. Принцип эймуниологичности требует обоснования целевых функций элементов БТС и всей системы в целом. Выполнение этого принципа должно являться обязательным этапом синтеза БТС.

4.2 Принцип адекватности

Бионическая методология разработки БТС предполагает создание математической или физической модели БТС, достаточной для последующей конструкторской проработки системы. Действительно, если удалось создать модель, адекватно описывающую как нормальное, так и патологическое состояние биообъекта, то имеется возможность выделить те параметры модели, которые ответственны за конкретное проявление патогенеза. Например, имея достаточно детальную модель сердечнососудистой системы, можно идентифицировать то или иное проявление недостаточности в таких терминах, как недостаточная сократимость миокарда желудочков сердца, ограничение венозного притока, стеноз магистральных артерий, атеросклероз сосудов и т.д. После такого рода диагностики становится ясно, на какие звенья биосистемы и как должна влиять БТС. Возникают вопросы, на какие процессы воздействовать и к чему это приведет? В связи с этим рассмотрим два предельных варианта:

1) разработчик имеет модель биофизических (биохимических) процессов, лежащих в основе установленной патологии (например, имеется модель последовательно-параллельных квазиравновесий);

2) такой модели нет. Следует сразу оговориться, что сегодня описано весьма ограниченное число патофизиологических процессов, исчерпывающие модели которых созданы или могут быть созданы в ближайшее время. Поэтому вторая ситуация сегодня более реальна, хотя в будущем, по мере развития науки, она, по-видимому, будет реже встречаться.

В первом случае можно указать конкретный механизм, в котором произошел "сбой".

Например, если имеется последовательность квазиравновесий, можно указать конкретные звенья цепочки, в которых тормозится процесс. Знание "узкого места" указывает, в какую сторону следует сместить процесс, чтобы цепь квазиравновесий восстановилась, но еще не дает рецепта, чем (каким видом энергии) и на какие структуры организма следует воздействовать. Действительно, предположим, известно, что лимитирующей стадией всего глобального процесса является ферментативная реакция связывания субстрата ферментом; это может быть вызвано тем, что соответствующий фермент имеет конформацию активных центров, не соответствующую норме.

Изменить конформацию активных центров Фермента и тем самым снизить энергию активации образования фермент-субстратного комплекса можно с помощью ряда методов (влияние облучения, электрических полей, изменение pH среды и т.п.). Но, как правило, эти методы хороши для экспериментов, проводимых в "пробирках" (*LniSttzo*), а не на организмах (*спусйо*), так как они могут пагубно влиять на структуры клеток.

Конечно, если же у нас имеется модель указанных патологических свойств фермента, в которой присутствуют параметры внешнего воздействия на него (или на биосистему, продуцирующую его патологическую конформацию) со стороны технических средств, можно непосредственно подсчитать на 311.1 дозу воздействия, устраняющего данную болезнь.

Однако из сказанного выше ясно, что ситуация, в которой "все имеется": и модель диагностики, и модель воздействия с предсказуемым результатом, и модель биофизических процессов -крайне идеализирована (хотя и возможна) и в практике редко встречается. Кроме того, надо иметь в виду, что в организме материальными носителями энергии и информации всех физиологических процессов являются молекулы (макромолекула) и ионы.

Поэтому, даже обладая набором моделей для каждого из структурных уровней иерархической организации объекта, мы необратимо приходим к биохимическим процессам как к первоисточнику, и к фармакологии как к единственному средству борьбы с патологиями. Для инженеров, занимающихся разработкой медицинской техники, такой подход к задачам практического характера признать самым оптимальным нельзя.

Поэтому разработчику БТС так или иначе приходится пользоваться более общими (правда, и менее конкретными) принципами, с помощью которых в условиях явного дефицита информации о существе процессов, лежащих в основе данной патологии, приходится принимать решение о том, чем и как воздействовать на соответствующие структуры биообъекта.

Рассмотрим два принципа, которыми целесообразно пользоваться в подобных ситуациях.

Первый в идейном плане близок к методу имитации, широко развитому в бионике. Рассмотрим орган или систему органов, которые характеризуются

вектором состояний $X = \begin{Bmatrix} X_i \\ X_n \end{Bmatrix}$, где X_i - функциональные параметры.

Представим закон нормального функционирования системы в виде некоторого оператора L , который является Функцией x параметров, а воздействия на данную систему со стороны внешних систем, параметров, воздействия данной системы на внешние и случайные факторы ξ

$$L=L(x, a, b, \xi),$$

$$\text{т.е. } x=L(x, a, b, \xi)x$$

Конкретный вид оператора L ограничивать не будем (он может иметь логическую, алгебраическую, дифференциальную и т.д. форды для различных биологических систем). Сказанное можно проиллюстрировать рисунок 13.

Нормальное (непатологическое) функционировать системы характеризуется вполне определенными значениями как параметров воздействия на рассматриваемую систему, так и воздействием салоп системы на внешние. Обозначим эти параметры в случае нормы индексом «н» - a_n, b_n .

Следует иметь в виду, что a и b взаимосвязаны;

$$b = b(a, \xi, \dots).$$

Здесь многоточием обозначены внутренние и внешние параметры внешних систем, случайные воздействия и параметры среды. Таким образом при нормальной работе устанавливается некое квазистационарное равновесие обмена информацией, энергией и веществом данной системы и сопряженных с нею систем.

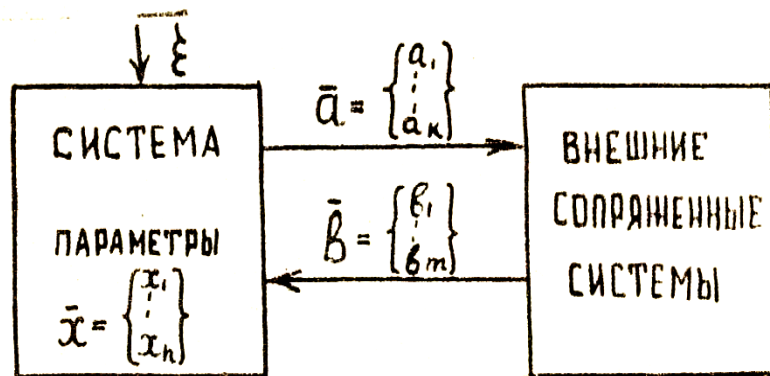


Рисунок 13 - Схема взаимодействия рассматриваемой системы S с внешними сопряженными системами (в том числе и средой)

При патологическом состоянии системы параметры a и b приобретают новые значения, определяемые изменившимися условиями и параметрами. Этот процесс можно пояснить схемой, представленной на рисунке 14.

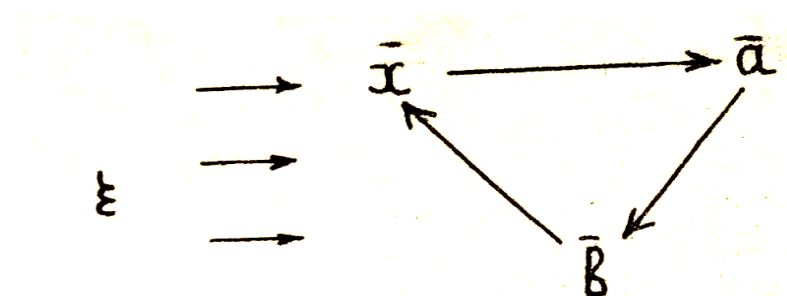


Рисунок 14 – Взаимообусловленность изменений параметров Систем

Видно, что даже если первоначально изменения затрагивают только усматриваемую систему, то в силу сопряжения и внешние системы начинают работать в новом, не характерном для "нормы" режиме. И как только параметры выходят за пределы адаптивных возможностей систем, то и внешние системы переходят в патологическое состояние. В виду, что при прогрессирующем патогенезе в системе происходит "подстройка" отологических процессов под изменившиеся.

Подобная ситуация может возникнуть и в том случае, если в силу каких-то причин система стала неспособной вырабатывать параметры a (или недостаточно их вырабатывает).

Таким образом, недостаточность самой системы, недостаточность связей и информационных сигналов в сопряженные системы становится причиной более глубоких дистрофических изменений системы.

Предположим теперь, что с помощью внешних технических средств (БТС) удалось воссоздать утраченную часть обменного метаболизма системы, т.е. удалось вектор a вернуть в состояние, близкое к a_n . Тогда внешние системы

воспринимают патологическую систему как нормально функционирующую в том смысле, что сигналы (функционально значимые) от нее такие же, как от нормально функционирующей, соответственно и параметры воздействия на систему ϵ будут также соответствовать норме. В этой ситуации та часть патологического процесса, которая была, обусловлена изменившимися внешнего воздействия ϵ , исключается и, кроме того, процесс остается локализован в самой системе и не затрагивает сопряженные внешние системы. Приведем пример практической реализации данного принципа при разработке электромагнитных методов стимуляции костных тканей.

В обычных условиях в костях опорных конечностей при каждом шаге возникает определенным образом ориентированное электрическое поле и вызванные им ионные транспортные потоки.

В условиях обездвиженности (например, послеоперационный иммобилизации) или когда нет гравитации (в космических полетах) эта электрическая активность отсутствует, что приводит к дистрофическим изменениям кости (уменьшение стенок, хрупкость).

В настоящее время разработан электромагнитный стимулятор, создающий в кости иммобилизированной конечности электрические поля, такие же, как и поля, возникающие за счет пьезоэффекта кости при ходьбе.

Испытания на животных показали, что при обездвиженности (гипокинезии) применение стимулятора позволяет избежать дистрофии костной ткани.

Метод прошел успешно апробацию в клинике; установлено, что пьезоэлектрический сигнал кости через систему периферических нервов поступает в центральную нервную систему, сигналы которой являются одним из процессов, тормозящих дистрофию кости.

Метод имитации нашел широкое применение в таких областях медицинской техники, как создание протезов конечностей, в стоматологии, в аппаратах вспомогательного кровообращения и искусственной вентиляции легких и т.п. Приведенное выше обоснование метода имитации носило иллюстративный характер, однако, для конкретного патофизиологического процесса эта идея может быть воплощена в строгую математическую форму, что нетрудно сделать, если вид оператора $L(x, a, \epsilon, \xi)$ известен.

В качестве серьезного замечания к изложенным обоснованиям метода имитации необходимо сказать, что если тот или иной орган или система организма подвержены патогенезу, то в самом организме возникают процессы, направленные на компенсацию патофизиологических изменений (принцип Ле-Шателье-Брауна).

В этих случаях могут включаться такие связи и процессы, проявление которых в нормальных условиях было либо незначительным, либо вообще отсутствовало. Часто одной из главных причин развития патологий является как раз недостаточность компенсаторных реакций организма. Рассмотрим ситуацию, когда система подвержена патогенезу, однако включившиеся компенсаторные механизмы достаточны для выздоровления. В этом случае

траектория выздоровления - зависимость параметров системы $x(+)$ от времени.

В процессе развития патологии включатся защитные компенсаторные механизмы, которые приводят к возвращению параметров в область нормы x_n .

Общий процесс выздоровления **ОН** обычно представляет последовательность различных физиологических процессов (начала очередных стадий обозначены как O, A, B).

Таким образом, время t_n характеризует время выздоровления в случае, если компенсаторные механизмы не нарушены.

При отклонении хода одного из процессов выздоровления от нормального система выходит за пределы области допустимых траекторий. Эта ситуация изображена ветвью **AB**. В этом случае необходимо применение внешних технических или иных воздействий, чтобы вернуть процесс в область допустимых траекторий; при этом известно, в какую сторону необходимо сдвигать параметры системы: надо вернуть процесс на ветвь **AB**.

В идейном плане такая постановка задачи управления выздоровлением с помощью БТС близка к задаче управления с эталонной моделью, рассмотренной ранее. В качестве эталонной модели в этом случае выступает ветвь **AB**, а задача управления состоит в том, чтобы рассогласование между эталоном и реальным процессом **AB** стремилось во времени воздействия к нулю:

$$E = \left| x_{ab} - x_{ab}^* \right| \rightarrow 0 \lim_{t \rightarrow \infty} E = 0$$

Норма в первом выражении обычно понимается в смысле абсолютной величины или квадрата разности величин, стоящих под знаком нормировки.

Из приведенного анализа видно, что менее тривиальная трактовка метода имитации при разработке может быть сформулирована следующим образом: необходимо изучить нормальный ход выздоровления, и при отклонении процесса от области допустимых траекторий воздействие должно возвращать систему в область неосложненного выздоровления.

Одной из важнейших особенностей биологических систем является то, что они чувствительны только к тем внешним воздействиям, которые адекватны биохимическим, биофизическим и физиологическим процессам, в них протекающим.

Высокая степень селективности к внешним воздействиям в виде ответов, реакций, поведенческих актов и т.п. обусловлена взаимосогласованием информационных, энергетических и вещественных потоков между различными структурами и системами организма, причем, как показывают новейшие исследования, большую роль в живых системах играет временное (частотное-) согласование. Прежде чем изложить суть одного из методологически принципов в разработке БТС, ориентированных на физическое воздействие, рассмотрим известный из теории колебаний пример осциллятора с трением под действием внешней силы $f(t)$. Как известно, уравнение движения такой системы

$$(D^2 x/dt^2) + a(dx/dt) + bx = f(t).$$

В другой части временного спектра лежат процессы биофизические, биофизические и молекулярные. В целом же диапазон' часто" функционально значимых процессов в живых системах простирается от 10^{-9} до 10^{18} Гц. Для определения значений частот и интенсивностей внешнего воздействия, вызывающего максимальные изменения в реакциях биосистемы в общем виде, подходит принцип классической спектроскопии, при котором на объект 0 оказывается воздействие некоторым внешним источником И и с помощью измерительных устройств

Варьируя параметрами воздействия: частотой, мощностью, поляризацией и т.д., - получают спектр - зависимость ответов объекта от параметров воздействия. В физиологии эти методы исследований давно применяются и известны под названием функциональных проб. Независимо от названия суть их одна: исследуется реакция биообъекта на дозированное возмущение.

Исследование ответов биосистемы и разработка новых методов и аппаратов для воздействия на нее являются одним из широко развивающихся направлений БТС.

В качестве примера отметим цикл работ, выполненных в СССР, по исследованию влияния миллиметрового излучения на иммунную систему. В этих экспериментах было показано, что количество продуцируемых лейкоцитов очень чувствительно к частоте облучения λ ; имеются длины волн, при которых наступает резонанс системы лейкопоэза.

Резюмируя все вышесказанное, принцип адекватности применительно к БТС, ориентированных на физическое (терапевтическое или хирургическое) воздействие на биообъект для достижения того или иного положительного эффекта, можно сформулировать в следующей форме: параметры воздействия целесообразно выбирать, исходя из диапазона параметров, которые "излучает" биообъект при его нормальном функционировании или при успешной обработке возмущающего воздействия (например, болезни). Первая часть этой формулировки особенно важна для БТС терапии и профилактики и говорит о том, что мы пытаемся с помощью БТС восполнить ту часть активности объекта, которая важна для других иерархически расположенных подсистем организма, сопряженных информационно, энергетически или вещественно с биообъектом. Вторая часть говорит о том, что при недостатке информации о том, что «хорошо», а что «плохо» для биообъекта следует изучить, какие его параметры и каким образом" изменяются при успешном исходе лечения, причем эта информация является базовой при синтезе БТС, когда нормальный ход реабилитации нарушен.

При синтезе БТС диагностического типа принцип адекватности в общем виде требует минимума потока энтропии от технической части БТС в биологическую систему. Это требование означает, что состояние биологической системы практически не возмущается вследствие функционального контакта с техническими устройствами (датчиками).

4.3 Единство информационных и управляющих сигналов биологических и технических звеньев БТС

Одной из важнейших особенностей биологических систем является высокая степень чувствительности (селективность) к изменению функциональных параметров физиологических процессов. Как правило, в биологической системе имеется иерархия механизмов управления. На одних уровнях иерархической структуры в качестве функционально значимых процессов выступают физико-химические процессы, а на более высоких ступенях иерархии - информационные.

Объединение биологических и технических звеньев в едином контуре управления биотехнической системы требует, чтобы техническая система сумела "чувствовать" состояние биологического звена, т.е. необходимо измерять, идентифицировать именно такие медико-биологические показатели, которые определяют состояние рассматриваемой биосистемы. На основании этой информации должно проводиться управление (воздействие) в БТС, и по этой же Информации судят о эффективности того или иного варианта управления.

Чтобы разобраться в особенностях поведения биосистем, необходимо привлечение обобщающей научной дисциплины, в качестве которой в ряде случаев может выступать термодинамика. Рассмотрим термодинамические аспекты поведения биосистем более подробно.

Термин «поведешь системы» будем понимать в широком смысле, включающем все гомеостатические процессы, связанные со стремлением биосистем к сохранению постоянства внутренней среды. Применение классической термодинамики для анализа состояния биосистем основано на представлении с том, что их развитие протекает как бы ступенчато, т.е. путем достижения особых квазиравновесных состояний. Эти особые состояния в соответствующих шкалах времени могут рассматриваться как устойчивые энергетические состояния системы. При этом процессы достижения этих состояний рассматриваются с позиций кинетики, т.е. во времени.

Дадим определение понятия квазиравновесного состояния системы. Будем называть квазиравновесным такое состояние системы, в процессе достижения которого практически никаких изменений компонентов системы не происходит.

