

Умное управление



Д. А. НОВИКОВ

КИБЕРНЕТИКА

НАВИГАТОР

ИСТОРИЯ КИБЕРНЕТИКИ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

НОВИКОВ Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 160 с. (Серия «Умное управление»)

ISBN 978-5-9710-2549-8

Сайт проекта «Умное управление» – www.mtas.ru/about/smartman

Книга является кратким «навигатором» по истории кибернетики, ее современному состоянию и перспективам развития.

Рассматривается эволюция кибернетики (от Н. Винера до наших дней), причины ее взлетов и «падений». Описаны взаимосвязь кибернетики с философией и методологией управления, а также с теорией систем и системным анализом.

Проведен анализ современных трендов развития кибернетики. Вводится в рассмотрение новый этап развития кибернетики - «кибернетика 2.0», как наука об (общих закономерностях) организации систем и управлении ими. Обосновывается актуальность развития нового раздела кибернетики – «теории Организации» (или O^3), исследующей организацию как свойство, процесс и систему.

Книга предназначена для научных и практических работников, а также студентов, аспирантов и докторантов. В первую очередь – преподавателей ВУЗов для использования при подготовке курсов лекций по кибернетике, теории управления, теории систем и системному анализу, современным концепциям естествознания.

© Д.А. Новиков, 2015

© ЛЕНАНД,
оформление, 2015

Оглавление

Введение	5
1. Кибернетика в XX веке	7
1.1. Кибернетика Н. Винера	9
1.2. Кибернетика кибернетики и другие «кибернетики»	20
1.3. Успехи кибернетики и разочарование в ней	25
2. Кибернетика, философия и методология управления	32
2.1. Философия управления	33
2.2. Методология управления	37
3. Законы, закономерности и принципы управления	40
4. Теория систем и системный анализ. Системная инженерия ..	54
5. Некоторые тренды и прогнозы	61
5.1. Анализ тематики ведущих конференций по управлению	62
5.2. Междисциплинарность.....	68
5.3. «Сетевизм»	75
5.4. Гетерогенные модели и иерархическое моделирование ..	79
5.5. Стратегическое поведение	91
5.6. Большие данные и большое управление	98
Заключение: «кибернетика 2.0».....	109
Литература.....	124
Приложение: базовые термины	143
Приложение: темы для самостоятельной работы	148
Сведения об авторе	150

*Светлой памяти отца – академика
А.М. Новикова, открывшего мне мир
кибернетики*

«В течение многих лет мы мечтали об обществе независимых ученых, работающих вместе в одной из неисследованных областей науки, и не под началом какого-нибудь высокопоставленного администратора, а объединенных желанием, даже духовной необходимостью, понимать науку как нечто целое и передавать друг другу силу такого понимания». (Н. Винер, [34, с. 45])

Введение

В истории развития науки бывают *«романтические» периоды*. Один из них – середина 40-х годов XX века. «Романтизм» был обусловлен несколькими факторами.

Первый фактор – *интенсивный поток научных и прикладных результатов*. Представьте: закончена страшная война (1945); активно развивается промышленность; физика преодолела кризис начала XX века (произошло рождение и активное развитие атомной физики, квантовой механики, общей и специальной теорий относительности, астрофизики; уже взорвана первая атомная бомба (1945) и скоро будет запущена первая атомная электростанция (1954)); электро- и радиотехника вошли в жизнь обывателя; происходит череда открытий в биологии, физиологии и медицине (промышленно производимый (1941) пенициллин (1928) уже спас миллионы жизней, вот-вот будет открыта трехмерная модель спирали ДНК (1953), активно развиваются радиобиология и генетика и т.д.); созданы первая ЭВМ (1945) и биполярный транзистор (1947); скоро (1951) появится теория выбора [188], только что родились теория игр (1944 – см. [250, 252]) и исследование операций (1943), являющееся ярким примером междисциплинарной синтетической науки.

Второй фактор – осознание учеными, являющимися представителями различных отраслей науки в целом, ее *междисциплинарности*, заключающейся в существовании общих (для разных наук) подходов и закономерностей, а также в возможности *адаптированной трансляции результатов* из одних областей в другие. Это приводит к пониманию необходимости стремления к обобщениям, причем не только в рамках той или иной конкретной отрасли знания, не только на их стыке, но, в первую очередь, на их «пересечении». Другими словами, речь идет даже не о создании новых парадигм в

смысле Т. Куна [236] в рамках одной науки, а о принципиально новой возможности получения прорывных результатов совместными усилиями физиков и биологов, математиков, инженеров и физиологов и т.д.

Третий фактор заключается в том, что *роль и «польза» науки становятся очевидными и обывателю* (пользующемуся ее быстро и массово внедряемыми в «производство» результатами), *и политику* (который осознает, что наука стала важной общественной и экономической силой общества, и привыкает к тому, что проектный способ управления прикладными исследованиями и разработками позволяет прогнозировать и отчасти гарантировать их сроки и результаты).

Но, во-первых, любому романтизму свойственны, помимо полета мысли и бурных чувств, *завышенные ожидания*. Во-вторых, всплески интенсивного развития любой науки неизбежно сменяются периодами ее нормального (в смысле того же Т. Куна) развития.

Все эти закономерности ощутила на себе в полной мере *кибернетика* – наука, зародившаяся в упомянутый «романтический период» (ее год рождения – 1948) и пережившая как романтическое детство, так и разочарования юности и упадки зрелости¹. Об этом и пойдет речь в настоящей работе, являющейся, условно говоря, кратким «навигатором» по истории кибернетики, ее современному состоянию и возможным перспективам развития. Стиль «навигатора» подразумевает возможность отказа от сколь либо детального описания конкретных результатов – многочисленные библиографические ссылки охватывают почти все² классические (к настоящему моменту и с субъективной точки зрения автора настоящей работы) работы по кибернетике³. С другой стороны, стиль «навигатора» априори обрекает изложение на некоторую неполноту, эклектич-

¹ Отчасти аналогичный, в этом смысле, путь прошли общая теория систем и системный анализ – см. ниже.

