

Исследование остаточной неопределенности сообщений, циркулирующих в иерархических системах

А.А. Баскаков, И.С. Клименко

igor.k41@yandex.ru

АНО ВО «Российский Новый Университет», Москва, Россия

Показано, что при выполнении процедур оперативного управления, обеспечивающего рутинное функционирование иерархических систем, задача сохранения управляемости сводится к выполнению условий изоморфизма множества его состояний и множества управляющих воздействий.

При реализации иерархического управления на тактическом и стратегическом уровнях, протекающего в условиях неполной определенности, объективно возрастает вероятность возникновения положительной обратной связи что может приводить к дальнейшему росту неопределенности и, в конечном итоге, к потере управляемости.

Ключевые слова: неопределенность, сообщения, остаточная неопределенность сообщений, иерархические системы.

Study of the residual uncertainty of messages circulating in hierarchical systems

A.A. Baskakov, I.S. Klimenko

ANO HE «Russian New University», Moscow, Russia

It is shown that when performing operational control procedures that ensure the routine operation of hierarchical systems, the task of maintaining controllability is reduced to fulfilling the conditions for isomorphism of the set of its states and the set of control actions.

With the implementation of hierarchical management at the tactical and strategic levels, proceeding under conditions of incomplete certainty, the probability of a positive feedback objectively increases, which can lead to a further increase in uncertainty and, ultimately, to a loss of control.

Keywords: uncertainty, messages, residual uncertainty of messages, hierarchical systems.

1. Введение

Управление организацией – один из важнейших видов деятельности в эпоху глобализации. Еще с древних времен люди пытались упорядочить процессы своей деятельности, используя для этого всевозможные формы управления. Большое разнообразие структур управления можно разбить на три основные группы (см. рис. 1).

Сетевая структура не имеет центра (лидера, доминирующего узла), передача информации происходит и сверху - вниз и снизу - вверх. Она хорошо подходит для задач, где не требуется жесткое управление, например, во всемирной паутине.

Квазирыночная структура построена на принципах замены кооперации на конкуренцию, где каждый узел пытается “перетащить одеяло на себя”. На этом принципе работает вся рыночная экономика.

Иерархическая структура – основной и самый распространенный в мире тип построения систем. Основная задача иерархической структуры – порядок в управлении, где преобладает принцип доминирования-подчинения и есть лидер (пейсмейкер), стоящий на высшем уровне иерархии. Такая структура используется повсеместно – от управления государством до

организации хранения информации в компьютере. Именно из-за ее распространенности стоит уделить этой структуре особое внимание и всесторонне проанализировать ее функционирование.

Однако любая, даже самая эффективная структура управления имеет свои ограничения, обусловленные перемещением информации и ее интерпретацией. Что же такое информация? Наука не может дать однозначного ответа, на данный момент существует около 500 определений феномена информации и маловероятно что в обозримом будущем выработается какое-то общее решение по этому вопросу.

Отдельно следует отметить, что с развитием информационно-коммуникационных технологий становится все более ясно, что человек имеет дело с тремя основными видами передаваемых и принимаемых информационных объектов, а именно:

- Полезная информация.
- Дезинформация.
- Информационный шум.

Очевидно, что в экономическом плане данные компоненты будут давать разный результат в зависимости от их преобладания в сообщениях, используемых для принятия управленческих решений.

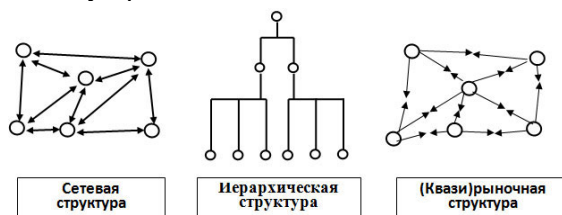


Рис. 1. Типы управления

Ценность (полезность) информации существенным образом зависит от выбора конкретной альтернативы лицом, принимающим решения (далее ЛПР), а значит данный вопрос затрагивает область управления рисками, поскольку ЛПР сталкивается с разнообразием альтернатив и выбирает оптимальную альтернативу в условиях неопределенности. Такое условие ситуации принятия решения можно рассматривать как проявление фундаментальный закон природы, лежащего в основе эволюции материи. Неустранимую неопределенность в принятии решения можно сопоставить с физическим законом – *принципом неопределенности Гейзенберга*, который гласит что невозможно одновременно точно измерить квантовые характеристики элементарной частицы (координаты и импульса или напряжения и силы тока и т.д.). Действительно принцип неопределенности показывает, что даже на уровне первооснов материи объективно существует оптимизационная задача – достижение наилучшего компромисса между неоднородно связанными параметрами. Аналогичным образом многочисленные оптимизационные задачи возникают при анализе и синтезе сложных систем, когда невозможно одновременно улучшать их неоднородно связанные характеристики, например, оперативность и ресурсоемкость.

В этой связи обратим внимание на успешную попытку описать меру ценности информации, которую предпринял советский ученый Александр Александрович Харкевич (*т.н. мера Харкевича*) [1].

Стоит также заметить, что в иерархической системе, как правило, действует обратная связь - передача сообщений и содержащейся в них информации от нижележащего уровня к вышестоящему. В частности, это приводит к такому явлению, как возникновение *усиливающей (положительной) обратной связи*, приводящей в определенных условиях к быстрому и неконтролируемому росту неопределенности по мере движения информации по уровням иерархии.

В целом существует наука, задача которой описать и сформулировать основные понятия получения, хранения и передачи информации – *кибернетика*. Ее основоположник – американский математик Норберт Винер. Один из ключевых принципов кибернетики, определяющий эффективность управления системами, сформулировал английский психиатр и специалист по кибернетике – Уильям Росс Эшби (*закон необходимого разнообразия*).

2. Проблема управления в условиях неопределенности

2.1. Понятие системы

Понятие системы применимо к большому множеству объектов в природе, технике и обществе. Поэтому существует необходимость в упорядочении этого множества посредством выделения в нем основных подмножеств по определенным признакам. Задача классификации состоит в отнесении конкретного объекта в один из заданных классов. Для таких целей применяется два вида классификации: принцип покрытия и принцип разбиения.

Основная цель разбиения состоит в том, чтобы исходное множество L разделить на непересекающиеся подмножества $L_1, L_2 \dots L_n$ которые называются *классами эквивалентности*, такими что:

$$L = \cup L_i \text{ и } L_i \cap L_j = \emptyset. \quad (2.1)$$

Принципа покрытия состоит в разбиении исходного множества L на пересекающиеся подмножества $L_1, L_2 \dots L_n$ которые называются *классами толерантности*, такими что:

$$L_i \cap L_j = \emptyset. \quad (2.2)$$

Выделим основные признаки классификации систем: природа системы, ее происхождение, структура, поведение, степень взаимодействия с внешней средой и сложность. В таблице №1 сосредоточены признаки и основные классы систем.

Таблица 1. Основные классы систем

Признак классификации	Классы эквивалентности систем	
Природы	Материальные	Абстрактные
Происхождение	Естественные	Искусственные
Структура	Дискретные	Непрерывные
Процесс	Статические	Динамические
Поведение	Детерминированные	Стохастические
Отношение со средой	Открытые	Изолированные
Степень сложности	Простые	Сложные

Разделение систем на *материальные* и *абстрактные* позволяют различить реальные объекты и их модели. Следует отметить, что любая материальная система может быть представлена множеством абстрактных систем.

Классификация системы на *естественные* и *искусственные* связана с тем, что естественные системы эволюционируют в процессе естественного отбора, тогда как искусственные созданы живыми организмами сознательно, и являются продуктами искусственного отбора. Заметим, что отбор производится при помощи определенных критериев из множества альтернативных вариантов с использованием расчетных, логических и/или эвристических процедур.

Деление на *дискретные* и *непрерывные* системы отражает две точки зрения. Во-первых, из-за представления внутренних структур объектов. Раньше считалось что макроскопические объекты имеют непрерывную структуру, оказалось даже на микроскопическом уровне, материя дискретна. Поэтому, в зависимости от задачи исследования, система может рассматриваться либо как дискретная, либо как непрерывная. Во-вторых, деление на эти два класса нужно для выбора математического аппарата моделирования. Для описания непрерывных процессов прекрасно подходит обыкновенные дифференциальные уравнения и уравнения в частных производных. Однако многие задачи реального мира имеют дискретный характер в зависимости от условий, и для таких задач хорошо подходит теория нечетких множеств, графическое представление или имитационное моделирование.

При представлении системы или процесса как динамического объекта, необходимо учитывать их характер, который может быть либо *детерминированным*, либо *стохастическим*. Детерминированной называют такую систему, у которой каждое состояние

делает ее следующее состояние единственно возможным. Другими словами, изменения детерминированной системы однозначно предсказуемо. Стохастическая система является непредсказуемой из-за случайных событий в процессах, из-за чего ее переход в следующее состояния неоднозначен.

Системы могут быть *открытыми* и *изолированными*. Открытые системы в первую очередь взаимодействуют с окружающей (внешней) средой, из-за чего входные сигналы системы оказываются неуправляемыми, что порождает неопределенность в поведении системы. Изолированные системы не испытывают воздействия внешних факторами, вследствие чего управление такой системой упрощается.

Принципиальное различие между открытыми и изолированными системами состоит в том, что первые за счет использования внешних ресурсов могут эволюционировать в сторону увеличения своей упорядоченности (уменьшения энтропии), в то время, как вторые неизбежно эволюционируют к состоянию с максимальной энтропией, т.е. к распаду.

Системы также можно разделить на *простые* и *сложные*, однако четкой границы между ними, строго говоря, не существует. Однако есть признаки, которые позволяют с некоторым приближением говорить о степени сложности: во-первых, сложные системы имеют свойство робастности, другими словами, способностью оставаться работоспособными при потере части своей структуры. Во-вторых, сложные системы обладают свойством эмерджентности, которым не обладает ее элементы. В-третьих, для сложных систем характерны неоднородные связи между разными компонентами. В сложных системах могут присутствовать иерархический, сетевые, казуальные и другие виды связей одновременно.

Как правило в сложных системах попытка улучшить одну характеристику непременно ухудшает другую, из-за чего неоднородные связи называют векторными.

Существуют и другие подходы к делению систем на классы, например, по виду отображаемого объекта (биологические, технические, социальные, экономические и т.д.). Можно разделить системы по видам научной направленности (математические, физические, биологические, химические и т.п.), а также по степени организованности (самоорганизующиеся, диффузные или организованные).

Рассмотрим эмерджентные свойства системы. Эмерджентность это невозможность отобразить свойства системы на свойства ее подсистем или как говорил Аристотель – “система — это нечто большее чем сумма ее частей”. Одно из определений системы гласит: *система есть сущность, которая в результате взаимодействия ее частей может поддерживать свое существование как единое целое*. В этом определении можно выделить три ключевых момента:

- наличие целостности системы;
- первопричина целостности – взаимодействие частей;
- сохранение целостности в процессе функционирования.

Так как эмерджентность проявляется только в целостной системе, декомпозиция последней приводит к невозможности наблюдать феномен эмерджентности. Поэтому при изучении системы необходимо наблюдать за ней в процессе ее функционирования.

Одна из особенностей проявления эмерджентности состоит в том, что для ее понимания не требуется знать внутреннее устройство системы. Это можно сравнить с вождением автомобиля без знания того, как он устроен изнутри.

Из вышесказанного становится ясно, что нарушения связей между подсистемами приводит к разрушению эмерджентности, и только восстановив эти связи можно вернуть ее в прежнее состояние. Можно сказать, что целостность системы нуждается в поддержании связей между элементами, но вырежется в сохранении эмерджентности.

Стоит отметить, что сохранение эмерджентности системы зависит не только от внутренних, но и от внешних факторов. Для того чтобы поддерживать систему в условиях влияния внутренних факторов и факторов внешней среды требуется специальная организация этой системы, которая обеспечит систему устойчивостью. Для описания устойчивости системы существуют понятия: равновесие и гомеостазис.

2.2. Обратная связь в системе

Понятие обратной связи в системе является фундаментальным, поскольку для управления системой наличие обратной связи является необходимым.

Обеспечение петли обратной связи в системе состоит в передаче сигнала с выхода обратно на вход. Тем самым ЛПР, исходя из полученной информации, может менять входные параметры очередного цикла управления.

Итак, отсутствие обратной связи в системе говорит об отсутствии системы в принципе. Существуют два типа обратной связи:

- балансирующая обратная связь, при которой различие между требуемым состоянием и реальным устраняются для поддержания системы в динамическом равновесии;
- усиливающая обратная связь, которая может накапливать разницу между требуемым значением и реальным, создавая “снежный ком”.

Термин «балансирующая обратная связь» связь, видимо, пришел из задачи стабилизации, когда изменения выходных данных системы служат сигналом для ее движения в противоположенную сторону для того, чтобы вернуть потерянное равновесие. Однако это не единственное проявление данной обратной связи, она требуется каждый раз при решении задач обучения, перевода системы в новое состояние и т.д.

Некоторые называют такую связь отрицательной, что в свою очередь не говорит о том, что данная связь всегда приводит к негативному результату. На деле она может приводить как к отрицательным, так и к положительным результатам.

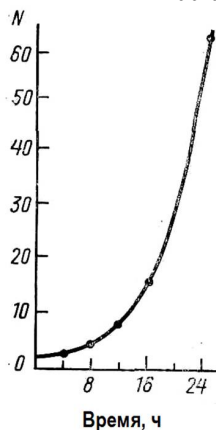
Множество примеров балансирующей обратной связи можно встретить в живой природе, например, в

организме человека: поддержание постоянной температуры тела, частоты сердцебиения и т.д.

Другие примеры балансирующей обратной связи можно встретить в животном мире: например, хищники контролируют численность популяции травоядных, иначе их геометрический рост привел бы в скором времени к нехватке кормовых ресурсов биоценоза.

С другой стороны, существует усиливающаяся обратная связь, которую часто называют “положительной”, что создает иллюзию положительного эффекта данного вида связи. На деле, такая связь может иметь как отрицательный, так и положительный результат. Можно сказать, что такая связь подталкивает систему по одному пути с каждым разом все сильнее ее ускоряя.

Самым популярным примером такой связи, служит банковский депозит. Если положить на счет 100 000



**Экспоненциальный
рост популяции
гипотетического
одноклеточного
организма, делящегося
каждые 4 ч.**

Рис. 2. Пример экспоненциального роста

Хороший пример действия усиливающей обратной связи – онкологические заболевания. Данная болезнь поражает здоровые клетки, заставляя их бесконтрольно делиться и отключая механизм программируемой клеточной гибели (*апоптоз*) из-за мутаций в клетке. Соотношение здоровых клеток и больных, первое время (обычно 3-5 лет) почти не изменяется. Однако вскоре, клетки опухоли начинают захватывать тело все быстрее и быстрее, из-за все большего количества возникающих мутаций внутри организма. Такой период занимает всего несколько месяцев, пока злокачественные клетки не убивают своего хозяина, и рост резко прекращается.

Еще одним негативным примером служит заселение кроликов на австралийский континент. Не имея там врагов, численность кроликов некому было контролировать, до тех пор, пока их стало настолько много, что они заполнили всю страну.

2.3. Управление в системе и феномен неопределенности

Одним из принципов формирования информационного общества и экономики знаний является преобразование генерируемых знаний в новые стратегии управления сложными техническими и организацион-

рублей с 10% годовым доходом, то через год на счету будет 110 000 рублей, что на 10 000 рублей больше. Однако если подождать еще год, сумма увеличится до 121 000 рублей, т.е. на 11 000 больше. Через семь лет сумма на счету удвоится. Еще через семь лет сумма увеличится на 200 000 и т.д.