Если добротность системы высока, собственные свободные колебания описываются гармонической кривой, модулированной убывающей экспонентой:

$$X_{\text{собств}}(t) = A_0 e^{-kt} \sin(\omega t + \varphi)$$

В теории колебаний доказывается, что максимальный поток энергии передается системе внешней силой в том случае, когда $f(t)$ является периодической функцией, частота которой совпадает с частотой свободных колебаний ω . В этом случае возникает резонанс колебаний, менее выраженное возрастание амплитуды колебаний реализуется и на кратных собственной частоте ω/n частотах внешнего воздействия. Этот простейший пример

показывает, что система поглощает энергию наиболее всего на тех частотах, которые являются собственными частотами системы.

Действующие в организме системы регулирования отличаются большим разнообразием по физико-химическим свойствам, причем каждому уровню организации свойственны свои способы передачи информации о значениях управляющих сигналов.

На низших уровнях используются биохимический, гидродинамический и диффузионный способы; на высших появляются гормональный и нервный способы (нервно-гуморальные механизмы).

Скорость протекания процессов при различных способах передачи информации различна, поэтому при одновременном функционировании различных уровней систем организма характерно наличие процессов, протекающих в разных временных (частотных) масштабах.

Когда в биосистеме имеется несколько механизмов регулирования, необходимо в первую очередь провести их ранжирование по степени влияния на общее состояние системы; после чего установить главные квазиравновесия, лежащие в основе функционирования каждого из механизмов регулирования (или определить параметры, функционально связанные с главными квазиравновесиями).

Принцип единства информации и технической и биологической частей ЕТС будет соблюден, если на основании информации, получаемой с датчиков и перерабатываемой в технических устройствах, оператор может судить о состоянии тех или иных главных квазиравновесий.

В качестве примера рассмотрим основные механизмы регуляции просвета кровеносных сосудов. В обобщенном виде кровеносные сосуды испытывают несколько влияний различной природы, одни из которых определяют его тонус, а другие - его управление разного рода регуляторными воздействиями.

Активные ответы сосуда являются при этом свойством гладкомышечных элементов сосудистой стенки (миогенный контур регуляции). Одни из этих контуров являются дистанционными, а другие местными.

Первое означает, что регулирующее и исполнительное звенья разделены в пространстве и могут находиться на существенном удалении друг от друга (например, нейрогенная и гормональная регуляция); второе означает, что исполнительный и регулирующий отделы совмещены в одном и том же органе, но часто в разных его элементах (например, метаболическая и миогенная регуляция).

Указанные контуры и регуляции формируют в сумме изменения гидродинамического сопротивления того или иного отдела сосудистой системы, определяющие кровоток через данный сосудистый бассейн.

Из сказанного выше следует, что биотехническая система для диагностики или терапии регионарного кровообращения должна, во-первых, содержать датчики, позволяющие количественно определять содержание тех компонентов, которые определяют каждый из четырех отмеченных контуров регуляции, и во-вторых, содержать алгоритмы (или программы обработки 'измеряемых величин'), применение которых позволяет судить о состоянии того или иного

контура регуляции. Эти два основных момента и обеспечивают выполнение принципа единства информации биологических и технических звеньев в едином контуре БТС

5 Этапы синтеза БТС

Теория БТС является одним из направлений развития бионики, она берет на вооружение арсенал методов, развитых и апробированных в бионике, и приспособливает их к согласованию технических и биологических звеньев в БТС.

Бионическая методология синтеза и анализа БТС состоит из трех основных этапов: биологического, теоретического и конструкторского или технологического

Описание начинается с формулирования целей и задач. На первом этапе с учетом конечной цели применяют самые разнообразные науки о живом, включая познавательное моделирование биологических функций объекта. На этом этапе важно формализовать имеющиеся в науке и практике экспериментальные и теоретические сведения, чтобы построить на I этапе модель БТС, отвечающую поставленным задачам с требуемой степенью полноты.

При недостатке априорной информации для построения модели необходимо провести дополнительные экспериментальные или теоретические исследования. В целом I этап является подготовительным этапом всей разработки и анализа БТС. От качества его проведения зависит степени выполнения функций всей БТС. При разработке БТС, удовлетворяющих требованиям мировых стандартов, проведение I этапа требует от разработчиков глубоких знаний о существе процессов, лежащих в основе функционирования биологического объекта.

Как правило, сложно бывает выделить одну превалирующую функцию биосистемы, поэтому на I этапе следует описать все основные биофизические процессы, определяющие биосистемы, и провести их нормирование (ранжировку) в порядке определяющего влияния на результативность работы биосистемы. Следует определить степень влияния местных и центральных механизмов регуляции (собственных) и внешних параметров на общий метаболизм биосистемы. Например, при разработке БТС, направленной на коррекцию нарушений деятельности сердца, следует учесть как центральные (со стороны центральной нервной системы), так и биомеханические механизмы («закон сердца Старлинга») регуляции деятельности сердца, определить вклад в общий патологический процесс собственных параметров сердца (биоэлектрическая возбудимость сердечной мышцы, степень проведения биоэлектрических импульсов и т.д.) и внешних параметров (сосудистая недостаточность, нарушенный коронарный кровоток, снабжение сердца кислородом и т.д.).

Одним из общих и эффективных методов оценки вкладов отдельных биофизических процессов в общий, является определение доли данного процесса в энергии Гиббса всего процесса функционирования органа и системы организма. Знание определяющих процессов функционирования биообъекта и их взаимное влияние позволяет существенно ограничить множество моделируемых функций и параметров, определить главные, наиболее чувствительные с точки зрения управления или диагностики (для диагности-

рующих БТС) процессы. В результате выполнения I этапа у разработчика должна тлеться, во-первых, ясность относительно процессов, лежащих в основе биологической функциональности объекта' во-вторых, модель или программа, в которой формализованы основные параметры и взаимосвязи параметров и процессов.

При разработке или анализе БТС, ориентированной на воздействие 'На биообъект (БТС терапевтического типа и т.п.) в программе (модели) должны фигурировать наиболее чувствительные к различным воздействиям биологические механизмы. В этом случае целесообразно провести работу по выявлению влияния (отклика биосистемы) и количественной оценки различных физических методов воздействия на объект (механические, электрические, тепловые и т.д. поля).

Целью теоретического 2 этапа является создание приемлемой для дальнейшей конструкторской разработки математической или физической модели органа, системы и процессов биологического объекта. Исходная информация для моделирования получена на I этапе. Модель позволяет логически связно учесть все факты и взаимосвязи, составляющие существо анализируемой системы.

Сложность моделирования биологических и биотехнических систем заключается и в том, что при описании различных уровней организации БТС применяются различные подходы моделирования. Так, на уровне целостного организма и его функциональных систем пользуются информацией, полученной методами нормальной и патологической физиологии; на уровне тканей, группы клеток и т.п. - информацией, заимствованной у биохимии, биофизики. Таким образом, иерархическая структура биообъекта преобразуется в иерархически организованную модель системы. В зависимости от цели моделирования и природы объекта применяют следующие методы моделирования:

1) модели в сосредоточенных параметрах (если точность моделирования позволяет пренебречь пространственными эффектами системы), которые обычно представляют собой системы алгебраических или обыкновенных дифференциальных уравнений;

2) модели с распределенными параметрами (когда пространственные эффекты существенны для биологической целесообразности системы), обычно описываемые системами уравнений в частных производных;

3) стохастические модели (когда природа рассматриваемого объекта носит не детерминированный, а вероятностный характер), описываемые случайными или псевдослучайными марковскими процессами;

4) агрегативные модели системы, получаемые кусочно-линейно аппроксимацией моделей отдельных элементов системы. Этот метод часто применяется при моделировании сложных, иерархически организованных систем.

Отмеченные методы заимствованы из математического моделирования, но с успехом могут применяться и при физическом моделировании. После формулировки цели и задачи моделирования следует определить масс

разрабатываемой моделю и выбрать моделирующий алгоритм, join моделирования большинства современных БТС требуется ЭВМ, поэтому остановимся на выборе моделирующего алгоритма для ЭВМ. Под моделирующим алгоритмом понимается алгоритм, записанный в виде соответствующей программы.

Моделирующий алгоритм появляется в результате преобразования математической модели в форму, пригодную для счета на ЭВМ, и описывает последовательность элементарных событий в системе, определяющих ее динамику. Имеется два основных направления построения моделирующих алгоритмов: 1) моделирующий алгоритм вычисляет состояния системы в моменты времени (или в точках пространства), равноотстоящие друг от друга (примером могут служить конечно-разностные схемы решения дифференциальных уравнений модели); 2) поиск некоторых "особых" моментов времени; зная состояние системы в эти моменты, легко построить часть ее траектории до следующего "особого" момента времени. При разработке программ для моделирования БТС наиболее распространенными алгоритмическими языками являются в настоящее время языки ФОРТРАН, АЛГОЛ, БЕЙСИК, ПЛ-1.

После того как моделирующий алгоритм построен и записан, например на перфокартах или магнитной ленте, модель пригодна для имитационного эксперимента. Считается, что имитационный эксперимент является своеобразной заменой натурального, а наличие ЭВМ дает большие возможности по его проведению (можно варьировать большим числом параметров, проверять большое число вариантов, снимать большее число показателей и т.п.). При проведении собственно имитационного эксперимента машинная модель обычно рассматривается как "черный ящик", имеющий входы и выходы. В качестве входов рассматривают параметры, задающие работу модели, а в качестве выходов - различные характеристики, интересующие до пользователя. Например, если интерес представляет оптимизация некоторого физиологического критерия, то его значения целесообразно выбирать в качестве выходного параметра. Выбрав входы и выходы модели, составляют план эксперимента, т.е. процедуру выбора значений входных параметров, на которые желательно знать отклик модели (соответствующие значения выходных параметров). Например, план эксперимента может заключаться в выборе оптимальной последовательности в соответствии с определенным методом (например, градиентного поиска).

Одна из особенностей этапа моделирования БТС, ориентированной на воздействие (например, терапевтические), состоит в том, что в модели следует предусмотреть влияние технических параметров БТС на соответствующие показатели биологического объекта. Информация такого сорта должна иметься у разработчика при выполнении I этапа. На этапе вычислительного эксперимента "проигрывается" поведение системы в экстремальных ситуациях, выявляются наиболее чувствительные параметры как в техническое так и в биологической части БТС, которые целесообразно использовать при управлении и диагностике, определяются параметры, которые целесообразно

использовать в техническом задании (ТЗ) или медико-технических требованиях (МТТ) на конструкторскую разработку системы. Выполнив 2 этап, разработчик должен иметь модель или отлаженную программу для ЭВМ, которая описывает поведение всей БТС и позволяет перейти к этапу конструкторскому или технологическому (с перспективой использования гибких технологических систем).

На III этапе разработчику предстоит выбрать наиболее рациональное схемное решение технической части БТС, провести его структурную оптимизацию, изготовить макет, провести его натурные и полунатурные испытания (предварительно получив разрешение соответствующих органов), после чего дается задание на серийный выпуск.

Этап III начинается с того, что разработчики, располагая математической моделью (программой) взаимодействия биологических и технических звеньев в БТС, определяют технические или технологические параметры, которые будут нормированы при проведении испытаний макета БТС. Например, при создании БТС "Искусственное сердце" разработчик, пользуясь отлаженной программой для ЭВМ, в которой закодирована математическая модель сердечнососудистой системы человека, определяет, что в качестве нормируемых параметров технической разработки целесообразно использовать: диапазон изменения расхода крови; ограничение травмы форменных элементов крови искусственными желудочками сердца (гемолиз); синхронизацию работы насосного блока от ЭКГ или биопотенциалов миокарда (при замене насосной функции одного из желудочков сердца или проведении разгрузки сердца методами артериовенозного шунтирования или контрпульсации); использование сигнала артериального давления в качестве обратной связи при проведении управления и оптимизации работы БТС.

Определив нормируемые параметры, прорабатывает блок-схему технической части БТС. При этом определяют число независимо конструируемых блоков, их целевые функции, входные и выходные сигналы отдельных блоков, производят структурную оптимизацию блок-схемы, выбирают элементную базу отдельных блоков (дискретные элементы, интегральные микросхемы, микропроцессоры). При структурной оптимизации элементного состава и связей в технической части БТС целесообразно использовать минимальное число звеньев при заданном качестве работы блока системы в целом или, наоборот, при заданном их числе блок-система должна иметь максимальное качество выполнения функций.

Разработанная блок-схема служит основой при составлении ТЗ на ее отдельные блоки. Задания на проектно-конструкторскую проработку передаются соответствующим отделам (организациям).

После изготовления макетного (опытного) образца разработчик совместно с медицинским и техническим исполнителями проводят испытания отдельных блоков и всей БТС в целом на физических моделях биообъекта (или специальных стендах-имитаторах). Например, БТС «Искусственное сердце» проходит динамические испытания на гидродинамическом стенде-имитаторе сосудистой системы человека. В ходе этих исследований проверяются

ресурсные возможности частей БТС, соответствие ее реальных параметров нормативным. Следует отметить, что степень сложности стенда не следует делать ниже, чем математической модели биообъекта, так как в этом случае для проверки работы ЕГО в экспериментальных условиях (например, при моделировании острой сердечной недостаточности) можно провести имитационный эксперимент на ЭВМ. Напротив, когда сложность стендовых испытаний выше, чем модели, имеется возможность шире исследовать изменения в биообъекте при работе БТС, изучить ее влияние на органы и системы, не тривиально связанные с тем органом, на который воздействие непосредственно оказывается. Из сказанного выше следует, что после проведения технических испытаний на стенде крайне целесообразно провести медико-биологические испытания БТС на животных. В этом случае модно, например, изучить влияние имплантации искусственного сердца на работу почки, печени, водносолевой обмен ЦНС центральной нервной системы и т.д. Естественно, что столь множественные и неоднозначные связи не могут быть заложены в математическую модель в силу ограниченности ее сложности и технических возможностей современных ЭВМ (объем, память, быстродействие). Следует иметь в виду, что медико-биологический эксперимент с БТС не исключает ее стендовых испытаний. Напротив, они дополняют друг друга, так как информация о работе БТС, получаемая при стендовых испытаниях, как правило, не может быть получена в медико-биологическом эксперименте. Например, в медико-биологическом эксперименте по имплантации искусственного сердца теленку не представляется возможным дать заключение о максимально возможном времени работы искусственных желудочков сердца, после которого наступает их разрушение в условиях организма (если это время больше, чем длительность медико-биологического эксперимента). По своей сути медико-биологический эксперимент гораздо сложнее, и его информация гораздо богаче, чем получаемая на математической (или физической) модели БТС. Лишь при устойчиво успешных медико-биологических экспериментах производится окончательная редакция технического задания предприятию-изготовителю на опытную серию БТС. Опытные образцы БТС проходят клинические испытания в ведущих клиниках. Отзывы об испытаниях учитываются разработчиком и изготовителем при подготовке серийного производства БТС.

6 Моделирование биотехнических систем

Мир существует по каким-то природным закономерностям. Часть этих закономерностей человечество осознало, и зафиксировало их в виде законов, а бесконечно большая часть пока не доступна человеку. Закономерности сами по себе - абстракция чистейшей воды. «Солнце всходит и заходит» - существующая закономерность.

Но если некому ее фиксировать, то процесс есть, и он действительно закономерен, но кто может сказать, что здесь присутствует закономерность?

Кто этим может воспользоваться? Даже животные, рефлекторно использующие закономерности природы, не знают, что это такое, не знают, чем они пользуются. Да что животные, мало кто из людей отдает себе отчет, что все умозаключения, все решения в его голове строятся на основе закономерностей.

И мы имеем реальный факт того, что есть явление, и оно используется в материальном мире ТОЛЬКО биологическими системами управления, как осознанно – человек, так и неосознанно у животных.

Создание новой медицинской техники требует формирования физиологически обоснованных критериев построения аппаратуры, обеспечивающих ее эффективное функционирование.

Определение требований к выбору параметров и характеристик аппаратуры связано с изучением процессов происходящих при взаимодействии технических средств и живого организма.

При разработке терапевтической аппаратуры основной интерес представляет исследование условий передачи воздействия, сформированного техническими средствами, к биологическим тканям, а также выбор формы, интенсивности, длительности и других параметров воздействия, согласованных с характеристиками физиологических систем организма.

Изучение данных вопросов требует совместного рассмотрения технических и биологических элементов в рамках единой биотехнической системы (БТС) целенаправленного действия. Целевая функция системы определяет общее построение БТС: выбор технических средств, формирующих лечебное воздействие и объекта приложения воздействия - физиологической системы организма.

Исследование БТС, с целью определения требований к построению аппаратуры и алгоритмов ее функционирования, производится методом поэтапного моделирования.

Первый этап исследования заключается в описании биологического звена БТС на основе изучения физиологических процессов организма в условиях его взаимодействия с техническими звеньями. На данном этапе определяется модель биологического звена БТС, связывающая входные и выходные переменные рассматриваемой физиологической системы.

На втором этапе исследований БТС производится управленческое и информационное согласование технических и биологических звеньев в рамках общей модели БТС. Для терапевтических БТС наиболее важным является оптимизация условий передачи воздействующего фактора в канале воздействия

БТС, включающего выходные каскады аппаратуры, элементы передачи воздействия к биологическим тканям, воспринимающие элементы физиологической системы организма.

