

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

<b>Введение</b> . . . . .	5
<b>Глава 1.</b> Системы в медико-биологических исследованиях . . . . .	16
<b>Глава 2.</b> Системный анализ и системный подход в медико-биологических исследованиях . . . . .	45
<b>Глава 3.</b> Управление в здравоохранении, медицине и биологии . . . . .	75
<b>Глава 4.</b> Медицинские и медико-биологические процессы . . . . .	92
<b>Глава 5.</b> Сбор первичной информации в медико-биологических исследованиях . . . . .	103
<b>Глава 6.</b> Информационное пространство исследования . . . . .	114
<b>Глава 7.</b> Модели и моделирование медико-биологических систем и процессов . . . . .	158
<b>Глава 8.</b> Взаимодействие медико-биологических систем и подсистем . . . . .	194
<b>Глава 9.</b> Прогнозирование в медико-биологических исследованиях . . . . .	279
<b>Заключение</b> . . . . .	299
<b>Список литературы</b> . . . . .	300

# INDEX

---

---

Introduction. . . . .	5
Chapter 1. System in biomedical research . . . . .	16
Chapter 2. Systems analysis and systems approach to biomedical research. . .45	
Chapter 3. Governance in health care, medicine and biology . . . . .	75
Chapter 4. Medical and biomedical processes . . . . .	92
Chapter 5. Collection of primary data in biomedical research. . . . .	103
Chapter 6. Information space biomedical research. . . . .	114
Chapter 7. Models and modeling in biomedical research . . . . .	158
Chapter 8. The interaction of biomedical systems and subsystems . . . . .	194
Chapter 9. Forecasting in biomedical research . . . . .	279
Conclusion . . . . .	299
Bibliography. . . . .	300

# ВВЕДЕНИЕ

---

---

В контексте эволюции человек выделяется особенностями взаимодействия с окружающей средой: он не только пассивно приспосабливается к изменяющимся внешним факторам, но и активно влияет на них, повышая комфортность среды в соответствии со своими потребностями. Отличительной особенностью человеческого общества является уровень развития образования, достаточный для сохранения накопленного опыта путем последовательной передачи информации от поколения к поколению. Деятельность человека характеризуется получением объективного знания, являющегося отражением закономерностей действительности, т. е. *познанием*. С описанием, объяснением и прогнозированием процессов и явлений действительности связано научное познание. Поиск новых знаний или систематически проводимое установление новых фактов в предельно широком смысле называют *исследованием*.

Важнейшей задачей научного познания окружающего мира является исследование природы, общества и человека. Решение этой задачи — сложный длительный процесс, главной целью которого является более полное понимание сути явлений и процессов, происходящих в изучаемых объектах, их зависимости от воздействия различных факторов и условий. Идеальным результатом научного поиска считают установление *законов* — утверждений, описывающих соотношения, связи между различными понятиями, предложенных в качестве объяснения действительности и согласующихся с экспериментальными данными (непроверенные утверждения называют *гипотезами*).

Исследование, основанное на применении научного метода, предоставляет научную информацию для объяснения природы и свойств окружающего мира. Такое исследование применяют на практике.

Основная цель прикладных исследований (в отличие от фундаментальных) — обнаружение, интерпретация и развитие методов и систем по совершенствованию знаний в различных областях деятельности человека.

Основная задача медико-биологических исследований — выявление закономерностей процессов, происходящих в организме человека, в том числе причин возникновения в нем патологических изменений, а также поиск наиболее эффективных способов и средств для их предупреждения (профилактики) и устранения (коррекции).

Научные и практические задачи, стоящие перед исследователями — врачами, биологами и другими специалистами, постоянно усложняются, в связи с чем настоятельно требуется как расширение кругозора специалистов, так и поиск адекватных методов решения этих задач. Методы, применяемые для решения задач научного познания, должны обеспечивать получение новых знаний и изучение объективной реальности. При этом решающими условиями достижения успеха исследования и эффективной профессиональной деятельности являются методичность и системность, опыт и интуиция, применение процедур обобщения и логических переходов от общего к частному и **информационное обеспечение** — совокупность единой системы классификации и кодирования информации, унифицированных систем документации и информационных массивов или, в более узком смысле, информация, полученная в ходе работ по удовлетворению информационных потребностей пользователя и представленная в удобном для потребителя виде. Кроме того, важным условием установления научной истины является адекватное описание исследуемых объектов и систем, поэтому исследователи стараются наиболее полно и объективно описать выделенную для изучения предметную область и ее внутреннюю структуру, объяснить причинно-следственные связи и законы функционирования системы или подсистем.

*Теория принятия решений* (точнее, теория поддержки принятия решений, так как окончательное решение принимает человек) — область исследований, использующая теорию и методы различных наук с целью изучения закономерностей выбора людьми путей решения задач разного рода и способов поиска оптимальных (наиболее выгодных из возможных) решений.

*Принятие решения* — это процесс выбора альтернатив, имеющий целью достижение осознаваемого результата и включающий следующие этапы:

- ◆ ситуационный анализ;
- ◆ идентификация проблемы и постановка цели;

- ◆ поиск необходимой информации;
- ◆ формирование множества альтернативных вариантов решения;
- ◆ формирование множества критериев для расчета оценки качества альтернативных вариантов или целевой функции;
- ◆ расчет значений критериев или целевой функции для всех альтернативных вариантов;
- ◆ выбор лучшего альтернативного варианта решения;
- ◆ внедрение (исполнение) выбранного решения;
- ◆ разработка критериев (индикаторов) для мониторинга исполнения решения;
- ◆ мониторинг исполнения решения;
- ◆ оценка результата исполнения решения.

Особенности задач принятия решений определяются их *структурированностью* – наличием устойчивых связей и отношений между элементами внутри анализируемой системы, распределением элементов системы по горизонтали и уровням иерархии. По структурированности задачи принятия решений подразделяют на:

- *хорошо структурированные*, или количественно сформулированные;
- *неструктурированные*, или вербально сформулированные, содержащие лишь описание важнейших характеристик, количественные взаимосвязи между которыми не известны;
- *слабоструктурированные*, или смешанные, содержащие вербальные и малоизвестные (неопределенные) компоненты.

Для решения хорошо структурированных задач используют методологию *исследования операций*, предусматривающую построение адекватной математической модели (например, задачи линейного, нелинейного, динамического программирования, задачи теории массового обслуживания, теории игр и др.) и применение методов для отыскания оптимальной стратегии управления целенаправленными действиями. Изложение основ теории исследования операций осталось за рамками монографии.

Для решения неструктурированных и слабоструктурированных задач используют методологию системного анализа и теорию систем, основные положения которых изложены в настоящей монографии.

Медико-биологические системы можно исследовать как в лабораторных или модельных экспериментах, так и в условиях повседневной деятельности врачей, биологов и других специалистов. Большинство современных методических подходов к исследованию таких систем основано на принципах доказательной медицины.

**Доказательная медицина** (англ. *evidence-based medicine*) – подход к медицинской практике, при котором решения о применении профилактических, диагностических и лечебных мероприятий принимают, исходя из имеющихся доказательств их эффективности и безопасности, а такие доказательства отыскивают, сравнивают, обобщают и распространяют для использования в интересах больных (Evidence Based Medicine Working Group, 1993).

Хотя общепринятого определения термин «доказательная медицина» не имеет, но концепции, стоящие за ним, быстро распространяются и их широко применяют на практике.

Распространению принципов доказательной медицины в последнее время способствуют [54]:

- ◆ увеличившийся выбор альтернативных подходов к ведению больных и вариантов лечения;
- ◆ повысившиеся общественные требования к качеству, эффективности, безопасности и экономичности медицинской помощи;
- ◆ необходимость более убедительного обоснования использования ресурсов при ограниченности финансирования организаций и учреждений здравоохранения;
- ◆ увеличение объема доступной медицинской информации и интенсивности ее обмена за счет информационно-коммуникационных технологий.

В основе доказательной медицины лежит проверка эффективности и безопасности методик диагностики, профилактики и лечения в клинических исследованиях. Под *практикой доказательной медицины* понимают использование лучших современных доказательств для принятия решений по ведению отдельных пациентов. Исторические вехи развития доказательной медицины, типы постановки задач исследований, проводимых с привлечением ее методов, обстоятельно изложены в руководстве для врачей [54].

В большинстве стран стали общепризнанными правила проведения клинических исследований, изложенные в стандарте *GCP (Good Clinical Practice)*, а также правила производства лекарственных средств (стандарт *GMP – Good Manufacturing Practice*) и выполнения лабораторных исследований (стандарт *GLP – Good Laboratory Practice*).

В начале 90-х годов XX в. предложена рейтинговая система оценки качества клинических исследований, согласно которой с возрастанием порядкового номера доказательности качество исследований снижается. Уровни принято обозначать римскими цифрами или буквами латинского алфавита.

♦ Класс (уровень) I(A) — это большие двойные слепые плацебо-контролируемые исследования, а также данные, полученные при мета-анализе нескольких рандомизированных контролируемых исследований.

♦ Класс (уровень) II(B) — это небольшие рандомизированные и контролируемые исследования, в которых статистические данные получены на небольшом числе пациентов.

♦ Класс (уровень) III(C) — это нерандомизированные клинические исследования, выполненные на ограниченном количестве пациентов.

♦ Класс (уровень) IV(D) — это выработка группой экспертов консенсуса по определенной проблеме.