Можно сказать, что система с положительной обратной связью, не имеющая ограничения, растет в экспоненциальной прогрессии. Для такого роста, характерно медленное начало, и быстрое развитие событий. Однако если у системы существует ограничения (а они, в принципе, существуют всегда), то в какой-то момент рост функции резко сходит на нет.

На рисунке 2 изображен рост числа гипотетических микроорганизмов, у которого нет ограничивающего фактора.

ными системами. Объективное возрастание сложности систем порождает высокую неопределенность ситуации принятия решений.

Постановка общей задачи выбора стратегий или принятия решений характерна для проблемной ситуации, в которой лицо принимающее решение (ЛПР) оказывается перед необходимостью осуществить выбор наилучшей альтернативы в условиях высокой неопределенности и ограниченного лимита времени [2], [3]. Как следствие, такие задачи относятся к числу наиболее сложных.

В рамках системного подхода любой объект, явление или процесс принято рассматривать как сложную систему, движущуюся к заранее поставленной или объективно существующей цели

Это в полной мере относится к задачам принятия решений по управлению сложными системами, направленному на достижение определенной цели, а именно перевода объекта управления (ОУ) в заданное конечное состояние. При этом на каждом шаге движения к цели т.е. в каждом цикле управления ЛПР выбирает в условиях ограниченного времени решение о переводе ОУ в новое состояние, соответствующее заданному целенаправленному характеру его поведения.

Моделирование процесса управления как сложной системы последовательных событий с необходимостью требует принимать во внимание особенности сложных систем, в частности неизбежное присутствие

в них неоднородных (векторных) связей [4], [5]. Собственно, наличие неоднородных (векторных) связей является, наряду с эмерджентностью и робастностью, отличительным признаком сложной системы и ее неотъемлемым свойством.

Влияние неоднородных связей на принимаемые решения по выбору оптимальной альтернативы состоит в том, что улучшение одних характеристик системы неизбежно сопровождается ухудшением других. Иными словами, при анализе сложной системы обнаруживаются определенные пары существенных характеристик, для которых оказывается невозможным их одновременное улучшение.

Это обстоятельство накладывает серьезные ограничения на процессы моделирования сложных систем, в частности, отсюда вытекает принцип компромисса между точностью и сложностью синтезируемой модели [4]. Этот принцип отражает тот факт, что стремление построить точную модель посредством учета как можно большего количества свойств прототипа приводит к неограниченному нарастанию ее сложности. В полной мере с наличием неоднородных связей в системе связана известная проблема корректности критерия превосходства [4].

Возрастание сложности задач неотъемлемо связано с нарастанием степени неопределенности ситуации принятия решения. Универсальное множество альтернатив в условиях неопределенности принимается как однозначно не определенное т.е. может пополняться и видоизменяться в процессе выбора. Кроме того, принцип выбора оптимальной альтернативы также остается не формализованным.

Очевидно, что в случае, если оптимальную альтернативу не удалось априори включить в универсальное множество, то никакими приемами ее там выявить не удастся, и процесс пополнения универсального множества может продолжаться длительное время.

Универсальное множество альтернатив по определению может пополняться и видоизменяться с целью включения в него объективно оптимальной альтернативы. ЛПР выступает при этом в качестве так называемого «рационального оптимизатора», рассматривающего все возможные гипотезы и готового ограничиться эвристическим принципом разумной достаточности, т.е. остановиться на первом варианте, удовлетворяющем или превосходящем ожидания.

2.4. Проблематика общей задачи принятия решения

Проанализируем процесс управления, в ходе которого ЛПР на основе сведений о текущем состоянии объекта управления (ОУ) и обстановки (окружающей среды) принимает в каждом цикле управления решение о выборе управляющего воздействия и его адекватного доведения до ОУ посредством передачи соответствующего сообщения. Формально модель такой задачи принятия решения, как показано в [4] можно представить в виде кортежа:

$$S_{зпр} = \langle F_{ц}, S_{исх}, A_{реш}, T_{доп}, M_{сит}, R, K \rangle, \quad (2.3)$$

где $S_{зпр}$ — символическое обозначение задачи принятия решения, $F_{ц}$ — цель принятия решения, $T_{доп}$ — допустимый промежуток времени на принятие решения, $S_{исх}$ — исходные сведения для порождения альтернативных вариантов решения (данные относительно состояний ОУ и обстановки), $A_{реш}$ — множество порожденных ЛПР альтернатив решения относительно применения к ОУ конкретного управляющего воздействия, R — выбранное решение, K — критерий (правило, на основе которого ЛПР выбирает оптимальное с его точки зрения решение).

Следует отметить, что в литературе, как правило, непосредственно вводится в рассмотрение множество альтернативных вариантов решения, предьявляемое для выбора, однако по существу каждый из них ориентирован на одну из множества моделей, генерируемых ЛПР для описания ситуации принятия решения. Поэтому представляется целесообразным дополнить кортеж (1.3) существенным элементом $M_{сит}$ — множеством альтернативных моделей, отображающих ситуацию принятия решения. Задача ЛПР в каждом цикле управления как раз и состоит в преобразовании синтезированной им модели ситуации в очередное управленческое решение.

В зависимости от конкретной ситуации возникает относительно широкий спектр частных задач принятия решения. В частности, ОУ может представлять собой техническую либо организационную систему, он может быть изолирован от окружающей среды либо находиться под ее воздействием, это воздействие может быть контролируемым или неконтролируемым со стороны ЛПР, ОУ может функционировать, развиваться и эволюционировать в условиях определенности, риска или неопределенности, допустимое время на принятие решения может изменяться в широких пределах в зависимости от выполняемой функции управления (оперативное управление, планирование либо прогнозирование) и т.д.

В общем случае исходные данные для порождения альтернатив складываются из двух составляющих: данные относительно текущего состояния ОУ и данные относительно состояния обстановки. В совокупности они характеризуют *ситуацию принятия решения* в каждом цикле управления. Следовательно, исходные данные можно записать как кортеж — двойку:

$$S_{исх} = \langle S_{оу}, S_{об} \rangle, \quad (2.4)$$

где $S_{оу}$ и $S_{об}$ — данные о состоянии ОУ и обстановки соответственно к моменту принятия очередного решения. Полнота и точность этих данных отражают степень *наблюдаемости* ОУ.

Поскольку ОУ «отрабатывает» как управляемые воздействия ЛПР, так и неуправляемые воздействия окружающей среды, его внутреннее состояние в очередном цикле управления будет функцией этих воздействий. Обозначим X — множество *управляемых* воздействий и N — множество *неуправляемых* воздействий. В совокупности они образуют множество *управляющих* воздействий $X^* = \langle X, N \rangle$. В общем случае множество управляющих воздействий порождает в каждом цикле управления ОУ множество его

внутренних состояний Z , которое, в свою очередь, порождает множество выходных сигналов Y . По тем или иным причинам для ЛПР наблюдаемым оказывается некоторое подмножество Y^* выходных сигналов, поскольку некоторые выходные сигналы для ЛПР могут оказаться не наблюдаемыми, а некоторые из них ЛПР может при анализе считать несущественными и исключить из рассмотрения.

Модель, отображающая поведение ОУ как системы, может быть представлена кортежем из шести объектов:

$$S_a = \langle x, n, y, z, f, g \rangle, \quad (2.5)$$

где $x = x(t)$ – управляемый входной сигнал как конечное множество функций времени; $n = n(t)$ – неуправляемый входной сигнал (внешнее воздействие) как конечное множество функций времени; $y = y(t)$ – выходной сигнал как конечное множество функций времени; $z = z(t)$ – переменная внутреннего состояния – множество функций, определяющих значения выходных сигналов $y(t)$; f и g – функционалы, задающие текущие значения выходных характеристик и внутреннего состояния ОУ.

С помощью этих функционалов записываются в инвариантной форме уравнение наблюдения (1.6) и уравнение состояния (1.7) объекта управления.

$$y(t) = g(x(t), n(t), z(t)), \quad (2.6)$$

$$z(t) = f(z(t_0), x(\tau)); \tau \in [t_0, t], \quad (2.7)$$

где $z(t_0)$ – начальное состояние ОУ, а $[t_0, t]$ означает весь интервал времени, прошедший от момента начала управления к моменту принятия очередного решения.

Состояние ОУ в каждый момент времени характеризуется множеством переменных z_j , меняющихся вследствие внутренних возмущений, управляемых и неуправляемых воздействий. При этом переменные состояния $z(t)$ в общем случае могут быть неизвестны, и судить об их физической природе и величине оказывается затруднительным. Выходные переменные $y(t)$ являются конкретными физическими величинами, они, как правило, наблюдаемы и измеряемы. Поэтому определение состояния ОУ в каждом цикле управления в большинстве случаев оказывается осуществимым именно в пространстве выходных переменных.

Формальное определение произвольного внутреннего состояния ОУ возможно только в том случае, если в результате измерения выходных переменных $y(t)$ при известных значениях управляемых входных переменных $x(t)$ может быть получена достоверная оценка любого внутреннего состояния $z(t)$.

Таким образом, необходимое и достаточное условие полной наблюдаемости ОУ состоит в том, что каждый элемент $y(t)$ при фиксированных значениях t и $x(t)$ имеет в качестве прообраза единственный элемент $z(t)$. Это означает, что каждому состоянию ОУ должно соответствовать одно и только одно значение выходной переменной. Следовательно, должно существовать отображение, обратное уравнению наблюдения (1.6), которое позволяет воспроизводить внутренние состояния объекта управления по наблюдаемым выходным характеристикам, порождаемым этими внутренними состояниями:

$$g^{-1}: y(t) \rightarrow z(t). \quad (2.8)$$

Благодаря наличию такого преобразования выходные переменные могут быть использованы в качестве характеристики текущего состояния объекта управления. Иными словами, при *полной наблюдаемости* объекта управления всегда имеется возможность определения внутреннего состояния ОУ по результатам измерения его выходных характеристик. В этом и состоит решение обратной задачи управления.

В случае, если ОУ изолирован от воздействий среды задача ЛПР существенно упрощается. Действительно в этом случае ЛПР, в принципе, известны структура и поведение ОУ, т.е. закон его функционирования:

$$y(t) = g(x(t), z(t)). \quad (2.9)$$

Если при этом решена обратная задача управления, и ОУ можно считать полностью наблюдаемым, то ЛПР известен также алгоритм (механизм) функционирования ОУ, т.е. способ обеспечения наблюдаемого закона функционирования. Это означает, что ЛПР владеет уже не только *данными*, но и *знанием* закономерности функционирования (поведения) ОУ, позволяющим обеспечить высокую вероятность выбора оптимальных решений в каждом цикле управления вплоть до достижения цели.

При этом поведение ОУ можно считать детерминированным с точностью до его внутренних флуктуаций и рассматривать задачу управления ОУ в условиях *определенности*.

Однако в общем случае, когда влиянием обстановки на состояние ОУ пренебречь нельзя, а также, когда объектом управления является сложная организационная или организационно-техническая система, ОУ нельзя считать полностью наблюдаемым, и задача управления переходит в условия *риска*.

2.5. Риск как характеристика ситуации принятия решения

Решение задачи наблюдаемости ОУ непосредственным образом зависит от того, в каких условиях (определенности, риска или неопределенности) ЛПР будет искать оптимальное решение в каждом цикле управления. Поэтому в общем случае кортеж (1.3) следует дополнить компонентом, характеризующим риск N , порождаемый реализацией выбранного решения и неопределенным состоянием самого ОУ и обстановки. Тогда:

$$S_{зпр} = \langle F_{ц}, S_{исх}, A_{реш}, T_{доп}, M_{снт}, R, K, N \rangle. \quad (2.10)$$

Очевидно, что риск решения $N_{реш}$ обусловлен главным образом неполной наблюдаемостью ОУ и обстановки, т.е. неполным соответствием данных, которыми располагает ЛПР относительно состояния ситуации принятия решения, его реальному состоянию. При этом риск решения может полностью или частично представлять собой риск потерь от упущенных благоприятных возможностей.

Очевидно, что риск тем выше, чем больше неопределенность состояния обстановки [4], [6]. Для уменьшения степени риска ЛПР стремится получить за ограниченный промежуток времени как можно больше ин-

формации, т.е. достоверных сведений о состоянии обстановки и при этом исключить использование для принятия решения дезинформации и информационного шума.

Время, которым располагает ЛПР на принятие решения $T_{\text{доп}}$ характеризует оперативность управления и выделяется в самостоятельный ресурс, поскольку, в силу неоднородной (векторной) связи между оперативностью и ресурсоемкостью, оптимизация соотношения время/ресурсы представляет собой непрямую задачу обеспечения эффективности процесса управления в зависимости от целей и предпочтений ЛПР.

Очевидно, что значение $T_{\text{доп}}$ существенным образом зависит от выполняемой ЛПР функциональной задачи управления. В частности, задача оперативного управления, как правило, выполняется в реальном времени, когда решение должно приниматься незамедлительно с изменением обстановки.

Задача планирования, имеющая целью снятие неопределенности относительно структуры и поведения ОУ, а также состояния обстановки, возникает при существенных изменениях условий функционирования ОУ, препятствующих продолжению оперативного управления. Поэтому значение $T_{\text{доп}}$ при выполнении планирования может находиться в широких пределах, оставляя, тем не менее ЛПР возможность обстоятельного анализа ситуации принятия решения.

Функция прогнозирования имеет целью получение научно обоснованного суждения о возможных состояниях ОУ и обстановки в достаточно отдаленном будущем, а также об альтернативных вариантах и сроках достижения предполагаемого целевого состояния. Очевидно, что ценность достоверного прогноза, как и цена ошибочного, чрезвычайно велика.

2.6. Проблема определения ценности информации

В условиях становления и развития информационного общества и, в частности, цифровой экономики существенно возрастает роль ценности данных и знаний, необходимых для реализации инновационных стратегий. Для измерения, как гносеологической ценности, так и рыночной стоимости информации (данных и знаний) представляется необходимой выработка критериев, позволяющих выделять собственно информацию из общего потока разнообразных, в частности, недостоверных сведений, циркулирующих в обществе в связи с массовым расширением роли средств коммуникации.

Вопрос о *ценности* сведений, принимаемых ЛПР в качестве информации для принятия решений, является ключевым как в прагматической теории информации, так и в общей практике управления. В 1960 году А. Харкевичем сформулировал известный критерий [1], согласно которому ценность информации в процессе принятия решения определяется приращением вероятности достижения цели:

$$I_{\text{ц}} = \log P_1 - \log P_0 = \log (P_1 / P_0), \quad (2.11)$$

где P_0 – априорная вероятность достижения цели, P_1 – апостериорная вероятность достижения цели. При

этом, как известно, возможны три ситуации ($P_1 > P_0$; $P_1 < P_0$ и $P_1 = P_0$).

На самом деле, этот критерий отделяет информацию (ценные сведения) от информационного шума (сведения с нулевой ценностью) и дезинформации (сведения с отрицательной ценностью). В то же время мера Харкевича подчеркивает терминологическое и содержательное *противоречие*, обусловленное устоявшейся традицией считать информацией *любые сведения*, циркулирующие в обществе.

Однако, принимая определение информации как меры снятия неопределенности для достижения цели, мы тем самым по факту выделяем дезинформацию и информационный шум в отдельные самостоятельные категории информационных объектов (сведений).