При анализе канала воздействия БТС используется принцип адекватности, согласно которому управляющее воздействие должно быть по своей физико-химической природе свойственно живому организму, а значения параметров воздействия должны находиться в диапазоне приемлемости для биологических тканей.

Анализ информационных процессов в БТС направлен на выполнение принципа единства информационной среды, в соответствии с которым определяются наиболее информативные по отношению к оцениваемому лечебному эффекту диагностические показатели. Итогом второго этапа исследования БТС является разработка требований к техническим средствам и программному обеспечению системы.

Третий этап исследования БТС включает разработку экспериментальных образцов аппаратуры и проведение апробации разработанных методов и средств. На этом этапе разрабатываются медико-технические требования к опытным образцам аппаратуры для серийного выпуска.

Моделирование БТС требует адекватного описания процессов функционирования физиологической системы, входящей в состав БТС в качестве биологического звена.

Рассмотрение основных процессов в терапевтических БТС показывает, что в качестве входные переменных физиологических систем организма можно представить управляющие воздействия, формируемые техническими звеньями, реализующими целевую функцию БТС. Выходными переменными биологических звеньев служат диагностические показатели, характеризующие состояние организма в норме и патологии. При установлении взаимосвязи переменных возникает задача идентификации физиологической системы т.е. создании модели биологического звена БТС, адекватной рассматриваемым процессам.

При построении биологических звеньев БТС, отличающихся сложностью и многосвязностью, необходимо выделить только те их особенности функционирования и структурного построения, которые необходимы для реализации конкретных задач управления состоянием организма, решаемых в БТС.

Моделирование биологических объектов осуществляется методами функциональной и структурной идентификации.

Функциональная идентификация позволяет определить поведение системы при наличии на ее входе стимулов. Для решения этой задачи необходимо наличие экспериментальных данных о поведении системы при различных входных воздействиях. Функциональная идентификация предусматривает определение передаточной функции системы, не давая информации относительно ее внутреннего строения.

Структурная идентификация дает возможность установления взаимодействия отдельных компонент системы в процессе формирования

реакций. В этом случае полагается известной конфигурация системы или относительно ее делается предположение о классе функционального описания, а параметры связывающие систему считаются неизвестными. Задача идентификации сводится к поиску решений в пространстве искомых параметров системы.

С точки зрения исследования БТС наиболее полное решение задачи идентификации может быть осуществлено совмещением функциональной и структурной идентификации - путем установления количественных соотношений, определяющих взаимосвязь между наблюдаемыми на входе и выходе системы переменными и определения структуры модели, отвечающей физиологическим представлениям об ее организации.

Для функциональной идентификации биологических звеньев БТС т.е. нахождения ее передаточной функции достаточно определить ее переходную функцию, представляющую реакцию системы на тест - стимул в виде единичного ступенчатого воздействия.

Идентификация биологических звеньев терапевтических БТС дает передаточные функции, приводящие к дифференциальным уравнениям высокого порядка.

Чаще всего сложная динамика процессов, происходящих в физиологических системах, связана с одновременным функционированием некоторого числа биорегуляторов, обладающих различным быстродействием и степенями свободы.

В таком случае, для моделирования целесообразно воспользоваться методом пространства состояний, позволяющим представить линейное дифференциальное уравнение высокого порядка, описывающее систему в соответствии с полученной путем функциональной идентификации передаточной функции, в виде системы уравнений первого порядка относительно некоторых вводимых переменных состояния.

Наименование задания «Разработка биотехнической системы для комплексной оценки функционального состояния системы зрения человека».

Основные разделы задания, подлежащие разработке:

1) разработка методик для комплексной оценки функционального состояния системы зрения;

2) разработка структурной схемы биотехнической системы;

3) разработка медико-технических требований к биотехнической системе;

Характеристики системы зрения человека, подлежащие оценке:

а) пространственные характеристики зрения:

- острота зрения;

- порог ощущения угловых перемещений;

- порог ощущения линейных перемещений;

б) энергетические характеристики зрения:

- порог цветовосприятия;

- абсолютный и дифференциальный пороги восприятия яркости.

в) временные характеристики зрения:

- время световой и темновой адаптации;
- время цветовой адаптации.

Пример выполнения задания

1 Разработка методик комплексной оценки функционального состояния зрительной системы.

Зрительная система человека относится к числу сенсорных систем организма. Она обеспечивает получение информации об окружающем его мире через световой поток, отраженный от объектов наблюдения. Зрительная система обеспечивает получение до 80 % всей информации, получаемой человеком через все сенсорные системы.

Система зрения включает орган зрения, проводящие пути (зрительный нерв), перекрестие (хиазму), где сигналы от левого и правого зрительного анализатора определенным образом суммируются, и зрительные центры коры головного мозга. Оптический сигнал, поступающий в глазное яблоко, преобразуется в электрический сигнал с помощью фоторецепторов. Зрительный анализатор имеет две группы фоторецепторов. Колбочки обеспечивают восприятие цвета. Они работают при уровнях освещения, соответствующих дневному освещению. Палочки – фоторецепторы, используемых системой зрения при низких уровнях освещенности. Они являются фоторецепторами сумеречного зрения и обеспечивают ахроматическое зрение.

На уровне фоторецепторов оптический сигнал преобразуется сначала в градуальный потенциал, амплитуда которого пропорциональна интенсивности освещенности фоторецепторов. Далее градуальный потенциал с помощью биполярных и ганглиозных клеток сетчатки зрительного анализатора преобразуется в потенциал действия, в котором полезная информация передается за счет изменения частоты импульсации. Потенциал действия далее передается по проводящим путям (зрительному нерву) в перекрестие (хиазму). В хиазме осуществляется перекрест сигналов для реализации бинокулярного и стереоскопического зрения. После перекреста сигналы передаются в зрительные центры коры, в которых обеспечивается инвариантная оценка пространственных и энергетических характеристик изображения и формирование зрительного образа – формирования в сознании наблюдателя некоторой интегральной картины объекта наблюдения.

Зрительная система характеризуется пространственными, энергетическими и временными характеристиками.

Энергетические характеристики отражают способность воспринимать уровни яркости и цвета оптического изображения. К числу энергетических характеристик относятся: абсолютный и дифференциальный пороги восприятия яркости, диапазон восприятия яркости, порог цветовосприятия, область цветового пространства, воспринимаемого человеком.

Пространственные характеристики отражают пространственную разрешающую способность зрительной системы, способность воспринимать объекты наблюдения определенных размеров, а также изменения местоположения объекта наблюдения в пространстве. К числу

пространственных следует отнести остроту зрения (характеризует минимальный угол между двумя точечными объектами, воспринимаемых раздельно), порог восприятия угловых перемещений (вращения) объекта наблюдения, порог восприятия линейных перемещений объекта наблюдения.

Существуют характеристики зрения, которые комплексно отражают пространственные и энергетические характеристики – частотно-контрастная чувствительность и цветовая частотно-контрастная характеристика зрения.

Временные характеристики зрения отражают адаптационные свойства системы зрения. Величины порогов световой и темновой адаптации отражают способность восстанавливать зрительные функции при переходе от слабого освещения к сильному освещению (световая адаптация) и, наоборот – при переходе от сильного освещения к слабому (темновая адаптация). Цветовая адаптация отражает способность воспринимать цветовые различия при переходе от восприятия одного цвета к другому. Все перечисленные пороги выражаются в единицах времен.

Комплексная оценка функционального состояния системы зрения заключается в оценке группы (комплекса) показателей и формировании заключения об адекватности восприятия пространственных, энергетических и временных особенностей изображения.

Для определения характеристик зрения необходимо синтезировать на экране устройства визуализации тестовое изображение с заданными пространственными, энергетическими и временными характеристиками и оценить реакцию наблюдателя на тестовое задание.

Существуют объективные и субъективные методы исследования. Сущность объективных методов заключается в регистрации и изучении электрофизиологических сигналов, обусловленных процессом зрительного восприятия, таких как электроретинограмма, электроокулограмма, вызванные зрительные потенциалы и т.д., для изучения зрительного восприятия. При использовании субъективных методов исследования характеристик зрения в качестве реакции испытуемого на тестовое воздействие регистрируются субъективные ответы испытуемого - способность различать одни тестовые объекты на фоне других. Субъективные методы исследования имеют преимущество перед объективными методами в том, что отражают субъективное восприятие тестов конкретным испытуемым. Недостаток субъективных методов – возможность искажения результатов тестирования самим испытуемым, что может привести к снижению достоверности и точности результатов.

Для устранения этого недостатка субъективных методов и обеспечения высокой достоверности результатов исследования рекомендуется использовать многократное предъявление тестовых объектов со случайным характером изменения параметров, а также статистическая обработка результатов тестирования.

Рассмотрим методики оценки энергетических, пространственных и временных характеристик зрения, которые будут использоваться в основе разрабатываемой биотехнической системы.

Методики определения энергетических характеристик зрения.

Определение абсолютного порога восприятия яркости.

Предлагаемая методика определения абсолютного порога восприятия яркости заключается в предъявлении на экране устройства визуализации (дисплея) на черном фоне тест-объекта в форме окружности с угловыми размерами не менее 10 угловых градусов. При таких угловых размерах тест-объект будет надежно проецироваться в область фовеа (4 угловых градуса), которая характеризуется высокой чувствительностью.

Яркость тест-объекта должна медленно возрастать с нулевого уровня (уровня черного) до уровня, при котором испытуемый начнет различать окружность на темном фоне (так называемого минимально различимого уровня). Исследования необходимо проводить в темном помещении и обеспечить темновую адаптацию испытуемого к условиям тестирования. Для обеспечения статистической достоверности оценки абсолютного порога восприятия яркости тестирование необходимо повторить не менее 10 раз. Абсолютным порогом восприятия яркости является яркость объекта наблюдения $V_{АП}$, при которой испытуемый начинает воспринимать объект наблюдения в условиях темновой адаптации.

Определение дифференциального порога восприятия яркости.

Предлагаемая методика определения дифференциального порога различения яркости заключается в задании определенного уровня яркости фона $V_{Ф}$ и формировании тест-объекта в форме окружности с угловыми размерами не менее 10 угловых градусов, яркость которого $V_{ТО}$ будет медленно возрастать с уровня $V_{Ф}$ до уровня $V_{П}$, при котором испытуемый начнет различать тест-объект. Для обеспечения статистической достоверности и требуемой точности оценки дифференциального порога различения яркости необходимо использовать многократное предъявление тест-объектов.

Определение порогов цветовосприятия.

Для определения порогов цветовосприятия используется методика, основанная на предъявлении цветных тест-объектов в виде различных геометрических фигур на цветном фоне эталонного цвета. Цвета тест-объектов должны изменяться относительно цвета фона на заданное количество порогов цветоразличения нормального трихромата. Тест-объекты должны предъявляться в случайном порядке многократно. Тестовое задание заключается в указании заранее заданной фигуры. Тестовое изображение необходимо предъявлять при цветах фона, сформированных на основных и дополнительных цветах колориметрической системы устройства визуализации. Предлагаемая методика позволяет оценить статистически достоверную величину порога цветоразличения в различных областях колориметрической системы, при которой испытуемый начинает различать цветной объект поиска на цветном фоне.

Методики оценки пространственных характеристик зрения.

Определение остроты зрения.

Для оценки остроты зрения предлагается автоматизированная методика, заключающаяся в использовании таблиц «Кольца Ландольта» или таблиц Коровина-Сивцева. Тест-объекты заданных угловых размеров предъявляются в случайном порядке на экране устройства визуализации. Испытуемый располагается на заданном расстоянии от экрана устройства визуализации для обеспечения необходимых угловых размеров тест-объектов. Тест-объекты предъявляются на ахроматическом фоне с яркостью порядка 80 кд/м^2 для обеспечения адаптации зрения испытуемого. Тестовое задание заключается в указании типа предъявляемого тест-объекта.

Определение величины порога угловых перемещений объекта наблюдения.

Для определения величины порога угловых перемещений используется тест-объект «звездочка», который предъявляется на однородно-освещенном ахроматическом фоне среднего уровня яркости. Яркость тест-объекта должна превышать яркость фона на несколько уровней порога различения яркости (5-7 порогов). Тест-объект должен иметь фиксированные угловые сдвиги относительно исходного состояния. Тестовое задание заключается в определении таких минимальных различимых угловых вращений звездочки, которые будут заметны относительно исходного состояния.

Определение порога линейных перемещений объекта наблюдения.

Используемая методика оценки порогов линейных перемещений заключается в оценке таких минимально-различимых перемещений тест-объекта относительно фона. Тест-объект, в качестве которого используются геометрические фигуры с уровнем яркости порядка 100 кд/м^2 предъявляется на однородном ахроматическом фоне с уровнем яркости порядка $60\text{-}80 \text{ кд/м}^2$. Линейные перемещения осуществляются как по оси ординат, так и по оси абсцисс. Тестовое задание заключается фиксации таких линейных перемещений, которые минимально различимы испытуемым относительно исходного состояния объекта.

Разработка структурной схемы биотехнической системы комплексной оценки функционального состояния зрения человека.

Для проведения комплексных исследований системы зрения человека предлагается биотехническая система, в которой синтез тестовых изображений с заданными энергетическими (яркостью и цветностью), пространственными (формы и угловым размером), временными (длительность засветки) параметрами предлагается использовать персональную ЭВМ, а для визуализации сформированных тестовых изображений – электронный дисплей на основе цветной электронно-лучевой трубки. Электронные дисплеи на основе цветных ЭЛТ по своим светотехническим характеристикам, а именно области воспроизводимых цветностей, диапазону воспроизведения яркости, диаграмме направленности оптического излучения превосходят жидкокристаллические и плазменные дисплеи.

Именно по этой причине при работе с высококачественной графикой профессионалы используют исключительно дисплеи на ЭЛТ. Для обеспечения высокой точности воспроизведения цветовых и пространственных

характеристик зрительных тестов мы рекомендуем использовать профессиональные графический электронный дисплей на основе цветной ЭЛТ. Для автоматизации регистрации ответной реакции испытуемого на тестовое задание, обработки и анализа результатов исследований рекомендуется использовать ту же персональную ЭВМ, которая используется для синтеза тестовых изображений.

С учетом сказанного структура биотехнической системы для комплексной оценки характеристик зрения будет иметь следующий вид (смотри рисунок).

Ядром биотехнической системы является персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ), которая управляет процессом синтеза тестовых изображений с помощью электронного синтезатора тестовых изображений (ЭСТИ). ПЭВМ обеспечивает изменение параметрами изображения, синтезируемого ЭСТИ.

Использование ЭСТИ обусловлено необходимостью формирования тестовых изображений высокого пространственного и яркостного разрешения. Современные видео контроллеры, используемые в ПЭВМ, хотя и обеспечивает высокое пространственное разрешение (не менее 2048-2048 пикселей), в каждом пикселе яркостное разрешение по основным цветам R, G и B составляет 8 бит или 256 уровней.

Для изучения порогов различения яркости и цвета необходимо обеспечить яркостное разрешение в пикселе по основным цветам R, G и B не менее 10 бит или 1024 уровней яркости. Электрические сигналы изображения далее подаются на профессиональный графический дисплей ПГД, который обеспечивает высококачественное воспроизведение оптического изображения. Тестовое изображение предъявляется испытуемому, который наблюдает предъявляемые тесты с заданного расстояния для обеспечения необходимых угловых размеров тест-объектов. Тестовая реакция испытуемого на предъявляемый тест регистрируется с помощью пульта управления испытуемого (ПУИ).

Сигналы с ПУИ подаются на ПЭВМ для фиксации параметров тестовых изображений, при которых испытуемый выявлял различия между эталоном и тест-объектом. Выбор методик исследования, задание параметров изображения, управление процессом тестирования осуществляется врачом-исследователем ВИ с помощью пульта – клавиатуры.

Отображение информации для управления процессом исследования осуществляется на экране дисплея исследователя ДИ.

Контроль за параметрами тестовых изображений и его коррекция в случае искажений достигается с помощью фотоэлектрического модуля ФЭМ, который преобразует оптический сигнал, воспроизводимый на экране дисплея в электрический, далее этот сигнал вводится в ПЭВМ для сравнения задаваемых и реально воспроизводимых параметров тестовых изображений.

Разработка медико-технических требований к разрабатываемой биотехнической системе.

Разрабатываемая биотехническая система предназначена для оценки ряда энергетически, пространственных и временных характеристик зрения.

Очевидно, что ее технические, прежде всего, метрологические характеристики (разрешающая способность, погрешности измерений, диапазон воспроизведения зрительных тестов по яркости, цветности, угловых характеристикам и т.д.) должны обеспечивать возможность оценки исследуемых характеристик зрения.

Сформулируем требования к воспроизведению параметров зрительных тестов и оценке характеристик зрения.

Известно, что дифференциальный порог различения яркости, в зависимости от условий наблюдения составляет 0,01-0,05 относительных единиц. В этой связи для статистически достоверной оценки дифференциальных порогов различения яркости относительное изменение яркости зрительных тестов должно быть не более 0,0033–0,015 единиц (3 раза меньше измеряемой величины – закон 3 сигм).

При исследовании порогов различения в области малых яркостей относительное изменение должно быть и того меньше и составлять – 0,001–0,005. Воспроизведение зрительных стимулов с таким изменением яркости может быть достигнуто только с 10 разрядными аналого-цифровыми преобразователями электронного синтезатора изображения.