Международная система доказательной медицины развивается в геометрической прогрессии: с момента ее становления в начале 90-х годов XX в. и по настоящее время число центров, конференций и форумов по проблеме исчисляется десятками, а количество публикаций — тысячами. Общим для всего направления является использование принципа доказательности на любом уровне принятия решений — от государственной программы до индивидуальной терапии [13, 15, 26, 54, 114, 132].

Повсеместное распространение и доступность информационно-телекоммуникационных технологий расширяют возможности исследователей по решению многих прикладных задач. Однако это не исключает необходимости понимания и правильного применения положений общей теории статистики, медицинской статистики, биометрики, методов моделирования и доказательной медицины для обработки информационных массивов в медико-биологической практике. Иными словами, базовая статистическая подготовка врачей и биологов должна быть обязательной.

Задачами монографии являются изложение основ методического обеспечения, позволяющего адекватно выбрать средства, методы и подходы к проведению медико-биологических исследований. Вместе с тем авторы не ставили перед собой цель исчерпывающе полно изложить упоминаемые теоретические подходы, останавливаясь лишь на особенностях их применения в интересах информационного обеспечения медико-биологических исследований.

Следует отметить, что при проведении современных многоплановых медико-биологических исследований выполняющие их специалисты должны учитывать следующие обстоятельства:

♦ переход от пассивного наблюдения и пассивного сбора информации о характеристиках системы «человек—машина—среда (общество)»

к активному экспериментированию в реальных условиях на больших выборках для выявления особенностей изучаемой системы и общих закономерностей ее функционирования;

- ◆ широкое участие в исследованиях (и привлечение к их выполнению) врачей, биологов и других специалистов-практиков;
- ◆ использование в медико-биологических исследованиях сложных тестов и техники получения экспериментальных данных, включая системы, одновременно контролирующие несколько показателей;
- ◆ внедрение методов математического планирования, позволяющих вычленять и независимо оценивать влияние факторов, строить многофакторные модели явлений, что качественно изменяет структуру натуральных и экспериментальных исследований.

**Эксперимент** (лат. *experimentum* – проба, опыт) в научном методе – исследование некоторого явления в управляемых условиях, отличающееся от наблюдения активным взаимодействием с изучаемым объектом. Обычно эксперимент, проводимый в рамках научного исследования, служит для проверки гипотезы, установления причинных связей между феноменами. Эксперимент является краеугольным камнем эмпирического подхода к знанию, а возможность экспериментальной проверки – главным отличием научной теории от псевдонаучной [159].

Эксперимент позволяет:

- ~ изучать явление «в чистом виде», когда искусственно устраняются побочные (фоновые) факторы;
- ~ исследовать свойства предмета в искусственно создаваемых экстремальных условиях или вызывать явления, в естественных режимах слабо или вообще не проявляющиеся;
- ~ планомерно изменять и варьировать различные условия для получения искомого результата;
- ~ многократно воспроизводить ход процесса в строго фиксируемых и повторяющихся условиях.

Виды экспериментов:

- ◆ *физический* – способ познания природы, заключающийся в изучении природных явлений в специально созданных условиях;
- ◆ *компьютерный (численный)* – эксперимент над математической моделью объекта исследования, который состоит в том, что по одним параметрам модели вычисляют другие ее параметры и на этой основе делают выводы о свойствах объекта, описываемого моделью;
- ◆ *психологический* – проводимый в специальных условиях опыт для получения новых научных знаний посредством целенаправ-



ленного вмешательства исследователя в жизнедеятельность испытуемого;

♦ *мысленный* – вид познавательной деятельности, в которой структура реального эксперимента воспроизводится в воображении. Как правило, мысленный эксперимент осуществляют в рамках некоторой философской модели (теории) для проверки ее непротиворечивости. При проведении мысленного эксперимента могут быть обнаружены противоречия внутренних постулатов модели либо их несовместимость с внешними (по отношению к этой модели) принципами, которые считают безусловно истинными (например, с законом сохранения энергии, принципом причинности и т. д.);

♦ *критический* – эксперимент, исход которого однозначно определяет: является ли конкретная теория или гипотеза верной. Этот эксперимент должен дать результат, который не может быть выведен из других, общепринятых гипотез и теорий.

Экспериментальные (лабораторные или модельные) медико-биологические исследования, проводимые в целях оценки здоровья населения, условий его жизнедеятельности, должны обеспечивать получение полезной информации в искусственно созданных условиях для нахождения оптимальных характеристик изучаемых биофизических или медико-социальных комплексов. При этом следует учитывать отличительные особенности реальных систем и их исследовательских прототипов.

Следует учитывать, что при проведении медико-биологических исследований предъявляют особые требования к планированию экспериментов и их выполнению. В связи с этим для получения полезной информации важно предусматривать пробные шаги варьирования по управляемым факторам, выделять зависимость изучаемого отклика (или их множества) от воздействующих переменных, учитывать стохастичность систем и выявлять направления поиска оптимальных условий в факторном пространстве на основе математических моделей.

В реальных натурных исследованиях присутствует гораздо большее, чем в модельных, количество неуправляемых и неконтролируемых факторов, которые могут воздействовать на изучаемый отклик. В сочетании с малыми интервалами варьирования управляемых воздействий и значительной биологической вариабельностью это требует увеличения числа параллельных опытов в каждой точке плана для повышения достоверности проверок статистических гипотез.

Для познания, изучения и исследования, достижения результатов и практического преобразования действительности существует

множество методов (приемов, подходов, операций, способов) и их совокупностей. Методология системного анализа занимает среди них особое место в связи с тем, что изучение сложных проблем сопровождается необходимостью исследования взаимосвязанности изучаемых факторов, их изменчивости во времени, зависимости от значительного числа случайных процессов и явлений.

Практический опыт свидетельствует о том, что представление многих исследователей из числа врачей, биологов и других специалистов о возможностях применения методов системного анализа, а также теорий управления и информации, методов анализа и обработки информации, при планировании и проведении исследований, а также в повседневной деятельности далеко не полное. Учитывая это обстоятельство и стремясь более точно показать процедуры применения названных методов для логики и методологии науки, теории и практики обоснования и принятия решений, авторы хотели упорядочить некоторые противоречивые понятия в вопросах применения этих методов при выполнении медико-биологических исследований и в практической деятельности врачей, биологов и других специалистов.

Общепризнанный эталон, пример научного исследования, включающий закон, теорию, их практическое применение, метод, оборудование и др., называют *парадигмой*. Обычно процесс научного исследования предусматривает:

- выдвижение или формулировку гипотезы (гипотез);
- планирование исследования (эксперимента);
- проведение исследования (эксперимента);
- интерпретацию данных;
- опровержение или подтверждение гипотезы (гипотез);
- в случае опровержения старой – формулирование новой гипотезы (гипотез).

Приступая к изучению объекта, исследователь стремится рассмотреть его с разных точек зрения, проанализировать с нескольких позиций. Он должен спланировать ряд экспериментов, связанных с измерениями параметров объекта, изучением его поведения в стационарных условиях и реакций на воздействия некоторых внешних факторов, иногда специально организованных с помощью дополнительных технических средств. При этом программа экспериментов должна быть оптимизирована в соответствии с так называемой технологией выполнения исследования. Наиболее новые и прогрессивные технологии современности относят к *высоким технологиям* (англ. *high technology, high-tech*).

Анализ определений термина «технология» свидетельствует о том, что к числу наиболее известных его определений относят [103, 111, 120, 159]:

- ♦ совокупность производственных методов в определенной отрасли производства, а также научное описание способов производства. Здесь подразумевают, что методы и способы направлены на достижение определенного результата — продукции соответствующих производств;

- ♦ любое средство преобразования исходных материалов, будь то люди, информация или физические материалы для получения желаемых продукции и услуг. Одним из таких средств преобразования являются технические;

- ♦ сочетание квалификационных навыков, оборудования, инфраструктуры, инструментов и технических знаний, необходимых для осуществления желаемых преобразований в материалах, информации или людях.

Итак, между представленными определениями есть общее — ориентация на конечный продукт, способ и средства его достижения, причем третье определение наиболее полное и близкое к обсуждаемым проблемам. С использованием этого подхода введено понятие «*медицинские технологии*» — совокупность и порядок (последовательность) различных мероприятий, методов диагностики, лечения, реабилитации, профилактики (с применением технических средств как условия выполнения этих задач), необходимых для достижения конкретных медицинских результатов — сохранения жизни человека, поддержания его здоровья, обеспечения его высокой трудоспособности и жизненной активности [94, 95]. Для совершенствования этих технологий характерно усиление роли наукоемких исследований, позволяющих изучать тонкие механизмы управления организмом и выявлять нарушения их работы с целью раннего выявления и своевременной коррекции патологии, а для их реализации на практике используют сложные технические комплексы (например, системы непрерывного контроля состояния пациента, компьютерные томографы, рентгеноструктурные и многоканальные анализаторы, телемедицинские комплексы и т.п.).

Важнейшее значение для медико-биологических исследований и эффективного оказания медицинской помощи имеют **информационные технологии** (англ. *information technology, IT*) — процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, представления, распространения информации и способы осуществления этих процессов и методов.

В частности, информационные технологии предполагают использование компьютеров и программно-аппаратного обеспечения создания, хранения, обработки, ограничения к передаче и получению информации.

Сами информационные технологии требуют сложной подготовки, больших первоначальных затрат и наукоемкой техники. Их внедрение необходимо начинать с создания математического обеспечения, моделирования, формирования информационных хранилищ для промежуточных данных и решений.

Основными чертами современных информационных технологий являются:

- ♦ структурированность стандартов цифрового обмена данными;
- ♦ широкое использование возможностей хранения информации и ее представления в необходимом виде;
- ♦ передача информации посредством цифровых технологий на практически безграничные расстояния.