Для выявления таких сведений требуются соответствующие ресурсы управления. Следует отметить, что здесь в качестве ресурсов рассматриваются в первую очередь интеллектуальные ресурсы (знания ЛПР) в совокупности с вычислительными ресурсами систем поддержки принятия решений и лишь во вторую – финансовые ресурсы, которые будут, например, использованы для оплаты услуг эксперта либо системного аналитика. В конечном итоге *качество* сведений определяет *ценность сообщения* с точки зрения его использования по назначению, т.е. для принятия очередного управленческого решения. Равным образом, ценность сообщения определяет его реальную рыночную стоимость [7].

В качестве отдельного самостоятельного ресурса выступает лимит времени, которым располагает ЛПР для принятия решения. Естественно, чем больше времени доступно на принятие решения, тем больше шансов, что будет найдено наиболее оптимальное решение. При этом неизбежно возникает оптимизационная задача, в которой целевой характеристикой является качество решения, т.е. степень его соответствия реальному состоянию объекта управления и обстановки, а лимит времени играет роль ограничения.

Из практического опыта поиска информации для принятия решений в условиях неопределенности следует, что выявление и накопление необходимых (актуальных) данных происходит, как правило, с экспоненциальным замедлением [7]. Поэтому во многих случаях решение приходится принимать задолго до перевода задачи в условия определенности. Как следствие, ЛПР оказывается вынужденным к моменту принятия решения (выбора стратегии) использовать, в одном ряду с детерминированными сведениями, вероятностные оценки и интуитивные соображения [8].

В общем случае ЛПР к моменту принятия решения располагает совокупностью сведений, обладающих разной ценностью. Для ее измерения можно сформировать ранговую (порядковую) шкалу при помощи лингвистической переменной:

- собственные профессиональные знания и при необходимости знания эксперта (высокая ценность);
- достоверные сведения о текущем состоянии объекта управления и обстановки (средняя ценность);
- неполные и неточные сведения о текущем состоянии объекта управления и обстановки (низкая ценность);

- неактуальные, тривиальные и несвоевременные сведения (нулевая ценность);
- недостоверные, в частности, ошибочные сведения о состоянии объекта управления и обстановки (отрицательная ценность);
- сознательно искаженные передатчиком сообщения сведения (опасная отрицательная ценность).

Суммарный риск решения определяется соотношением этих составляющих в структуре принятого решения.

Необходимым условием для принятия ЛПР оптимальных решений в каждом цикле управления является их полное соответствие реальной *ситуации*, т.е. состоянию ОУ и обстановки в каждом цикле управления.

Привлечем для оценивания качества решений концепцию принципа необходимого разнообразия Эшби. Будем считать энтропию объекта управления максимальной и обозначим $H_{исх}$ степень априорной неопределенности для ЛПР относительно *ожидаемой* ситуации в очередном цикле управления. Обозначим $H_{ост}$ степень апостериорной неопределенности для ЛПР относительно *оцениваемой* ситуации к моменту принятия решения. Очевидно, что

$$H_{исх} = H_{ост} - \Delta I, \quad (2.12)$$

где ΔI - информационный компонент, т.е. достоверные сведения относительно реальной ситуации к моменту принятия решения. Если считать, что управляющее воздействие полностью определяется принятым решением, то $H_{ост}$ можно рассматривать как степень неопределенности управляющего воздействия реальному состоянию объекта управления. Таким образом, качество решения целесообразно определять, как степень его соответствия реальному состоянию ситуации принятия решения.

В свою очередь, качество решения, определяется степенью снимаемой энтропии. При этом оно существенно зависит от таких качественных характеристик исходных данных, как актуальность, своевременность, полнота, избыточность, точность, готовность к применению по назначению и т.п. [4], [9].

Очевидно, что условием принятия оптимального решения является равенство $H_{ост} = 0$. Однако выполнение этого условия лимитируется не только остаточной неопределенностью ситуации, но и ограниченным промежутком времени $T_{доп}$, которым ЛПР располагает для принятия решения. В частности, это относится к задачам принятия решений (выбора стратегий) в условиях статистической неопределенности.

Таким образом, связывая *качество* принимаемых решений с долей *дезинформации* и *информационного шума* в составе сведений, используемых ЛПР в процессе поиска и выбора решений, мы приходим [6] к расширенной трактовке известного критерия минимума эвристик:

$$\exists R \in M_{реш}: H_{ост} = \min(H_{ост}) \text{ при } T_{реш} \leq T_{доп}, \quad (2.13)$$

где $H_{ост}$ - остаточная энтропия решения, определяющая степень неадекватности выбранного решения реальному состоянию обстановки вследствие недостаточного качества исходных данных, $T_{доп}$ -

допустимый промежуток времени для принятия решения.

Следует, однако, отметить, что требование минимизации неопределенности вследствие использования эвристических процедур в процессе принятия управленческих решений непосредственно не затрагивает причин, вынуждающих ЛПР прибегать к таким процедурам. Представляется целесообразным конкретизировать критерий (1.13) двумя следующими условиями, указывающими на природу источников неопределенности:

$$\exists R \in S_{исх}: H_{дез} = 0; \exists R \in S_{исх}: H_{ш} \rightarrow 0. \quad (2.14)$$

Тем самым вводятся правила полного исключения из исходного множества альтернатив недостоверных сведений и предельной минимизации сведений, несущих информационный шум.

Качество полной совокупности принятых решений (определяющее количество снятой энтропии), в свою очередь, детерминирует эффективность процесса управления. В принципе, множество оптимальных решений может быть сведено «на нет» всего одним неоптимальным (рискованным) решением, вплоть до неоправданного ухода с траектории, ведущей к цели.

Очевидно, что эффективность процесса управления может быть достоверно оценена только после его полного завершения, т.е. достижения целевого эффекта [6]. Более того, следствием реализованного решения может оказаться заранее неизвестный побочный эффект, в том числе, «отложенный» на заранее неизвестный промежуток времени. Следовательно, риск решения может быть обусловлен не только вероятностью наступления ожидаемого рискованного события, но также и неустранимой неопределенностью относительно возможности, срока проявления и масштаба негативных последствий побочных эффектов, вызванных реализацией решений

2.7. Обеспечение управляемости объекта управления

Под управляемостью ОУ принято понимать его способность переходить в пространстве состояний под действием управляющих воздействий из любого текущего состояния в требуемое для данного цикла управления состояние. Тем самым предполагается, что в отношении ресурсов управления ЛПР должен выполняться принцип необходимого разнообразия Эшби [10] в том смысле, что ЛПР не должен допустить потери управляемости вследствие отсутствия в той или иной ситуации необходимого управляющего воздействия. При этом имеется в виду не только возможность рационального изменения существенных параметров функционирования ОУ для его удержания на траектории, ведущей к цели в условиях дестабилизирующих внутренних и внешних случайных событий (задача слежения). В процессе достижения цели, особенно в условиях неполной определенности может потребоваться изменение структуры и поведения ОУ, механизма и алгоритмов его функционирования, развития и эволюции.

Один из важных аспектов проблемы управляемости связан с управлением сложными организационными и организационно-техническими системами, обладающими разветвленной иерархией. В таких системах управляемость ОУ различных уровней иерархии в значительной степени связана с решениями оперативного характера, принимаемыми на нижних уровнях иерархии при выполнении стратегических и тактических решений, поступающих с верхних уровней. Поэтому на первый план выдвигаются такие функции управления, как организация и координация, а также функции управления, связанные с учетом человеческого фактора, в частности, мотивация и стимулирование персонала.

При этом возникает проблема определения ценности информации, точнее сообщений, которыми обмениваются субъекты информационных процессов [1]. Для ЛПР верхних уровней иерархии критически важно использовать для принятия решений достоверные сведения (ценную информацию), отсеивая компоненты сообщений, несущие информационный шум и дезинформацию [11], [6]. В противном случае возникает положительная (усиливающая) обратная связь, приводящая к нарастанию степени несоответствия принимаемых решений реальному состоянию обстановки.

Выбор решений, связанных с реализацией таких управленческих функций, особенно в случаях, требующих оперативного решения, принуждает ЛПР применять эвристические процедуры, что и приводит к снижению вероятности нахождения оптимального решения.

3. Проблема управления иерархическими системами

3.1. Теоретические основы

В основе методологии иерархического управления [12] лежит принцип необходимой иерархии, согласно которому чем сложнее и разнообразнее объект управления, тем более разветвленная структура требуется для управления им.

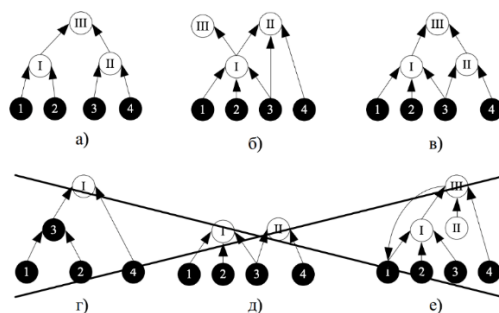


Рис. 3. Определение иерархии: Графы, а), б), в) удовлетворяют определению 1, однако графы г), д), е) иерархиями не являются. На графе г) вершина под номером 3 не является начальной т.к. имеет подчиненных. На графе д) нет вершин у которой были бы зависимы все начальные вершины. На графе е) вершина (греч. II) является начальной, не входя во множество таких вершин

Определение 2 [14]. Если в иерархии H имеется единственная терминальная вершина, а все остальные вершины подчиняются только одной вершине, то такая иерархия называется деревом.

Рассмотрим некоторые элементы теории иерархических систем.

Иерархию можно представить в виде ориентированного графа [13]. Данный ориентированный граф $G = \langle V, R \rangle$ представлен множеством вершин V и множеством дуг $R \subseteq V \times V$. Множество дуг, в свою очередь, представляет собой некоторое множество пар упорядоченных вершин. Если есть две вершины $v, v^* \in E$, то говорят, что дуга соединяет вершины v и v^* . Граф называется конечным если множество его вершин тоже конечно.

Иерархическая структура принадлежит к ациклическим графам. Граф $G = \langle V, R \rangle$ называется ациклическим, если нельзя создать последовательность его вершин так что: $v_1 \dots v_k$ чтобы $v_i, v_{i+1} \in E$ для всех $i = 1, \dots, k - 1$ и $v_k, v_1 \in E$. Другими словами, в ациклическом графе запрещается, обходя дуги, вернуться в начальную позицию. Вершины графа, в которые не входят дуги называют начальными. Вершины, из которых не выходит никаких дуг называется терминальными. Остальные называются промежуточными. Дуги в иерархических системах направлены “снизу-вверх”, верхние вершины называют “вершинными верхнего уровня”, а нижние “нижнего уровня”. Вершина нижнего уровня подчиняется вершине верхнего уровня и называется дочерней.

Авторы дают следующие базовые определения понятию ациклического графа:

Определение 1. Ациклический граф $H = \langle LUK, E \rangle$ с множеством захвата дуг $E \subseteq (LUK) \times K$ называется иерархией над множеством вершин нижнего уровня L , если множество его вершин совпадает с L и существует вершина, которой подчинены все начальные вершины.

На рисунке 3 предоставляют данное определение. Черные кружки с арабскими цифрами на данном рисунке — это начальные вершины, остальные вершины изображены белыми кружками и латинскими цифрами.

Определение 3 [14]. Иерархия называется p -иерархией если каждой ее вершине подчинено не более p других вершин.

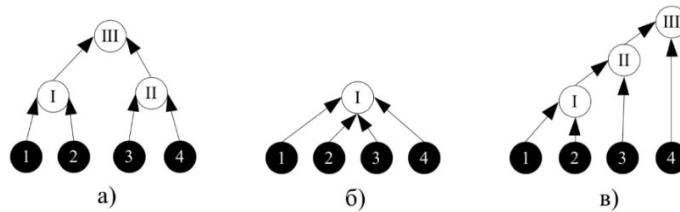


Рис. 4. Виды иерархий: а) и в) 2-деревья; б) 4-дерево

Определение 4 [14]. Иерархия, у которой каждой вершине верхнего уровня непосредственно подчинена минимум одна вершина называется *верный*. Например, рисунок 4 б).

Определение 5 [14]. Иерархия называется последовательной если она является 2-иерархией и у каждой вершины верхнего уровня есть подчинённая начальная вершина. Например, рисунок 4 в).

Во многих областях человека существует задачи построения оптимальной иерархии структур, все они имеют много общего: для начала задается некоторое количество элементов нижнего уровня, по которым достраивают иерархию, после чего задается множество допустимых иерархий из которых требуется выбрать одну, далее привлекается критерий эффективности, позволяющий сравнивать из множества иерархий. Существенный вклад в развитии теории оптимизации внесли А.А. Воронин и С.П. Мишин [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23].

Определение 6. Однородное дерево является оптимальным. Иерархия называется однородной если пропорции между листьями и дугами одинаково на всем

множестве.

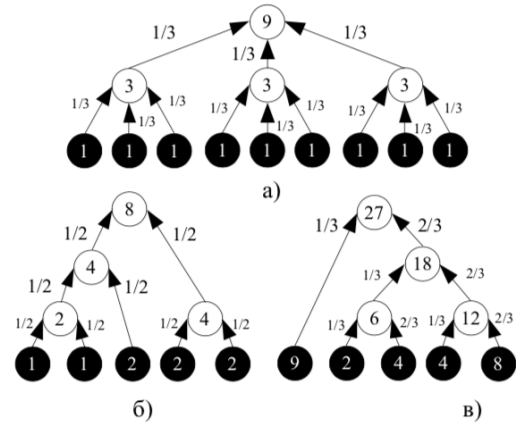


Рис. 5. Однородные иерархии: Дерево с пропорцией 1/3; б) дерево с пропорцией 1/2; в) дерево со смешанной пропорцией 1/3 и 2/3

Оптимальное дерево с 50-ю листьями изображено на рисунке 6:

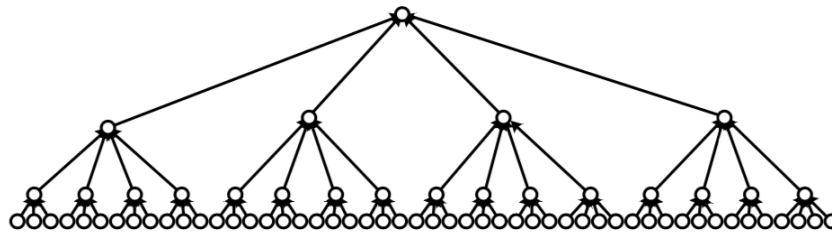


Рис. 6. Оптимальная дерево с 50-ю листьями

3.2. Иерархическая организация информационных систем

В качестве примера связи кибернетики и иерархических систем, рассмотрим процедуру оптимизации с

помощью диаграммы Эйлера-Венна в которой теория информации, кибернетика и системный анализ иерархических систем имеют явные точки соприкосновения (см. рис. 7).



Рис. 7. Диаграмма Эйлера-Венна для оптимизации систем

Действительно, между кибернетикой и теорией иерархических систем существует взаимосвязь, в данном случае кибернетика, системный анализ и теория информации работают над оптимизацией структуры иерархических систем обработки информации. Естественным представляется вывод о том, что иерархические системы представляют собой частое явление в теории информации, теории человеко-машинного взаимодействия, в теории алгоритмов и других областях информатики.

Далее в [12] рассматриваются вопросы оптимизации иерархических систем, приводится пример *оптимального кодирования информации* [24]. Задача состоит в написании такого закодированного сообщения, чтобы каждому символу сопоставить бинарный код (нули и единицы), выписанные друг за другом, а самое главное, чтобы этот код можно было однозначно декодировать получателю. Оказалось, что вся задача сводится к поиску двоичного (иерархического) дерева (см. рис. 8) имеющего минимальную длину пути от корня к конечным листьям.