Требования к воспроизведению цветных зрительных стимулов для оценки порогов цветоразличения можно сформулировать из следующих соображений. Порог цветоразличения нормального трихромата составляет 0,0038 относительных единиц равноконтрастной колориметрической системы UVW. При нарушениях цветового зрения пороги увеличиваются в несколько раз. Следовательно, для определения порогов цветоразличения нормального трихромата необходимо, чтобы разрабатываемая система воспроизводила цветность зрительного стимула с точностью до 0,0016 относительных единиц колориметрической системы UVW. В пересчете на относительное изменение яркости основных цветов колориметрической системы RGB цветной электронно-лучевой трубки дисплея испытуемого мы получаем 0,001 единиц. Такое разрешение может быть получено, как и в случае оценки дифференциального порога различения яркости, при использовании 10 разрядного АЦП ЭСТИ.

В случае оценки порогов пространственного разрешения необходимо помнить, что эта величина для нормального наблюдателя с остротой зрения 1,0 составляет 20-30 угловых секунд.

Угловое разрешение будет обеспечено не только линейным разрешением, но и расстоянием от наблюдателя (испытуемого) до устройства визуализации.

Для ограничения этого расстояния до 3,0 метров с целью проведения исследований зрения в обычных помещениях необходимо использовать электронный синтезатор тестовых изображений с форматом раstra не менее 2048x2048 пикселей, а устройство визуализации должно воспроизводить тестовые изображения с таким форматом и иметь линейные размеры экрана не более 50 см.

Изменение параметров тестовых изображений при ранее отмеченных разрешающих способностях будет достигнуто с помощью персональной ЭВМ, управляющей работой цифрового электронного синтезатора тестовых изображений.

Таким образом, возможности оценки энергетических, пространственных и временных характеристик зрения будут определяться техническими характеристиками электронного синтезатора изображения и устройства визуализации. Электронный синтезатор тестовых изображений должен обеспечивать воспроизведение параметров тестовых изображений с погрешностями не более:

Погрешности воспроизведения яркости не более 0,001.

Погрешности воспроизведения цветности не более 0,001 порогов цветоразличения Мак-Адама.

Погрешности воспроизведения угловых размеров не более угловых 6-10 секунд.

Для обеспечения воспроизведения зрительных стимулов с заданными энергетическими и пространственными параметрами необходимо использовать профессиональные графические дисплеи на основе цветной электронно-лучевой трубки с форматом раstra не менее 2048x2048. Такие дисплеи, как правило, вносят искажения воспроизведения геометрических размеров изображения не более 1-4%.

Временные характеристики тестов будут определяться частотой кадра воспроизводимого изображения.

Поэтому для обеспечения погрешности воспроизведения и измерения временных параметров (длительности засветки, времени адаптации) не более 10 миллисекунд тестовые изображения необходимо воспроизводить на частоте 100 Гц. Это дополнительное требование к устройству визуализации тестовых изображений.

Для комплексной оценки энергетических, пространственных и временных характеристик зрения нами предложена биотехническая система и методики исследования, в основе которых используется электронный синтез тестовых изображений и их визуализация на экране цветной ЭЛТ. Такая система и методики исследования позволяют гибко менять программу исследования, автоматизировать исследования зрения, дополнительно включать методики исследования, направленные на оценку различных характеристик системы зрения.

Разработанная система и методики перспективны для использования не только для офтальмодиагностики, но и для целого ряда научных исследований, связанных с комплексной оценкой характеристик зрения, такими как инженерная психология, эргономика, медико-биологические исследования (рисунок 15).

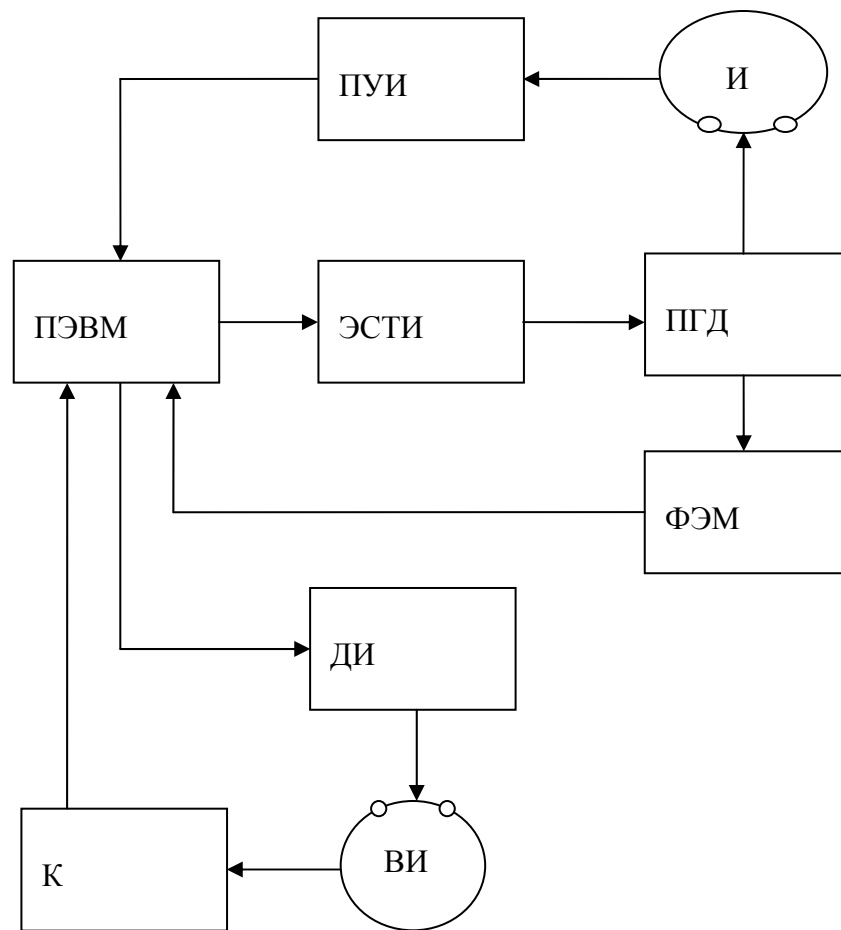


Рисунок 15 - Биотехническая система автоматизированной оценки характеристик зрения человека

7 Биотехнические системы лабораторного анализа

Медицинский лабораторный анализ имеет целью получение диагностической информации о функционировании определенных систем организма путем измерения параметров биологических субстанций, участвующих, в физиологических и биохимических процессах в организме. Медицинский лабораторный анализ позволяет получить объективную количественную оценку состояния систем организма. Информация такого рода позволяет дать обоснованный прогноз состояния пациента, помогает выработать тактику лечения, обеспечивает контроль за ходом заболевания и лечения, позволяет внести при необходимости коррективы в назначениях.

Всю совокупность веществ, подлежащих медицинскому лабораторному анализу, можно разделить на две группы. К первой будут относиться вещества, входящие в состав физиологических систем организма и образующиеся в результате жизнедеятельности. Эти вещества составляют внутреннюю среду организма. Ко второй группе объектов анализа относятся вещества, входящие в состав внешней среды и связанные с организмом метаболическими процессами.

Количество объектов анализа первой группы известно. Оно увеличивается по мере (расширения сведений о биологии организма, но принципиально ограничено. По мере увеличения круга наших знаний о физиологических процессах все большее внимание привлекают вещества, участвующие в элементарных метаболических реакциях, значительный удельный вес приобретает анализ биохимических компонентов сложной природы: биожидкостей, различных выделений, витаминов, гормонов, ферментов. Некоторые процессы, например, тканевое дыхание, свертывание крови, изучены вплоть до промежуточных стадий. Проясняется структура и других процессов.

Число объектов анализа, относящихся ко второй группе точно неизвестно. Оно увеличивается с каждым годом и принципиально не ограничено. Важность изучения этой группы объектов подтверждает такой факт, как создание специальной внешней среды, насыщенной биологически активными лекарственными аэрозолями. Рассмотрим для примера такой компонент внешней среды как воздух. Реально в организм поступает воздух, содержащий разнообразные примеси. С ростом промышленности биологического синтеза в окружающую среду во все большем количестве стали поступать биологически активные вещества: белки, витамины, ферменты, микроорганизмы. При определенных условиях эти вещества вызывают реакция аллергического типа даже при очень малых их количествах. При комплексном воздействии таких веществ некоторые из них сенсибилизируют организм по отношению к другим веществам, что может привести к катастрофической реакции. Этот пример показывает, что вторая группа также включает в себя вещества биологической природы.

Принципиальное различие между объектами первой и второй групп состоит в принадлежности их внешней или внутренней среде организма,

являются они «собственными» или приобретаемыми («сторонними») по отношению к организму объектами.

В практике медицинских учреждений подавляющее большинство анализов проводится для объектов первой группы и выполняется в специализированных клинико-диагностических лабораториях. До 50 % этих анализов относится к системе крови, до 40 % составляют анализы мочи. Такое соотношение сложилось исторически, однако оно имеет под собой объективную основу. Медицинский лабораторный анализ имеет конкретную прикладную направленность: дать врачу возможно полные сведения о функционировании систем организма.

Данные медицинского лабораторного анализа отражают процессы обмена веществ, протекающие на разных структурных уровнях: от тканей, клеток, внутриклеточных структур до молекулярного и субмолекулярного уровней. Причем по мере развития аналитической базы на основе достижений биологии, биофизики, биохимии и других естественных наук доля анализов вещества на клеточном, молекулярном и субмолекулярном уровнях неуклонно возрастает. Посредством лабораторного анализа врач получает наиболее раннюю, полную и точную информацию о многих тончайших биохимических процессах обмена веществ. Объективный характер этой информации обусловил универсальность лабораторного анализа. Клинико-диагностическая лаборатория служит врачам всех специальностей. Медицинская лабораторная техника является техникой массового применения. Ее роль может быть еще большей, если учесть необходимость массового профилактического обследования населения, являющегося одной из перспективных задач здравоохранения.

7.1 Структура и функции биотехнических систем для лабораторных анализов

В медицинских лабораториях применяются в большинстве своем те же химико-аналитические и физико-химические методы, что и во многих лабораториях, исследующих другие органические и неорганические материалы. Формально анализ, выполняемый в любой лаборатории, дает однородную информацию по результатам измерения параметров вещества. Это – данные о качественном и количественном составе вещества, концентрациях его компонентов, данные о структуре, геометрических соотношениях, динамике изменения свойств и т. д. Не случайно для выполнения медицинских анализов еще и сегодня используется универсальная аппаратура общепаналитического назначения: фотометры, спектроанализаторы, пламенные спектрометры, полярографы и т. д.

Опыт применения общепаналитической техники показал, что биологические объекты плохо соответствуют этой аппаратуре. Как правило, биологическая проба должна быть приспособлена к анализу в результате последовательных процедур пробоподготовки, включающих в себя операции дозирования, разбавления, фильтрации, инкубации, химического воздействия и т. д. В конечном итоге проводится количественное определение интересующего компонента косвенными методами с применением анализатора того или иного

принципа действия. Средства пробоподготовки по своей сложности, энергоемкости, стоимости зачастую не уступают аналитической аппаратуре. Это положение обусловлено особенностями биологических объектов.

Биологические субстанции характеризуются наивысшей сложностью. Они представляют собой многокомпонентные, часто многофазные тонкоструктурированные системы, которые очень чувствительны к различным физико-химическим воздействиям. Даже такие относительно простые объекты, как плазма крови и моча, представляют собой гетерогенные растворы, содержащие органические и неорганические электролиты, высокомолекулярные полиэлектролиты и надмолекулярные структуры. Изъятие биопробы из организма нарушает естественные связи ее с другими компонентами. Вне организма объект перестает быть живым, в нем развиваются процессы лизиса, денатурации, разрушения структур и комплексов. Эти факторы нельзя не учитывать при постановке медицинского анализа. Удовлетворительным может быть признан только такой результат анализа, который объективно отражает роль данного объекта в функционировании организма и, следовательно, позволяет выбрать обоснованную тактику лечения.

В медицинском анализе главным является его предназначенность для использования в оперативном диалоге врач – пациент. Рассматривать анализ в отрыве от сферы реализации его результатов бессмысленно. Именно она определяет требования к анализу и степень удовлетворения этим требованиям. При таком подходе собственно анализ, состоящий в измерении параметра, входит как составная часть в замкнутую функциональную цепь: пациент→ объект→ отбор пробы→ анализ→ обработка информации→ врач→ пациент. Указанные функциональные связи реализуются в биотехнической системе для лабораторного анализа (БТС-ЛА).

Структура БТС-ЛА может быть представлена схемой, изображенной на рисунке 16 а. Эта общая система включает в себя две подсистемы, формально отличающиеся принадлежностью анализируемых объектов к внешней или внутренней среде организма и направлением воздействия со стороны врача непосредственно на организм или опосредствованно через внешнюю среду (*ВнС*) путем изменения ее параметров. В обобщенном виде совокупность объектов внешней и внутренней среды организма образует депо объектов анализа (*ДОЛ*). Эти подсистемы в основном соответствуют таким сложившимся в медицинской практике подразделениям, как клинико-диагностические лаборатории (*БТС-КДЛ*) и лаборатории санитарно-эпидемиологических станций (*БТС-СЭС*). Структурные схемы подсистем БТС-КДЛ и БТС-СЭС представлены на рисунке 16 соответственно.

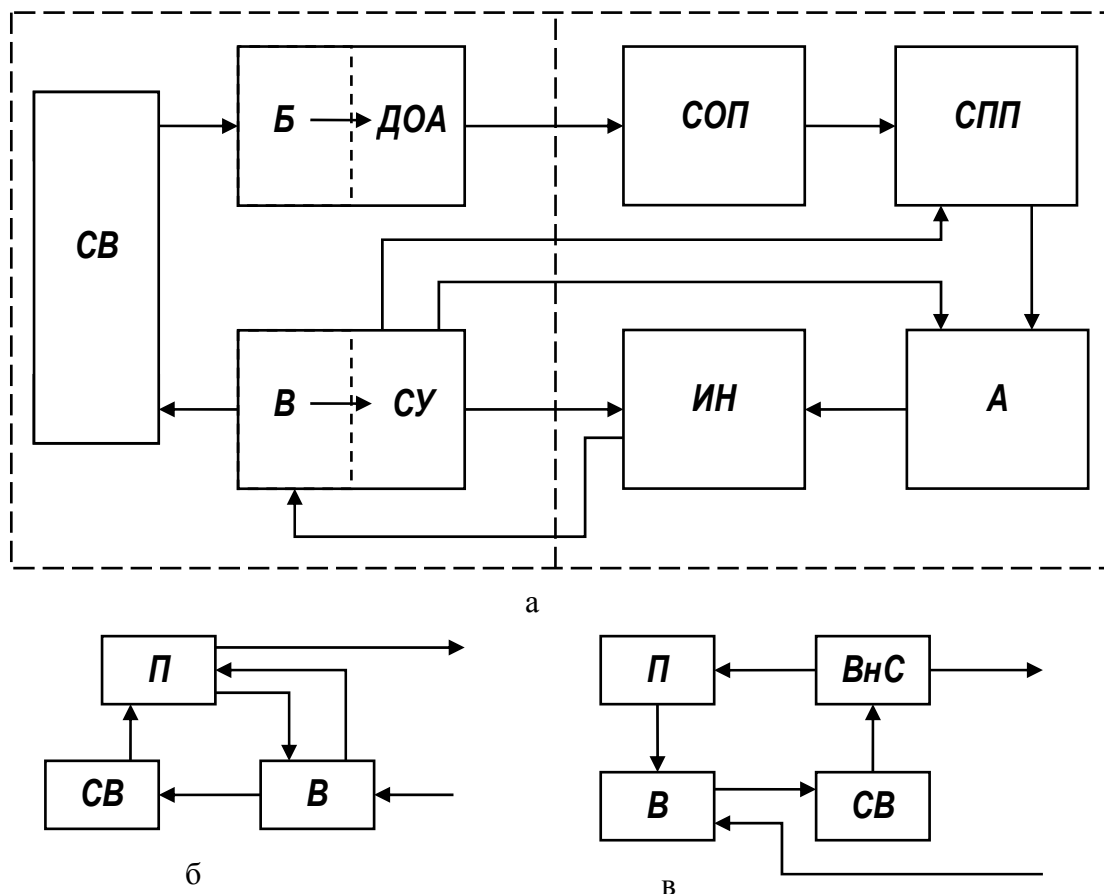


Рисунок 16 – Обобщенная структурная схема БТС-ЛА (а) и структурные схемы подсистем БТС-КДЛ (б) и БТС-СЭС (в)

Исходными элементами при построении структурной схемы очевидно, являются пациент (*П*) и врач (*В*). При недостаточности непосредственной, т. е. получаемой с помощью органов чувств, информации о состоянии физиологических систем пациента врач вынужден обратиться к средствам, способным предоставить ему необходимую объективную информацию. Сегодня такая ситуация является типичной и упомянутое техническое средство представляет собой анализатор (*А*), а с учетом его назначения – медицинский лабораторный анализатор.

Понятие «анализатор» используется в узком смысле: как техническое средство, обеспечивающее измерение некоторого физического (физико-химического) или биологического параметра определенного биологического вещества. При этом предполагается наличие однозначной количественной зависимости между величиной параметра и свойством биологического объекта.