² Так как кибернетика является синтетической наукой, то любая попытка привести относительно полную библиографию даже ее составных частей (например, теории управления) заранее обречена на неудачу. Поэтому «все» означает собственно кибернетику (Кибернетику с большой буквы – см. раздел 1.1).

³ Большинство из них заинтересованный читатель может найти в свободном доступе в Интернете. Для переведенных на русский/английский язык работ даются ссылки и на первоисточник, и на перевод.

ность и нестрогость (с точки зрения представителя каждой конкретной науки, о которой в ходе изложения пойдет речь).

Структура последующего изложения такова: сначала рассматривается эволюция кибернетики (от Н. Винера до наших дней) – разделы 1.1 и 1.2; анализируются причины ее взлетов и «падений» (раздел 1.3). Затем рассматривается взаимосвязь кибернетики с *философией* и *методологией управления* (во втором разделе), а также с *теорией систем* и *системным анализом* (в четвертом разделе). В третьем разделе обсуждаются основные известные законы, закономерности и принципы управления. Пятый раздел содержит анализ некоторых современных *трендов развития* кибернетики. В заключение вводится в рассмотрение новый этап развития кибернетики – *кибернетика 2.0* – наука об организации систем и управления ими. Приложения содержат глоссарий базовых терминов и темы для самостоятельной проработки и углубленного изучения.

Автор глубоко признателен В.Н. Афанасьеву, В.В. Брееру, В.Н. Буркову, В.А. Виттиху, М.В. Губко, А.О. Калашникову, К.К. Колину, В.В. Кондратьеву, Н.А. Коргину, О.П. Кузнецову, А.В. Макаренко, Р.М. Нижегородцеву, Б.Т. Поляку, И.Г. Поспелову, А.Н. Райкову, П.О. Скобелеву, А.Г. Теслинову и А.Г. Чхартишвили за плодотворные обсуждения и ценные замечания. Все недостатки работы он, естественно, относит на свой счет.

1. Кибернетика в XX веке

Цель настоящего раздела – рассмотреть кратко историю кибернетики и описать, что на сегодняшний день входит в «классическую» кибернетику (условно ее можно назвать «*кибернетикой 1.0*»).

(от др.-греч. κυβερνητική – «искусство кормчего», κυβερνή – административная единица; объект управления, содержащий людей⁴) – «наука об общих закономерностях процессов *управления* и *передачи информации* в различных системах, будь то *машины*, *живые организмы* или *общество*» [126].

⁴ От этого корня происходят слова «government», «губернатор», «губерния», «губернер».

Кибернетика включает изучение таких концептов, как управление и коммуникация в живых организмах, машинах и организациях, включая самоорганизацию. Она фокусирует внимание на том, как система (цифровая, механическая или биологическая) обрабатывает информацию, реагирует на неё и изменяется или может быть изменена, для того чтобы лучше выполнять свои функции (в т.ч. по управлению и коммуникации).

Кибернетика является *междисциплинарной наукой*. Она возникла «на стыке»⁵ математики, логики, семиотики, физиологии, биологии, социологии. Ей присущ анализ и выявление общих принципов и подходов в процессе научного познания. Наиболее весомыми теориями, условно объединяемыми кибернетикой 1.0, можно считать теорию управления, теорию связи, исследование операций и др. (см. раздел 1.1).

В Древней Греции термин «кибернетика» использовался для обозначения искусства государственного деятеля, управляющего городом (например, в «Законах» Платона).

В своей классификации наук А. Ампер (1834, см. [143, 187]) относил кибернетику (как «науку управления вообще») к политическим наукам - в своей книге «Опыт философских наук» кибернетику он определил как науку о текущей политике и практическом управлении государством (обществом).

Б. Трентовский, (1843, см. [114, 274]) определял ее как «искусство управления народом».

А.А. Богданов в своей «Тектологии» (1925, см. [22]) исследовал организационные принципы, общие для всех видов систем.

С *историей* возникновения и развития *кибернетики* в мире и в СССР (а затем – в России) можно ознакомиться по работам [41, 69, 73, 172, 216, 259, 275].

Термин «*кибернетика*» в современном, ставшем хрестоматийным, понимании – как «наука об управлении и связи в животном и машине» – впервые был предложен *Норбертом Винером* в 1948 году (см. его одноименную пионерскую монографию [34]). Далее Винер добавил (1950) к объектам, изучаемым кибернетикой, и общество

⁵ В зависимости от взаимопроникновения предметов и методов, на стыке двух наук, как правило, возникает пара наук (например, физическая химия и химическая физика).

[35]. Классиками первых лет развития кибернетики, помимо Н. Винера, являются Уильям Эшби⁶ [181179] (1956) и Стаффорд Бир [18] (1959), сделавших акценты, соответственно, на биологических и «экономических» ее аспектах.

Таким образом, кибернетику 1.0 (или просто **кибернетику**) можно определять⁷ как «НАУКУ ОБ УПРАВЛЕНИИ И ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ В ЖИВОТНОМ, МАШИНЕ И ОБЩЕСТВЕ». Альтернативой является определение **Кибернетики** (с большой буквы, чтобы там, где это существенно, отличать ее от кибернетики) как «НАУКУ ОБ ОБЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ЖИВОТНОМ, МАШИНЕ И ОБЩЕСТВЕ». Различие определений, заключающееся в добавлении во втором случае «общих закономерностей», очень существенно и не раз будет подчеркиваться и использоваться ниже. В первом случае речь идет о «зонтичном бренде», т.е. об «объединении» результатов всех наук, занимающихся исследованием проблем управления и обработки информации в животном, машине и обществе, а во втором случае, условно говоря – о частичном «пересечении» этих результатов⁸ (см. также Рис. 10), т.е. тех из них, которые являются общими для всех наук-компонент. Более того, этим приемом мы будем не раз пользоваться в ходе дальнейшего изложения для того, чтобы различать соответствующий зонтичный бренд и общие результаты соответствующего объединения наук – для таких категорий, как междисциплинарность, системный анализ, системные исследования, теория организации и др.