На рисунке 8 изображено, как можно закодировать некоторые символы в слове используя для этого бинарное дерево. Здесь 0 — это каждое левое поддереве, а 1 каждое правое поддерево. Для того чтобы закодировать, например, букву D, нужно конкатенировать значения его пути — 0 или 1, для символа D оно будет равно — 1110. Заметим, что задача построения такого дерева требует учитывать частоту встречаемости символов в словах.

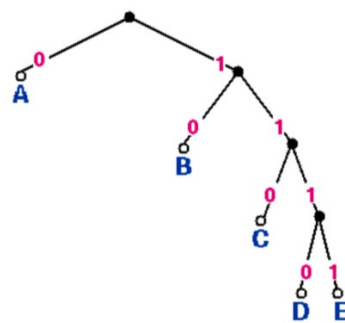


Рис. 8. Кодирование сообщения при помощи бинарного кода (дерево)

Аналогично данной задаче, формулируются задачи *поиска оптимального троичного кода* [25], [26]. При этом данная задача является фундаментом для других алгоритмов, таких как *алгоритм Хаффмана* [24] и Шенона-Фано [27].

Интересен следующий пример иерархических систем из области алгоритмов для поиска из большого числа вариантов — *задача дискретной оптимизации*. В своей книге С. Бир предлагает [28] универсальный алгоритм выбора, основанный на кибернетическом “черном ящике”. Данный алгоритм представляет собой дерево (иерархию) в листьях которого находятся решения, а оставшиеся вершины являются некоторым частными задачами принятия решений имеющего счетное количество вариантов ответа (обычно дискретное: “да”, “нет”, “верх”, “низ” и т.д.). Старт принятия решения начинается в его корне, идет дальше по одному из исходящих вершин дуг и завершается в одном из конечных листьев. Из чего следует вывод что построение алгоритма оптимального решения сводится к надстройке данной иерархической структуры над конечным множеством доступных решений (см. рис. 9).

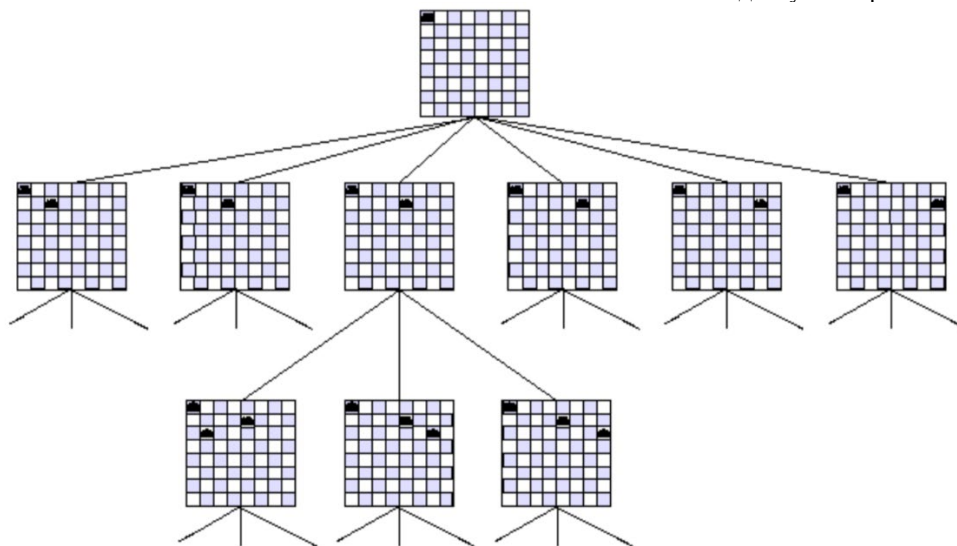


Рис. 9. Один из фрагментов дерева поиска для расстановки 8 шахматных ферзей

На основании вышесказанного Бир заключает “... наиболее эффективный метод выбора состоит из ряда дихотомий (последовательного деления на две части) ...”, другими словами, эффективным методом выбора

является двоичное дерево поиска, один из видов иерархических систем.

Дальнейшие суждения приводит автора к т.н. *дереву принятия решений* которое хорошо себя зарекомендовало в задачах машинного обучения, анализе

данных и их распознавании. Задача данного дерева в том, чтобы по обучающей выборке построить некое дерево вопросов, которое позволяет решить некоторые задачи. Важно, что данное дерево обладает некоторыми предсказательными свойствами, другими

словами, если на вход подаются ранее неизвестные вопросы дерево должно уметь принимать правильные решения, которые были бы приняты экспертами (см. рис. 10).

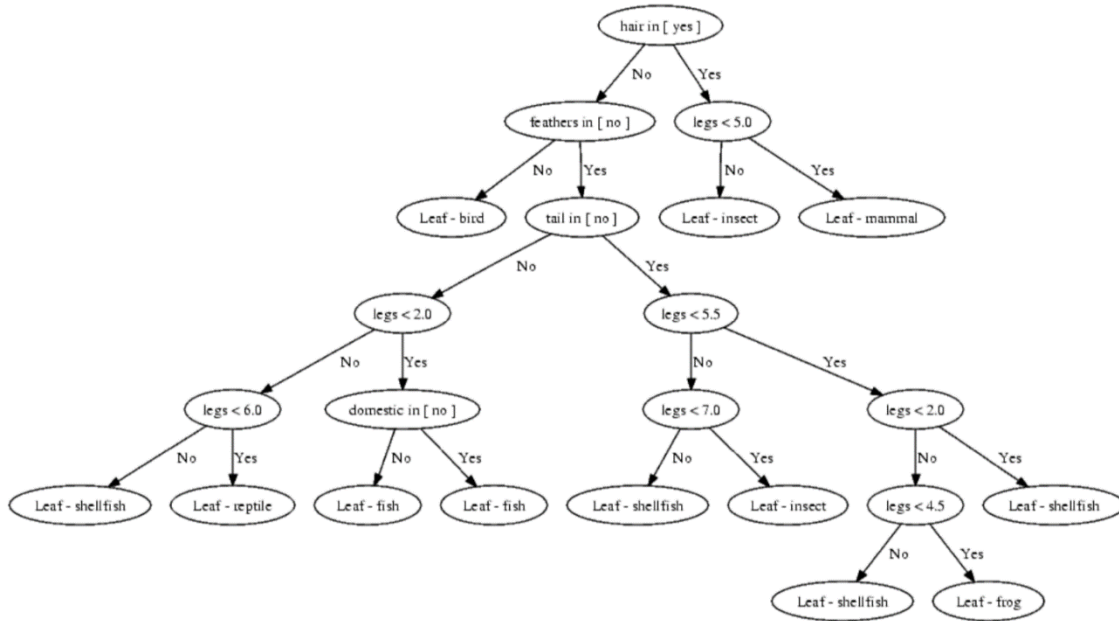


Рис. 10. Один из примеров дерева принятия решения

Другим примером иерархии в информационных системах служит т.н. *иерархическое меню* – метод упорядочить файлы в любой современной операционной системе (см. рис. 11). Эффективность любого иерархического меню измеряется *средним временем на поиск*.

Но такое же меню можно встретить и в сети “Интернет”, например, для *построения адресных ссылок* (см. рис. 12).

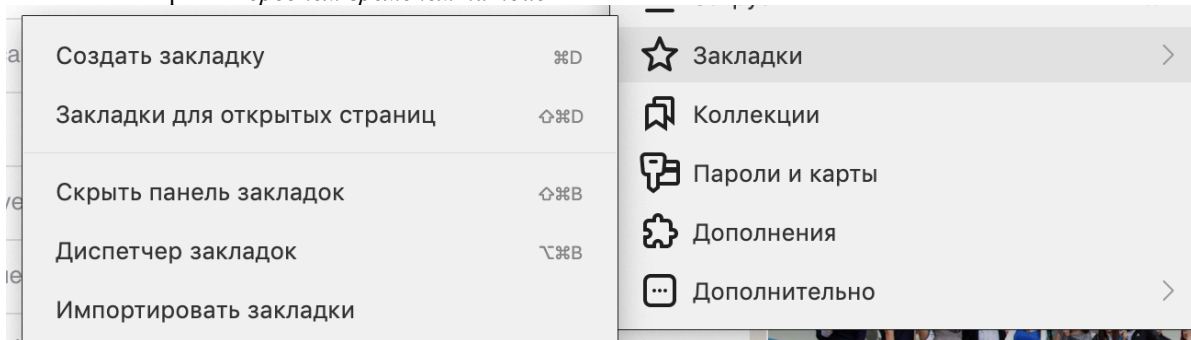


Рис. 11. Иерархическое меню в одной из программ



Рис. 12. Адрес сайта Википедия

Данный адрес имеет иерархию, из-за того, что у него есть часть, которая меняется в зависимости от того, на какой раздел сайта переходит пользователь, а

другая остается постоянной, как корень дерева. Схематично это можно изобразить таким образом (рис. 13):

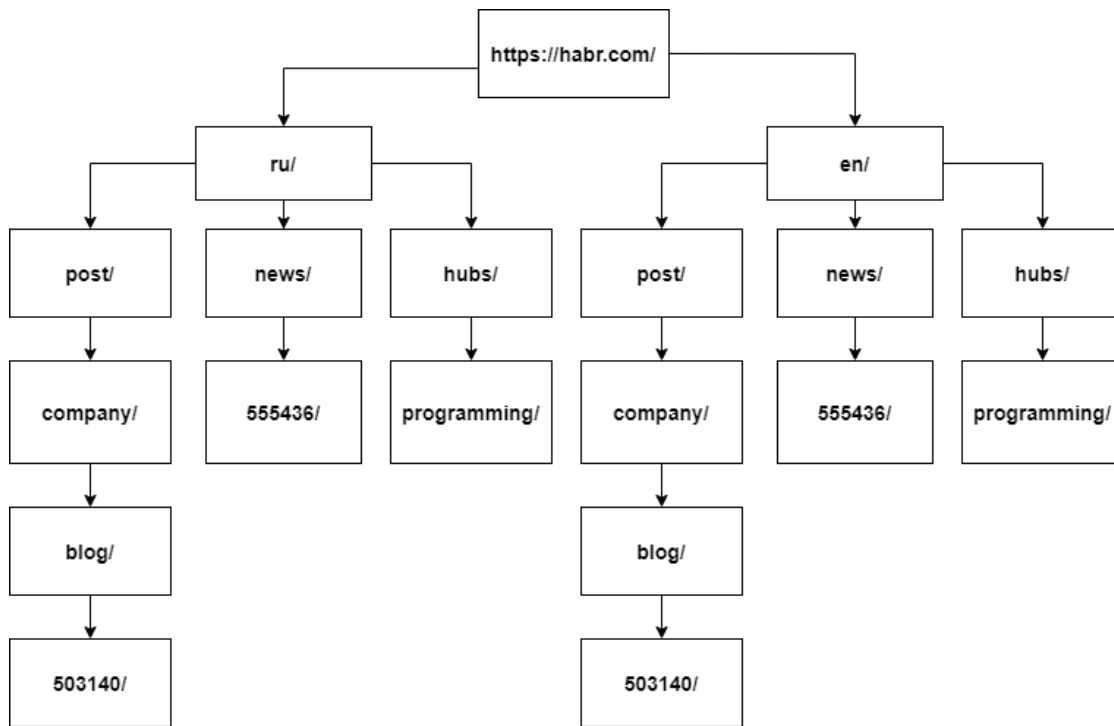


Рис. 13. Представление ссылок на странице сайта “habr.com”

Рассмотрим рисунок 13 более подробно, на нем изображена схема построения адресной ссылки сайта habr.com. В корне расположена постоянная его часть в виде защищенного протокола передачи гипертекста, адреса (в данном случае буквенное представление) и домена первого уровня. На деле, адрес сайта представляет собой обычный адрес IPv4, но при помощи DNS его можно превратить в более простое для восприятия имя – habr. Далее идет наименование языка системы, по умолчанию, сайт возьмет язык из браузера.

На сайте присутствует несколько разделов, такие как статьи (в адресе будет указано - post), хабы (в адресе будет указано - hubs) и новости (в адресе будет указано - news). При переходе на конкретную статью в наименование адреса будет добавлено название компании, которая опубликовала данную работу, название конкретного лица, который писал данную статью (blog) и уникальный идентификатор работы. Конкретный хаб, в свою очередь, имеет название заголовка в своей адресной ссылке. Новости имеют только уникальный идентификатор. Схема повторяется для любого другого языка.

3.3. Разновидности иерархий

Иерархию также можно встретить на концептуально ином уровне – радиосвязи. В мобильной связи должна поддерживаться непрерывность соединения, для этого связь организуется через специальный контактный центр, который называют - *домашний агент*

(от англ. home agent). В нем хранится ассоциативная таблица “клиент-слот” который обновляется каждый раз при смене слота. Это может породить множество проблем из-за частой смены подсети клиентами и большим количеством сообщений.

Данную схему заменили новым стандартом – HMPv6 (от англ. *Hierarchical Mobile IPv6*). Данный стандарт предполагает наличие гостевых уровней (подуровней), которые хранят свою таблицу “клиент-слот”, тем самым, когда клиент переходит из одной подсети в другую не приходится искать и менять сообщения в огромной таблице, а достаточно изменить ее в локальной (на подуровне). Количество сообщений по причине локализации также уменьшается, т.к. подуровни локализованы (см. рис. 14).

С другой стороны, данный подход увеличивает поиск нужной подсети если она отличная от текущей, т.к. приходится передавать данные между подсетями разных уровней. Данную проблему можно оптимизировать под нужды конкретной сети, например, время переключения между мобильными агентами [29].

Для хоста необходима информация о перемещении мобильного узла из одной сети в другую, поэтому при использовании связи, мобильный узел посылает информацию о своем местонахождении хосту. В стандарте HMPv6 из-за возрастания подуровней хоста, такие запросы посылаются намного чаще что требует больше ресурсов для их обработки.

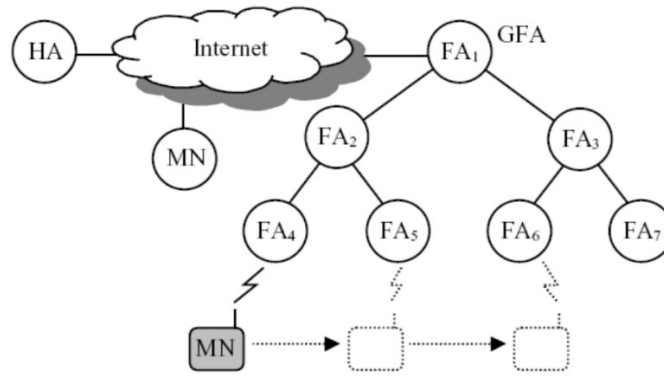


Рис. 14. Иерархическая представление сотовой связи

Иерархическую структуру также часто применяют в менеджменте, для организации управления компанией. Оказалось, что она имеет очень большое значение для увеличения эффективности компании, автор

приводит в качестве пример американскую компанию General Motors. В первой половине XX века там применили уникальную на тот момент систему управления – дивизиональная структура (см. рис. 15).



Рис. 15. Дивизиональная иерархия компании

Она позволила компании резко повысить эффективность производства и надолго укрепиться в качестве ведущего игрока машиностроения, обогнав компанию Генри Форда [30]. Многочисленные эмпирические исследования выявили связь между структурой организации и стратегией компании [31], технологиями [32] и некоторыми иными условиями ее деятельностью [33].