В результате процесса измерения на выходе анализатора получаем электрический сигнал, характеристики которого строго связаны с величиной входного параметра. Информация о пациенте, содержащаяся в выходном сигнале, должна быть представлена врачу в форме, удобной для использования. Исходя из потребности современной медицинской практики, необходимо стремиться освободить врача от рутинных операций по обработке информации, оставив за ним функции анализа и принятия решения. Таким образом, как необходимый элемент рассматриваемой технологической цепи выступает

информационное устройство (ИУ), включаемое через систему управления (СУ) между анализатором и врачом.

Если речь идет не просто о профилактическом обследовании населения, а о больном человеке, то полученная информация используется врачом активно для определения схемы направленного воздействия на организм пациента с целью приведения его характеристик к норме. В общем случае это воздействие осуществляется через физиотерапевтические, медикаментозные или другие средства воздействия (СВ). Учитывая большую сложность биологических объектов и возросшие требования к качеству анализа, прямое измерение параметров биообъектов непосредственно в организме производится крайне редко. Как исключение, можно отметить измерение кислотности в желудочно-кишечном тракте, измерение содержания кислорода и углекислого газа непосредственно в кровеносном русле, измерения газообмена в тканях.

В подавляющем большинстве случаев измерение параметра проводится на веществе, преобразованном из первичной биопробы. В медицинской практике уже давно сформировались инструментальные методы количественного отбора биологических проб и микропроб: крови, лимфы, спинномозговой жидкости и т. п.

Эти методы реализуются в средствах отбора пробы (СОП), имеющих контакт непосредственно с пациентом. При тонких определениях, например при биохимических исследованиях, биологическая проба подвергается ряду воздействий, позволяющих устранить мешающие определению факторы и выявить информативные параметры в явном виде. Предварительная обработка пробы входит как необходимое звено технологической цепи практически в любой анализ.

Этот процесс реализуется средствами подготовки пробы (СПП). При проведении определенного анализа технические средства должны быть соответствующим образом согласованы, и настроены. Возникает необходимость включения в систему некоторого командного (программного) устройства. Пока, как структурный элемент, такие устройства входят только в состав автоанализаторов. Обычно же эти функции выполняет медицинский персонал. На схеме наличие таких функций не отмечено, так как мы не отделяем их от врача, хотя и не исключаем наличия специального устройства.

Кроме рассмотренной цепи технических средств получения и использования информации, участвующих в диалоге пациент – врач, этот диалог существует и в непосредственной форме. Причем речь может идти как о получении врачом сведений о пациенте при прямом контакте, так и о прямом воздействии врача на пациента. Не вдаваясь в область указанных отношений, примем к сведению наличие упомянутых прямых связей.

Во всех наших построениях мы имеем в виду врача вообще (без учета его специализации), как и пациента вообще. Это не совсем отвечает медицинской практике, поскольку анализ в медицинской лаборатории обеспечивает лаборант, а диагностики и лечение – терапевт, хирург, а чаще целый ряд врачей. Однако главные функции врача как лица, имеющего дело с пациентом и имеющего целью привести его к норме, могут быть условно объединены и

приписаны врачу вообще. Мало того, промежуточные функции (связующие, транспортные и т. д.), обозначенные на рисунке стрелками, часто также выполняются медицинским персоналом. Его присутствие мы будем учитывать при анализе конкретных элементов схемы.

Все эти рассуждения относятся преимущественно к анализам, проводимым в условиях клинико-диагностической лаборатории. Однако они могут быть распространены на анализ любых объектов, влияющих на состояние человека (пациента).

Например, речь может идти об объектах внешней среды, таких, как воздух, вода, пища. Их роль в нормальном функционировании организма общеизвестна. Накопленный медицинский опыт дает возможность по составу объектов внешней среды прогнозировать реакцию человека и, следовательно, выбрать формы воздействия на него и на объекты среды, устраняющие неблагоприятные результаты ее влияния. В качестве примера можно привести острую реакцию сердечнососудистой системы на загрязнение атмосферы – появление смога; возникновение таких заболеваний, как пневмокониозы, связанные с наличием механических примесей в воздухе; развитие «синей» болезни, связанной с нарушением дыхательной функции крови вследствие загрязнения водоемов азотистыми соединениями; наконец, отравление пестицидами и инсектицидами [12].

Технологическая цепь санитарно-эпидемиологического анализа отличается от клинико-диагностического только размещением анализируемых объектов вне пациента. Все остальное касается частных реализаций соответствующих технических устройств. Если не принимать во внимание ограниченной возможности оценки некоторых параметров внешней среды без отбора проб, то общая схема проведения анализа и использования его результатов полностью повторяется.

7.2 Биотехнические аспекты систем лабораторного типа

Рассматриваемая система лабораторного анализа охарактеризована нами как биотехническая. Существенным представляется включение в состав БТС-ЛА таких макроскопических биологических объектов как пациент и врач. Наличие их в системе необходимо для нормального ее функционирования. «Пациент» как макроскопический объект анализа формально представляет собой депо анализируемых веществ. Как упоминалось, биологическая проба вне организма неизбежно претерпевает изменения, обусловленные изменением ее физиологического состояния, нарушением физиологических связей с поддерживающими ее состояние системами организма. Изъятие «пациента» из схемы невозможно, поскольку неизбежно приведет к неопределенности термина «анализируемый объект». Это положение подробнее будет рассмотрено далее при анализе устройств отбора пробы.

Врач в структуре БТС-ЛА выполняет функции преобразования информации и реализации ее путем воздействия на пациента. Через врача и средства воздействия замыкается обратная связь, обеспечивающая поддержание некоторого состояния пациента, условно обозначаемого как «норма».

Такое рассмотрение несколько выходит за рамки тех задач, которые ставятся обычно перед лабораторным анализом. В традиционном понимании результатом анализа является зарегистрированная количественная оценка некоторой характеристики биологического объекта. Однако в отрыве от задач реализации результата медицинского анализа не могут быть четко сформулированы требования ни к одному из устройств, входящих в БТС-ЛА, становится неопределенной информация на выходе информационного устройства. Все упомянутые блоки согласуются, строго увязываются по функциям через врача в соответствии с выполняемой им операцией обратной связи. Таким образом, блок «врач» обязателен для БТС-ЛА.

Уже предварительное рассмотрение показало, что проблема медицинского лабораторного анализа может быть удовлетворительно решена только с позиций компромиссного решения взаимосвязанных биологических и технических проблем. Биотехнические аспекты медицинского лабораторного анализа определяют его специфику и ставят этот анализ в особое положение по сравнению с другими видами анализа материалов, проводимых на основе физических и физико-химических методов в других прикладных областях. Недостаточное внимание к влиянию биологического фактора на качество выполнения всех процессов анализа может привести к серьезнейшим нарушениям достоверности результатов анализа и, как следствие, к бесполезному или вредному использованию таких результатов.

Рассмотрим взаимосвязь биологических и технических факторов в главных звеньях БТС-ЛА.

Отбор пробы подразумевает изъятие из организма некоторого количества вещества, свойства которого отвечают объективной картине состояния соответствующей физиологической системы и организма в целом. В организме все системы функционально взаимосвязаны. Именно это обстоятельство обусловило, в частности, ценность анализа системы крови, поскольку в качественном и количественном составе ее компонентов находят отражение все существенные физиологические и патологические изменения состояния организма.

Но эта взаимосвязь, взаимовлияние физиологических систем организма может иметь и нежелательные проявления. Например, сдвиги в психическом состоянии пациента могут найти проявление в изменении биохимической картины крови; типичный случай – увеличение содержания адреналина в крови в стрессовых состояниях. Такого же рода проявления будут иметь место при утомлении, в состоянии депрессии. Часто при выполнении анализа узкоконкретного назначения такими влияниями можно пренебречь. Однако существующая тенденция использования микроколичеств биологического материала, всех данных, которые могут быть получены от одной биопробы, заставляет относиться со вниманием ко всем факторам, способным привести к изменению естественного состояния анализируемого объекта, факторам как биологического, так и технического характера.

Среди них мы отметим три основных группы:

- нарушения в нормальном функционировании анализируемой системы организма и связанные с этим изменения пробы под влиянием психических факторов (мнительность пациента, страх перед процедурой, болевые ощущения и т. д.);
- нарушения в пробе, связанные с методикой отбора пробы; (инструментальное воздействие, используемые химические средства и т. д.);
- нарушения в пробе, связанные с неполным соблюдением методики отбора, обусловленным недостаточной квалификацией медицинского персонала, невнимательностью и т. д.

Анализ указанных факторов позволяет наметить пути снижения их влияния. Отметим целесообразность использования методик отбора пробы, не связанных с болевыми или другими, неприятными для пациента ощущениями. Предпочтительнее ориентировка на объекты, естественно выделяемые организмом, такие, как моча, слюна и т. д. Но возможности получения широкого круга сведений по данным выделительных систем ограничены. Поэтому следует использовать объекты, потенциально несущие в себе максимум информации в микроколичествах.

Таким объектом, по-видимому, является капиллярная кровь. По мере повышения требований к максимальному использованию информации, заложенной в анализируемом объекте, следует ограничить химическое воздействие на пробу, имеющее целью стабилизировать некоторые ее свойства. Например, применение антикоагулянтов, предохраняющих кровь от свертывания, приводит к нарушению баланса минеральных веществ плазмы и форменных элементов, изменению структуры поверхностных слоев оболочки эритроцитов.

Следует иметь в виду возможное химическое (каталитическое) влияние на пробу инструментов и материала емкостей, вмещающих пробу, компонентов воздушной среды, следов моющих и дезинфицирующих веществ, применяемых для обработки средств отбора пробы.

Наконец, процедура отбора пробы должна быть организована таким образом, чтобы исключить влияние субъективного фактора – состояние медицинского персонала. Это может быть стандартизация приемов, механизация и т. д. вплоть до полной автоматизации отбора пробы. В этом направлении уже достигнуты определенные успехи.

Обработка пробы производится для того, чтобы приспособить ее к определению отдельных компонентов соответствующими аналитическими методами и средствами. Для колориметрических методов это обычно приведение биологической пробы к форме окрашенного истинного или коллоидного раствора; для цитометрического анализа крови – стабилизация, разбавление, химический или другой гемолиз эритроцитов; для электрофоретического анализа белковых фракций – устранение солевого фона и т. д.

Используемые в медицинской лабораторной практике аналитические методы не позволяют проводить определение большого числа компонентов в

микропробе, находящейся в естественном состоянии. Таким образом, процедура пробоподготовки пока (и по-видимому, еще долгое время) остается обязательной.

Как правило, такая обработка исходного биологического материала приводит к значительному его изменению, денатурации естественных структурных и биохимических компонентов. Можно считать, что такая ситуация допустима при выполнении анализа минерального состава вещества, определения концентрации белковых фракций в целом и в ряде других случаев.

Однако исследования тонких биохимических процессов, таких, как некоторые процессы обмена веществ, ферментативные реакции, функциональные реакции защитных систем, выявили необходимость сохранения естественных свойств объекта не только вплоть до начала анализа, но и в течение его выполнения.

Вопрос адекватности пробы, поступающей на вход анализатора, и биологического материала требует самого пристального внимания. В каждом конкретном случае необходимо оценивать возможность искажения информации в процессе пробоподготовки. Этот вопрос не может быть рассмотрен сколько-нибудь полно без изучения самих анализаторов, поскольку именно ограниченные возможности аналитических методов в приложении к объектам, доступным анализу, предопределяют необходимость тех или иных воздействий на пробу. Всю совокупность процедур пробоподготовки условно разделим на три группы в соответствии с частотой их применения и степенью влияния на специфические биологические свойства объекта:

- общие – дозирование, разбавление, перемешивание;
- специальные – фракционирование (с помощью ультрацентрифуги, электрофореза, фильтрации, хроматографии и т. д.), гемолиз (осмотический), гомогенизирование и дезагрегирование;
- частные – сжигание пробы, химическое воздействие, окрашивание, фиксация и т. д.

В отношении первой группы процедур и соответствующих средств следует иметь в виду те же замечания о материалах и веществах, которые относились к средствам отбора пробы.

Специальные приемы пробоподготовки предусматривают разъединение биологических структур, многокомпонентных объектов без нарушения существенных свойств последних. Оговорка о существенных свойствах биологических объектов свидетельствует об относительности этой оценки. Задаваясь конкретной узкой задачей анализа, вероятно, можно предусмотреть изменения пробы под воздействием указанных процедур и оценить меру этих изменений. Однако нарушение, воспринимаемое сегодня как несущественное, может оказаться объективно существенным при расширении круга наших знаний об объекте. Сравнительный анализ результатов некоторых определений, выполненных в клиничко-диагностических лабораториях различных стран, показывает постоянные стабильные различия в количественной оценке, обусловленные, в частности, разными методиками пробоподготовки. Очевидно, что нужно стремиться к использованию таких аналитических методик, которые

требуют минимального преобразования биопробы, сокращения количества процедур, даже самых нейтральных на первый взгляд. Процедуры, которые отнесены к третьей группе, можно рассматривать как архаические несмотря на их применение с использованием совершенной аналитической аппаратуры.

Превращение биопробы в отвлеченный объект анализа, косвенно отражающий одно из свойств биологического объекта, но реально полностью утративший биологическую специфичность, – путь, который принципиально может привести к ложному результату. Даже анализ минерального состава биопробы (Na, K, Ca, Mg, Fe, Si и т. д.), быстро и точно выполняемый на пламенном фотометре, не дает всей полезной информации. Известно, что для биологических веществ важно не только само наличие того или иного элемента, но и форма, в которой он участвует в биохимических молекулах, его принадлежность тем или иным структурам. Химический анализ, выполненный универсальными средствами, не может осветить этот аспект. То же касается стереохимической структуры молекул и связанных с нею свойств последних. Анализ даже на элементарном уровне должен оставаться специфичным.

Главным препятствием для широкой унификации медицинских лабораторных методик и эффективного использования анализаторов, зарекомендовавших себя в других областях анализа как универсальные и точные, является гетерогенность, сложность биологических объектов. Поэтому, не останавливаясь на устройствах пробоподготовки, применяемых повсеместно (дозаторах, смесителях, встряхивателях, фильтрах, дилляторах и т. д.), рассмотрим те устройства, которые служат для разделения биопробы на более или менее однородные компоненты таким образом, чтобы обеспечивались условия независимого анализа этих компонентов с использованием по возможности ограниченной группы анализаторов.

Разделение гетерогенного объекта на составляющие обязательно связано с затратами энергии. Наиболее успешно в практике медицинских лабораторий реализуются методы, использующие силовые воздействия механической, электрической и сорбционной природы.

Центрифуги. В настоящее время существуют десятки моделей лабораторных центрифуг, т. е. устройств, использующих центробежные силы для выделения из коллоидного раствора (суспензии) компонентов, плотность которых отлична от плотности растворителя (суспендирующей среды). Центрифуга позволяет очень быстро и качественно отделить форменные элементы крови от плазмы, выделить клеточные, в том числе бактериальные компоненты из биологических жидкостей. Препаративные центрифуги позволяют обрабатывать одновременно десятки проб объемом до 10-20 мл. Обычно лабораторная центрифуга имеет до 10 000 об/мин, что обеспечивает значение фактора разделения до $(5-7) \cdot 10^3 g$ (где g – ускорение свободного падения). Ротор суперцентрифуги вращается со скоростью до $(40-50) \cdot 10^3$ об/мин, что повышает фактор разделения до $(20-40) \cdot 10^3 g$. Такие устройства позволяют выделить субклеточные компоненты, полимерные молекулы и другие образования. Наконец, ультрацентрифуга (число оборотов

ротора до $(70-100) \cdot 10^3$ об/мин) позволяет производить разделение белков на фракции.

Такие качества, как простота, доступность, надежность ставят центрифугу в ряд обязательных устройств пробоподготовки. Важное достоинство этого метода разделения – отсутствие искажений тонкой структуры молекул, отсутствие нарушений биологической специфичности.

Электрофоретическая аппаратура предназначена для разделения многокомпонентной смеси на фракции, отличающиеся скоростью перемещения под действием сил электрического поля. При существенной простоте устройства электрофоретическая аппаратура обеспечивает тонкое разделение белков и других биохимических соединений, позволяет разделить суспензию клеток по грациям, не выявляемым иными способами (например, электрофоретическое разделение клеток крови, связанное с вариацией плотности поверхностного электрического заряда, что, в свою очередь, обусловлено тонкими биохимическими отличиями в оболочке). Чаще электрофорез выступает как основная стадия самостоятельного вида анализа, в частности белкового состава биологических жидкостей. Вторая стадия состоит в проявлении отдельных фракций и количественной их оценке с помощью, например, оптического денситометра. Известны другие аналитические формы электрофореза, например диск-электрофорез. Однако как средство пробоподготовки электрофорез еще не исчерпал своих возможностей.

Сорбционное разделение осуществляется на колонках, подобных тем, которые составляют одну из основных частей хроматографа. Исследование и промышленное освоение новых жидких и твердых сорбентов высокой чистоты и большой сорбционной емкости открывают новые возможности бы? строго и качественного разделения жидких и газообразных сред. Все более широкое применение находят ионообменные смолы, постоянно увеличивается число селективных анионитов и катионитов. Сорбционное разделение сложной смеси имеет большое будущее.

Названные методы для разделения биопробы на фракции характеризуются прежде всего малой травмируемостью пробы (сравните с выпариванием, сжиганием и другими методами аналитической химии), высокой разрешающей способностью и производительностью. Аппаратура, используемая в этих случаях, может быть довольно сложной и дорогой. Однако ее применение позволяет существенно повысить качество анализа, выполняемого на широко доступных анализаторах. Совокупные затраты времени и средств могут быть меньше, чем расходы, связанные с усложнением процедуры анализа или использования большой совокупности анализаторов высокого класса.