В настоящее время важнейшее значение имеют *информационно-телекоммуникационные технологии* – информационные системы и методы работы с информацией, осуществляемые с применением средств вычислительной техники и телекоммуникаций. Под *телекоммуникацией* понимают связь с помощью такого электронного оборудования, как телефоны, компьютерные модемы, спутники, волоконно-оптические кабели и др.

Научное познание и исследование любого явления, объекта или проблемы, как и решение практических задач, следует характеризовать и осуществлять с *системных позиций*. Именно принцип системности дает возможность получить более полное и верное представление об изучаемом объекте, в конкретных взаимосвязях, отношениях и зависимостях. Системность должна быть присуща при решении исследовательских и практических задач изучения человека в здравоохранении, медицине, биологии, социологии и других науках в интересах всего общества, больших или малых когорт, здоровых и (или) больных людей. Системный подход необходимо применять при обследовании людей, обратившихся по поводу заболеваний, установлении диагноза, выборе методов лечения, профилактики и др.

Исследовательская и практическая деятельность будет более успешной и эффективной, если понятийный аппарат (определения, термины и категории) будет предельно ясным, прочным и понятным. В связи с этим для правильного понимания и адекватного примене-

---

ния методов системного и статистического анализа в научной и практической деятельности врачам всех специальностей, биологам и другим специалистам необходимо конкретизировать понятия «система», «системный подход», «системный анализ», «объект», «процесс», «управление», «метод», «модель», «моделирование», «прогнозирование» и др., так как без четкого понимания этих категорий нельзя проникнуть в суть объектов и явлений при комплексном системном медико-социальном изучении человека.

## Глава 1

---

---

# СИСТЕМЫ В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

---

---

Системы, подсистемы и их элементы могут быть выделены при проведении комплексных обследований человека с целью решения различных медико-биологических и социальных задач. Существует множество подходов к их выделению и математическому описанию в зависимости от проблем и задач, решаемых врачами, социологами или биологами. Наиболее общим является *теоретико-множественный подход*, при котором система  $S$  представляется как отношение

$$S \subset X \times Y,$$

где  $X$  и  $Y$  – входной и выходной объекты выделенной для исследования системы соответственно.

Строгого единого определения понятия «система» нет. В литературе под системой понимают совокупность элементов и связей между ними, обладающую определенной целостностью.

**Система** – это взаимосвязанная совокупность множества элементов (процессов, явлений), находящихся в отношениях между собой таким образом, что имеется их определенное единство; объект, представляющий собой совокупность элементов, обладающую свойством целостности при конкретном рассмотрении; множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство таким образом, что совокупность взаимодействующих между собой элементарных структур или процессов объединяется в систему посредством выполнения некоторой общей функции, которую не может осуществить ни один из ее компонентов; целое, составленное из частей, – «конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделенное

из среды в соответствии с определенной целью в рамках определенного временного интервала»:

$$S_{def} \equiv \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle,$$

где  $S$  – система;  $A, R$  – функциональные элементы;  $Z$  – цель;  $SR$  – среда;  $\Delta T$  – временной интервал [33, 40, 45, 111, 120, 134, 157].

По меньшей мере предложено еще несколько десятков определенных понятия «система», используемых в зависимости от контекста, области знаний и целей исследования [111, 120, 159]. Основным фактором, обуславливающим различия в определениях, состоит в том, что понятие «система» имеет двойственность: его применяют и для обозначения объективно существующих систем, и как метод изучения и представления гипотетических и виртуальных систем, т. е. как субъективную модель реальности [120].

В связи с этим различают по меньшей мере два аспекта: как отличить системный объект от несистемного и как построить систему путем выделения ее из окружающей среды. На основе первого аспекта дают дескриптивное (описательное) определение системы, на основе второго – конструктивное [111], иногда они сочетаются. Подходы к определению системы также предлагают делить на онтологический (соответствует дескриптивному), гносеологический и методологический (соответствуют конструктивному) [40, 120].

Таким образом, главное отличие конструктивных определений состоит в формулировании системообразующих признаков (например, цели существования или изучения системы) с точки зрения наблюдателя или исследователя, которого при этом явно или неявно включают в определение.

Для системы характерны следующие основные свойства:

- ♦ *целостность* (эмерджентность) – это внутреннее единство системы. Целостность означает, что система выступает и воспринимается относительно окружающей среды как нечто целое. С этим свойством связана *синергичность* – максимальный эффект деятельности системы достигается только в случае максимальной эффективности совместного функционирования ее элементов для достижения общей цели;

- ♦ *иерархичность* – любую систему можно рассматривать как элемент системы более высокого порядка, в то время как ее элементы могут выступать в качестве систем более низкого порядка; при исследовании системы необходимо учитывать внутреннюю упорядоченность отношений и связей между ее элементами;

♦ *целенаправленность* — наличие у системы цели (целей) и приоритет целей системы перед целями ее элементов, другими словами — возможность управления системой путем изменения параметров в одном элементе для преобразования состояния других;

♦ *адаптивность* — стремление к состоянию устойчивого равновесия (гомеостаза), которое предполагает адаптацию параметров системы к изменяющимся параметрам окружающей среды (однако «неустойчивость» не во всех случаях является дисфункциональной для системы, она может выступать и в качестве условия динамического развития);

♦ *связность* — свойство системы, осуществление обмена информацией между ее элементами, невозможность включения в систему элементов без информационного обмена;

♦ *надежность* — способность системы сохранять свой уровень качества функционирования при заданных условиях за установленный период времени;

♦ *устойчивость* — способность системы сохранять свойства при значительном изменении параметров среды;

♦ *наличие внутренних и внешних связей* является важной характеристикой целостности системы, благодаря чему она выделяется из среды как нечто единое, поэтому такие связи называют системообразующими, т. е. система обладает обособленностью — свойством, определяющим наличие границ с окружающей средой. Выявление системообразующих связей служит необходимым условием исследования объекта как системы.

Понятие «система» играет важную роль в современной медицине, социологии, биологии и других научных дисциплинах, а также в практическом здравоохранении. Для большинства систем медико-биологической и технической природы характерно наличие в них процессов передачи информации и управления [6, 7, 52, 111, 120, 121]. Сложные системы характеризуются выполняемыми процессами (функциями), структурой и поведением во времени.

Предполагают, что выделенное и исследуемое семейство представляет собой множество индексов, а систему задают как некоторое собственное подмножество, все компоненты которого являются объектами. Такое определение ориентировано на исследование предельно общих свойств систем независимо от их сущности и лежит в основе общей теории систем [111].

*Общая теория систем* — научная и методологическая концепция исследования объектов, представляющих собой системы. Она тесно



связана с системным подходом и конкретизирует его принципы и методы. Первый вариант общей теории систем был выдвинут Людвигом фон Бергаланфи, основная идея которого состоит в признании изоморфизма законов, управляющих функционированием системных объектов [40, 52, 109, 159].

Предметом исследований в рамках общей теории систем является изучение различных классов, видов и типов систем; основных принципов и закономерностей поведения систем (например, принцип узкого места); процессов функционирования и развития систем (например, равновесие, эволюция, адаптация, сверхмедленные и переходные процессы) и др.

В границах теории систем характеристики любого сложно организованного целого рассматривают сквозь призму четырех фундаментальных определяющих факторов:

- ~ устройство системы;
- ~ ее состав (подсистемы, элементы);
- ~ текущее глобальное состояние системной обусловленности;
- ~ среда, в границах которой разворачиваются все ее организующие процессы.

В исключительных случаях, помимо исследования названных факторов, допустимы широкомасштабные исследования организации элементов нижних структурно-иерархических уровней, т. е. инфраструктуры системы.

Системы принято подразделять на физические и абстрактные, статические и динамические, простые и сложные, искусственные и естественные, с управлением и без управления, непрерывные и дискретные, детерминированные и стохастические, открытые и замкнутые и др. [119].

Разделение систем на **физические (материальные) и абстрактные** позволяет различать реальные системы (объекты, явления, процессы) и системы, являющиеся определенными отображениями (моделями) реальных объектов.

Физические системы объединяют системы неорганической природы (физические, химические, геологические и т. п.), живые (биологические организмы, популяции, виды, экосистемы и т. п.) и социальные (от простейших социальных объединений до социально-экономических структур общества).

Абстрактные системы объединяют понятия, гипотезы, научные знания о системах, лингвистические, логические и другие системы.

Для реальной системы может быть построено множество систем — моделей, различаемых по цели моделирования, требуемой степени

детализации и др. Например, реальная медицинская автоматизированная информационная система с точки зрения системного администратора – совокупность математического, информационного, лингвистического, технического и других видов обеспечения, врача – совокупность информации, необходимой для организации работы медицинского учреждения, обследования и лечения пациентов, технического обслуживания – совокупность исправных и неисправных средств [119].

К классу *статических систем* относят системы, для которых при одинаковом значении входного сигнала выходной сигнал один и тот же независимо от времени измерения. Если сигнал на выходе системы при одном и том же входном сигнале разный, то такую систему называют *динамической*. Состояние динамической системы в отличие от статической зависит от ее предыдущего состояния. В связи с этим в записи модели динамических систем присутствует производная, связывающая прошлое состояние системы с настоящим. Чем больше предыдущее состояние системы влияет на ее текущее, тем более высокую степень старшей производной используют в записи модели системы.

Разделение систем на *простые* и *сложные (большие)* дает возможность рассматривать в системном анализе не любые, а именно те сложные системы. При решении научных задач выделяют структурную и функциональную (вычислительную) сложность.