1.1. Кибернетика Н. Винера

Немного истории (гносеологический взгляд). Любая наука определяется своим «предметом» (предметной областью) и «ме-

⁶ У. Эшби, в т.ч., принадлежит введение и исследование категорий «разнообразие» и «самоорганизация», а также первое использование в кибернетике терминов «гомеостат» и «черный ящик».

⁷ Этими определениями мы будем пользоваться ниже на протяжении всего текста настоящей работы.

⁸ Образно говоря – стержне «зонтика».

тодом» (единой совокупностью методов) [111, 125, 236]. Поэтому науки⁹ можно условно разделить на:

– *науки предмета*, исследующие некоторый предмет различными методами (например: физика, биология, социология);

– *науки метода* (более узко – т.н. *науки модели*), развивающие ту или иную совокупность методов, которые применимы к различным предметам; классический пример – прикладная математика: аппарат и методы ее разделов (дифференциальные уравнения, теория игр и т.п.) применимы для описания и исследования систем самой разной природы;

– *синтетические науки* («метанауки»), основным результатом которых является развитие и/или обобщение методов тех или иных наук в применении к предметам этих и/или других наук (примерами являются исследование операций, системный анализ, кибернетика). Со временем синтетические науки обретают «собственные» предметы и методы.

Во всех типах наук, по мере их развития, предметы и методы дробятся и пересекаются, что неизбежно приводит к дальнейшей дифференциации наук.

Условием возникновения (первые два пункта) и выживания (третий пункт) синтетических наук являются:

- 1) Достаточный уровень развития *наук-первоисточников*;
- 2) Возникновение множества *аналогий* (а затем – *обобщений*), между частными результатами наук-первоисточников;
- 3) Возможность достаточно легкого и быстрого получения собственных нетривиальных теоретических и прикладных результатов и их популяризация как среди широкого научного сообщества, так и среди «обывателей».

Применительно к кибернетике, к середине 40-х годов XX века первые два условия были выполнены (см. введение), а длительное

⁹ Это условное разделение применимо не только к наукам, но и к ученым: как отмечается в [125], в некоторых отраслях науки исследователей принято подразделять на две категории. Одних условно называют «гаечниками». Они занимаются конкретным предметом – исследуют некоторую новую предметную область («гайку»), применяя известные методы («гаечные ключи»). Других условно называют «ключниками». Они разрабатывают новые технологии познания (методы, «ключи»), и иллюстрируют их эффективность возможностью применения в различных предметных отраслях (для откручивания известных «гаек»).

сотрудничество Н. Винера с биологами, наряду с широтой и глубиной его профессиональных интересов (вспомним хотя бы винеровский случайный процесс, пространства Банаха-Винера, уравнение Винера-Хопфа), обеспечили «субъективное» выполнение этих условий. Как говорил впоследствии сам Н. Винер в интервью журналу «Вопросы философии» (1960, № 9): «Цель состояла в том, чтобы объединить усилия в различных отраслях науки, направить их на *единообразное решение сходных проблем*». Третий пункт – и быстрое получение результатов, и их популяризация – также был успешно реализован (см. ниже).

Интеграция результатов различных наук, обоснование возможности их применения к различным объектам (см. Рис. 1) привели к рождению в 1948 году новой науки – *винеровской кибернетики*.

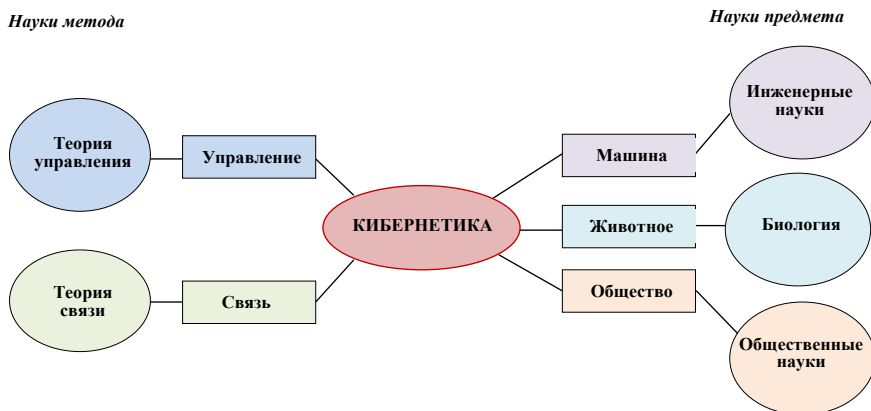


Рис. 1. «Филогенез» винеровской кибернетики

Наука как система знаний имеет в т.ч. следующие гносеологические [125], социальные [120] и др. *функции*:

– *описательная* (дескриптивная, феноменологическая) – сбор, и накопление данных, фактов. С этой функции (ответа на вопрос «как устроен мир?») начинается любая наука, так как она может базироваться только на большом количестве фактического материала. С

этой точки зрения кибернетика, как синтетическая наука¹⁰, использует, в основном, результаты своих компонентов (наук-первоисточников);

– *объяснительная* (экспликативная) – объяснение явлений и процессов, их внутренних механизмов (ответ на вопрос «почему мир устроен именно так?»). Здесь роль кибернетики проступает уже более ярко, так как даже аналогии могут нести мощную объяснительную функцию;

– *обобщающая* – формулирование законов и закономерностей, систематизирующих и вбирающих в себя многочисленные разрозненные явления и факты (ответ на вопрос «что общего в ...?»). Наверное, основной функцией кибернетики является именно обобщающая, так как обобщения (в виде законов, закономерностей, моделей, исследовательских подходов) составляют основной корпус ее результатов;

– *предсказательная* (прогностическая) – научные знания позволяют заблаговременно предвидеть неизвестные ранее новые процессы и явления (ответ на вопрос «что и почему произойдет?»). Опять же, имея в рамках синтетической науки кибернетики обоснованные аналогии и конструктивные обобщения, можно делать эффективные прогнозы;

– *предписывающая* (нормативная) функция науки – научные знания позволяют организовывать деятельность по достижению тех или иных целей (ответ на вопрос «что и как следует сделать для достижения цели?»). Нормативная функция тесно связана с решением задач управления, которое является одним из предметов кибернетики.