Анализ пробы позволяет получить информацию об объекте, как правило, по реакции на определенные энергетические воздействия. Часто такое воздействие представляет собой излучение определенного вида энергии, воздействие электрическим или магнитным полем, потоком элементарных частиц и т. д.

Биологические объекты в силу их лабильности имеют низкие энергетические пороги линейности, в особенности если речь идет об анализе на

уровне высокоорганизованной живой материи: клеток, тканей, органов.

Не вдаваясь подробно в эту проблему, отметим только связанную с этим обстоятельством необходимость работать на возможно более низких уровнях воздействующих потоков энергии. Инженер в таком случае всегда решает компромиссную задачу: понизив уровень воздействующей энергии, он уменьшает погрешность, обусловленную искажением свойств объекта, но увеличивает вероятность ошибки вследствие помех, флуктуации, низкой чувствительности аппаратуры. Подробнее средства и методы анализа биообъектов будут рассмотрены в следующем параграфе.

Обработка информации о биообъекте имеет свою специфику. Для практического врача информация об объекте как таковая, т. е. как характеристика некоего биологического объекта, не имеет ценности. Она важна только как средство, позволяющее выработать объективно обоснованную тактику лечения, т. е. как элемент обратной связи от объекта через врача к пациенту.

Таким образом, и на этом участке БТС-ЛА имеет место взаимодействие технических и биологических проблем. Обычно выделяют два канала использования информации: в зарегистрированном виде для документирования (график, таблица, число) и для предъявления непосредственно врачу после предварительной автоматической обработки с дифференцировкой на группы.

Перед врачом объективно ставится задача отнести наблюдаемый результат к одной из групп: норма достоверная, норма недостоверная, патология недостоверная, патология достоверная и т. д. Эти группы здесь выделены условно. Для того чтобы решить такую задачу, необходимо располагать, как минимум, сведениями о среднестатистических границах нормы и патологии и вариациях этих границ в зависимости от частных факторов: возраста, пола, конституции, предыстории больного, его настоящего состояния.

Результаты конкретного анализа не могут быть оценены без учета результатов других видов анализа, совокупно характеризующих состояние физиологических систем пациента, т. е. речь может идти только о комплексной оценке.

Объем формальной логической обработки информации превышает возможности человека. В таких ситуациях врач обычно (сознательно или бессознательно, автоматически) полагается на свой предшествующий опыт и принимает решение, основанное на врачебной интуиции. Однако качество решения остается неопределенным, а возможные ошибки в подобных ситуациях имеют слишком высокую цену.

Такая ситуация разрешается средствами обработки информации. При этом имеются в виду средства двух классов.

Первый, или низший, класс охватывает средства первичной обработки информации, выполняющие операции интегрирования, усреднения, сравнения и т. д.

Такие средства предназначены для первичной обработки кинетических кривых, выделения характеристик элементарных процессов и совокупностей данных, выявление характеристик распределений и т. д., например, оценка

параметров распределения форменных элементов крови по размерам по данным цитометрических анализаторов, оценка параметров кинетических кривых в зависимости от активности фермента, оценка параметров кривых, описывающих процесс свертывания крови и т. д.

Ко второму, или высшему, классу устройств обработки информации будут относиться устройства способные на основе некоторых логических методов провести совокупный анализ большого массива информации с использованием данных комплекса анализов, статистических данных заложенных в память.

Речь идет об ЭВМ общего назначения или специализированной на решении подобных задач.

Тенденция оснащения медицинских лабораторий техникой, как первого, так и второго класса в особенности ярко проявляется по мере укрупнения лабораторий, их централизации и является одним из эффективных способов повышения производительности труда лаборатории и эффективного использования данных лабораторного анализа.

Вопрос обработки медицинской информации связан с разработкой новых методов и алгоритмов решения вышеупомянутых задач, и представляет собой специальное направление прикладной математики и биомедицинской кибернетики. Подробное его изложение выходит за рамки настоящего рассмотрения БТС-ЛА.

Другим, не менее важным вопросом при интерпретации результатов лабораторных исследований является вопрос о представлении этих результатов исследователю. В лабораторных приборах нашли применение все широко известные методы представления: индикация с помощью стрелочных приборов, цифровых индикаторов, а также графическая регистрация на бумажный носитель.

В современных комплексах для лабораторных исследований, которые содержат специализированные процессоры для обработки информации и управления технологическим процессом анализа пробы, находят применение цифropечатающие устройства и дисплеи.

По принципам построения устройства представления информации для лабораторной аналитической техники не имеют отличий от устройств представления информации в других технических системах. Вопросам отображения биомедицинской информации посвящены многие работы специалистов в этой области.

7.3 Методы и средства лабораторного анализа

Выбор метода анализа определяется, с одной стороны, стремлением получить возможно полную информацию об объекте, а с другой, необходимостью снизить трудоемкость анализа, использовать ограниченный комплекс аппаратуры. Часто определение параметров биообъекта в равной мере возможно при использовании различных методов анализа. Практическое же применение находят те из них, которые реализуются наиболее простыми и высокопроизводительными техническими средствами. Этот критерий выбора является решающим для практических лабораторий.

Рассмотрение приборов и аппаратов, образующих технические средства БТС-ЛА, целесообразно начать с анализаторов, поскольку именно их возможности в значительной степени определяют необходимую совокупность прочих технических средств. Анализатор выступает в БТС-ЛА как измерительный прибор, определяющий только величину конкретного физического параметра.

Такой параметр характеризует одно свойство вещества, получившегося в результате преобразования биопробы.

При этом указанное свойство анализируемого вещества отражает одно (или немногие) свойства исходного биологического объекта. Биологический объект, как уже отмечалось, является объектом сложным по структуре и по функции и может быть охарактеризован сколь-нибудь полно только по совокупности свойств, набор которых определяется прикладной задачей исследования.

Например, даже приблизительная оценка дыхательной функции кровеносной системы требует знания таких показателей, как концентрация эритроцитов, содержание мет- и оксигемоглобина, распределение формы и объема эритроцитов, содержание кислорода и углекислого газа в тканях, содержание ионов железа в эритроцитах и плазме и т. д. Иными словами оценка состояния биологического объекта выполняется по совокупности разнородных в аналитическом отношении свойств. Общий путь анализа материала состоит в выявлении его свойств по реакции на определенные энергетические воздействия.

Вид воздействующей энергии определяет и характер выявляемых свойств: оптических, электрических, механических. Указанные свойства носят отвлеченный характер и напрямую не связаны с биологическими свойствами объекта анализа. И лишь при строго определенных условиях количественных преобразований носителей биологических свойств в носители свойств физических реализуется возможность косвенного измерения параметров биологического объекта.

Энергетическое воздействие на объект анализа осуществляется в первичном измерительном преобразователе на входе анализатора.

При этом доля энергии, измененная взаимодействием с объектом, преобразуется в электрический сигнал, параметры которого несут информацию о свойстве анализируемого материала. Например, амплитуда тока в рамке датчика электромеханического тромбоэластометра пропорциональна вязкости капли в процессе ее свертывания.

Преобразование может быть и многоступенчатым. Например, концентрация легких ионов (H^+ , Cl^- , Na^+ , K^+ и др.) определяет удельную электрическую проводимость плазмы.

Электрическая проводимость преобразователя связана с последней через геометрические параметры электродов, а выходной сигнал измерительного преобразователя кондуктометра (сила тока, напряжение) пропорционален величине его электрической проводимости.

Функции прочих узлов и блоков анализатора состоят в преобразовании электрического сигнала, сравнении его с мерой и представлении результата в требуемой форме.

Использование физико-химических методов анализа и соответствующей аппаратуры для выполнения медицинского анализа всегда связано с отысканием компромиссного решения.

С одной стороны, физико-химические методы анализа характеризуются высокой чувствительностью, кратковременностью определения, универсальностью в отношении анализируемых объектов, не требуют больших количеств анализируемого материала, отличаются высокой точностью, могут быть реализованы в относительно компактных, малоэнергоёмких устройствах, принципиально доступных высокой степени автоматизации, т. е. обладают целым рядом ценнейших достоинств. С другой стороны, эти методы, точнее конкретные приборы, основанные на тех или иных физико-химических методах, имеют ограниченное применение для совокупного анализа биологического объекта, поскольку позволяют выявить только одно или несколько однородных его свойств.

Информативная ценность такого определения в отрыве от других свойств, характеризующих данный объект, ограничена.

Поэтому для получения целостной картины состояния организма врач вынужден опираться на результаты многочисленных разнородных анализов, проводимых на различной аппаратуре по специальным методикам, ориентированным на выявление различных физических свойств объекта соответствующими физико-химическими методами.

Для целей медико-биологических исследований апробированы практически все известные физико-химические методы анализа.

Рассмотрим требования, предъявляемые к методу при его выборе. Отметим сначала те свойства процесса исследования объекта, которые являются основой при проведении выбора метода и учитывают особенности биологического объекта:

- низкий энергетический уровень внутренних взаимодействий, определяющих устойчивость структурных комплексов на субклеточном, молекулярном и субмолекулярном уровнях и, как следствие этого, нестабильность, легкая травмируемость биологических материалов вплоть до утраты специфических свойств при внешних энергетических воздействиях;

- сохранение биологической специфичности в относительно узком температурном диапазоне, следствием чего является необходимость проведения динамических и биохимических исследований при стабилизированных температурах;

- ограниченный объем биопробы;

- гетерогенность биологических объектов, их многокомпонентность, сохранение биологической специфичности в узком диапазоне значений pH, ионной силы среды и других химических показателей.

Исходя из этих свойств, можно сформулировать теперь требования к самим методам исследования:

- высокая чувствительность преобразователя к минимальному количеству энергии, обеспечивающая возможность работы на малых уровнях воздействующих энергий и гарантирующая сохранение биологического объекта неповрежденным;

- существенные изменения характеристик носителя воздействующей энергии при малых изменениях свойств биологического объекта, т. е. высокая относительная чувствительность измерительного преобразователя;

- малые геометрические размеры активной зоны преобразователя;

- избирательность преобразователя, т. е. возможность путем варьирования параметров воздействующей энергии выделять, свойства, присущие конкретному компоненту гетерогенной системы.

Рассмотрим с этих позиций наиболее употребительные методы лабораторного анализа.

В аспекте минимальности внутренних энергетических превращений в пробе в процессе анализа идеальным является *потенциометрический* метод. Это единственный метод, не связанный с воздействием на объект внешней энергией и не расходующий при измерении внутреннюю энергию объекта.

Метод состоит в измерении потенциала измерительного (индикаторного) электрода относительно потенциала некоторого опорного электрода. Потенциометрический метод давно нашел признание при измерении кислотности любых растворов на основе использования индикаторных водородного, хингидронного и стеклянного электродов.

В качестве источника опорного потенциала используется каломельный, а чаще неполяризующийся хлорсеребряный электрод. В последние годы, благодаря распространению мембранных ионоселективных электродов (стеклянных и полимерных) возможности метода были распространены на определения многих анионов и катионов.

При использовании потенциометрического метода биологическая проба может быть проанализирована в ее естественном состоянии, не подвергаясь никаким операциям предварительной обработки, с сохранением всех свойств ее многочисленных компонентов.

Сам процесс измерения потенциала электродов (точнее электродвижущей силы электрохимического элемента, образованного индикаторным и опорным электродами) предусматривает создание условий, исключающих потребление тока в измерительной цепи, что обеспечивает отсутствие процессов рассеяния энергии в биопrobe и сохраняет неизменной даже минимальную концентрацию потенциалопределяющих ионов.

Диаметр электродов, выпускаемых ведущими фирмами, составляет около 3 мм. С использованием некоторых приспособлений объем пробы может быть уменьшен до 0,2-0,3 мл.

Возможности потенциометрического метода ограничиваются установлением минерального состава пробы (при использовании набора индикаторных электродов) и относительно невысокой чувствительностью при прямых измерениях.

Несмотря на все свои достоинства метод не пригоден для анализа биохимических компонентов, поэтому возможности медицинского применения его ограничены.

Применение всех прочих методов связано с активным энергетическим воздействием на пробу. Поскольку закон сохранения энергии является универсальным, то в принципе все методы, основанные на эффектах взаимодействия пробы с потоком энергии, могут быть представлены общей функциональной схемой (рисунок 17).

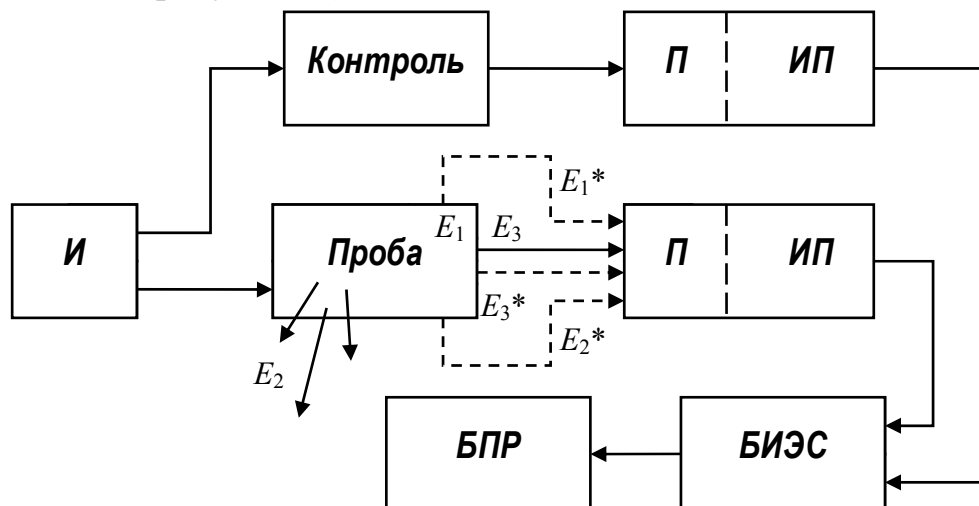


Рисунок 17– Обобщенная структурная схема анализатора

Пусть E – поток энергии, подаваемой от специального источника (I) на измерительную кювету, содержащую анализируемую пробу. Пренебрегая потерями энергии на пути к кювете в несовершенных энергопроводах, в материале кюветы и индифферентных веществах, входящих в пробу, можем утверждать, что в общем случае

$$E = E_1 + E_2 + E_3,$$

где E_1 – доля потока энергии, поглощенная (запасенная) пробой;

E_2 – доля потока энергии, рассеянная (отраженная) пробой;

E_3 – доля потока энергии, прошедшая сквозь пробу.

Энергия, запасенная пробой, при определенных условиях может быть излучена в виде потока энергии E_1 , в общем случае имеющего иные характеристики, чем поток E или E_1 . Поток энергии, прошедшей сквозь пробу, может быть подвергнут воздействию со стороны вещества пробы без потерь энергии, при этом изменяются некоторые его параметры. Например, изменится направление потока света в соответствии с законами преломления света на границе сред с различными коэффициентами преломления, направление плоскости поляризации и т. д. Такой поток энергии обозначен как E_3^* .

Энергия, рассеянная пробой, несет в себе информацию о параметрах взаимодействия пробы с падающим потоком E . Та доля рассеянной энергии, которая подлежит измерению, обозначена как E_2^* .

Доля энергии, содержащая информацию о свойствах пробы, улавливается приемником (II) первичного измерительного преобразователя ($ИП$), в котором

характеристики потока энергии преобразуются в физические параметры (величины), удобные для дальнейшего преобразования или непосредственного измерения.

Например, характеристики светового потока, падающего на фоторезистор, определяют величину его электрического сопротивления. Вторичный измерительный преобразователь (например, мостовая схема) преобразует величину сопротивления в электрический сигнал тока или напряжения, подаваемый на вход блока измерения электрического сигнала (*БИЭС*). В общем случае этот блок представляет собой электронную схему, преобразующую электрический сигнал по определенному закону (линейному, логарифмическому и т. д.) в соответствии с требованиями представления результатов измерения (*БПР*).

С тем чтобы исключить из результатов измерения влияние на пробу сторонних факторов, таких, как нестабильность потока E , изменение фона пробы, чтобы уменьшить влияние температуры и т. д., параллельно рассмотренному измерительному каналу может быть включен контрольный (опорный) канал, аналогичный ему по выполнению.

Контрольный (опорный) канал отличается характеристиками пробы, заключенной в измерительной кювете, по отношению к падающему потоку энергии E .

Контрольный канал может быть задействован одновременно с рабочим, и тогда на вход блока измерения поступают одновременно два аналогичных электрических сигнала, разность или отношение которых корректно связаны с представляющими интерес параметрами пробы.

В другом варианте рабочий и контрольный каналы могут включаться поочередно, и тогда на блок измерения электрического сигнала поступает временная последовательность соответствующих сигналов. В ряде случаев при этом может быть использован один приемник, включаемый поочередно в один из двух каналов.

Рассмотренная функциональная схема анализатора пригодна для всех практически интересных методов и приборов прямого измерения, применяемых в медицинском лабораторном анализе.