Общепризнанной границы между простыми и сложными системами нет. Однако ряд авторов предлагают считать сложными те системы, которые характеризуются тремя основными признаками: робастностью, наличием неоднородных связей и целостностью.

Во-первых, сложные системы обладают свойством *робастности* – способностью сохранять частичную работоспособность (эффективность функционирования) при отказе отдельных элементов или подсистем. Его объясняют функциональной избыточностью сложной системы, считая, что оно проявляется в изменении степени деградации выполняемых функций, зависящей от глубины возмущающих (разрушающих) воздействий.

Во-вторых, в составе сложных систем, кроме значительного количества элементов, присутствуют многочисленные и *разные по типу (неоднородные)* связи между элементами. Основными типами связей считают следующие: структурные, в том числе иерархические; функциональные; каузальные (причинно-следственные, отношения истинности); информационные, пространственно-временные. По этому

признаку сложные системы отличаются от больших систем, представляющих собой совокупность однородных элементов, объединенных связями одного типа.

В-третьих, сложные системы обладают свойством, которое отсутствует у любой из составляющих их частей. Это ранее упоминавшаяся целостность. Другими словами, отдельное рассмотрение каждого элемента сложной системы не дает полного представления о сложной системе в целом. Целостность может достигаться за счет обратных связей, играющих важнейшую роль в функционировании сложной системы.

Считают, что структурная сложность выделенной и исследуемой системы должна быть пропорциональна объему информации, необходимой для ее описания (устранение неопределенности). Это энтропийный подход к дескриптивной (описательной) сложности системы. Одним из способов описания такой сложности является оценка числа элементов, входящих в систему (переменных, состояний, компонентов), и разнообразия взаимозависимостей между ними.

*Энтропия* (греч. *ἐντροπία* – поворот, превращение) – в естественных науках мера беспорядка системы, состоящей из многих элементов. В статистической физике энтропия – мера вероятности осуществления какого-либо макроскопического состояния, в теории информации – мера неопределенности какого-либо опыта (испытания), который может иметь разные исходы, а значит, и количество информации, в информатике – степень неполноты, неопределенности знаний.

Понятие «энтропия» впервые введено Р. Клаузиусом в 1865 г. в термодинамике для определения меры не только необратимого рассеивания энергии, но и отклонения реального процесса от идеального. Она является функцией состояния, определенная как сумма приведенных теплот и остается постоянной при обратимых процессах, тогда как в необратимых – ее изменение всегда положительно.

Для анализа сложности функционирования систем применяют подход, основанный на определении ресурсов, используемых в системе при решении некоторого класса задач. Например, если функция времени вычислений является полиномиальной функцией от входных данных, то мы имеем дело с полиномиальным по времени, или «легким» алгоритмом. В случае экспоненциального по времени алгоритма говорят о его «сложности». Алгоритмическую сложность изучают в теории *NP*-полных задач (англ. *non-deterministic polynomial*), включающих задачи распознавания, решение которых при наличии

некоторых дополнительных сведений можно «быстро» (за время, полиномиально зависящее от размера данных) проверить с помощью пошаговых вычислений, каждый шаг которых достаточно элементарен [159].

Сложные системы допустимо разделять на *искусственные* и *естественные* (природные). Искусственные системы, как правило, отличаются от природных наличием определенных целей функционирования (назначением) и управления.

Среди систем выделяют системы *с управлением и без управления*. Структура управления – систематизированный (строго определенный) набор средств сбора сведений об управляемой системе и средств воздействия на ее состояние с целью достижения определенных целей. Изменение состояния системы с управлением происходит в результате влияния внешних факторов, включающих управляющие или возмущающие воздействия, а без управления – без управляющих воздействий. Системы управления с участием людей как объектов управления часто называют *системами менеджмента*.

При решении практических задач различают *непрерывные* и *дискретные* системы, такое разделение проводят для адекватного выбора математического аппарата моделирования. Для исследования динамических систем с непрерывной переменной – непрерывных систем – используют теорию дифференциальных уравнений. Изменения состояния многих систем происходят не непрерывно, а в дискретные моменты времени, по принципу «от события к событию» – это дискретные системы. Для исследования дискретных систем применяют имитационные, дискретно-событийные модели: модели массового обслуживания, сети Петри, цепи Маркова и др.

Кроме того, выделяют детерминированные и стохастические системы.

*Детерминированные* (предсказуемые) системы функционируют по заранее заданным правилам с заранее определенным результатом.

*Стохастические* (вероятностные) системы характеризуются трудно предсказуемыми входными воздействиями и выходными результатами. На практике элемент случайности обычно применяют к анализу системы, когда у исследователя имеется большое число переменных, влияющих на поведение системы, или они настолько сложны для анализа, что не остается иного выхода, как изучать систему, подверженную влиянию случайности.

По взаимодействию с окружающей средой системы подразделяют на *открытые* (взаимодействующие со средой) и *замкнутые* (со сре-

дой не взаимодействующие). Все реакции замкнутой системы можно однозначно объяснить изменением ее состояния. Понятие «открытость системы» конкретизируют в каждой предметной области, например сеть Интернет – открытая система, а вычислительная сеть для обработки конфиденциальной информации – закрытая.

*Мягкие* системы характеризуются высокой чувствительностью к внешним воздействиям, вследствие чего они обладают слабой устойчивостью. Примерами мягких систем являются биохимические, гормональные и другие системы.

*Жесткие* системы – это авторитарные организации, основанные на высоком профессионализме небольшой группы руководителей. Такие системы обладают высокой устойчивостью к внешним воздействиям.

*Технические* системы решают задачи по программам, составленным человеком. Однако сам человек не является результатом деятельности технической системы.

*Технологические* системы представляют собой набор правил и норм, определяющих последовательность операций в процессе производства товаров, продукции или предоставления услуг. Человек является элементом технологической системы.

*Экономические* системы – множество экономических процессов и связей всех сторон производства. Основными элементами экономической системы являются трудовые, материальные, финансовые и информационные ресурсы. В широком смысле экономическая система – это система общественного производства, а в узком – система производственных отношений в процессе производства продукции или предоставления услуг.

*Социальные* системы – это совокупности мероприятий, направленных на социальное развитие коллектива (улучшение условий труда, охрана окружающей среды и т. п.).

*Эргатические* системы – это системы, элементом которых является человек-оператор, а их частным случаем – человеко-машинные системы – системы, в которых человек-оператор или группа операторов взаимодействует с техническим устройством в процессе производства материальных ценностей, управления, обработки информации и т. д.

*Система управления* – это система, в которой реализуется функция управления (управление рассматривают как действие или функции, обеспечивающие реализацию заданных целей). Система управления содержит две главные подсистемы: управляемую (объект управления) и управляющую, осуществляющую функцию управления.

*Централизованная* система — это система, в которой некоторый элемент (центр) играет главную, доминирующую роль в ее функционировании. При этом небольшие изменения ведущей части вызывают значительные изменения всей системы: как желательные, так и нежелательные. Соответственно систему, в которой нет главного элемента, называют *децентрализованной*.

*Линейную* систему описывают линейными уравнениями (алгебраическими, дифференциальными, интегральными и др.), в противном случае систему считают *нелинейной*. Для линейных систем справедлив принцип суперпозиции: реакция системы на любую комбинацию внешних воздействий равна сумме реакций на каждое из этих воздействий, поданных на систему порознь. Большинство сложных систем нелинейные. В связи с этим для упрощения анализа систем довольно часто применяют процедуру линеаризации, при которой нелинейную систему описывают приближенно линейными уравнениями в некоторой (рабочей) области изменения входных переменных. Однако не всякую нелинейную систему можно линеаризовать, в частности дискретные системы.

*Каузальная* система — это система, которым цель внутренне не присуща. Если такая система и имеет целевую функцию (например, автопилот), то эта функция задана извне пользователем. Противоположностью каузальной является *целенаправленная* (целеустремленная, активная) система. Активные системы, к которым в первую очередь относят организационные, социальные и экономические, в зарубежной литературе называют «*мягкими*» системами.

*Организационная* система представляет собой комплекс элементов или подсистем. Она обеспечивает взаимодействие технической, технологической, экономической и социальной подсистем и включает также информационное, математическое, программное и другое обеспечение.

*Абстрактные* (символические) системы включают в качестве элементов понятия, связанные между собой определенными отношениями с заданными свойствами.

*Материальные* (реальные) системы в качестве элементов включают материальные (физические) объекты.

По характеру связей параметров системы с окружающей средой материальные системы подразделяют на:

— *закрытые*, для которых какой-либо обмен энергией, веществом и информацией с окружающей средой отсутствует. Для закры-

тых систем характерно увеличение энтропии (второй закон термодинамики);

- *замкнутые*, которые обмениваются энергией, но не веществом;
- *изолированные*, для которых любой обмен энергией, веществом и информацией исключен;
- *открытые*, которые свободно обмениваются энергией, веществом и информацией с окружающей средой.

В открытых системах могут происходить явления самоорганизации, усложнения или спонтанного возникновения порядка.

Саморегуляцию, способность открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия, называют *гомеостазом* (греч. *ομοιοστασις* от *ομοιος* – одинаковый, подобный и *στασις* – стояние, неподвижность). Другими словами, гомеостаз – это стремление системы воспроизводить себя, восстанавливать утраченное равновесие, преодолевать сопротивление окружающей среды.