Определения. Как и любой другой достаточно емкой категории, кибернетике трудно дать однозначное определение. Более того, в процессе эволюции значения терминов, описывающих эту категорию, также меняются. Приведем (на языке оригинала) ряд распространенных определений кибернетики:

«Научное направление, которое изучает машины, живые организмы и их объединения исключительно с точки зрения их способности воспринимать определенную информацию, сохранять эту

¹⁰ А.Н. Колмогоров, например, считал, что кибернетика не наука, а научное направление, но и к последним применимы перечисленные функции.

информацию в памяти, передавать ее по каналам связи и перерабатывать ее в сигналы, направляющие их деятельность в соответствующую сторону» – А.Н. Колмогоров;

«The art of steersmanship': deals with all forms of behavior in so far as they are regular, or determinate, or reproducible: stands to the real machine – electronic, mechanical, neural, or economic – much as geometry stands to real object in our terrestrial space; offers a method for the scientific treatment of the system in which complexity is outstanding and too important to be ignored.» – W. Ashby;

«A branch of mathematics dealing with problems of control, recursiveness, and information, focuses on forms and the patterns that connect.» – G. Bateson;

«The art of effective organization.» – S. Beer;

«The art of securing efficient operation.» – L. Couffignal;

«The art and science of manipulating defensible metaphors.» – G. Pask;

«The art of creating equilibrium in a world of constraints and possibilities.» – E. Glasersfeld;

«The science and art of understanding.» – H. Maturana;

«Синтетическая наука об управлении, информации и системах» – А.Г. Бутковский;

«Система взглядов, которой должен был обладать управляющий для того, чтобы эффективно управлять своим кузеву» – Н.Н. Моисеев;

«The art of interaction in dynamic networks.» – R. Ascott.

Почти во всех определениях фигурируют термины «управление» и «система» – см. также определение кибернетики 2.0 в заключении), поэтому они взаимно непротиворечивы и вполне согласованы с принятым нами определением кибернетики.

Таким образом, ключевыми для винеровской кибернетики являются термины: управление, связь, система, информация, обратная связь, черный ящик, разнообразие, гомеостат.

Что сегодня относят к кибернетике (перечисление в порядке убывания условной степени принадлежности – см. также Рис. 10, у ряда направлений приведен соответствующий «год рождения»):

– *теория управления*¹¹ (1868 – статьи Д. Максвелла и И. Вышнеградского [44, 243]);

– *математическая теория связи и информации* (1948 – работы К. Шеннона [176]);

– *общая теория систем, системотехника и системный анализ*¹² (1968 – книга [194] и, соответственно, 1956 – книга [232]);

– *оптимизация* (в т.ч. линейное и нелинейное программирование; динамическое программирование; оптимальное управление; нечеткая оптимизация; дискретная оптимизация, генетические алгоритмы и т.д.);

– *исследование операций* (теория графов, теория игр и статистических решений и др.);

– *искусственный интеллект* (1956 – Дартмутский семинар);

– *анализ данных и принятие решений*;

– *робототехника*

и др. (далее последовательность перечисления, включающего как чисто математические, так и прикладные науки и научные направления, произвольна), включая системотехнику, распознавание, искусственные нейронные сети и нейрокомпьютеры, эргатические системы, «нечеткие» системы (в т.ч. rough sets, grey systems [231, 233, 256, 258]), математическую логику, теорию идентификации, теорию алгоритмов, теорию расписаний и массового обслуживания, математическую лингвистику, теорию программирования, синергетику и пр. и пр.

Кибернетика имеет существенные пересечения по своим составляющим со многими другими науками, в первую очередь – с такими метанауками как общая теория систем и системный анализ (см. раздел 4) и *информатика*¹³ (см. также заключение).

Классические монографии и учебники по Кибернетике с ее «собственными» результатами очень немногочисленны – см. [1, 18, 19, 33-37, 59, 108, 179, 194, 215], а учебники по кибернетике (интересно отметить, что выходили они, преимущественно, в бывшем

¹¹ Науку управления ниже иногда будем называть, следуя устоявшейся в ней традиции, теорией управления (осознавая, что название уже предмета).

¹² Более подробно речь об истории этих направлений пойдет в четвертом разделе.

¹³ И даже шире – с компьютерными науками (Computer Science), однако пользоваться в дальнейшем этим собирательным термином мы не будем в силу его недоопределенности и эклектичности.

СССР) обычно включают в себя многие из перечисленных направлений (в основном, относящиеся к управлению техническими системами и к информатике) – см. [48, 64, 65, 92, 95, 100].

Отметим также, что приставка «кибер» регулярно порождает новые термины: киберсистема, киберпространство, киберугроза, кибербезопасность и т.д. Если посмотреть еще более широко, то эта приставка охватывает всё, связанное с автоматизацией, компьютерами, виртуальной реальностью, Интернетом и т.д.¹⁴

Кибернетической тематике на сегодня в мире посвящены (с явным употреблением термина «кибернетика» в названии) несколько сотен научных центров (институтов, факультетов, кафедр, исследовательских групп) и ассоциаций¹⁵ во всем мире, сотни журналов и регулярных конференций – см., например, списки ссылок на Интернет-ресурсы по кибернетике:

- <http://www.asc-cybernetics.org/>
- <http://pespmc1.vub.ac.be/>
- <http://wosc.co/>
- <http://neocybernetics.com/wp/links/>

и др.

«Отраслевая» кибернетика. Наряду с общей кибернетикой, выделяют и специальные кибернетики [95]. Самым естественным (следующим из расширенного определения Н. Винера) является выделение, помимо теоретической кибернетики (т.е. Кибернетики), трех базовых кибернетик: технической, биологической и социально-экономической.