Под *методами прямого измерения* обычно понимают методы, основанные на измерении энергии, несущей информацию о непосредственном взаимодействии пробы с падающим потоком энергии. В методах косвенного измерения измерительная информация заключена в характеристиках дополнительного воздействующего на пробу агента (например, химического), а рассмотренное ранее энергетическое взаимодействие используется только для индикации характерного состояния пробы. Типичный пример косвенного измерения представляет титрование. В этом случае концентрация интересующего вещества в пробе определяется таким количеством вещества известной концентрации, вступающего в химическую реакцию с анализируемым веществом, так называемого титранта, которое приводит пробу в характерное состояние, обнаруживаемое тем или иным способом.

Условия измерения могут быть охарактеризованы следующей системой уравнений:

$$A = \alpha \cdot B$$

где A – выражение результата измерения на выходе блока-представления результата;

B – электрический сигнал на выходе блока измерения электрического сигнала;

α – функция преобразования сигнала B в блоке представления результата.

Сигнал B является результатом функции $f(I_1, I_2)$ преобразования сигналов на выходе рабочего I_1 и контрольного I_2 измерительных в блоке измерения электрического сигнала. Функция α в случае представления результата на индикаторном приборе (стрелочном или цифровом) или на диаграммной ленте самопишущего устройства представляет собой именованный масштабный коэффициент; а в случае выдачи результата в двоичном коде для трансляции или обработки на ЭВМ отвечает преобразованию аналог – цифра. Функция f может быть оператором вычитания, отношения, логарифмирования и т. д. в зависимости от способа измерения. Сигналы I_1 и I_2 представляют собой функции:

$$I_1 = F(X_1, E_1, S_1), \quad I_2 = F(X_2, E_2, S_2),$$

где X_1 и X_2 – обобщенная характеристика вещества в рабочей и опорной кюветах соответственно;

E_1 и E_2 – потоки энергии, подаваемые на кюветы;

S_1 и S_2 – коэффициенты преобразования приемников в рабочем и контрольном каналах.

В простейшем случае $A = \alpha f^*(X, E, S)$. Здесь функция f^* описывается уравнением взаимодействия энергии данного вида: с веществом. Например, основной закон фотометрии, закон Бугера – Ламберта – Бера, имеет вид

$$\Phi = \Phi_0 e^{-D}$$

где Φ_0 , Φ – световой поток, падающий на кювету и прошедший, сквозь нее соответственно, $\Phi = E_3$ – согласно схеме на рисунке 42;

D – оптическая плотность пробы.

Таким образом, $A = \alpha \cdot S \cdot \Phi_0 e^{-D}$, причем здесь S – чувствительность фотоприемника, мкА/лм; α – масштабный коэффициент, моль·(лм·мкА)⁻¹.

Наибольшее распространение в практике медико-биологических исследований нашли оптические методы, использующие фотометрическую аппаратуру: фотоколориметры и спектрофотометры.

Главная причина этого – доступность и универсальность этой аппаратуры, в особенности фотоколориметров.

Фотоколориметры нашли широкое применение в аналитическом оснащении органической и, позднее, биологической химии. Не вдаваясь в теорию явления, отметим, что окраска раствора определяется составом и структурой молекул растворенного вещества, энергией связей.

Разнообразие органических молекул, возможность целенаправленного синтеза красителей привели к тому, что методики колориметрического анализа

и в неорганической химии опираются на использование органических комплексонов, взаимодействующих с определяемыми ионами, атомами, молекулами с образованием ярко окрашенных растворов.

Накопленный аналитической химией опыт колориметрического анализа удалось успешно перенести в сферу биохимического медицинского анализа.

За редким исключением, все более или менее сложные биологические вещества могут быть определены колориметрически.

Минимальная молярная концентрация вещества, определяемая фотометрическими анализаторами, составляет приблизительно 10^{-7} моль/л или 10^{-5} %. Для сравнения укажем, что при концентрации вещества в пробе менее 10^{-3} %, говорят уже о наличии лишь следов его.

Таким образом, чувствительность фотометрических анализаторов достаточно высока.

Основное достоинство фотометрического анализатора состоит в его универсальности, возможности использования одного прибора для определения широкого круга веществ, в том числе для оценки содержания гормонов, ферментов, стероидов и других сложных биохимических объектов.

Следует отметить и относительную простоту этих анализаторов, невысокую их стоимость и доступность.

Однако эта универсальность требует существенного преобразования биологической пробы.

Раствор, оптическая плотность которого в соответствии с законом Бугера – Бэра является мерой концентрации определяемого вещества, должен быть свободен от коллоидных и других взвешенных частиц. Оптическая плотность его не должна выходить за пределы 0,01-2.

Но и в этих условиях существуют объективные источники погрешности измерения, связанные с нарушением закона фотометрии, нестабильности функции F в уравнении.

Среди основных причин дополнительных погрешностей отметим следующие:

- изменение интенсивности окраски раствора, зависящей от соотношения концентраций окрашенных и бесцветных частей, при изменении общей концентрации раствора, так как при этом происходит одновременное изменение степени диссоциации;
- изменение молярного коэффициента поглощения, а очень часто и изменение кривой светопоглощения при изменении pH раствора;
- изменение структуры соединений, т. е. образование или разрушение комплексов, а отсюда и изменение светопоглощения при изменении концентрации раствора;
- изменение степени окрашивания раствора во времени, в интервале десятков, а в некоторых случаях и единиц минут;
- зависимость интенсивности окраски, а следовательно, и светопоглощения, от температуры;

- влияние на окраску основного определяемого соединения посторонних веществ.

Анализ перечисленных зависимостей, проявляющихся при измерении оптической плотности окрашенных растворов, показывает, что простота и доступность фотометрических анализаторов сопровождается вынужденным усложнением методики: применением буферных средств, необходимостью удаления коллоидов, термостатированием, хронометражем и т. д.

Среди других оптических методов анализа, нашедших применение в медицинских лабораториях, отметим спектральные: эмиссионные (поток E_1), адсорбционные (поток энергии E_2^*), и люминесцентные (поток энергии E_1^*).

Спектральные методы связаны с полным разрушением биологического объекта.

Типичным примером такого рода анализа является оценка минерального состава биопробы, в частности для массового анализа Na, K и реже Ca в сыворотке крови с помощью пламенного фотометра. Определения на пламенном фотометре проводятся значительно быстрее и точнее, чем общехимическими методами. Минимально определяемая концентрация K и Na составляет около 10^{-6} %, Ca – 10^{-5} %.

Хотя методами пламенной фотометрии может быть определено до 50 элементов периодической таблицы, медицинские пламенные фотометры предназначены только для определения Na и K (реже Ca). Но результаты и этой, весьма узкой, группы анализов не свободны от влияний других компонентов биопробы. Так, например, интенсивность излучения зависит от примесей, в частности от хлоридов. В присутствии белков увеличивается влияние K и Na на Ca.

Интенсивность излучения Ca уменьшается от присутствия в растворе фосфатов, сульфат-ионов, а также некоторых солей. Добавление антикоагулирующих или других веществ, сохраняющих пробу, может вызвать серьезные ошибки при определении Na.

Тем не менее определение Na и K на пламенном фотометре наиболее удобно и быстро, хотя и требует обработки пробы: удаления белков, фосфатов и т. п.

Приведенный пример типичен как для эмиссионных, так и для адсорбционных методов анализа.

Определение концентраций вещества люминесцентными анализаторами (флуориметрами) основано на измерении относительной величины возбужденного в нем свечения. Абсолютная чувствительность метода достигает 10^{-10} г вещества. Люминесцентные методы позволяют определять концентрации самых разнообразных веществ (аминокислот, белков плазмы, витаминов, коферментов и продуктов их обмена, ферментов, стероидов, микроэлементов и т. д.), к тому же непосредственно в клетке или препарате ткани.

Применение люминесцентного анализа быстро расширяется, хотя пока еще в медицинской практике оно ограничено определением адреналина и

норадреналина, витаминов группы В, обнаружением нефтепродуктов в воде и т. д.

Отчасти это связано с тем, что возможности флуориметрии ограничены областью малых концентраций.

При больших концентрациях вещества наблюдается эффект «тушения» флуоресценции. На интенсивность свечения влияет рН среды. Наконец, действие интенсивного потока ультрафиолетового излучения (потока E) может привести к частичной денатурации, разрушению пробы. Метод отличается высокой избирательностью, поэтому предварительная обработка пробы может быть минимальной.

В медицинских лабораториях широко используются также и электрохимические методы анализа: кондуктометрия, полярография, кулонометрия, уже упомянутая потенциометрия. Эти методы отличает высокая чувствительность, простота аппаратуры, возможность проведения исследования на естественной пробе при минимальной ее подготовке [11].

Простейшим по техническому воплощению является кондуктометрический метод.

Современный кондуктометр способен обнаружить 1 % изменений концентрации на уровне 10^{-6} моль/л, т. е. прибор отличается высокой относительной чувствительностью к изменению концентрации ионов. В то же время кондуктометры не могут быть использованы для прямых измерений концентрации в медицинских лабораториях. Электрическая проводимость биологической пробы является ее интегральным параметром, определяемым концентрацией всех ее компонентов, вязкостью раствора, его температурой и т. д. и при непостоянном составе пробы (что характерно для биологических объектов) не может быть непосредственно связана с концентрацией одного из ее компонентов. Однако электрическая проводимость биологического объекта может, служить общей характеристикой водно-солевого обмена, мерой общей концентрации электролитов и т. д.

Кондуктометры могут быть очень эффективно использованы при относительных и косвенных измерениях.

Они отлично зарекомендовали себя при бесконтактном высокочастотном титровании. В этом случае количественный анализ может быть проведен на любой биологической пробе без предварительной ее обработки. Кондуктометры в специальном исполнении позволяют удобно и точно контролировать кинетику реакций в биологических средах, например ферментативных, реакций свертывания крови, оседания эритроцитов, метаболические процессы в популяции микроорганизмов и т. д. Обязательным условием успешного их применения является изменение общей концентрации подвижных носителей заряда, т. е. главным образом легких ионов, таких, как H^+ , OH^- , Cl^- , K^+ , Na^+ , NH_4^+ и др.

Большими возможностями прямого анализа сложных объектов обладает полярография. Чувствительность полярографа при прямой классической методике анализа составляет примерно 10^{-5} моль/л, в специальных видах полярографии: она может быть повышена до 10^{-7} - 10^{-8} моль/л. Полярограф при

высокой чувствительности отличается хорошей избирательностью. В ходе одного анализа можно определить весь набор катионов, а также некоторые анионы.

В последнее время возможности полярографов расширены; с их помощью производится анализ газов, как в газовых смесях, так и в биологических жидкостях и тканях. Это, в первую очередь, относится к определению кислорода и углекислого газа с помощью электродов Кларка. Лучшие образцы таких электродов могут быть встроены в канал иглы шприца.

Полярографы позволяют выявить и некоторые специфические биохимические комплексы, характерные, например, для онкологических заболеваний. В то же время возможности полярографов принципиально ограничены анализом веществ, способных окисляться или восстанавливаться электрохимически на электродах. Необходимо отметить также влияние белкового и других фонов раствора на изменение потенциала полуволны и силу тока, что затрудняет количественное определение анализируемых веществ. Однако при упомянутых ограничениях метод привлекает возможностью работы на естественных биопробах с минимальной их предварительной обработкой.

По устройству и принципу действия близко к полярографам стоят приборы, использующие кулонометрические методы анализа. Чувствительность их при измерении концентрации преимущественно неорганических веществ достигает 10^{-8} - 10^{-9} моль/л. Объем пробы, достаточный для оценки концентрации определенных веществ, составляет 0,1 мл и менее, что является важным достоинством метода. Существенный его недостаток, ограничивающий применение кулонометрического анализа в медико-биологических исследованиях, состоит в значительном влиянии фоновых веществ на процессы электролиза. Это требует предварительной обработки пробы, связанной с устранением упомянутых веществ, что не всегда возможно.

Постепенно в медицинских лабораториях повышается роль такого пока еще сложного анализатора, как хроматограф.

Действующий на принципах сорбционного разделения хроматограф обладает наибольшими аналитическими возможностями. Вещества, не различаемые при хроматографическом определении, признаются молекулярно однородными, т. е. содержащими молекулы не только одного состава, но и одной структуры. Чувствительность некоторых хроматографических определений при использовании селективных детекторов достигает 10⁻⁹ % по концентрации, при этом достаточно наличия в пробе 10^{-13} г вещества. Такие виды хроматографии, как жидкостная и в особенности гель-хроматография, позволяют производить анализ сложных органических и биохимических веществ.

Хроматограф может быть признан самым универсальным из всех приборов лабораторного анализа. Однако по сложности устройства, стоимости, эксплуатационным требованиям он не отвечает условиям медицинской лаборатории, предназначенной для проведения не уникальных, а массовых определений.

Мы не рассматриваем довольно многочисленные специальные медицинские анализаторы, предназначенные для выполнения небольшого числа специфических определений, например гемоцитометры, гемоглобинометры, билирубинометры, анализаторы процессов свертывания крови и т. д. Анализ их частных характеристик не добавит ничего существенно нового.

Проведенный краткий обзор используемых в медицинской практике методов анализа позволяет сделать следующие обобщения:

- чувствительность современных лабораторных анализаторов широкого применения примерно одинакова, независимо от используемого метода анализа;
- специализированные анализаторы, анализаторы узкого назначения, имеют чувствительность примерно на два порядка выше, чем универсальные, и, как правило, требуют менее сложной и длительной обработки пробы;
- этап пробоподготовки – обязателен для всех анализаторов, хотя его сложность, длительность, энергоемкость и техническая обеспеченность различны;
- ни один из известных анализаторов не может обеспечить выполнение всех видов химических и биохимических анализов, представляющих интерес для медицины.

7.4 Тенденции развития биотехнических систем для лабораторного анализа

Развитие БТС-ЛА направлено на одновременное решение двух основных задач: повышение производительности труда лаборатории и повышение качества медицинского лабораторного анализа в целом с учетом расширения диапазона доступных определению медико-биологических параметров, повышения диагностической достоверности анализов, исключения субъективных факторов[11]. Общее решение может быть найдено как компромиссное, поскольку расширение круга медико-биологической информации достигается, как было показано ранее, только путем расширения совокупности анализаторов и соответствующих средств пробоподготовки, а повышение производительности труда связано, напротив, с ограничением аналитических средств, унификацией приемов и методик для создания условий для машинного автоматизированного анализа. Рассмотрим, как решаются эти задачи.

Структурный анализ многочисленных различных биохимических методик показывает, что независимо от сложности и продолжительности любая методика может быть рассмотрена как определенная последовательность элементарных операций, следующих во времени. К таким операциям относятся, в частности, дозирование, перемешивание, разделение фракций, экстрагирование, разведение, сжигание образца, транспортирование пробы в измерительное устройство, регламентирование во времени. Каждая из перечисленных операций может быть воспроизведена модулем с определенными функциями. Из модулей строится технологическая цепь, реализующая требуемую методику. Совокупность модулей образует систему «биохимический автоанализатор».

Гибкость такой системы обеспечивается индивидуальной разработкой и выполнением модулей. При этом предусматривается взаимозаменяемость модулей одного назначения, но дифференцированных по параметрам. Модульная компоновка отвечает условиям оперативности при высокой надежности системы за счет, например, резервирования.

Первый автоанализатор был выпущен фирмой Technicon (США) одноканальным, т. е. способным определять одно вещество в серии проб. Объектом анализа могли быть цельная кровь, плазма и сыворотка крови, моча, спинномозговая жидкость. Переключение и перенастройка функциональных модулей позволяют использовать до 80 % применяемых на практике методик. Принцип работы автоанализатора основан на проведении всех реакций в потоке транспортируемых по трубкам и разделенных воздушными промежутками проб.

Воспроизводимость результатов обеспечивается тем, что на каждый этап методики исследования для всех проб (в том числе и стандартных, обязательно включаемых в поток и содержащих исследуемое вещество в известной концентрации) отводится один и тот же, строго регламентированный, промежуток времени. Результат анализа получается путем сравнения показателей данной пробы с показателями стандартной. При этом нет необходимости доводить каждую реакцию до состояния равновесия, так как оценка производится по интенсивности развития окраски в данной пробе относительно стандартной в той же фазе.

Автоанализатор выполняет функции подачи проб к пробоотборнику дозировки и транспортировки проб, реагентов и воздуха, перемешивания, устранения белкового фона, нагревания и инкубации, измерения, графической записи результатов измерения. В типовую схему автоанализатора входят следующие модули: пробоотборник с коллектором проб, дозирующий перистальтический насос, термостат, колориметр, ленточный самописец. В дальнейшем из тех же узлов и на том же принципе (проточном) были скомпонованы 8- и 12-канальные автоанализаторы.

Второе принципиальное направление в проектировании автоанализаторов – дискретность в выполнении технологических операций и проведение реакций в отдельных емкостях: пробирках или специальных кюветах и ячейках. Измерения в этом случае проводятся тогда, когда жидкость находится в неподвижном состоянии.

Многоканальный автомат строится из одноканальных аналитических секций в сочетании с объединяющим их транспортирующим устройством. Так, дискретный автоанализатор Autochemist, выпускаемый 24-канальным, может быть дополнен до 30 каналов и более. Увеличение числа каналов, т. е. видов анализов, выполняемых одновременно, требует расширения возможностей измерительного модуля. В качестве такового чаще всего применяются фотоколориметры и спектрофотометры в области от 186 до 1000 нм, адсорбциометры, пламенные фотометры, флуориметры, потенциометры и специальные полярографы.