Американский физиолог У. Кеннон предложил термин «гомеостаз» как название для «...координированных физиологических процессов, которые поддерживают большинство устойчивых состояний организма» [124, 126, 128, 159]. В дальнейшем этот термин стал означать способность динамически сохранять постоянство своего внутреннего состояния любой открытой системы. Однако представление о постоянстве внутренней среды было сформулировано еще в 1878 г. французским ученым К. Бернаром. Под гомеостазом, который выступает в роли фундаментальной характеристики живых организмов, понимают поддержание внутренней среды в допустимых пределах, поэтому понятие «гомеостаз» широко применяют в исследованиях медико-биологических систем.

Описание гомеостаза как свойства системы, обеспечивающего поддержание динамического постоянства жизненно важных системных параметров организма, впервые ввел У.Р. Эшби. Формальное описание гомеостаза как свойства систем было впервые дано В.Н. Новосельцевым, который предложил описывать гомеостаз системы в терминах «пространство состояний», где входной сигнал определяется потребностью системы в веществах и энергии (темп их потребления), а выходной – темпом их поступления [97]. В этом случае гомеостаз означает низкую чувствительность части переменных состояния (а именно тех, которые У.Р. Эшби называл «существенными») к внешним возмущениям. В соответствии с изложенным *гомеостаз* –

состояние системы, при котором обеспечивается поддержание динамического постоянства в допустимых пределах жизненно важных (системных) функций и параметров системы при различных изменениях внутренней и внешней среды.

*Гомеостатические системы* обладают следующими свойствами:

– нестабильностью: система тестирует, каким образом ей лучше приспособиться;

– стремлением к равновесию: вся внутренняя, структурная и функциональная организация систем способствует сохранению баланса;

– непредсказуемостью: результирующий эффект от определенного действия зачастую может отличаться от того, который ожидали.

Следует отметить, что, хотя организм находится в равновесии, его физиологическое состояние может быть динамическим. Во многих организмах наблюдают эндогенные изменения в форме циркадного (длительность около суток), ультрадианного (длительность меньше 1 сут) и инфрадианного (длительность больше 1 сут) ритмов. Так, даже находясь в гомеостазе, температура тела, артериальное давление, частота сердечных сокращений и большинство метаболических индикаторов не всегда находятся на постоянном уровне, но изменяются в течение времени.

Важнейшим механизмом гомеостаза является *обратная связь* — связь между выходом и входом системы. Выделяют два типа обратной связи: отрицательную и положительную.

*Отрицательная обратная связь*, выражающаяся в реакции, при которой система отвечает так, чтобы изменить направление изменения на противоположное. В связи с тем что обратная связь служит сохранению постоянства системы, это позволяет соблюдать гомеостаз. Примерами отрицательной обратной связи являются взаимосвязь концентрации углекислого газа с активностью легочной деятельности, терморегуляция и т. п.

*Положительная обратная связь*, выражающаяся в усилении изменения переменной вследствие усиления активности системы, дает дестабилизирующий эффект, поэтому не приводит к гомеостазу. Положительная обратная связь реже встречается в естественных системах, но также находит применение в них. Примером положительной обратной связи может быть увеличение генерации потенциала действия с нарастанием порогового электрического потенциала в нервах.

Устойчивым системам необходимы комбинации из обоих типов обратной связи. В связи с тем что отрицательная обратная связь позволяет вернуться к гомеостатическому состоянию, положительную обратную связь используют для перехода к совершенно новому (и, вполне



может быть, менее желаемому) состоянию гомеостаза, такую ситуацию называют *мета-стабильностью*.

*Большая система* — управляемая система, рассматриваемая как совокупность взаимосвязанных управляемых подсистем, объединенных общей целью функционирования.

Часто термины «большая система» и «сложная система» используют как синонимы. В то же время существует точка зрения, согласно которой большие и сложные системы — это разные классы систем. При этом некоторые авторы связывают понятие «большая» с величиной системы, количеством элементов (часто относительно однородных), а понятие «сложная» — со сложностью отношений, алгоритмов или сложностью поведения.

После появления книги Р.Х. Гуда и Р.З. Макола стали употреблять понятие «большая система», которое широко использовали в период становления системных исследований, для того чтобы подчеркнуть принципиальные особенности исследований, требующих применения системного подхода.

В качестве признаков большой системы предлагали использовать различные понятия: «иерархичность структуры», что необоснованно сужало класс структур, с помощью которых можно отображать систему; понятие «человеко-машинная» система (это исключало из рассмотрения автоматические комплексы); наличие больших потоков информации или большого числа алгоритмов ее переработки.

У.Р. Эшби считал, что система является большой с точки зрения наблюдателя, возможности которого она превосходит в каком-то аспекте, важном для достижения цели. При этом физические размеры объекта не являются критерием отнесения объекта к классу больших систем. Один и тот же материальный объект в зависимости от цели наблюдателя и средств, имеющихся в его распоряжении, можно отображать или не отображать большой системой.

Понятие «большая система» также связывают с понятием «наблюдатель»: он необходим для изучения большой системы в отличие от сложной. У.Р. Эшби подчеркивает, что в случае большой системы объект может быть описан как бы на одном языке, т. е. с помощью единого метода моделирования, хотя и по частям, подсистемам, и предлагает считать большой «...такую систему, которую невозможно исследовать иначе, как по подсистемам» [159].

Применяя системный подход к изучению больших систем, используют методы, позволяющие учитывать не только наличие тесной

взаимосвязи между большим числом факторов, определяющих поведение рассматриваемой системы, но и неопределенность поведения системы в целом и ее отдельных частей как результат действия случайных факторов и участия в системе человека. Кроме того, принимают во внимание взаимодействие системы и окружающей среды, а также изменение их свойств во времени.

Существует большое число подходов к разделению систем по сложности, но, к сожалению, нет единого определения этого понятия, как нет и четкого деления понятия «простые» и «сложные системы».

Некоторые авторы признаком простой системы считают сравнительно небольшой объем информации, требуемый для ее успешного управления, а системы, в которых не хватает информации для эффективного управления, считают сложными.

Другие авторы оценивают сложность систем в зависимости не только от числа элементов, входящих в их состав, но и от числа целей (аспектов) задачи, для решения которой выделена или разработана система, а также сложность поведения системы и др.

*Самоорганизующаяся система* – адаптивная система, в которой запоминание информации (накопление опыта) выражается в изменении структуры системы. *Самоорганизация* – процесс упорядочения элементов одного уровня в системе за счет внутренних факторов, без внешнего специфического воздействия (изменение внешних условий может также быть стимулирующим воздействием). Результат – появление единицы следующего качественного уровня.

*Адаптивная* (самоприспосабливающаяся) система – это система, автоматически изменяющая алгоритмы своего функционирования и (иногда) свою структуру с целью сохранения или достижения оптимального состояния при изменении внешних условий.

Класс самоорганизующихся систем характеризует ряд особенностей, которые, как правило, обусловлены наличием в ней активных элементов, делающих ее целенаправленной. Отсюда вытекают особенности функционирования самоорганизующихся систем:

- ♦ нестационарность (изменчивость) отдельных параметров системы и стохастичность ее поведения;
- ♦ уникальность и непредсказуемость поведения системы в конкретных условиях. Благодаря наличию активных элементов системы появляется «свобода», но в то же время ее возможности ограничены имеющимися ресурсами (элементами, их свойствами) и характерными для определенного типа систем структурными связями;

- ◆ способность изменять свою структуру и формировать варианты поведения, сохраняя целостность и основные свойства (изменение структуры не приводит к нарушению функционирования системы или к прекращению ее существования);
- ◆ возможность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям (в системах с активными элементами нарушается закономерность возрастания энтропии и даже наблюдают негэнтропийные тенденции, т. е. собственно самоорганизация);
- ◆ способность адаптироваться к изменяющимся условиям (это хорошо в отношении к возмущающим воздействиям и помехам, но плохо, когда адаптивность проявляется и в отношении управляющих воздействий, затрудняя управление системой);
- ◆ стремление к целеобразованию и возможность его реализации;
- ◆ принципиальная неравновесность.

Рассмотренные особенности противоречивы: в большинстве случаев они являются одновременно положительными и отрицательными, желательными и нежелательными для создаваемой системы: их не сразу можно понять и объяснить, для того чтобы выбрать и обеспечить требуемую степень проявления.

Основную конструктивную идею моделирования при отображении объекта классом самоорганизующихся систем можно сформулировать следующим образом: накапливая информацию об объекте, фиксируя и применяя все новые компоненты и связи, можно получать отображения последовательных состояний развивающейся системы, постепенно создавая все более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта. При этом информация может поступать от специалистов различных областей знаний и накапливаться во времени по мере ее возникновения (в процессе познания объекта).

Адекватность модели часто доказывают последовательно (по мере ее формирования), оценивая правильность отражения в каждой последующей модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленных целей.

Мощным толчком для развития новых научных представлений о природе биомедицинских систем стало появление *синергетики* (от греч. сотрудничество, содружество:  $\sigma\nu\nu$  – приставка со значением совместности и  $\epsilon\rho\omega\nu$  – деятельность) как науки о процессах нелинейной самоорганизации в природе и обществе, особенностях самоорганизации временных, пространственных, пространственно-временных структур [159].

Закон синергии заключается в том, что сумма некоторых свойств целого превышает сумму свойств, имеющих у каждого из вошедших в состав целого элемента в отдельности. Получаемый суммарный эффект имеет название «синергетический эффект». Термин «синергетика» предложил Р.Б. Фуллер, а впервые его использовал в теории систем и системном анализе Г. Хаген. По мнению Г. Хагена, синергетика призвана играть роль своего рода мета-науки, подмечающей и изучающей характер тех или иных закономерностей и зависимостей, которые частные науки считают «своими» [91, 159].