4. Принцип необходимого разнообразия и его роль в системном исследовании

4.1. Применимость принципа Эшби к анализу процессов и систем

Итак на основе анализа, проведенного в гл. 1, для решения задач исследования нами привлекается принцип необходимого разнообразия У. Эшби [34]. Область его применения обширна и требует глубокого освоения. Однако, большой интерес вызывает сфера

высоких технологий и управления сложными структурами в организациях.

В работе [35] рассматривается применимость принципа необходимого разнообразия У.Р. Эшби к инновационным системы. Под инновационными системами подразумевается искусственно созданный набор элементов, который предназначен для решения сложных организационных, технических или экономических задач. Для управления сложной системой необходимо, чтобы орган управления имел сложность не ниже, чем сама система. В этом, собственно и состоит идея принципа необходимого разнообразия.

У.Р. Эшби выделил основные объекты регулирования и связи между ними (см. рис. 16).

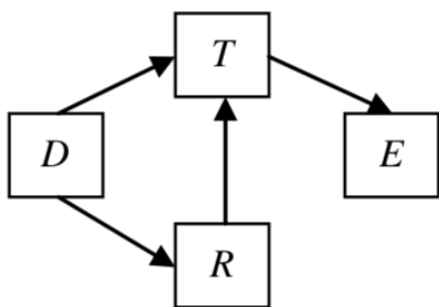


Рис. 16. Схематическое отношение объектов регулирования: T – объект регулирования; D – множество воздействий; R – регулятор; E – исходные данные о работе системы

Если множество воздействий D растет, а регулятор R бездействует, то это может нарушить работу системы.

Из-за этого регулятор R оказывает воздействие на объект в зависимости от состояния D, таким образом, чтобы выходы E попадали в допустимый предел [36].

Введем в систему (см. рис. 16) управляющее устройство С (см. рис. 17). Его задача, посылать сигнал на регулятор R и выводить некоторое значение E. Одновременно в регулятор R поступает внешнее воздействие D, которое искажает выходной сигнал. Тогда R как орган управления уменьшает воздействие R на величину сигнала С.

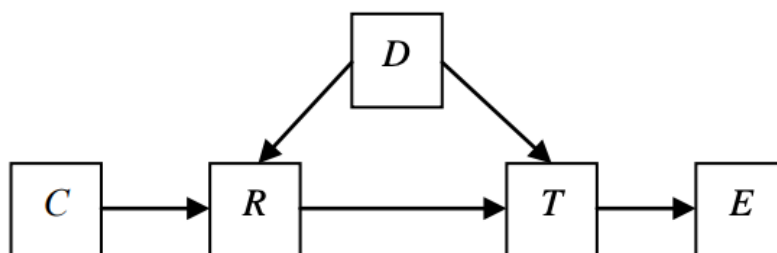


Рис. 17. Схематическое отношение объектов регулирования с управляющим устройством: D – внешние и внутренние воздействия на проект; R – руководитель проекта (ЛПР), С – планируемый результат; E – фактически достигнутый результат

Добавим в систему обратную связь, тогда схема будет выглядеть подобно рисунку 18.

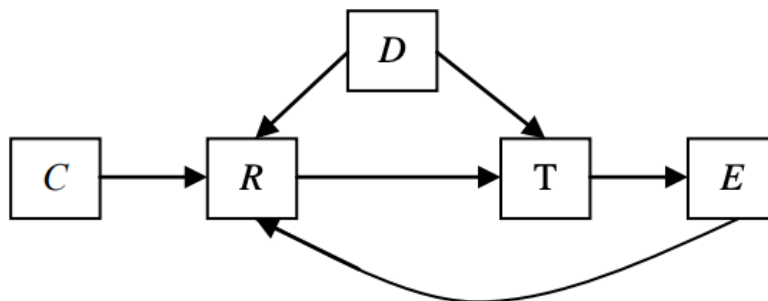


Рис. 18. Схематическое отношение объектов регулирования с обратной связью

Из результатов работы [35], можно сделать вывод что разнообразие информационных ресурсов руководителя проекта в процессе принятия решений должно быть не ниже, чем разнообразие проблем, возникающих из-за внешних и внутренних факторов. Следовательно, для того чтобы фактически результат не выходил за рамки допустимых пределов, нужно следовать не только запланированным изначально задачам, но и реагировать на внешние воздействия в реальном времени [37].

Принцип Эшби применим не только для т.н. искусственного отбора, т.е. системы (объекты и субъекты), которые созданы разумными организмами, но и для естественного отбора, т.е. для систем, эволюционирующих по законам природы, выходящим за пределы эволюции живых организмов на Земле.

В работе [38] рассматривается вопрос применимости закона для решения задачи самоорганизации автоматизированных систем.

В ней раскрывается основной смысл принципа необходимого разнообразия: в любой системе в зависимости от ее специфичности существует оптимальный уровень хаоса (энтропии), при котором эволюция системы происходит максимально динамично.

В качестве примера можно привести развал плановой экономики СССР и дирижизма в Великобритании, Франции, Индии, Турции и многих других странах из-за неспособности государств обеспечить выполнение принципа Эшби.

Данный закон важен в поддержании одной характеристики системы – самоорганизации (см. рис. 20). В

своей работе Эшби приводил пример самой фундаментальной самоорганизаций – зарождению жизни. Он считал, что попытки повторить данный процесс в лабораторных условиях не корректны, т.к. каждая динамическая система при помощи самоорганизации создает жизнь характерную только для нее.

В работе [38] авторы выделяют следующие три уровня самоорганизации:

- техническая самоорганизация, которая основана на автоматической замене алгоритма в зависимости от состояния объекта управления;
- биологическая самоорганизация, которая основана на дарвинских учениях об эволюции;

- социальная самоорганизация, которая основана на социальных изменениях в зависимости от конъюнктуры [39].

В самоорганизации важную роль играет понятия синергия. Синергия — это эффект взаимодействия случайных обстоятельств, которые в кооперации усиливают свое действия в отличии от их отдельных воздействий. Пример синергии – это соединение двух кусков радиоактивного материала превышающих критическую массу, и последующий за этим огромное выделение энергии, которое в сумме больше чем энергия его частей. Любая самоорганизация имеет цель, тогда как, синергия цели не требует. При таком подходе можно изменять параметры и изучать состояния в которых окажется самоорганизующаяся система [40].

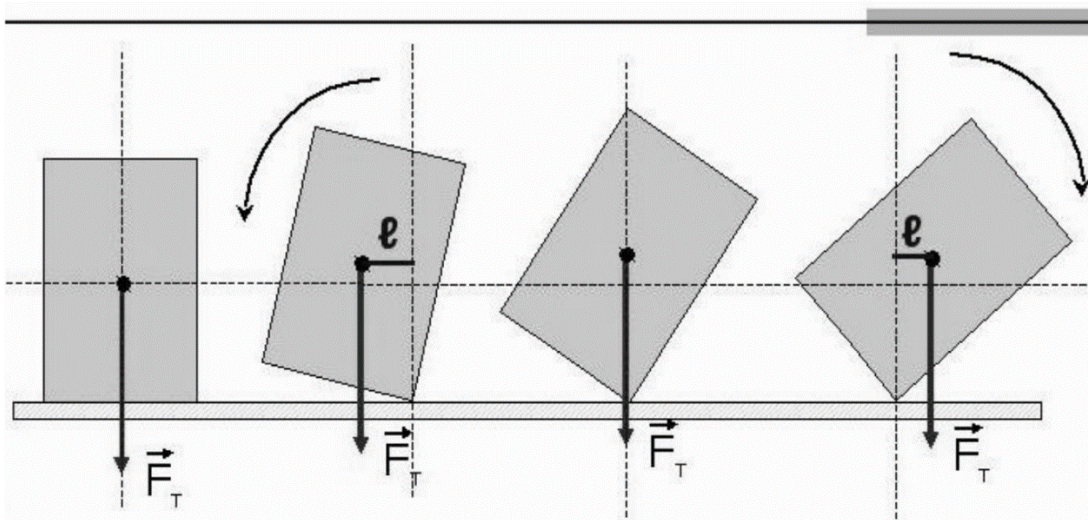


Рис. 19. Самоорганизация бруска

Рассмотрим элементарный пример - опыт с деревянным бруском (см. рис. 19). Пока на него не воздействует внешняя сила, он находится в одном возможном состоянии – неподвижным, но, если его наклонить на 15 градусов относительно горизонтальной оси, тогда брусок через короткий промежуток времени вернется обратно, однако если угол будет больше, скажем, 35 градусов, брусок перевернется на другую свою грань. Данный пример показывает, что любой объект, даже брусок, пытается прийти к наилучшему положению для себя, исключив все остальные варианты.

По мнению автора [40] данный пример является частным случаем самоорганизации, однако на деле, он является примером перехода неструктурированного макрообъекта в устойчивое положение в пространстве. Однако, даже такой простой пример попадает под действия закона У. Эшби. Это доказывает его универсальность и возможность применения, даже, в элементарной физике.

Принцип необходимого разнообразия, занимает одно из основополагающих положений в теории систем. Он применим к весьма широкому кругу информационных процессов (исследование, управление, обучение) и получил широкую известность благодаря образной формуле: «Только разнообразие может уничтожить разнообразие».

Однако принятая интерпретация принципа Эшби, которая проводится, как правило, с привлечением понятия энтропии может приводить к неоднозначным толкованиям и, в то же время, не учитывает специфики сложных социально-экономических систем, важнейшим элементом которых является человек. К тому же односторонне воспринимаемое понятие «уничтожение разнообразия» может служить дополнительным источником неопределенности. На это обстоятельство обращено внимание в работе [41].

Применительно к анализу сложных систем, свойством которых является наличие неоднородных связей, понятие разнообразия тесно связывается с понятиями информации и энтропии. Это выглядит совершенно оправданно, однако для исключения возможности возникновения противоречий следует непременно учитывать тонкую грань, различающую информационную и термодинамическую (физическую) энтропию.

Введенная в рамках статистической физики понятия энтропии как меры вероятности осуществления какого-либо макроскопического состояния системы позволило дать наиболее общую формулировку второго начала термодинамики.

Из хорошо известной формулы Больцмана следует, что чем большим числом микросостояний может быть реализовано определенное макросостояние, тем в

большей степени не упорядочена система, и энтропия представляет меру этой неупорядоченности. Возрастание энтропии в изолированной системе вызвано, в конечном счете, равной вероятностью множества ее микросостояний, приводящих такую систему в наиболее вероятное макросостояние (состояние термодинамического равновесия).

Таким образом, здесь энтропия является мерой разнообразия возможных микросостояний, уводящего систему от детерминированного (упорядоченного) состояния. При этом, как известно, закон возрастания энтропии, выполняется с точностью до флуктуаций, ограничивающих разнообразие микросостояний гауссовым распределением вероятностей, уводящим систему от предельной неопределенности.

При формализации принципа Эшби исходят из аксиом теории управления, определяющих, что управление заключается в ограничении разнообразия состояний объекта управления. В идеальной ситуации неопределенность относительно состояний объекта управления в управляющей системе должна полностью отсутствовать, и объект управления должен находиться в требуемом состоянии с единичной вероятностью. Это означает, что энтропия объекта управления для ЛПР управляющей системы должна быть равна нулю.

Для формального представления принципа Эшби используются понятия безусловной и условной энтропии. Безусловная энтропия определяется как вся потенциальная информация, т.е. мера априорной неопределенности. Условная энтропия – это остаточная энтропия после получения сообщения. Разность между условной и безусловной энтропией составляет количество полученной информации.

Рассмотрим известные рекомендации, вытекающие из принципа Эшби применительно к техническим и организационно-экономическим системам.

1. Уменьшение разнообразия состояний объекта управления, в принципе, означает его упрощение. Действительно, сталкиваясь с задачей управления сложной системой, мы ограничиваемся использованием только части возможных управляющих воздействий. Очевидно, что в эпоху стремительного усложнения технических и информационных систем такой путь повышения эффективности их управления не выглядит оправданным.

Однако для сложных организационных систем ситуация выглядит иначе. Как известно, в процессе своей жизнедеятельности многие сложные организационные системы проявляют тенденцию к дальнейшему усложнению, «обрастая» все новыми структурными единицами. При этом их эффективность, как правило, снижается в силу несоответствия целей структурных подразделений целям организации. Возникает задача упрощения громоздкой структуры, ее оптимизации, нашедшая свое выражение в методологии реинжиниринга бизнес-процессов.

2. Увеличение разнообразия управляющих воздействий как минимум до уровня разнообразия возможных состояний объекта управления. Прежде всего, отметим, что, согласно [41], некорректно выглядит утверждение о том, что задача состоит в увеличении

энтропии управляющей системы. Неопределенность для объекта управления относительно ожидаемого сообщения, конкретизирующего смысл управляющего воздействия, не связана с необходимостью принятия решения. Речь идет о выполнении рутинных информационных процессов – обработке управляющих воздействий.

Что же касается увеличения разнообразия управляющих воздействий, то оно составляет ресурс управления управляющей системы.

Стоит отметить, что организационные системы, как правило, имеют способность к самоорганизации, т.е. к изменению (в том числе к усложнению) своей структуры и поведения. Это обстоятельство ставит вопрос соотношения разнообразий по-новому, а именно в том смысле, что разнообразие управляющих воздействий должно существенно превосходить разнообразие состояний объекта управления. Речь идет о целесообразности наличия разных по смыслу воздействий для вывода объекта управления из одних и тех же состояний, в частности, экстремальных.

Кроме того, управляющая система может предсказывать появление у объекта управления конкретных эмерджентных свойств и соответствующим образом увеличивать свой ресурс управления. В еще большей степени это относится к случаю привлечения принципа Эшби для оценивания эффективности обучения и исследований.

3. Уменьшение степени несоответствия получаемых сообщений реальному состоянию объекта управления. Обычно эта рекомендация направлена на обеспечение беспомеховой передачи сообщений, в первую очередь от объекта управления к управляющей системе, поскольку несоответствие между предполагаемым и реальным состоянием объекта управления будет автоматически приводить к выработке неадекватных управляющих воздействий.

Однако в организационных системах, кроме всего прочего, важную роль играет человеческий фактор. Нередки случаи намеренной дезинформации ЛПР управляющей системы со стороны ЛПР объекта управления, что не только чревато снижением эффективности функционирования систем, но и может приводить к катастрофическим последствиям, особенно в условиях действия положительной обратной связи.

Для того чтобы лучше понять универсальный характер принцип необходимого разнообразия, следует привести пример в более узкой сфере, например, IT-индустрии.

В частности, в работе [42] рассматриваются вопросы применения принципа Эшби для решения задач системного администратора в средней IT-компании.

Проблемы, которые могут возникнуть в процессе его работы (даже исключая внешние факторы) весьма разнообразны – от некорректной работы устройств ввода-вывода до сбоев в подаче электроэнергии. Естественно ЛПР располагает определенными способами разрешения этих проблем.

Часто формулировку Эшби применяют только для одного состояния ОУ, на практике же ЛПР имеет дело с множеством состояний, для каждого из которых тре-

буется выбрать адекватное воздействие. В [42] проанализирована реальная задача, связанная с необходимостью наличия у ЛПР, как минимум, одного приемлемого решения на каждую из рабочих проблем даже рутинного характера.

Анализ показал, что в этой области, как и во многих других сферах жизнедеятельности, учет принципа Эшби не просто возможен, но и необходим. Однако при этом выявились практические ограничения, о которых шла речь выше.