Производительность автоанализаторов достигает 200-300 проб/ч.

Автоанализаторы продолжают совершенствоваться по пути упрощения конструкции, уменьшения габарита, сокращения объемов пробы и реактивов, сокращения времени анализа.

Новый тип автоанализаторов представляет так называемый «быстрый» автомат фирмы Roshe (США). В ячейки тефлонового диска, размещенные концентрически, дозируются пробы и необходимые реагенты. При вращении диска происходит перетекание жидкости из ячейки в ячейку под действием центробежных сил, чем реализуются функции транспортирования, перемешивания и, наконец, фотометрирования (в проточных кюветах). Объем пробы составляет 1-50 мкл. Первый результат получается через 7 мин после включения аппаратуры. Переход на новый вид анализа занимает около 2 мин. Производительность этого прибора достигает 300 проб/ч при стоимости одного анализа не более 15 центов (согласно рекламным проспектам).

Еще один пример новых возможностей автоанализаторов представляет Selective Analyser-II (Gryner Electronic – Швейцария и Coultronic – Франция). Его особенность состоит в предоставлении оператору возможности выбора индивидуальной программы исследования для биопробы каждого пациента. Необходимость в такого рода устройствах связана с тем, что по мере увеличения количества каналов, т. е. одновременно выполняемых видов анализа в одной пробе, уменьшается эффективность анализатора, возрастает доля избыточных анализов. Так, 12-канальный автомат выполняет до 30 % избыточных анализов, практическая необходимость в которых отсутствует; у 16 канальных автоматов доля лишних анализов достигает 40 %, что ухудшает экономические и эксплуатационные характеристики устройства. Selective Analyser-II лишних определений не производит, позволяя запрограммировать любой из 30 видов исследования.

Экономически выгодным, оказывается автоматизировать только самые ответственные операции анализа (дозирование, термостатирование, измерение, обработку результатов), оставляя малоответственные функции, в частности транспортировку проб, оператору. Примером таких устройств служат Olli-3000 (Финляндия) и Klinikard (Италия). Последний обеспечивает выполнение любого из 30 видов анализов, из них 10 – ферментативных. Команда на выполнение анализа задается вводом перфокарты. К заданной в карте программе автоматически подстраиваются оптическая и электронная системы, необходимые количества образца и стандарта вводятся в кюветы, добавляются реактивы, производится термостатирование и инкубация. От модуля приготовления пробы к термостату и измерительному модулю кассета, содержащая 24 одноразовых пробирки, переносится вручную. Производительность таких анализаторов несколько ниже, чем у полностью автоматизированных. Но ценнейшее их качество состоит в быстрой перестройке с одной методики на другую путем смены перфокарт. Кроме того, эти автоанализаторы имеют меньшую стоимость и габариты и более высокую надежность за счет исключения сложных и дорогих транспортирующих устройств.

Все современные автоанализаторы имеют как функциональный модуль встроенную ЭВМ, обычно специализированную на обработке информации, поступающей от измерителя.

Стоимость автоанализаторов в целом высока, и тем не менее в развитых странах наблюдается ускоренное их внедрение в медицинские лаборатории. Свыше 84 % больниц (на 700 и более коек) используют автоанализаторы с числом каналов от 7 до 10 при средней производительности 256 анализов в день.

Даже учитывая рекламный характер приведенной информации, можно отметить тенденцию внедрения автоанализаторов в медицинскую практику. Статистика показывает, что автоматизация 12 видов анализов охватывает до 85 % всех анализов, выполняемых клинико-диагностическими лабораториями, для 16 видов – до 95 % всех анализов.

Внедрение автоматизации может повысить производительность труда лаборантов в 10-15 раз. По американским данным, стоимость ряда стандартных анализов при автоматизации (и переходе на микрометоды) снижается в 50 раз. Один автоанализатор обходится вдвое дешевле набора оборудования, выполняющего те же процедуры и анализы. Наконец, существенно повышается качество, точность анализа.

Кроме того, автоматизация обеспечивает экономию реагентов (особенно дорогостоящих, таких, как кристаллические ферменты, яды, гормоны), электроэнергии, фонда заработной платы; устраняет неприятные или вредные контакты с пробой или реагентами; высвобождает производственные площади, поскольку обычный комплект оборудования для тех же целей занимает значительно больше места; улучшает условия труда лаборантов, освобождая персонал от утомительной однообразной работы.

Повышение качества анализа при использовании современных аналитических средств, в том числе автоматизированных, оказалось возможным при создании специализированных лабораторий, таких, как гематологические, биохимические и т. д.

Наивысшую производительность аналитических работ обеспечивают комплексные лабораторные информационно-измерительные системы, которые включают в себя аналитические и препаративные технические средства, соответствующие всем уровням автоматизации, и средства электронной обработки информации. Доля ручного труда в таких системах сводится к минимуму, а производительность составляет тысячи и более анализов в час. Известны уникальные автоматизированные системы для массовых анализов жидких сред, организованные при ряде научно-исследовательских центров. Автоматизированные системы для медицинских учреждений выпускаются многими зарубежными фирмами Sari and C°, Götz Corp, IBM (США), Siemens (Германия), Toehiba, Nippon Electric (Япония).

В качестве примера рассмотрим самую, пожалуй, распространенную в мире автоматизированную систему комплексного обследования пациентов «Multitast-320», разработанную и производимую фирмой Sari and C°. В настоящее время выпускается три модификации системы: «Линейная

последовательная система», «SMI Currel System» и «SMI MedStat System». Линейная система является основной. Система функционирует следующим образом. При регистрации пациент получает идентификационный жетон, с которым обходит все диагностические кабинеты. В каждом кабинете есть специальное устройство для ввода результатов обследования в ЭВМ. Жетон, несущий кодовый номер пациента, вставляется в специальное гнездо этого устройства. Этим обеспечивается идентифицированный отбор результатов обследования.

Строгая последовательность обследований не обязательна. Объем обследований может изменяться по желанию врача. С некоторых приборов результаты поступают в ЭВМ автоматически, с других – вводятся оператором через клавишные устройства. История болезни записывается автоматически. Слайды с вопросами высвечиваются на экране. Пациент отвечает на них путем нажатия кнопки около соответствующего ответа («да», «нет», «не знаю», «только в прошлом» и т. д.). Всего запрограммировано 320 вопросов. По данным статистики, в среднем оказывается достаточным 70-100 вопросов. Человек в возрасте 20-25 лет тратит на заполнение истории болезни около 10 мин, в возрасте 65 лет – примерно 45 мин. (На все обследования уходит около 3 ч). Очередной вопрос, задаваемый системой, зависит от предыдущего. Запоминанием истории болезни управляет специальная программа ЭВМ.

Имеется возможность выполнения трех групп лабораторных исследований («скринов») на 6 и 13 биохимических тестов, на 7 видов гематологических исследований и дополнительно 29 биохимических, 1 гематологический, 9 бактериологических и 2 цитологических теста. Лаборатория оснащена автоанализаторами SMA-12/60, SMA-6/60 и SMA-1/60. Ручными способами производится определение гликопротеидов, белковых фракций, липопротеидов, серолипидов и некоторых других анализов, назначаемых индивидуально. В биохимической лаборатории работает семь человек. Все результаты лабораторных исследований вводятся в ЭВМ. Результаты с автоанализаторов поступают в машину, минуя оператора. Данные анализов, выполняемых вручную, вводятся в ЭВМ лаборантом посредством специального пульта. Данные с ЭВМ поступают в общий отчет о больном, но по желанию могут быть отпечатаны отдельно в любой последовательности, причем не только на этапе лабораторного обследования, а на любом этапе по мере поступления данных от каждого анализатора.

Конечным продуктом системы является отчет, который составляется по результатам обследований, накопленных ЭВМ. Отчет может печататься на разных языках. Процессор системы SMI-320 построен на основе ЭВМ PDP-12, дополненной дисковой памятью. Производительность системы равна 6-12 пациентам/ч. Стоимость одного обследования в 1973 г. составила 30-40 англ. фунтов. «SMI Currel System» отличается от линейной системы принципом сбора данных от пациента. Для создания большего комфорта все приборы сосредоточены в одном месте, и больному не приходится ходить по кабинетам. Пропускная способность такого комплекса 3-4 пациента/ч. «SMI MedStat System» представляет собой несколько систем типа «Currel» и систем

сокращенного обследования, расположенных в различных местах и соединенных дистанционной связью с одной ЭВМ МІ-320. Печать выходных данных производится в каждом пункте обследования.

Ориентируясь на массовые анализы одного объекта или группы однородных объектов, такие лаборатории имеют возможность ограничить перечень необходимых технических средств и в то же время использовать самые совершенные средства пробоподготовки, анализаторы и информационные устройства.

Специализация является мощным фактором повышения качества лабораторного анализа.

В специализированной лаборатории создаются условия максимальной унификации приемов работы, механизации и автоматизации всех стадий лабораторного анализа, создания оперативного информационного фонда, служащего основой для автоматизации процесса предварительной оценки и классификации медико-биологической информации.

Эффективное использование средств механизации и автоматизации лабораторного процесса возможно лишь при наличии сбалансированного с возможностями техники постоянного потока поступающих на анализ проб. Достаточный поток анализов для специализированной лаборатории создается в результате расширения обслуживаемого ею участка системы здравоохранения. Решающим фактором в деле повышения производительности труда медицинской лабораторной службы в целом выступает централизация, укрупнение специализированных лабораторий.

На сегодняшний день можно найти достаточно примеров перехода от лабораторий, обслуживающих отделения крупных медицинских учреждений, к группе специализированных лабораторий. Централизованные лаборатории, оснащенные многоканальными анализаторами с гибкой программой, в состоянии обслужить не только отдельные городские районы, но и крупные города, области и целые регионы.

Автоматизация, специализация и централизация – три главных фактора, определяющих развитие медицинской лабораторной службы.

При этом отметим, что в таком развитии система медицинского лабораторного анализа не утрачивает своего биотехнического характера. Мало того, по мере совершенствования БТС-ЛА выявляются и развиваются новые биотехнические аспекты.

Развивается новое аналитическое направление, связанное с созданием аппаратуры, использующей биологические измерительные преобразователи. В качестве примера можно указать на использование ферментных электродов в анализаторе азотистых соединений. Избирательность этих электродов позволяет различать двух- и трехвалентные ионы азота на самом сложном фоне, в том числе в биологических материалах.

Большие перспективы открывает использование микробиологических измерительных преобразователей.

Микроорганизмы являются чувствительными индикаторами самых различных веществ.

Микробиологические методы определения витаминов, антибиотиков, аминокислот известны как самые дешевые и чувствительные, однако уступают физико-химическим по скорости анализа.

В то же время технические средства позволяют быстро обнаружить характерные реакции микроорганизмов на интересующие исследователей вещества.

Специальные исследования позволили выявить до десяти тест-реакций микроорганизмов, потенциально пригодных для реализации в аналитической аппаратуре. Существуют уже образцы лабораторных и промышленных приборов, например, для контроля загрязнения окружающей среды, в том числе биологически активными веществами.

Использование микробиологических измерительных преобразователей позволит решить ряд задач медицинского анализа. Бактерии имеют размеры в несколько микрометров. В перспективе можно говорить о разработке сверхминиатюрных индикаторов состояния различных систем организма. Реальность таких сверхминиатюрных преобразователей опирается на уже достигнутые на сегодняшний день возможности интегральной схемотехники, оптоэлектроники, цифровых и цветовых индикаторов. Хотя конкретные достижения этого направления пока весьма скромны, отметим, что биологические чувствительные элементы имеют наибольшие перспективы использования именно в медицинских лабораторных анализаторах в силу общей биологической природы с анализируемыми объектами.

Биотехнические системы для лабораторных анализов постоянно совершенствуются и развиваются, сохраняя свою специфику.

Самая сложная и совершенная автоматизированная техника неизбежно должна быть подчинена действующим в этой системе биотехническим взаимоотношениям: с одной стороны, должна быть приспособлена к особым свойствам биологических анализируемых объектов, а с другой, должна поставлять информацию в таком качестве и количестве, которые отвечают особенностям восприятия ее и использования врачом для активного воздействия на организм пациента.

Отметим положения, связанные с техническим обеспечением медицинской лабораторной службы:

1) Технические средства лабораторного медицинского анализа могут быть эффективно использованы в медицинской практике только в том случае, если они образуют информационно-измерительную систему.

2) Технологическая цепь лабораторного медицинского анализа помимо технических средств включает в себя биологические объекты на входе (пациент, депо объектов анализа) и выходе (врач) и замыкается звеном обратной связи (средств воздействия).

Наличие элементов биологической природы предопределяет особый характер внутренних связей и отношений в системе, что характеризует ее как биотехническую систему (БТС-ЛА).

3) Разработка и эксплуатация БТС-ЛА связаны с отысканием компромиссного решения взаимосвязанных биологических и технических

проблем. Недостаточное внимание к влиянию биологического фактора может привести к утрате достоверности анализа и, как следствие, к бесполезному или вредному результату от его реализации. В то же время сложность и изменчивость объектов анализа требуют применения самых совершенных аналитических методов, связанных с энергетическим воздействием на объект. Эти обстоятельства выдвигают специальные требования к анализаторам и всем другим техническим устройствам, образующим БТС-ЛА.

4) Развитие БТС-ЛА идет по пути повышения ее производительности, улучшения качества анализа вследствие совершенствования всех технических звеньев, расширения функций программных и информационных устройств при обязательном сохранении биотехнической специфичности.

Заключение

Итак, результаты демонстрируют, что современное общество находится на переломном этапе своего развития. Можно сказать, что мы стоим на пороге новой цивилизации, которая будет принципиально отличаться от всех общественных формаций, которые существовали в истории человечества.

Это общество мы назвали информационным или информационно-экологическим. Принципиальное отличие такого образования заключается в том, что на первый план в нем выходит не материальное производство, что было характерно для прошлого человечества, а производство и перераспределение информации в широком смысле. Очевидно, обработка информации (в том числе биологической), станет определяющим фактором развития современной техники и технологий.

Безусловно, такой поворот в истории развития человечества произошел неслучайно и направлен не просто на повышение уровня жизни членов общества, а является единственным средством на пути к выживанию в условиях нарастающего экологического кризиса. Однако путь этот оказывается не таким простым, как можно было бы предположить.

Дело в том, что при переходе общества на новый уровень производства возникают уже не технологические, как это было ранее, а социально-психологические проблемы.

Впервые творение человеческих рук оказывается не средством удовлетворения потребностей, а фактором, от которого зависит существование самого творца. Можно сказать, что к такому повороту событий не оказались готовы ни один из социальных институтов, в том числе и философия. Таким образом, вопрос о сосуществовании современных технических систем и самого человека, по-видимому, станет основным для ученых и философов конца XX — начала XXI веков. Техника является предметом рассмотрения исторических и обществоведческих дисциплин как элемент производительных сил в системе общества, и предметом специальных технических дисциплин.

Философия техники исследует феномен техники в целом, ее место в общественном развитии, принимая во внимание широкую историческую перспективу.

Техника направлена на то, чтобы в ходе преобразования всей трудовой деятельности человека преобразовать и самого человека. Ее смысл в освобождении человека от власти природы.

Поэтому принцип техники — в целенаправленном манипулировании материалами и силами природы для реализации назначения человека.

Современный человек осознает, что полностью отдан во власть некого «зловещего» процесса и делает все, чтобы предотвратить надвигающееся бедствие. Реальность техники привела к невероятному перелому в истории человечества.

Так как техника является только средством, все зависит от того, что из нее сделает человек, в какие условия он ее поставит. Весь вопрос в том, что за человек подчинит ее себе, каким проявит он себя с ее помощью.

Картина кризиса современного технического мира выявляет значимость проблемы понимания сущности техники. Существование техники раскрывается в системе ее социального функционирования и структурной организации.

Список использованных источников

- 1 Биотехнические системы: Теория и проектирование / под ред. В.М.Ахутина.- Л.: ЛГУ, 1981.-220с.
- 2 Волков, Г. Н. Истоки и горизонты прогресса/Г.Н.Волков – М.: Политиздат, 1976. -57с.
- 3 Гродинз, Ф. Теория регулирования и биологические системы/ - М.: Мир, 1966.-255с.
- 4 Дахин, А. В., Апокалипсис технического объекта/ А.В.Данихин – Н. Новгород .: Политиздат, 1992.-334с.
- 5 Ленк, Х. Размышления о современной технике/ Х.Ленк - М.: Аспект пресс, 1996.-223с.
- 6 Ракитов, А. И. Философия компьютерной революции/ А.И Ракитов– М.: Политиздат, 1991.-124с.
- 7 Шеменев, Г. И. Философия и технические науки/ Г.И.Шеменев – М.: Политиздат, 1976 .-267с.
- 8 Бондаренко, А.Д. Современная технология: теория и практика/ А.Д.Бондаренко– Киев.: [б.и.] 1985.-321с.
- 9 Горохов, В.Г., Философия науки и техник/ В.Г.Горохов – М.: Политиздат , 1995.-159с.
- 10 Князев, В.Н. Человек и технология/В.Н.Князев – Киев [б.и], 1990.-345с
- 11 Мелешенко, Ю.С. Техника и закономерности ее развития/ Ю.С.Мелешенко – Л.: [б.и], 1970.-234с.
- 12 Современные методы идентификации систем: пер. с англ./ под ред. П.Эйкхорфа.-М.: Мир, 1982.-400с.