Синергетика, основные положения которой сформулированы Г. Хагеном, представляет собой эвристический метод исследования открытых самоорганизующихся систем, подверженных синергетическому эффекту, который сопровождается образованием пространственных, временных или функциональных структур. Синергетика возникла в ответ на кризис исчерпавшего себя стереотипного («линейного») мышления, основными чертами которого являются [159]:

- ◆ представление о хаосе как исключительно деструктивном начале мира;
- ◆ рассмотрение случайности как второстепенного, побочного фактора;
- ◆ мир считают независимым от микрофлуктуаций лежащих ниже уровней бытия и космических влияний;
- ◆ взгляд на неравновесность и неустойчивость как на досадные неприятности, которые должны быть преодолены, так как играют негативную, разрушительную роль;
- ◆ процессы, происходящие в мире, являются обратимыми во времени, предсказуемыми на неограниченно больших промежутках времени;
- ◆ развитие происходит линейно, поступательно, безальтернативно, а если альтернативы и есть, то они могут быть только случайными отклонениями от магистрального течения, подчинены ему и в конечном счете поглощены им;
- ◆ пройденное представляет исключительно исторический интерес, а возвраты к старому, если они и есть, являются диалектическим снятием предыдущего уровня и имеют новую основу;
- ◆ мир связан жесткими причинно-следственными связями;
- ◆ причинные цели имеют линейный характер, а следствие, если и не тождественно причине, то пропорционально ей, т. е. чем больше вложено энергии, тем лучше результат.

Эффект синергии обусловлен появлением нового качества, который становится принадлежностью целого, но не всякое объединение дает синергетический эффект. Дело не в том, «что» соединяется, а «как» соединяется: главную роль здесь играют связи, устанавливающиеся между частями целого (другими словами, проявляется *коннекционизм* — связь между элементами определяет функционирование системы). В искусственных системах эффект синергии достигается их постепенным усложнением за счет дополнительных частей, каждая из которых имеет свое предназначение, благодаря чему увеличиваются функциональные возможности целого.

Синергетика основана на идеях системности мира и научного знания о нем, общности закономерностей развития объектов всех уровней материальной и духовной организации, нелинейности (многовариантности и необратимости), глубины взаимосвязи хаоса и порядка (случайности и необратимости), открытости мира, непрерывно возникающего по нелинейным законам. Предметом изучения синергетики являются механизмы самоорганизации.

Для того чтобы работал механизм самоорганизации, изучаемая система должна обладать определенными свойствами:

- нелинейной зависимостью между характеристиками системы;
- наличием внешних воздействий на систему, которые можно рассматривать как управленческие;
- фактором множественности элементов, исходно находящихся в состоянии хаоса, когда движение каждого описывают стохастически (греч. *στοχαστικός* — неопределенность, случайность).

Механизм самоорганизации, рассматриваемый в рамках синергетики, заключается в следующем:

~ под действием внешних возмущений или вследствие случайных отклонений (флуктуаций) система переходит в неустойчивое состояние;

~ в результате этого возникает порядок на уровне макросостояний, т. е. система приобретает новую структуру, новый облик, отличающийся устойчивостью;

~ это находит воплощение в объединении элементов, образовании новых связей или трансформации элементов, а, значит, обеспечивает приобретение ими новых свойств.

Синергетика как естественно-научная компонента системного анализа с ее понятиями неустойчивости, неравновесия, нелинейности, бифуркации, катастрофы и др. существенно обогатила понятийный аппарат системного анализа и в значительной мере способствовала

формированию парадигмы современных системных исследований. *Парадигма* (греч. *παράδειγμα* – пример, модель, образец) – совокупность фундаментальных научных установок, представлений и терминов, принимаемая и разделяемая научным сообществом и обеспечивающая преемственность познания.

*Синергическая связь* – связь в системе, которая при совместном функционировании ее независимых элементов обеспечивает усиление общего эффекта до величины большей, чем сумма эффектов этих же элементов, действующих независимо, т. е. усиливает связь элементов системы.

Синергетика объясняет процесс самоорганизации в сложных системах следующим образом:

- ♦ система должна быть открытой, а закрытая система в соответствии с законами термодинамики должна в конечном итоге прийти к состоянию с максимальной энтропией и прекратить эволюцию;

- ♦ открытая система должна быть далека от точки термодинамического равновесия, в которой она обладает максимальной энтропией и неспособна к самоорганизации. В состоянии, близком к равновесию и без достаточного притока энергии извне, любая система со временем еще более приблизится к равновесию и перестанет изменять состояние;

- ♦ фундаментальными принципами самоорганизации являются возникновение нового порядка и усложнение систем через флуктуации (случайные отклонения) характеристик состояний их элементов и подсистем. Такие флуктуации обычно подавляются во всех динамически стабильных и адаптивных системах за счет отрицательных обратных связей, обеспечивающих сохранение структуры и близкого к равновесию состояния системы. Однако в более сложных открытых системах благодаря притоку энергии извне и усилению неравновесности отклонения со временем возрастают, накапливаются, вызывают эффект коллективного поведения элементов и подсистем, приводя к «расшатыванию» прежнего порядка и через кратковременное хаотическое состояние системы – к разрушению прежней либо к возникновению новой структуры. Поскольку флуктуации имеют случайный характер, состояние системы после бифуркации обусловлено действием случайных факторов;

- ♦ самоорганизация, исходом которой является образование через этап хаоса нового порядка или новых структур, может произойти лишь в сложных системах, имеющих некоторые критические параметры связи элементов системы и высокие значения вероятностей

флуктуаций. В противном случае эффекты синергетического взаимодействия будут недостаточны для появления коллективного поведения элементов системы и, следовательно, для возникновения самоорганизации. Недостаточно сложные системы не способны ни к спонтанной адаптации, ни тем более к развитию и при получении извне чрезмерного количества энергии теряют свою структуру и необратимо разрушаются;

- ♦ самоорганизация происходит только при преобладании в системе положительных обратных связей над отрицательными. Функционирование динамически стабильных неэволюционирующих адаптивных систем (гомеостаз в живых организмах, автоматические устройства и др.) основывается на получении обратных сигналов от рецепторов или датчиков относительно положения системы и последующей корректировки этого положения к исходному состоянию исполнительными механизмами. В самоорганизующейся эволюционирующей системе возникшие изменения не устраняются, а накапливаются и усиливаются вследствие общей положительной реактивности системы, что может привести к возникновению нового порядка и новых структур, образованных из элементов прежней системы (таковы механизмы фазовых переходов вещества, образования новых социальных формаций и др.);

- ♦ самоорганизация в сложных системах, переходы от одних структур к другим, возникновение новых уровней организации материи сопровождаются нарушением симметрии. При описании эволюционных процессов необходимо отказаться от симметрии времени, характерной для полностью детерминированных и обратимых процессов в классической механике. Самоорганизация в сложных и открытых — диссипативных системах, к которым относится и жизнь, и разум, приводят к необратимому разрушению старых и возникновению новых структур и систем.

При анализе систем выделяют и рассматривают их части — подсистемы и элементы, а также окружающую среду.

*Подсистема* — система, являющаяся частью более общей системы, выделенной по определенному признаку, способная выполнять относительно независимые функции и допускающая разложение на элементы в рамках проводимого рассмотрения [42, 45, 111, 159]. Более крупную систему, частью которой является рассматриваемая, называют *надсистемой* (суперсистема).

*Схема системы* — графическое изображение системы с помощью символов, отображающих ее элементы (подсистемы) и структуру.

*Функция системы* – совокупность процессов, рассматриваемых в исследуемом объекте, внешнее проявление свойств системы, определенный способ взаимодействия ее элементов с окружающей средой или гиперсистемой (надсистемой). У любой изучаемой системы много функций, однако почти всегда среди этого множества можно выделить одну, самую существенную для нее. Эту функцию называют главной функцией системы.

*Объект* – выделенная по некоторым правилам часть мира, являющаяся предметом познания или практической деятельности. Свойства объекта – то, в чем рассматриваемый объект схож с другими сравниваемыми объектами или отличается от них.

Система может быть разделена на элементы не сразу, а последовательным расчленением на подсистемы или совокупности элементов. Такое расчленение, как правило, проводят на основе определения независимой функции, выполняемой рассматриваемой совокупностью элементов совместно для частной цели, обеспечивающей достижение системой общей цели.

Последовательное дробление системы в глубину приводит к иерархии подсистем, нижним уровнем которых является элемент.

*Элемент* (лат. *elementum* – стихия): 1) объект, который может быть частью целого и который невозможно или не требуется при конкретном рассмотрении расчленять на составные части; 2) некоторый объект (материальный, энергетический, информационный), обладающий рядом важных свойств и реализующий в системе определенную функцию (функционирование), внутреннюю структуру которой не рассматривают [45, 111, 120, 159].

*Среда*: 1) то, что окружает исследуемую систему и оказывает на нее воздействие; 2) множество объектов  $S'$  вне выделенного элемента или системы  $S$ , которые оказывают влияние на элемент (систему) и сами при этом находятся под воздействием элемента (системы):  $S \cap S' = \emptyset$ .

Разграничение системы и среды практически всегда условно и определяется условиями, целью и задачами исследования. Правильное разграничение исследуемого реального объекта и среды является необходимым этапом системного анализа. В системном анализе часто используют понятие «*суперсистема*», понимая под этим часть окружающей среды, для которой такая система является элементом [45, 111, 120, 159].

Формы связи выделенной и исследуемой системы с окружающей средой различны. Как минимум система имеет один вход и один выход, но их число может быть любым.