Возможно и более полное перечисление (в порядке убывания полноты исследованности):

- *техническая кибернетика* (technical cybernetics, engineering cybernetics);
- *биологическая и медицинская кибернетика*, эволюционная кибернетика, кибернетика в психологии [2, 6, 7, 8, 16, 51, 58, 82, 83, 93, 104, 137, 140, 152, 168, 170, 173, 182, 241, 260];

¹⁴ Наверное, это дань отражению слова «кибернетика» в массовом общественном сознании, даже если профессионалы в данной области не вполне согласны с таким (очень широким и упрощенным) использованием этой приставки.

¹⁵ Например, проект Principia Cybernetica (В.Ф. Турчин и др.), American Society for Cybernetics (<http://www.asc-cybernetics.org>), World Organization of Systems and Cybernetics и др.

- экономическая кибернетика [18, 19, 66, 80, 118, 119, 183];
- физическая кибернетика (точнее – «кибернетическая физика»¹⁶) [164, 170]);
- социальная кибернетика, педагогическая кибернетика [41, 105];
- квантовая кибернетика (управление квантовыми системами, квантовые вычисления) (см. обзоры в [56, 206, 218]);
- космическая кибернетика [74, 157];

Отдельно, наверное, стоит выделить такую ветвь биологической кибернетики, как *кибернетические модели мозга*, которая сегодня тесно интегрирована с искусственным интеллектом, нейро– и когнитивными науками. Романтическая идея создать кибернетический (компьютерный) мозг, хотя бы отчасти похожий на естественный, стимулировала как отцов-основателей кибернетики (см. работы У. Эшби [182], Г. Уолтера [168], М. Арбиба [11], Ф. Джоржа [58], К. Штейнбуха [177] и др.), так и их последователей (современный обзор можно найти в [260]).

Библиометрический анализ. Понять степень проникновения кибернетики в другие науки, а также масштаб ее «синтетичности» позволяет простой библиометрический анализ. Рис. 2 и Рис. 3 показывают употребление терминов «Cybernetics» и «Control» в журнальных публикациях (названиях статей), индексируемых в базе данных Scopus, и иллюстрируют, что термины «кибернетика» и «управление» являются междисциплинарными и используются во многих разделах современной науки.

¹⁶ *Кибернетическая физика* – наука об исследовании физических систем кибернетическими методами. В силу развитости (по продолжительности и глубине исследования) моделей физических объектов, получаемые в этой области результаты сегодня уже могут формулироваться в виде достаточно общих (и строго обоснованных) законов (см. [170, с. 38-40]).

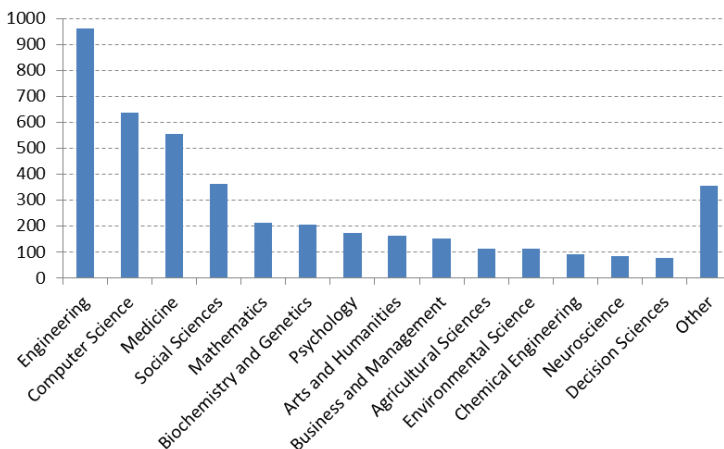


Рис. 2. Число употреблений термина «Cybernetics» по отраслям наук в названиях публикаций в Scopus

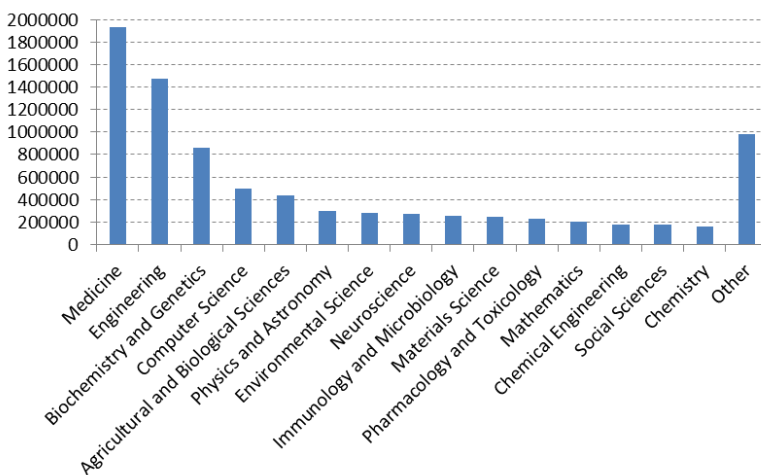


Рис. 3. Число употреблений термина «Control» по отраслям наук в названиях публикаций в Scopus

Рис. 4 и Рис. 5 иллюстрируют употребление терминов «Cybernetics» и «Control» по годам в публикациях Scopus (соответствующие значения почти стабильно различаются примерно в 1000 раз).