5. Системный анализ процессов иерархического управления

5.1. Разнообразие и неопределенность в теории управления

В 1956 году Уильям Эшби сформулировал закон необходимого разнообразия в своей книге «An Introduction to Cybernetics» [34], который гласит: чтобы эффективно управлять системой, которая имеет некоторую степень разнообразия, необходимо чтобы и сама управляющая система имела не меньшее количество разнообразия. Это закон можно выразить с помощью формулы и понятия энтропии.

$$H\left(\frac{X}{Y}\right) = H(Y)_{max} - H(X) + H\left(\frac{Y}{X}\right), \quad (5.1)$$

где $H(X/Y)$ это количество энтропии характеризующий степень несоответствия управляющий воздействием, реальным состояниям объекта управления (далее ОУ); $H(Y)_{max}$ – энтропия, характеризующая разнообразия возможных состояний ОУ, или, другими словами, степень неопределенности для лица принимающего решения относительно реальных состояний ОУ; $H(X)$ – энтропия, характеризующая разнообразие управляющих воздействий, которыми располагает ЛПР управляющий системы, или, другими словами, показывает степень неопределенности относительно выбора конкретных действий; $H(Y/X)$ – энтропия, отражающая степень различия сведений, поступающих из ОУ и его реальных состояний.

Из формулы (4.1) можно сделать вывод, что увеличение $H(Y/X)$ и уменьшение $H(Y)_{max}$, а также $H(Y/X)$, повышает эффективность управления системой.

При сравнении разнообразия $H(X)$ и $H(Y)_{max}$ негласно подразумевается, что множествами возможных состояний объектов управления и управляющий воздействием, которыми обладает лицо принимающие решения, имеется высокая степень соответствия.

Исходя из формулы (4.1), можно более детально рассмотреть параметр - $H(X/Y)$. Он в свою очередь, делится как минимум на две составляющие:

$$H(X/Y) = H_{\text{техническое}} + H_{\text{человеческое}}$$

Помехи аппарата Ошибка	Псих. аспект Некомпетентность ЛПР Умышленное искажение
---------------------------	--

Умышленное искажение фактов, происходит в основном из-за желания угадать начальству или ради собственных интересов.

Что касается человеческого фактора, то она играет очень большую роль в организационных системах. Дело в том, что человеческий фактор, может быть декомпозирован минимум на три составляющие: разовое ошибочной решение, некомпетентность ЛПР разных уровней иерархии и сознательное искажение фактов. В общем случае компонента $H(X/Y)$ будет выглядеть следующим образом:

$$H(X/Y) = H(Y)_1 + H(Y)_2 + H(Y)_3, \quad (5.2)$$

где $H(Y)_1, H(Y)_2, H(Y)_3$ – остаточная энтропия обусловленная одним из трех характеристик: неточностью, неполнотой отражения его реальных состояний и смысловом искажением.

Как следствие некомпетентности и ошибочных решений, является неточность и неполнота сведений, которые можно рассматривать как информационный шум или аддитивную помеху [6]. Однако часты случаи специальной дезинформации ЛПР управляющей системы со стороны ЛПР ОУ разного уровня иерархии, что может привести к уменьшению эффективности или стать причиной серьезных негативных последствий [43], [41]. При качественном оценивании отрицательных последствий принятый на основе некачественных данных, а также сознательно искаженных данных, представляется целесообразно использовать принцип Парето, т.е. 20% отрицательных результатов связать с неполнотой и неточностью, а 80% - отнести на их умышленное искажение.

5.2. Измерения качественных и количественных характеристик информации

Качество поступающей информации напрямую влияет на исполнение работы каждого ЛПР, поэтому следует отметить, что информация представляет собой совокупность качественных и количественных характеристик. Следует определить по каким критериям определяется эти характеристики.

Цифровое сообщение называется сигналом, у которого есть источник, получатель и канал связи. Канал связи — это не что иное, как среда способная проводить электрические, акустические, радиосигналы и другие виды материальных сигналов.

Сигнал это изменяющейся во времени физический процесс, имеющий некоторые характерные параметры, например, для электромагнитного излучения это амплитуда, частота и фаза.

Параметры сигнала могут принимать конечное число значений, если их можно пронумеровать, то такой сигнал называется дискретным. Если сигнал — это непрерывная функция времени, то такой сигнал называется непрерывным.

Непрерывное сообщение, может быть дискретизировано, т.е. преобразовано в дискретное сообщение. Для этого область определения сигнала нужно разбить на отрезки равной длины. Обычно используется ступенчатая функция, где каждый отрезок является средним значением функции данного участка. После чего значения накладывается на ось ординат области функции. Пример такой гистограммы можно увидеть на рисунке 20. Заметим, что точность данного графика

можно улучшать до бесконечности, уменьшая размеры столбцов. Данный процесс напоминает графическое представление интегрирования.

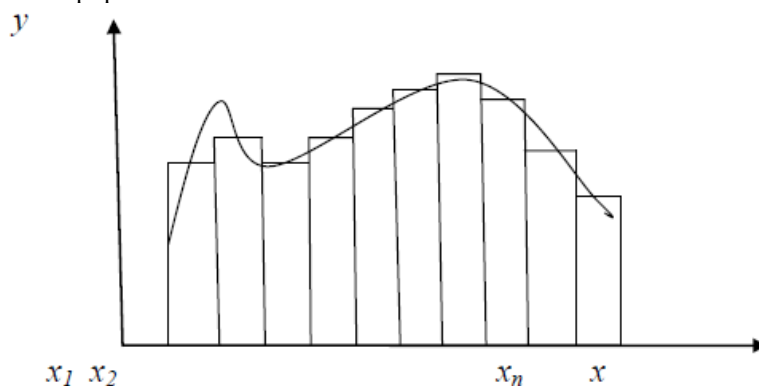


Рис. 20. Дискретное представление непрерывной функции

Основными *качественными характеристиками* информации служат: *ценность, актуальность, новизна, полнота, понятность, достоверность и т.д.* Каждая характеристика присуща любому сообщению, и в совокупности они определяют применимость сообщения по назначению в разных ситуациях.

Качественные характеристики информации в задачах прикладной информатики измеряются в битах и определяются количеством двоичных цифр в закодированном сообщении. Ниже представлен список возможных количественных характеристик:

1. Синтаксическая мера информации. На данном уровне учитываются такие факторы информации как скорость передачи и обработки, тип канала и т.д.

2. Объем сообщения. Представляет из себя либо объем информации, либо количество памяти для обработки поступающего сообщения.

3. Семантическая мера информации. На данном уровне измеряется количество смысла в сообщении. Под смыслом понимается некоторая первоначальная “мысль”, приложенная к сообщению для его передачи. Очень тесную взаимосвязь с этим понятием имеет так называемый тезаурус, который означает совокупность знаний, имеющиеся как у отправляющего, так и у принимающего сообщения субъектов, которые помогают интерпретировать сообщение.

4. Прагматическая мера информации. На данном уровне определяется степень полезности информации для достижения поставленной цели.

Рассмотрим подробнее семантический подход. В своих работах К. Шеннон предложил использовать вероятностную функцию энтропии, которая известна в физической термодинамике. Сам Шеннон использовал ее для задач в теории связи и пытался предупредить распространение за пределы прикладных задач. Он рассматривал такое заимствование как удобный формальный прием. Однако его работа стала настолько популярна что она давно вышла за пределы его области исследования.

Оказалось, что взаимосвязь физической энтропии и информации куда больше, чем просто удобный способ описания. Работу по поиску взаимосвязи двух областей по данному вопросу начал Л. Бриллюэном. Он

предложил т.н. негентропийный принцип в теории информации или, другими словами, он представил информацию как отрицательную энтропию. После чего стало возможным ввести меру для измерения информации.

$$I = K \ln (P_0/P_1) = K \ln P_0 - \ln P_1, \quad (5.3)$$

где P_0 – вероятность достижения цели до получения информации; P_1 – вероятность достижения цели после получения информации и использования его по назначению; K – константа.

В термодинамике энтропия представляет собой меру достижения равновесия на макроскопическом масштабе. При этом характеристики молекулы с точностью до флуктуаций приближаются к равновероятным, а энтропия устремляется к максимальному значению.

Однако благодаря понятию энтропии мы можем описать такие вещи как письменные тексты. По формуле Хартли, количество информации равно снятию неопределённости H при получении информации об одном из букв алфавита. При таком варианте энтропия будет максимальной, а текст наиболее хаотичным.

$$H_{max} = \log N. \quad (5.4)$$

В реальных же условиях разные буквы имеют разную вероятность появления в тексте, и реальная энтропия в таком случае будет меньше. Разница между максимальной энтропией (H_{max}) и реальной (H_p) определяет количество избыточной информации I_n .

$$I_n = H_{max} - H_p. \quad (5.5)$$

Избыточность текста объясняется влиянием грамматических и фонетических правил. Данные правила создают структурную упорядоченность букв. Из-за этого значение, вычисляемое по формуле (4.5) одновременно определяет количество информации в упорядоченных структурах текста.

$$\Delta I_s = H_{max} - H_p. \quad (5.6)$$

Нетрудно понять, что в случае максимальной избыточности текста ($H_p = H_{max}$), так и в случае его предельной упорядоченности ($H_p = 0$) смысл сообщения полностью утрачивается. Из чего можно сделать вывод что для предания тексту смысла, требуется чтобы в нем присутствовало некоторое разнообразие,

а с другой стороны, ограничение накладываемые некоторыми правилами.

Суждения выше привели к созданию т.н. термину “книга сообщений”. Данная книга имеет весь набор возможных символов, который ограничен и известен получателю и отправителю сообщения. Данный принцип лег в основу другого термина – тезаурус, который является основой в семантической теории информации. На практике тезаурус — это ассоциативный словарь связи слова из определённого языка и его смысловой частью.

Данный метод развивает понятия энтропии и под-сказывает что информация — это функция сообщения и тезауруса получателя сообщения.

Действительно, в реально жизни даже одно неизвестное слово может привести к полной неопределённости у получателя сообщения. Как пример, предложение, “Сумма очков хоккейной команды не ассоциативна” будет понятно для лица знакомого с термином “ассоциативность” и полностью устранил неопределённость. Однако, если человек незнаком с этим термином смысл сообщения будет неясен и неопределённость вырастит до максимального значения.

В середине XX века Клод Шеннон, один из основоположников кибернетики, предложил *вероятностный подход* к определению качества информации. Для того чтобы понять, как он работает, нужно понять, как вычисляется количество информации при случайном (вероятностном) событии. Для этого проведем один из примеров: вытягивание карты из стопки. Вероятность что игрок вытащит определенную карту из колоды, соответственно равна 1 к 36, или 1/36 (для колоды из 36 карт). Для количества карт равных N, априорная вероятность будет равна 1/N.

Введем термин – неопределенность (энтропия) исхода опыта. Обозначим ее буквой H . Увеличение энтропии пропорционально общему количеству вариантов исхода и обратно пропорционально количеству благоприятных исходов. Очевидно, что между N и H существует функциональная зависимость:

$$H = f(N), \quad (5.7)$$

где функция f является возрастающей с ростом значения параметра, а также не может быть отрицательной.

Проследим за одной попыткой вытащить карту. На момент выбора карты исход опыта неизвестен, обозначим априорную энтропию как H_1 . После того как игрок вытащил карту, получено количество информации об исходе события, обозначим данный параметр через I . Неопределенность после исхода события обозначим как H_2 . Тогда количество информации полученную после события можно определить, как разность между априорной и апостериорной вероятностью:

$$I = H_1 - H_2. \quad (5.8)$$

Очевидно, что после получения результат, апостериорная вероятность H_2 будет равна нулю, а количество информации будет равна апостериорной вероятности.

Если количество выбора карты больше одного, то 4.7 становится степенной:

$$H = f(N)^M, \quad (5.9)$$

где M – количество положительных исходов. Из этого следует что вероятность угадать нужную карту увеличивается по степенному закону. Энтропия данной системы, тоже увеличивается по степени M . Для простого случая, т.е. выбора из дискретных равновероятных событий можно воспользоваться мерой Хартли:

$$H = \log_2 N. \quad (5.10)$$

Данная формула была написана для двоичного алфавита, поэтому основание логарифма в данной формуле равна 2. Для общего случая основание берут безразмерным.

На практике исход событий может оказаться не равновероятным, тогда и становится применима формула Шеннона, с помощью которой можно вычислить энтропию не равновероятного события:

$$H = \sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i, \quad (5.11)$$

где P_i – вероятность i – события.

Очевидно, что энтропия для одиночного события будет равна нулю, следовательно, энтропия лежит на интервале:

$$0 \leq H \leq H_{max}. \quad (5.12)$$

Существует также объемный подход для представления качественных характеристик информации. Как известно, компьютер представляет все информацию в двоичном виде (битах) или по-другому в виде нулей и единиц, где не может быть нецелого значения как в вероятностном подходе. Данный код записывается в память компьютера в виде последовательности двоичных символов, имеющих смысловую нагрузку. При этом, каждая новая запись увеличивает массив информации. По мере роста технологий и увеличения популярности требуется все больше увеличивать хранилище информации, а биты представлять в более удобном виде, именно поэтому придумали новые единицы информации – байт (8 бит), килобайт (1024 бита), мегабайт (1024 килобайта), гигабайт (1024 мегабайта) и т.д. Данный подход не учитывает семантику сообщения и ее свойств и поэтому является менее предпочтительным перед вероятностным методом.

5.3. Оценивание эффективности иерархического управления в условиях полной определенности

Рассмотрим структуру системы с управлением, изображенную на рисунке 21.

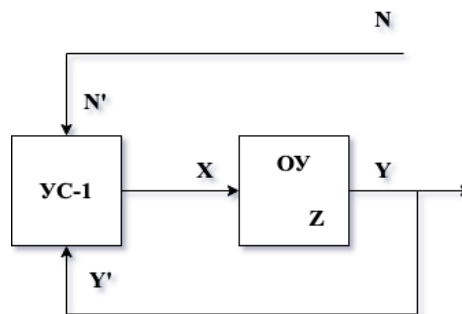


Рис. 21. Общая структурная схема системы с управлением: X – множество управляемых воздействий; N – множество неуправляемых внешних воздействий; Z

– множество внутренних состояний ОУ; Y – множество выходов ОУ; Y – подмножество выходов, известных в УС; N – подмножество неуправляемых воздействий, известных в УС

Допустим, что $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество управляемых воздействий доступных ЛПР, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ – множество выходов объекта управления, а $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – множество внутренних состояний объекта управления.

В случае полной определенности (решена обратная задача управления), множество $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ однозначно детерминировано множеством $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, т.е. Z изоморфно отображено в Y . Тогда если, множество статическое и не может расширяться, ЛПР может однозначно судить о любом состоянии объекта управления по его выходному сигналу.

Следовательно, для того чтобы управление было идеальным, требуется выполнение изоморфного отображения множества $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ в $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, что означает для каждого состояния объекта управления существует одно вполне адекватное управляющее воздействие.

Подобные условия могут быть только в изолированной системе, т.е. в условиях полной определенности. Тогда закон функционирования объекта управления обусловлен только его начально состоянием z_0 и множеством управляющих воздействий $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$:

$$Y = f(z_0, X). \quad (5.13)$$

В такой ситуации сообщение, поступающая в УС, несет полную информацию о состоянии объекта управления, из-за этого формула Эшби (4.1) дает результат $H(X/Y) = 0$ что дает возможность ЛПР принять адекватное управляющее воздействие в текущем цикле, что дает $H(X/Y) = 0$. Тогда:

$$H(X) = H(Y)_{max}. \quad (5.14)$$

Таким условиям соответствует процедура оперативного управления, обеспечивающее рутинное функционирование объектов управления, параметры которого не изменяются в процессе управления.