В моделях кибернетических систем воздействие среды на систему описано неуправляемыми (неконтролируемыми) и управляемыми (контролируемыми, учитываемыми) переменными.

В здравоохранении, медицине и биологии выделяют и исследуют как системы следующие группы объектов:

- ♦ объекты здравоохранения по уровням – федерация, федеральный округ, субъект федерации, город, район, больница, отделение и т.д., а предмет исследования в этих объектах – показатели качества и условий жизни, физического развития, состояния здоровья и заболеваемости, оказание медицинской помощи, организация работы медицинских учреждений, деятельность медицинских кадров, вопросы экономики и др.;

- ♦ объекты медицины и социологии – группы (когорты) здоровых и больных людей или отдельный человек, среда его обитания, органы и системы, ткани и клетки, а предмет исследования – классы, группы и формы заболеваний, состояние органов и систем, состав тканей и его особенности, методы обследования, диагностики, лечения, профилактики и реабилитации, динамика процессов или состояний;

- ♦ биологические объекты – природа, растительный и животный мир, виды, подвиды и их разновидности, род, семейство, класс и подклассы, органы, системы, ткани и клетки человека и животных, а предмет исследования – метаболические, обменные и другие процессы, происходящие в органах, системах, тканях и клетках человека и животных.

В качестве объекта в медико-биологических исследованиях могут выступать различные объекты, которые можно расположить в виде иерархической последовательности [105–107]:

...

- ♦ популяция организмов;
- ♦ организм;
- ♦ группа органов и функциональных систем;
- ♦ орган или функциональная система;
- ♦ группа клеток;
- ♦ клетка;
- ♦ элементы клеток;
- ♦ молекулы;
- ♦ атомы.

...

Основным элементом медико-биологических исследований следует считать *организм*, так как именно для его изучения и управления

его состоянием в первую очередь разрабатывают и совершенствуют методы медико-биологических исследований. Организм объединяет (включает) разнообразные органы и функциональные системы, обеспечивающие его жизнедеятельность, поэтому группы органов и функциональных систем, а также отдельные органы и системы сами могут быть объектами исследования. Органы и функциональные системы состоят из групп клеток, следовательно, и эти биологические объекты, как и отдельные клетки, могут выступать в качестве объектов исследования.

При изучении ряда процессов, протекающих в организме, большое значение имеет изучение состава и концентрации различных веществ, содержащихся в организме. Это требует рассмотрения уровня «Молекулы». Можно было бы включить в рассматриваемую последовательность еще более низкие уровни материи, но связь этих уровней с функционированием живого организма прослеживается слабо [105, 106].

Сам организм входит как элемент в «мета-систему» – группу или популяцию однотипных организмов, которая в свою очередь выступает элементом мета-системы более высокого уровня: например, в царстве животных, в биосфере и т. д.

Такое рассмотрение иерархии медико-биологических объектов отражает их взаимосвязь и еще раз подчеркивает необходимость системного (по всем уровням, влияющим на оценки состояния организма) изучения такого объекта как организм. В связи с тем что любой из рассмотренных биологических объектов может стать объектом исследования, его следует изучать не только как объект, состоящий из набора других объектов, но и как объект, входящий в качестве элемента в другую систему более высокого уровня. Например, изучая любую функциональную систему организма без нарушения целостности последнего, всегда необходимо иметь в виду, что эта система функционирует в едином организме согласованно с другими функциональными системами и органами (она испытывает влияние других систем и органов и сама оказывает влияние на них). Если в соответствии с методикой эксперимента система (или орган) удалена из окружающей среды (организма), то она либо быстро погибает, либо (при создании соответствующих условий) будет функционировать, но иначе, чем в исходном организме.

Объекты, представленные в иерархической последовательности, отличаются свойствами (размерами, агрегатным состоянием, особен-

ностями протекающих в них процессов и т. п.), иногда в корне меняющими подходы к их исследованию. Несомненно, что методы изучения организма в целом или органов этого организма существенно отличаются от методов изучения групп клеток или отдельных клеток организма. Еще в большей степени отличаются подходы к изучению биологических веществ, сопровождающих процессы жизнедеятельности организмов.

Методы исследования медико-биологических объектов по принципу различия не только подходов к их исследованию, но и их свойств можно разделить на четыре группы [105–107]:

- ♦ популяционного уровня, позволяющие изучать поведение отдельного организма или группы организмов в различных жизненно важных ситуациях, обычно объединяют методы медико-социального и психосоциального исследования, а также методы социологии;

- ♦ определяемые как «физиологические», позволяют изучить свойства и оценить характеристики целостного организма, его функциональные возможности, особенности протекания физиологических процессов в организме и его отдельных органах, функциональных системах и т. п.;

- ♦ биологических тканей, групп клеток, микрообъектов внутренней среды организма после их удаления из организма, известные как «аналитические» и представленные большим разнообразием физических и физико-химических подходов;

- ♦ тонких процессов на уровне взаимодействия отдельных молекул разных веществ, в том числе веществ биологической природы (физико-химические, химические, биохимические исследования и др.), также занимают свое место в системе методов медико-биологических исследований, но в основном в микробиологии и других науках, связанных с молекулярным и атомарным уровнями исследований. Часто методы этой группы используют в аналитических исследованиях, особенно при изучении биохимических процессов в организме.

Физиологическая и аналитическая группы методов составляют основу изучения организма как живого природного объекта. Эти группы являются основным содержанием исследований, которые определяют как «медико-биологические».

При проведении медико-биологических исследований с биологическими объектами необходимо обращать внимание еще на одну их особенность. Любое исследование, любой эксперимент, в котором участвует биообъект, так или иначе влияет на сам объект, изменяя его

свойства и воздействуя на протекающие в нем процессы. Учет этой особенности требует разделить все биологические объекты на две группы, для которых существуют принципиальные различия в проведении исследований с их участием в качестве объекта исследования [105–107]:

- ♦ биологические объекты, при исследовании которых важнейшее (если не решающее) значение при выборе метода исследования имеют проблема сохранения их жизнедеятельности, максимальная безвредность исследовательских процедур. К таким объектам прежде всего относят отдельный живой организм и колонию организмов (популяция). Отдельный орган или группу органов, физиологическую систему, группу клеток или отдельные клетки, продукты (вещества), важные для их жизнедеятельности, также следует включить в эту группу, если исследование этих объектов проводят без выделения их из организма. При реализации исследовательской процедуры с этими объектами следует контролировать любое вмешательство в их функционирование, чтобы не нанести ущерб организму в целом. Кроме того, следует иметь в виду, что для этой группы объектов пригодны как физиологические методы исследования, так и аналитические прижизненные методы;

- ♦ биологические объекты, исследование которых можно проводить в условиях, когда они удалены из организма и уже не участвуют в процессах жизнедеятельности. Это могут быть отдельные органы и группы клеток, для изучения которых, если в них еще сохраняются процессы жизнедеятельности, используют физиологические исследования. Отдельные клетки организма, срезы биологических тканей, пробы биологических материалов, взятые из организма, выступают в качестве объектов исследования для аналитической группы методов. К этой же группе относят пробы, взятые из объектов окружающей среды или из продукции биотехнологических производств. С такими объектами можно проводить более широкий спектр исследований, вплоть до их полного уничтожения, если этого требует применяемая методика.

Таким образом, как физиологические, так и аналитические исследования можно проводить в каждой группе биологических объектов, однако реализация исследований в них различна. При этом исследования объектов разного вида целесообразно выполнять одновременно, так как только такое исследование обеспечивает достоверные результаты решения медико-биологических задач. Например, для диагностики состояния организма человека, кроме измерения пока-

зателей жизнедеятельности организма в целом, часто необходимо сопоставлять эти показатели с результатами исследования на органном и клеточном уровнях. Однако осуществить такое сопоставление, как правило, невозможно, так как продолжительность исследовательских процедур и данные, используемые для принятия решений, на самом деле получены для разных состояний организма.

Изучая основной объект медицины – человека (здорового или больного), следует помнить, что медицина в настоящее время определяет, обосновывает и реализует индивидуально-личностный подход к здоровому и больному человеку, поэтому при выполнении исследований необходимо:

– учитывать воздействие диагностических мероприятий, медикаментозных, физиотерапевтических средств, оперативных вмешательств и их сочетаний на индивидуальные физиологические (биохимические, анатомические и др.) особенности человека;

– накапливать, группировать и анализировать индивидуальные наблюдения, при возможности сопоставляя и объединяя их с результатами аналогичных медико-биологических исследований.

Для оформления и понимания количественных значений, учтенных единиц наблюдения и их дальнейшей обработки принято выделять результативный ( $y$ ) и факториальные ( $x_i$ ) признаки объекта, или функцию и аргумент:

$$y = f(x_1, \dots, x_n),$$

где  $y$  – результативный признак;  $f$  – функциональная зависимость;  $x_1, \dots, x_n$  – факториальные признаки значения или учтенные единицы наблюдения;  $n$  – число факториальных признаков.

В системных исследованиях здоровья населения результативными признаками являются, например, показатели физического развития (рост, масса тела, окружность груди и др.) и здоровья (заболеваемость, смертность, рождаемость, инвалидность и др.), а факториальными признаками – демографические, социально-экономические, природно-климатические, производственные и др.