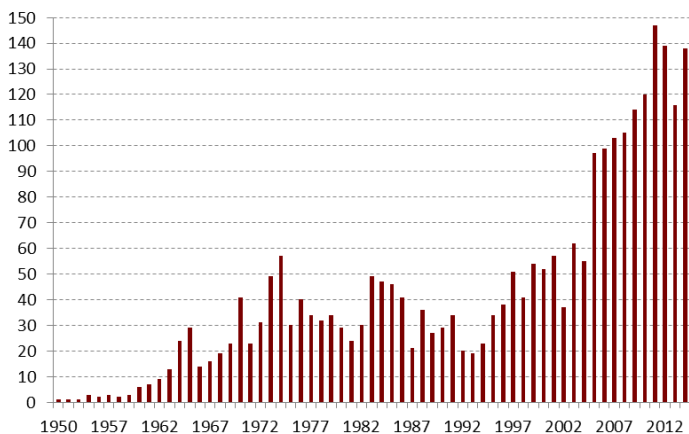


Рис. 4. Число употреблений термина «Cybernetics» по годам в названиях публикаций в Scopus

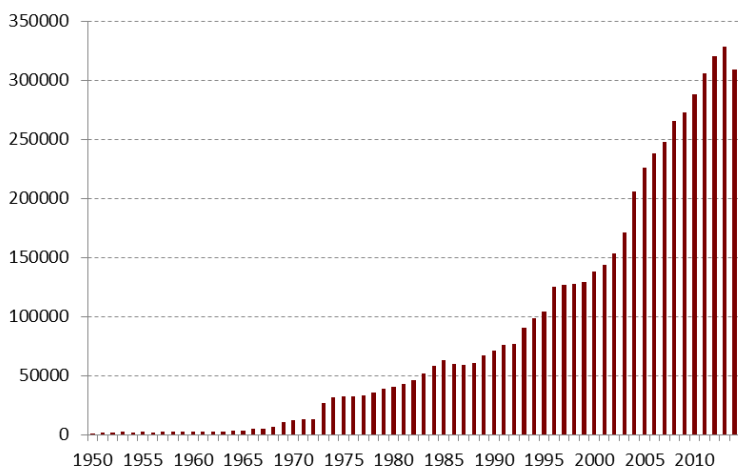


Рис. 5. Число употреблений термина «Control» по годам в названиях публикаций в Scopus

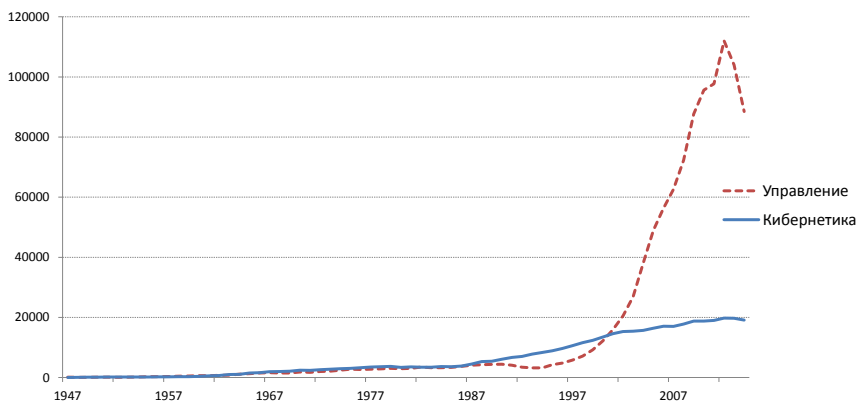


Рис. 6. Число употреблений терминов «кибернетика» и «управление» по годам в текстах публикаций в Google Scholar

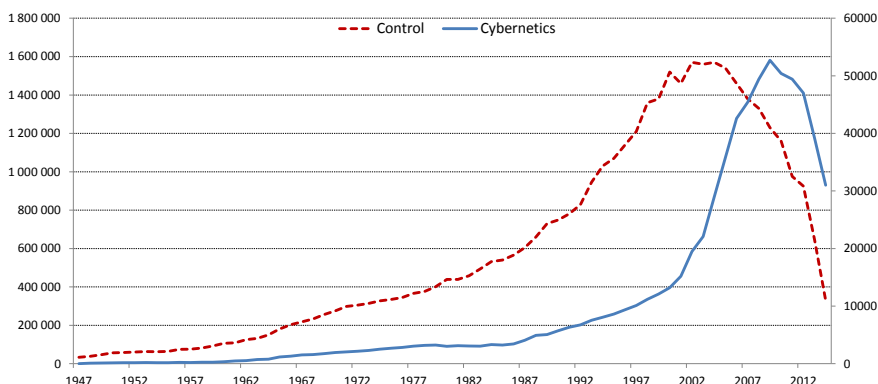


Рис. 7. Число употреблений терминов «Cybernetics» (по правой оси) и «Control» по годам в текстах публикаций в Google Scholar

Рис. 6 и Рис. 7 иллюстрируют употребление терминов «кибернетика» и «управление» (соответственно – «Cybernetics» и «Control») по годам в текстах публикаций, индексируемых академической поисковой системой Google Scholar. Спад в последние годы может быть объяснен задержкой в индексации публикаций; резкий рост числа русскоязычных публикаций по управлению начиная с 2000-х гг. – тем, что в это время проблематикой управления в России активно занялись специалисты по менеджменту, управлению инновация-

ми, государственному управлению и т.п., а термины «control», «management» и «governance» в русскоязычной научно-образовательной литературе зачастую смешаны.

1.2. Кибернетика кибернетики и другие «кибернетики»

Помимо классической винеровской кибернетики за последние более чем полвека появились и другие «кибернетики», явно декларирующие как свою связь с первой, так и стремление её развить.

Наиболее ярким явлением, несомненно, стала *кибернетика второго порядка* (кибернетика кибернетики, Second Order Cybernetics, метакибернетика, новая кибернетика; «порядок» условно говоря, соответствует «рангу рефлексии») – кибернетика кибернетических систем, которая связана, в первую очередь, с именами М. Мид, Г. Бейтсона и Г. Ферстера и делает акцент на роли субъекта/наблюдателя, осуществляющего управление¹⁷ [192, 210, 211, 224, 244] (см. Рис. 8).