Построим матрицу эффективности для конкретного цикла управления:

Таблица 2. Оценивание эффективности однозначного управления

x_j	y_i			
	y_1	y_2	y_i	y_n
x_1	1	0	0	0
x_2	0	1	0	0
x_j	0	0	1	0
x_n	0	0	0	1

Очевидно, что данная матрица – единичная, т.к. каждому состоянию ОУ соответствует одно и только одно управляющее воздействие.

В общем случае, данная эффективность невозможна, т.к. на нее будет оказываться воздействие окружающей среды. Постановка общей задачи принятия решений характерна для проблемной ситуации, в

которой ЛПР оказывается перед необходимостью выбора лучшей альтернативы в условиях высокой неопределенности и лимита по времени [44].

При этом появляется задача адаптивного управления, в которой ЛПР известно какое-то количество выходов объекта управления Y^* . Но некоторые выходы могут быть от него скрыты или он в силу человеческого фактора может посчитать их несущественными или ненужными.

Эффективность системы с управлением является операционной характеристикой ее функционирования, а ее обобщенный показатель состоит из трех частных характеристик: результативность $Y_{рез}$, оперативность $Y_{оп}$ и ресурсоемкость $Y_{рес}$:

$$Y_{эфф} = \langle Y_{рез}, Y_{оп}, Y_{рес} \rangle. \quad (5.15)$$

В условиях неопределенности оценка эффективности базируется на понятиях вероятности достижения результата. При этом операция считается эффективной [4], если вероятность достижения нужного результата по обобщенному показателю равна достигнутому результату с оптимальным значением этого показателя.

$$P_{дц}(Y_{эфф}) = P_{дц}(Y_{эфф}^{дон}). \quad (5.16)$$

Очевидно, что риск, связанный с принятиями неверного решения обусловлено неполнотой наблюдаемостью объектов управления, т.е. из-за существования несоответствия данных ЛПР относительно принятия решения, его реальному состоянию. Такая ситуация характерна для управленческих задач прогнозирования и планирования, где требуется снятия неопределенности относительно поведения и структуру объектов управления, связанных с ее качественными или количественными изменениями.

Приведём пример одного цикла управления системой, в котором ЛПР принимает исходное сообщение из объекта управления о его состоянии и принимает решение об управляющем воздействии относительно него, тогда форму данного сообщения можно представить в виде:

$$S_{исх} = K_i \cup K_{ш} \cup K_d, \quad (5.17)$$

где $S_{исх}$ – исходное сообщение; K_i – часть, несущая полезную информацию; $K_{ш}$ – шумовая компонента; K_d – дезинформация.

В процессе осмысления ЛПР данного сообщения туда попадают помехи в виде неверной интерпретации, как например умышленное искажение смысла, непрофессионализм и т.д. Тогда формула (4.17) принимает другой вид:

$$S_{пр} = K_i^* \cup K_{ш}^* \cup K_d^*, \quad (5.18)$$

где $S_{пр}$ – полное сообщение после декодирования ЛПР; K_i^* – нормально понятая часть сообщения; $K_{ш}^*$ – измененная шумовая компонента после декодирования ЛПР; K_d^* – изменённая дезинформационная компонента после декодирования ЛПР.

В свою очередь шумовую компоненту можно деконструировать минимум на две составляющие:

$$K_{ш}^* = K_{ш} \cup K_{ш}^{дек} \cup K_{ш}^{интр}, \quad (5.19)$$

где $K_{ш}^*$ – обобщенная шумовая компонента после декодирования ЛПР; $K_{ш}^{дек}$ – неверно декодированное

ЛПР сообщения; $K_{ш}^{интр}$ – неверная интерпретация сообщения.

Таким же образом можно провести декомпозицию дезинформационную компоненту:

$$K_d^* = K_d \cup K_d^{дек} \cup K_d^{интр}, \quad (5.20)$$

где K_d^* - обобщенная дезинформационная компонента; $K_d^{дек}$ – дезинформация внесенная ЛПР после неверного декодирования сообщения; $K_d^{интр}$ – дезинформация внесенная ЛПР после неверной интерпретации сообщения.

Суммируя формулы (5.18, 5.19, 5.20), приходим к полному описанию принятого сообщения:

$$S_{пр} = K_n^* \cup (K_{ш} \cup K_{ш}^{дек} \cup K_{ш}^{интр}) \cup (K_d \cup K_d^{дек} \cup K_d^{интр}). \quad (5.21)$$

Очевидно, что шумовая и дезинформационная компоненты в лучшем случае останутся на исходном уровне после декодирования сообщения ЛПР, вследствие невозможности уменьшения энтропии.

5.4. Оценивание эффективности иерархического управления в условиях неполной определенности

При управлении в реальных условиях ЛПР не обладает всей информацией о состоянии объекта управления. Как результат, управляющие воздействия становятся не полностью адекватными состоянию объекта управления. Это приводит к тому, что энтропия $H(X/Y)$ (неопределенность относительно реального состояния объекта управления) может изменяться в пределах:

$$0 < H\left(\frac{X}{Y}\right) < H(Y)_{max}. \quad (5.22)$$

На уровне стратегического планирования задач речь идет о снятии неопределенности относительно структуры и обусловленного ею поведения объекта управления в отдаленной перспективе в связи с возможным прогнозом качественных изменения. На тактическом уровне решаются задачи снятия неопределенности относительно структуры объекта управления на ближайшую перспективу в связи с количественными изменениями.

В таких условиях различные управляющие воздействия, в том числе приобретаемые управляющей системой в связи с эволюцией/развитием объектов управления, будут обладать разной степенью эффективности относительно разных состояний объектов управления, с меняющимся значением от 0 до 1. Допустим, что k_{ij} это конкретное управляющее воздействие на конкретное состояние объекта управления. Тогда, k_{11} лежит на интервале [0, 1], а следовательно, матрица эффективности для недетерминированного процесса управления будет отличаться и выглядеть следующим образом:

Таблица 3. Оценивание эффективности управления в условиях неполной определенности

x_j	y_i			
	y_1	y_2	y_i	y_n
x_1	k_{11}	k_{12}	k_{1i}	k_{1n}
x_2	k_{21}	k_{22}	k_{2i}	k_{2n}
x_j	k_{j1}	k_{j2}	k_{j3}	k_{jn}
x_n	k_{n1}	k_{n2}	k_{ni}	k_{nn}

При этом теперь только некоторые управляющие воздействия могут быть полностью определены и быть равными по эффективности нулю или единице.

В совокупности множеств управляемых воздействий X и множества неуправляемых воздействий N образуется множество входных воздействий $W = \langle X, N \rangle$. Для общего случая W будет порождать Z внутренних состояний ОУ, которые порождают множество выходных сигналов Y .

По тем или иным причинам для ЛПР будет доступно только некоторое количество значений множества Y , а остальная часть будет ненаблюдаемая из-за решения о выводе ее из рассмотрения, например из-за незначимости.

При этом, возникает задача адаптивного управления динамической системой, решение которой достигается посредством изменения параметров или структуру управляющей системы, и в частном случае накоплением недостающих управляющих воздействий, другими словами увеличением разнообразия управляемых воздействий (множество X).

Время, которое есть у ЛПР на принятие решений определяет один из важных показателей эффективности – оперативность управления. Его требуется выделять в отдельный ресурс в силу неоднородной связи между оперативностью и ресурсоемкостью. Наличие такой связи - неотъемлемый признак сложной системы, поэтому оптимизация соотношения время/ресурсы представляет из себя задачу обеспечения эффективности процесса управления в зависимости от ее целей и отношения ЛПР к риску.

На практике управление системой ЛПР осуществляется с ориентировкой на выполнение критерия оптимальности по обобщенному показателю эффективности. При этом можно ограничиться выбором критерия пригодности, согласно которому процесс считается эффективным, если выполнено соотношение: обобщенный показатель эффективности не меньше допустимого порога вероятности достижения этой цели [45], [1].

$$P_{дц}(Y_{эфф}) \geq P_{дц}(Y_{эфф}^{доп}). \quad (5.23)$$

При этом, в силу существования неоднородности между оперативностью и ресурсоемкостью, выбор оптимального варианта обобщенного показателя будет направлена на достижение наилучшего с позиции ЛПР УС соотношения, при неизменном условии достижения цели.

В случае если качественная цель будет достигнута, эффективность будет определяться оптимальным отношением результирующих показателей оперативности и ресурсоемкости, в зависимости от того, какой из них является целевым, а какой требуется для ограничений.

В случае количественной цели результативность ($Y_{рез}$) оценивается по степени достижения результата. В условиях риска ЛПР управляющей системы может ограничить допустимую степень достижения цели, а показатели оперативности и ресурсоемкости, в зависимости от условий управления системой, может изменять их соотношение [42], [44].

Например, ЛПР управляющей системы может выбрать наиболее экономическое решение, хотя и не самое результативное, при условии выполнения допустимой оптимальности, тогда критерий эффективности по оптимальности будет выглядеть следующим образом:

$$Y_{\text{эфф}}^{\text{опт}} = \langle Y_{\text{рез}}^{\text{доп}}, Y_{\text{оп}}^{\text{доп}}, Y_{\text{рес}}^{\text{опт}} \rangle. \quad (5.24)$$

Действительно, на практике, в условиях не полной определенности у ЛПР реализуется принцип свободы принятия решений, который допускает выбор разных решений в одной и той же ситуации в зависимости от индивидуальной оценки степени допустимого риска и профессиональных качеств ЛПР.

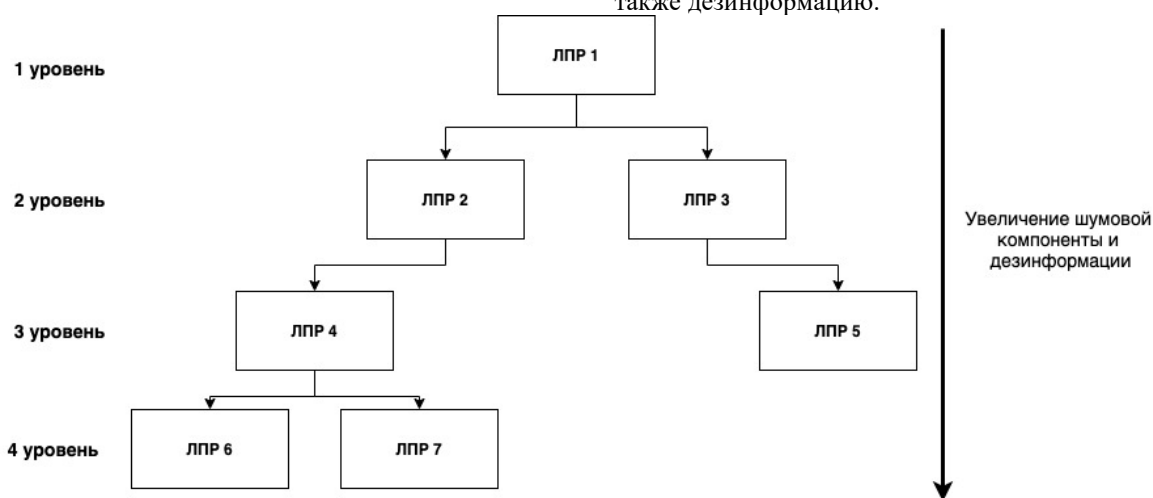


Рис. 22. Четырехуровневая иерархическая структура

Можно детализировать информацию еще больше и представить ее в виде кортежа, состоящего из компонентов:

1. Информация с высокой ценностью - собственные профессиональные знания специалиста (обозначается как «О» – от англ. слова own).
2. Информация со средней ценностью - актуальные данные (*A* – actual).
3. Информация с низкой ценностью - неполные данные (*P* – partial).
4. Информация с нулевой ценностью - неактуальные, несвоевременные и тривиальные данные (*T* – trivial).

6. Исследование остаточной неопределенности в системах иерархического управления

6.1 Процессы циркуляции сообщений в иерархических системах

Согласно Анри Файоллю - иерархическая структура является основным принципом управления организацией. В данной структуре управление выстроено вертикально как показано на рисунке 22. Она хорошо подходит для оптимизации процессов передачи и обработки информации. Структура имеет множество возможных вариантов реализации, которая меняет качество передаваемой информации. В том числе ее составляющие – полезность, шумовую компоненту, а также дезинформацию.

5. Информация с отрицательной ценностью - дезинформация (*D* – disinformation).

$$I = \langle O, A, P, T, D, t \rangle, \quad (6.1)$$

где *I* – принимаемый или передаваемый информационный объект; *t* – время, затраченное на передачу сообщения между уровнями иерархии. Лимит времени непосредственно влияет на компоненты передаваемой информации.

Если рассматривать более сложную иерархическую структуру, то можно заметить, что с ростом числа уровней иерархии, меняется и качественные характеристики информации. На рисунке 23 изображена шестуровневая иерархия.

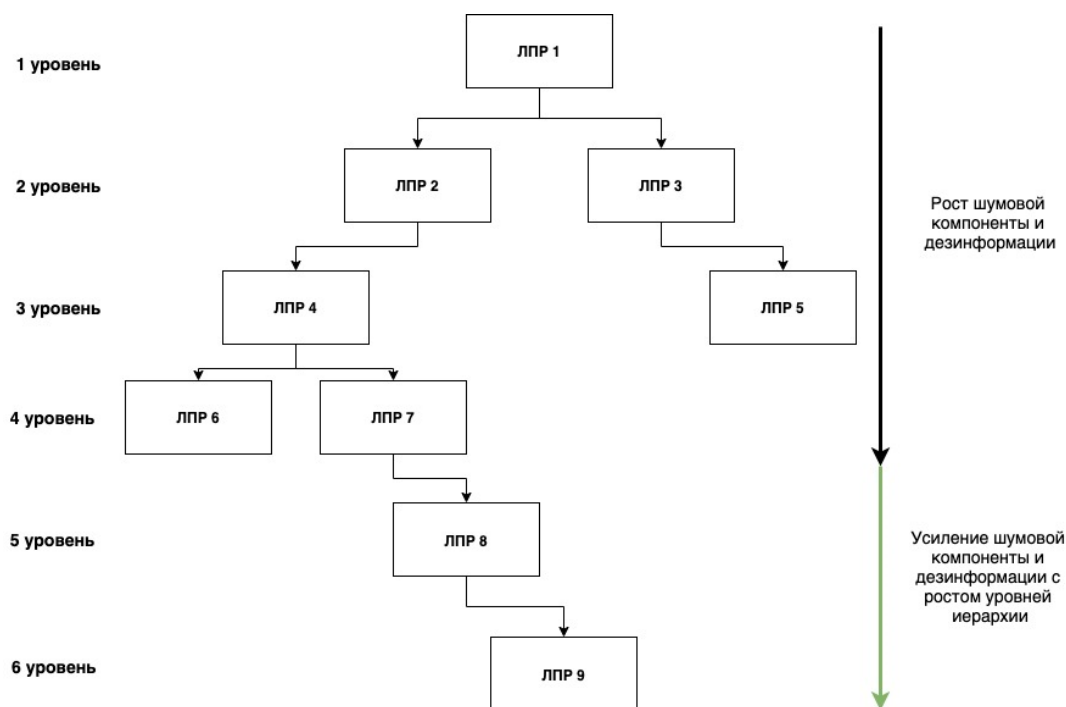


Рис. 23. Шестиуровневая иерархическая структура

Можно допустить, что при прохождении информационного объекта через уровни иерархии он постепенно теряет свое качество, поскольку каждый сотрудник интерпретирует его по-своему. Данный процесс напоминает игру “сломанный телефон”, каждый сотрудник имеет свой тезаурус для обработки информации и передавая сообщения на следующий уровень иерархии может намеренно или случайно исказить его.