Примерами медико-биологических систем и их элементов являются государственная система здравоохранения (элементы – системы здравоохранения федеральных округов); системы здравоохранения федеральных округов (системы здравоохранения субъектов федерации); системы здравоохранения субъектов федерации (учреждения здравоохранения, республик, краев, областей и др.); учреждения здравоохранения, республик, краев, областей (структурные подразделения

учреждений здравоохранения, республик, краев, областей); структурные подразделения учреждений здравоохранения, республик, краев, областей (здоровые и больные люди, медицинские кадры, финансы, оснащение, оборудование, процессы, методики обследования, лечения, профилактики и др.); здоровые и больные люди (показатели здоровья, заболеваемости, физического развития, демографические показатели и др.); медицинские кадры (состав, специализация, навыки и др.); организм человека (органы и системы); органы и системы человека (ткани, клетки, микроэлементы и др.); экологическая система (сообщество растений, животных); техническое устройство (элемент, выполняющий отдельную функцию); наука (знания о предмете исследования); нервная (нервное волокно), природная (природно-ландшафтный объект) и информационная системы (блок информации) и т. д.

**Характеристика** — отражение выделенного свойства элемента системы, задаваемое кортежем

$$y_j = \langle name, \{value\} \rangle,$$

где *name* — имя *j*-й характеристики, *{value}* — область ее допустимых значений. Область допустимых значений задают перечислением этих значений, указанием диапазона их возможных изменений или другим способом.

Характеристики подразделяют на количественные и качественные (в зависимости от типа отношений на множестве их значений). Если пространство значений не метрическое, то характеристику называют *качественной*. Например, такая характеристика, как *общее состояние больного*, неизмерима и является качественной. Поскольку на общее состояние больного влияют температура тела, артериальное давление, наличие боли, индивидуальные особенности организма и др., единственным отношением на шкале комфортности является отношение эквивалентности, позволяющее установить и описать характеристику без установления количественных предпочтений.

Количественную характеристику изучаемых объектов называют *показателем*. Отметим, что достаточно часто в литературе понятия «параметр», «характеристика» и «показатель» отождествляют на том основании, что все их можно измерить. Однако в общем случае необходимо разделять параметры, показатели и качественные характеристики, так как не всегда возможно или целесообразно разрабатывать процедуру получения количественной оценки какого-либо свойства.

Характеристики элемента являются зависимыми переменными и отражают свойства элемента. Под *свойством* понимают сторону объекта, обуславливающую его отличие от других объектов или сходство с ними.

Свойства задают с использованием отношений — одного из основных математических понятий, применяемых при анализе и обработке информации. На языке отношений единым образом можно описать воздействия, свойства объектов и связи между ними, задаваемые различными признаками. Существует несколько форм представления отношений: функциональная (в виде функции, функционала, оператора), матричная, табличная, логическая, графовая, представление сечениями, алгоритмическая (в виде словесного правила соответствия).

Свойства классифицируют на *внешние*, проявляющиеся в форме выходных характеристик только при взаимодействии с внешними объектами, и *внутренние*, проявляющиеся в форме переменных состояний при взаимодействии с внутренними элементами рассматриваемой системы и являющиеся причиной внешних свойств.

Одна из основных задач системного анализа — выявление внутренних свойств системы, определяющих ее поведение.

По структуре свойства делят на *простые* и *сложные* (интегральные). Внешние простые свойства доступны непосредственному наблюдению, внутренние свойства конструируются в нашем сознании логически и наблюдению не доступны.

Следует помнить о том, что свойства проявляются только при взаимодействии с другими объектами или элементами одного объекта между собой.

По степени подробности (детализации) отражения свойств выделяют горизонтальные (иерархические) уровни анализа медико-биологической системы, по характеру отражаемых свойств — вертикальные уровни — *аспекты*. Этот механизм лежит в основе утверждения о том, что для одной реальной системы можно построить множество абстрактных систем.

При проведении системного анализа на его результаты влияет фактор времени. Для своевременного окончания работы необходимо правильно определить уровни и аспекты проводимого исследования. При этом выделяют существенные для проводимого исследования свойства путем абстрагирования от подробностей, не существенных по отношению к цели анализа.

Формально свойства могут быть представлены также в виде закона функционирования элемента.

*Законом функционирования* элемента называют зависимость, описывающую процесс функционирования системы (или ее элемента) во времени.

Существует возможность преобразования независимых переменных в зависимые с отражением *поведения элемента* (системы) во времени – процесс изменения состояния элемента (системы), оцениваемый по степени достижения цели его функционирования. Понятие «поведение» принято относить только к целенаправленным системам.

**Показатель:** 1) характеристика, отражающая качество системы или целевую направленность процесса, реализуемого системой; 2) характеристика процесса какого-либо свойства медико-биологического объекта или процесса, выраженная числом [93, 103, 159].

Показатели разделяют на *частные показатели исследуемой функции* (качества или эффективности) системы, которые отражают некоторое существенное свойство системы, и *обобщенный показатель функционирования* (качества или эффективности) системы, содержащий совокупность свойств медико-биологической системы в целом. Различие между показателями качества и эффективности состоит в том, что показатель эффективности характеризует процесс (алгоритм) и эффект от функционирования системы, а показатели качества – пригодность выделенной системы для достижения цели и решения задач исследования.

Вид отношений между элементами, который проявляется как некоторый обмен (взаимодействие), называют *связью*. Как правило, в медико-биологических исследованиях выделяют внешние и внутренние связи. *Внешние связи* системы – это ее связи со средой, которые проявляются в виде характерных свойств системы. Определение внешних связей, являясь необходимым начальным этапом исследования, позволяет отделить выбранную систему от окружающего мира.

В ряде случаев считают достаточным исследование всей системы ограничить установлением закона ее функционирования. При этом систему представляют в виде «черного ящика». Однако в задачах статистического анализа обычно требуется выяснить, какими *внутренними связями* обусловлены интересующие исследователя свойства системы, поэтому основным содержанием системного анализа является определение структурных, функциональных, казуальных, информационных и пространственно-временных внутренних связей системы.

Структурные связи, подразделяемые на иерархические, сетевые, древовидные, задают в графовой или матричной форме. Функцио-



нальные и пространственно-временные — как функции, функционалы и операторы. Каузальные (причинно-следственные) связи описывают на языке формальной логики. Для описания информационных связей разрабатывают информационно-логические (инфологические) модели.

Выделение связей разных видов наряду с выделением элементов является важным этапом системного анализа и позволяет судить о сложности рассматриваемой системы.

Важным для описания и исследования систем является понятие «*алгоритм функционирования*» — последовательность формирования выходных характеристик с учетом входных воздействий, управляющих воздействий и воздействий окружающей среды.

Алгоритм функционирования раскрывает механизм проявления внутренних свойств системы, определяющих ее поведение в соответствии с законом функционирования. Один и тот же закон функционирования элемента системы может быть реализован различными способами, т. е. с помощью множества различных алгоритмов функционирования.

Многообразие альтернативных алгоритмов свидетельствует о том, что для систем с одним и тем же законом функционирования характерны различные качество и эффективность.

Описание закона функционирования системы наряду с аналитическим, графическим, табличным и другими способами в ряде случаев может быть получено через состояние системы. *Состояние системы* — это множество значений ее характеристик в конкретный момент времени.

Необходимость одновременного и взаимоувязанного рассмотрения состояний системы и среды требует определения понятий «ситуация» и «проблема».

*Ситуация* — совокупность состояний системы и среды в один и тот же момент времени.

*Проблема* — несоответствие между существующим и требуемым (целевым) состоянием системы при рассматриваемом состоянии среды в выделенный момент времени.

Систему характеризуют составом элементов, структурой и выполняемой функцией.

**Структура:** 1) организация связей и отношений между подсистемами и элементами системы, эти связи отражают пространственное и временное расположение элементов, характер их взаимодействия и причинно-следственные отношения; 2) совокупность и характер

образующих систему элементов и связей между ними. В структуре системы существенную роль играют связи. Так, изменяя связи при сохранении элементов, можно получить другую систему, обладающую новыми свойствами или реализующую другой закон функционирования [45, 111, 120, 159].

Анализ взаимодействия, связей и отношений между элементами, в которых ставят и решают различные исследовательские задачи, показывает, что различные ситуации, возникающие в реальной действительности, весьма разнообразны и связаны с воздействием факторов внешней и внутренней среды.

Опыт применения методов системного анализа позволил обосновать выбор компонентов управления научными исследованиями. При этом обобщенная структура исследуемой системы может быть представлена в следующем виде:

$$S = \langle W, \{M(a, f, y(s\Delta t))\}, P, R, L, T(s\Delta t), I \rangle,$$

где  $S$  – система;  $W$  – интегральное свойство исследуемой системы, характеризующее ее целостность;  $\{M\}$  – аспекты ( $a$ ), факторы ( $f$ ) и условия ( $y$ ), определяющие различные стороны системы (объекта) и ее изменения ( $s\Delta t$ );  $P$  – иерархическая сеть подсистем и элементов системы разных уровней;  $R$  – изменения исследуемых процессов во времени;  $L$  – условия среды;  $T$  – измеренные и зафиксированные изменения состояния системы или объекта ( $s\Delta t$ );  $s\Delta t$  – подсистема, объект, изменения за период  $\Delta t$ ;  $I$  – информационный аспект системы (объекта) и его изменения в динамике.

Таким образом, изучаемые медицинские или биологические системы должны быть целостными. Это необходимо помнить при планировании исследования и в период его выполнения. Выделенные и описанные аспекты деятельности или функционирования исследуемых систем позволяют разрабатывать и создавать медицинские и биологические исследовательские модели.

Изложенные положения отражают современное представление о понятийном аппарате теории систем применительно к задачам комплексного медико-биологического изучения человека и позволяют перейти к рассмотрению особенностей применения системного анализа и системного подхода в исследованиях человека, объектов здравоохранения и медицины.