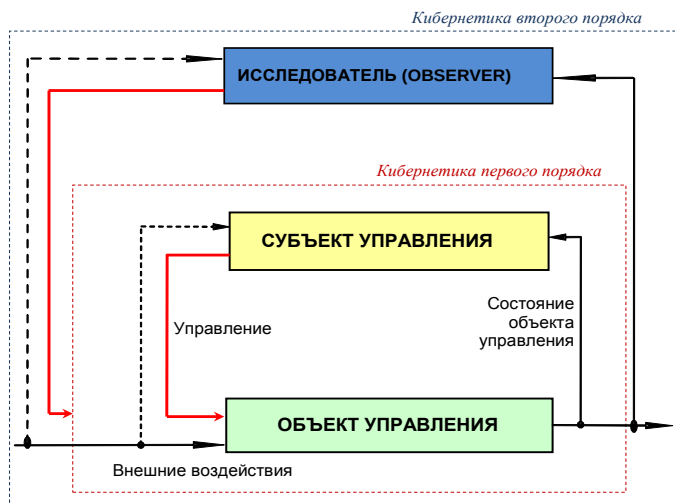


Рис. 8. Кибернетика первого и второго порядка

¹⁷ Такой подход был и остается вполне традиционным для теории управления организационными системами (см., например рисунок 4.15 в [111], а также [136]).

Как писал Г. Ферстеп: “a brain is required to write a theory of a brain. From this follows that a theory of the brain, that has any aspirations for completeness, has to account for the writing of this theory. And even more fascinating, the writer of this theory has to account for her or himself. Translated into the domain of cybernetics; the cybernetician, by entering his own domain, has to account for his or her own activity. Cybernetics then becomes cybernetics of cybernetics, or second-order cybernetics.” [211].

Необходимо отметить, что, в отличие от винеровской кибернетики, кибернетика второго порядка носит *концептуально-философский характер* (для математика или инженера показательным является то, что соответствующие работы вообще не содержат формальных моделей, алгоритмов и т.п.). В ней имел место не очень обоснованный перенос принципа дополнительности с физики на все науки, все явления и процессы. Более того, в ряде работ постулировалось, что в любой системе должны иметься контуры положительной обратной связи, усиливающие позитивные воздействия (см., например, [240]). Но любой специалист по теории управления знает, насколько такие контуры опасны для устойчивости!

«Биологический» этап кибернетики второго порядка связан с именами У. Матураны и Ф. Варелы [241, 242, 278] и введенным ими понятием *аутопоезиса* (самопорождения и саморазвития систем). Как отмечал Ф. Варела: «Кибернетика первого порядка – это кибернетика наблюдаемых систем. Кибернетика второго порядка – кибернетика наблюдающих систем.» В последней акцент делается на обратной связи между управляемой системой и наблюдателем.

Таким образом, для кибернетики второго порядка ключевыми являются термины: рекурсивность, саморегуляция, рефлексия, аутопоезис. Хороший обзор этого направления можно найти в [102].

Согласно мнению Р. Asaro [189], существуют три трактовки кибернетики (первые две мы упоминали выше):

- 1) узкая – как наука об обратных связях в управлении;
- 2) широкая: «кибернетика – это всё, и мы живем в Век Кибернетики»;
- 3) промежуточная (эпистемологическая) – кибернетика второго порядка (акцент на обратной связи между управляемой системой и наблюдателем).

Однако историческая реальность оказалась гораздо богаче и разнообразнее, и вторым порядком дело не ограничилось – см. Рис. 9.

Встречаются термины «*кибернетика третьего порядка*» (социальный аутопоезис; кибернетика второго порядка, учитывающая авторефлексию), «*кибернетика четвертого порядка*» (кибернетика третьего порядка, учитывающая ценности исследователя), но эти термины являются концептуальными и еще не получили устоявшихся значений (см., например, обсуждение в [197, 234, 237, 238, 247, 275, 276]).

Например, В.Е. Лепский пишет: «Кибернетика третьего порядка могла бы сформироваться на основе тезиса «от наблюдающих систем к саморазвивающимся системам». При этом управление плавно трансформировалось бы в широкий спектр процессов обеспечения саморазвития систем: социального контроля, стимулирования, поддержки, модерирования, организации, «сборки и разборки» субъектов и др.» [99, с. 7793].

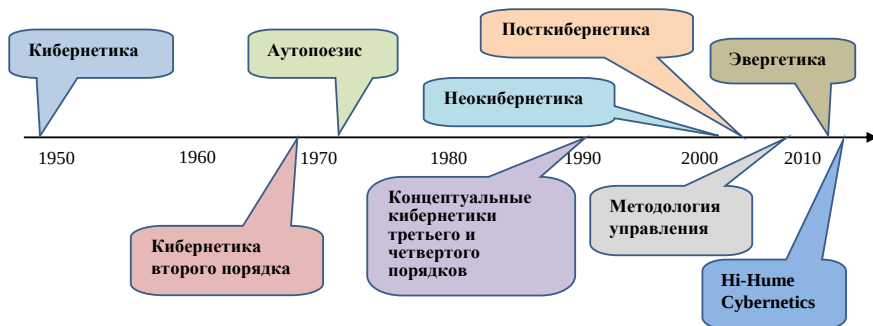


Рис. 9. Онтогенез кибернетики – различные «кибернетики»

Перечислим и другие направления (см. также Табл. 1 и второй раздел настоящей работы):

- *гомеостатика* (Горский Ю.М. и его научная школа), исследующая процессы управления противоречиями ради поддержания постоянства процессов, функций, траекторий развития и т.д. [49, 50];

- *неокибернетика* (Соколов Б.В., Юсупов Р.М.) – междисциплинарная наука, ориентированная на разработку методологии поста-

новки и решения проблем анализа и синтеза интеллектуальных процессов и систем управления сложными объектами произвольной природы [157, 158];

– *неокибернетика* (С.М. Крылов) [94];

– *новая кибернетика, посткибернетика* (Г.С. Теслер) – фундаментальная наука об общих законах и моделях информационного взаимодействия и влияния в процессах и явлениях, протекающих в живой, неживой и искусственной природе [162]. Отметим, что за 20 лет до Г.С. Теслера почти такое же определение К.К. Колин дал информатике [85];

– *эвергетика* (В.А. Виттих) – ценностно-ориентированная наука о процессах управления в обществе, объектом которой является ситуация, осознаваемая как проблемная группой неоднородных акторов, имеющих различные точки зрения, интересы и ценностные предпочтения [38]. То есть, эвергетика может быть определена как кибернетика третьего порядка для взаимодействующих субъектов управления. Как справедливо отмечает в своих работах В.А. Виттих, в повседневной жизни общества процессы управления будут реализовываться «тандемом» обыденных и профессиональных управленцев-теоретиков: первые, находясь в конкретной проблемной ситуации в повседневности, приобретают конвенциональные (по А. Пуанкаре) знания о ситуации и определяют направления её урегулирования, а вторые создают методы и средства, необходимые для осуществления их деятельности. Включение в процессы управления в обществе «простых» людей из повседневности – важная тенденция в развитии науки об управлении.