Искажение накапливаются не только из-за сотрудников, но и из-за лимита на время передачи информации (т.к. промежуток времени де-факто не может быть бесконечно большим).

Данные процессы влекут возрастания доли шумовой и дезинформационной компонент, что негативно сказывается на производительности компании и на принятия решений. Также это ухудшает взаимодействие внутри команды.

6.2. Влияние положительной обратной связи на эффективность управления в иерархических системах

Увеличение дезинформации и шумовой компоненты происходит и тогда, когда сообщения циркулирует по замкнутой системе, как показано на рисунке 24.

При передаче в такой системе искаженного сообщения с нижних уровней иерархии может произойти

неправильная интерпретация этого сообщения на верхнем уровне, далее, как снежный ком, сообщения продолжит искажаться с нарастанием силы. Данный феномен известен как усиливающиеся (положительная) обратная связь.

Сущность действия положительной обратной связи состоит в том, что появление в системе отклонения от стабильного состояния является сигналом для циклического нарастания этого отклонения.

Хороший пример положительной обратной связи в управлении – взаимодействия сотрудников на разных уровнях иерархии. Допустим, что одна из частных компаний решила для долгосрочного развития инвестировать в акции одной из многих государственных компаний. На тактическом уровне возможна недооценка риска и как следствие сообщение на стратегическом уровне будет получено с искажением. Стратегический уровень принимает решение об расширении компании, ведь теперь они рассчитывают получить дополнительную прибыль.

Идея расширения была принята на основании неполной информации, ведь если акции были рискованные, то существует и риск потерять не только капитал, вложенный в акции, но и деньги вложенные в расширение компании, т.к. расширение нечем будет обеспечивать.

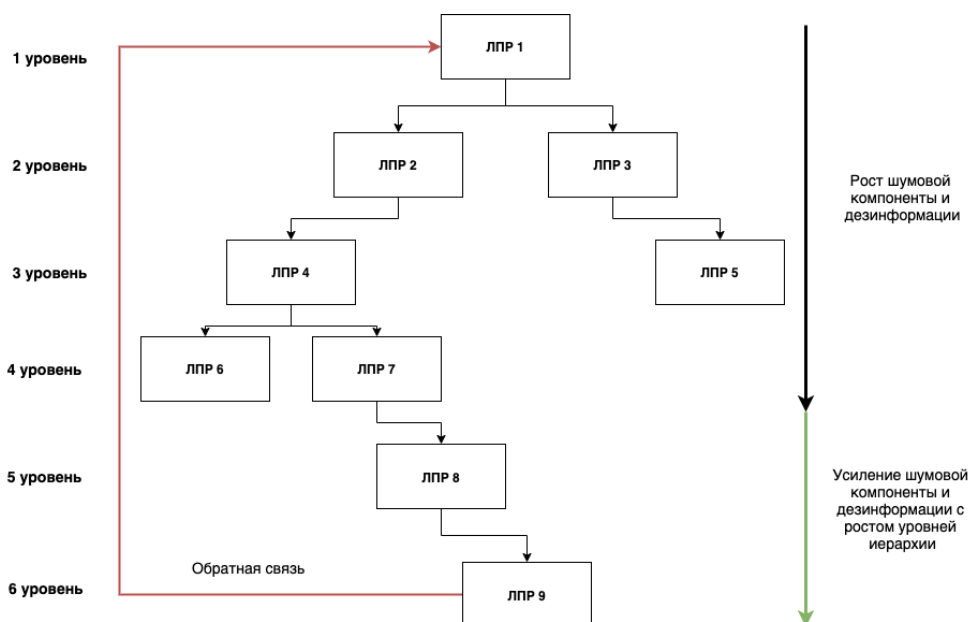


Рис. 24. Возврат информации в шестиуровневой иерархической структуре

Ко всему прочему, далее, со стратегического уровня будет поступать команды и задачи исходя из новых соображений инвестирования, которые являются неполными. Другими словами, ошибки в сообщении будут копиться как снежный ком и остановить это трудно.

Иерархическую структуру можно рассматривать с позиции популярной организационной модели в менеджменте – треугольника Энтони [46]. Он имеет три уровня иерархии – стратегический, тактический и оперативный (см. рис. 25).

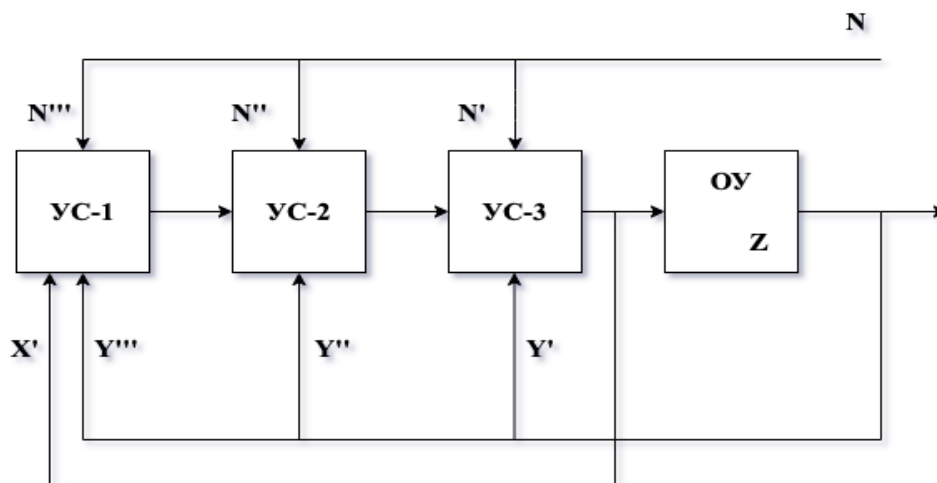


Рис. 25. Иерархическое управление с позиции треугольника Энтони: УС-1 – управляющая система стратегического уровня иерархии; УС-2 – управляющая система тактического уровня иерархии; УС-3 – управляющая система оперативного уровня иерархии; X' - подмножество управляемых воздействий, УС-1, известное в УС-3; Y'' - подмножество выходов ОУ, известное в УС-2; Y''' - подмножество выходов ОУ, известное в УС-1; N' - подмножество неуправляемых воздействий на (неконтролируемых входов ОУ), известное в УС-2; N'' - подмножество неуправляемых воздействий на (неконтролируемых входов ОУ), известное в УС-1

1. На стратегическом уровне иерархии любое решение принимается на длительный период и определяет пути развития организации как единое целое. Примером может служить: инвестирование, планы по расширению и/или слиянию компаний и т.д.
2. На тактическом уровне иерархии главными являются среднесрочные цели компании, такие как, определение оптимального значения ресурсов,

- наличие ограничений со стороны законодательства и/или возможностей компании и т.п.
3. На оперативном уровне иерархии решаются вопросы конкретных задач, в краткосрочной перспективе, например, вопросы выплаты заработной платы сотрудникам, жалобы, клиентский опыт и т.д.

В таких системах управляемость ОУ в большой степени зависит от степени достоверности сведений об их состоянии, поступающих с нижних уровней

иерархии, на основании которых решаются задачи тактического и стратегического уровня. Из-за этого на передний план выдвигаются такие функции как координация, организация и функции учета человеческого фактора.

Все осложняется тем, что ЛПР на разных уровнях иерархии имеют различное понимание стратегии выполняемого проекта. Несомненно, руководитель представляет проект более абстрактно, чем инженеры, которые его реализуют. Поэтому при передаче информации на более высокий уровень необходимо её в определенном смысле “сжимать”, исключая подробности и сильнее обобщая содержание. К сожалению, полностью исключить возникновение такой ситуации невозможно, поскольку ЛПР, занимающие более высокие уровни иерархии работают, как правило, сразу на множестве проектов и разбираться вплоть до деталей в каждом из них не имеют возможности.

При это возникает проблема измерения ценности информации сообщения, которыми обмениваются субъекты информационных процессов управления. Для ЛПР стратегического и тактического уровня критически важно отбирать достоверные сведения, при этом отсеивая шум и дезинформацию [20] [43].

В противном случае, появляется угроза возникновения усиливающей (положительной) обратной связи, приводящей к повышению неопределенности ситуации принятия решения. Следствием это является возрастание несоответствия принимаемых решений и, соответственно, управляющих воздействий реальному состоянию ОУ и обстановки, что приводит к дальнейшему росту неопределенности и в конечном итоге к потере управляемости.

7. Заключение

Анализ динамики развития ситуации принятия решений в иерархических системах на основе принципа необходимого разнообразия позволил выявить характерные для них проблемы, носящие общий характер.

1. С ростом числа уровней иерархии и соответствующим усложнением ее структуры объективно возрастает вероятность искажения сведений о состоянии уровней (объектов) управления, а также целей и смысла управляющих воздействий.

2. При этом наибольшую опасность представляет циркуляция в системе недостоверных сведений (дезинформация) о состоянии объектов управления (снизу - вверх) и состоянии обстановки, а также в целом о ситуации принятия решения (сверху – вниз).

3. Принятие решений на основе недостоверных сведений чревато возникновением в иерархической системе положительной обратной связи и нелинейным нарастанием степени несоответствия управляющих воздействий реальному состоянию как самих объектов управления, так и обстановки, т.е. потерей управляемости.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00445.

Библиографический список

- [1] Харкевич А.А. О ценности информации. // В сб.: Проблемы кибернетики. 1960. Вып.4.
- [2] Голубков Е.П. Технология принятия управленческих решений / М.: Дело и сервис. 2005. 544с.
- [3] Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 431 с.
- [4] Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. Учебное пособие / М.: Финансы и статистика. 2005 - 367с.
- [5] Клименко И.С. Теория систем и системный анализ/Учебное пособие. - М.: РосНОУ. 2014. 265 с.
- [6] Клименко И.С., Белова Н., Шарапова Л.В. К проблеме определения ценности информации в условиях информационного общества. // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. № 2, с.54-62.
- [7] Завгородний В.И. Системное управление информационными рисками. Выбор механизмов защиты. // Проблемы управления. 2009. №1. с.53-58.
- [8] Клименко И.С., Коровко П.Г., Шарапова Л.В. К проблеме оценивания эффективности управления и качества управленческих решений // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. № 1, с.53-57.
- [9] Клименко И.С., Шарапова Л.В. К проблеме системного анализа телекоммуникационных процессов. // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2016. № 1-2. с.82-86.
- [10] Хаббард Д. Как измерить все, что угодно. / М.: Олимп – Бизнес, 2009. 320 с.
- [11] Ахмадеев Д.Р., Свядковский В.А. Определение ценности информации как один из ключевых факторов информационной безопасности. // Мягкие измерения и вычисления. – 2018. №10. С.37-40.
- [12] Губко М. В. Модели и методы оптимизации структуры иерархических систем обработки информации: дис. ... д-р. физ.-мат. наук: 05.13.01. - Москва, 2014.
- [13] Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. – М.: Синтег, 2001.
- [14] Воронин А.А., Мишин С.П. Оптимальные иерархические структуры. – М.: ИПУ РАН, 2003.
- [15] Воронин А.А., Мишин С.П. Моделирование структуры организационной системы. Об алгоритмах поиска оптимального дерева // Вестн. Волг. ун-та. Сер. 1: Математика. Физика. – 2001. – С.78-98.
- [16] Воронин А.А., Мишин С.П. Модель оптимального управления структурными изменениями орга-

- низационной системы // Автоматика и телемеханика. – 2002. №8. – С.136-150.
- [17] Воронин А.А., Мишин С.П. Модель оптимального управления структурными изменениями организационной системы // Автоматика и телемеханика. – 2002. №8. – С.136-150.
- [18] Воронин А.А., Мишин С.П. Оптимальные иерархические структуры. – М.: ИПУ РАН, 2003.
- [19] Мишин С.П. Оптимальные иерархии управления в экономических системах. – М.: ПМСОФТ, 2004.
- [20] Мишин С.П. Оптимальное стимулирование в многоуровневых иерархических структурах // Автоматика и телемеханика. – 2004. №5. – С. 96-119.
- [21] Мишин С.П. Оптимальная ветвистость для степенной функции затрат // Автоматика и телемеханика. – 2006. № 8. – С. 154-168.
- [22] Мишин С.П. Оптимальность древовидной иерархии управления с симметричной производственной линией // Проблемы управления. – 2006. №6. – С. 36-42.
- [23] Mishin S. Optimal Organizational Hierarchies in Firms. – Moscow: Institute of Control Sciences, 2005.
- [24] Huffman D.A. A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes // Proc. IRE. – 1952. – No.9. – P.1098–1101.
- [25] Burkov V.N., Goubko M.V., Korgin N.A., Novikov D.A. Integrated Mechanisms of Organizational Behavior Control // Advances in Systems Science and Application. 2013. Vol. 13. No 3. P. 217–225.
- [26] Parkhomenko P.P. Questionnaires and organizational hierarchies. Automation and Remote Control, 2010. No 71(6), P. 1124–1134.
- [27] Shannon C.E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. 1948. No 27. P. 379–423.
- [28] Бир С. Кибернетика и управление производством. – М.: Наука, 1963.
- [29] Park S-J., Park G-L., Shin I-H. et al. Performance Evaluation of the Optimal Hierarchy for Cellular Networks // Y. Shi et al. (Eds.): ICCS 2007, Part 4, LNCS 4490, P. 449–456.
- [30] Sloan A.P., McDonald J. My years with Generals. Random House, Inc. 1990.
- [31] Chandler A.D. Jr. Strategy and Structure: Chapters in the History of the American Industrial Enterprise. – Cambridge, MA: MIT Press, 1962/1998.
- [32] Woodward J. Management and technology. – HMSO, 1958.
- [33] Минцберг Г. Структура в кулаке: создание эффективной организации. – М.: Питер, 2001.
- [34] Ashby W.R. An Introduction to Cybernetics. L.: Chapman & Hall, 1956.
- [35] Сурина А.Е. управление инновационными проектами с использованием подхода У.Р. Эшби // научно-технические ведомости санкт-петербургского.
- [36] Its A.E. The method of selection of the project manager taking into account the cognitive competencies // Building of a professional culture of specialists of the XXI century in the technical University: collection of proceedings. / SPbSPU – Issue
- [37] The era of innovation / Felix Jansen. – Trans. from English. – М: INFRA-M, 2002. – XII, 308 p. – (Series «Management for the leader»).
- [38] Силаев Д.П., М.А. Ганджур Явление самоорганизации и закон необходимости разнообразия У.Р.Эшби // Проблемы современного педагогического образования. 2018. №59-4. С. 259-263.
- [39] Баранников А.Ф., Теория организации. Учебник для вузов, М., ЮНИТИ-ДАНА. 2004. с. 189.
- [40] Гвишиани Д.М., Организация и управление, М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1998г. С. 203.
- [41] Клименко И.С. К интерпретации принципа необходимого разнообразия Эшби применительно к управлению в социально-экономических системах // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2012. Вып.4. С. 4.
- [42] Фрайманн А.В. Об особенностях применения принципа необходимого разнообразия для отображения функций системного администратора // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. № 2. С. 64–69.
- [43] Клименко И.С., Коровко П.Г., Шарапова Л.В. К проблеме оценивания качества управленческих решений и эффективности управления // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 1. С. 53–57.
- [44] Клименко И.С., Шарапова Л.В. Общая задача принятия решения и феномен неопределенности // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. Вып. 3. С. 44–56.
- [45] Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: учебное пособие. М.: Финансы и статистика, 2005. 367 с.
- [46] Anthony R.N. Planning and Control: A Framework for Analysis. Cambridge: Harvard University Press, 1965.