– *субъектно-ориентированное управление в ноосфере* – «Hi-Nume Cybernetics» (В.А. Харитонов, А.О. Алексеев), акцентирующее внимание на субъектности и субъективности управления [171].

Можно предложить понятие «*кибернетики пятого порядка*», как кибернетики четвертого порядка, которая учитывает взаимную рефлексию субъектов управления [136], принимающих согласованные решения, и т.д. Отметим, что все перечисленные в Табл. 1 «кибернетики» носят концептуальный характер, то есть погружены в Кибернетику.

Табл. 1. Различные «кибернетики»

Название	Авторы	Годы
Кибернетика	Wiener N. Ashby W. Beer S.	1948-1950-е
Кибернетика второго порядка	Mead M. Bateson G. Foerster H.	1960-1970-е
Аутопоезис	Maturana H. Varela F.	1970-е
Гомеостатика	Горский Ю.М.	1980-е
Концептуальные кибернетики третьего и четвертого порядков	Kenny V. Mancilla R. Umpleby S.	1990-2010-е
Неокибернетика	Соколов Б.В. Юсупов Р.М.	2000-е
Неокибернетика	Крылов С.М.	2000-е
Кибернетика третьего порядка	Лепский В.Е.	2000-е
Новая кибернетика, посткибернетика	Теслер Г.С.	2000-е
Методология управления	Новиков Д.А.	2000-е
Эвергетика	Виттих В.А.	2010-е
Субъектно-ориентированное управление в ноосфере: Hi- Hume Cybernetics	Харитонов В.А. Алексеев А.О.	2010-е

Наблюдаемое разнообразие подходов, каждый из которых явно или неявно претендует на новый мейнстрим развития классической кибернетики, вполне естественно, так как отражает эволюцию науки кибернетики. Со временем часть из подходов разовьется, часть объединится с другими, часть остановится в своем развитии. Естественно, хотелось бы видеть общую картину, интегрирующую и взаимно позиционирующую все перечисленные подходы или большинство из них (см. заключение).

1.3. Успехи кибернетики и разочарование в ней

Диапазон оценок кибернетики, как профессионалами в ней, так и рядовым обывателем, всегда (по крайней мере, с середины 60-х годов) был и остается чрезвычайно широк – от «кибернетика себя дискредитировала, не оправдав ожиданий, и сегодня не существует» до «кибернетика – это всё»¹⁸. Истина, как всегда посередине.

Сомнения в существовании «сегодня» кибернетики [60] и аргументы в ее защиту (см., например, [144, 157, 158]) начали высказываться, начиная с середины 80-х годов XX века. Приведем ряд цитат:

– «Кибернетика, как научная дисциплина, разумеется, осталась, но исчезли ее претензии на роль некой всеобъемлющей науки управления» [131];

– «Приходится признать, что как научная дисциплина «кибернетика вообще» так и не сложилась». «Трудно найти специалиста, называющего себя кибернетиком.» [147];

- «Сегодня термин «кибернетика» произносится на всех перекрестках по делу и без дела» [114].

Подобные мнения отчасти справедливы. Дело в том, что в середине 40-х годов XX века кибернетика зародилась как наука об «управлении и связи в животном и машине», можно даже сказать – как наука об ОБЩИХ законах управления (см. определения кибернетики и Кибернетики выше и Рис. 10). Триумфальные успехи кибернетики в 50-60-е годы XX века – появление технической, экономической, биологической и других кибернетик, их тесные связи с исследованием операций, математической теорией управления, а также интенсивное внедрение результатов при создании новых и модернизации существующих технических и информационных систем – все это создавало иллюзию универсальности кибернетики и неизбежности дальнейшего столь же быстрого ее прогресса. Но в начале 70-х годов развитие затормозилось, целостный поток разветвился на множество частных и, наконец, «потерялся в деталях»: число научных направлений¹⁹ (см. Рис. 10) росло, каждое из них продолжало развиваться, а общих закономерностей почти не выявля-

¹⁸ То же самое относится к теории систем и системному анализу – см. четвертый раздел.

¹⁹ Именно научных направлений – наук, наборов наук и областей приложений.

лось и не систематизировалось. Другими словами, кибернетика бурно развивалась за счет своих компонент, а Кибернетика – почти нет.



Рис. 10. Состав и структура кибернетики

Относительно Рис. 10 и ему подобных (см. ниже Рис. 19, Рис. 20 и Рис. 55) автор призывает глубокоуважаемого читателя признать, что любые рассуждения о соотношении наук и их разделов очень «эгоцентричны» – любой исследователь поставил бы «в центр» свою, столь близкую его сердцу, науку. Более того, любой ветви науки, любой научной школе свойственно *гиперболизировать* свои достижения и возможности. Подобный субъективизм вполне естественен, поэтому, делая на него поправку, всегда можно представлять себе истинную картину.

Еще один аргумент: со второй половины XX века и до сих пор происходит «экспоненциальный» рост технологических достижений

и такой же рост числа научных публикаций, параллельно с *дифференциацией наук* (Н. Винер писал: «После Лейбница, быть может, уже не было человека, который бы полностью обнимал всю интеллектуальную жизнь своего времени.» [34, с. 43]). Но наблюдается интересный парадокс – начиная, опять же, с середины XX века число ученых растет, число научных статей, журналов и конференций также растет, а научные открытия, «понятные обывателю» почти не появляются. С этой точки зрения можно условно говорить о том, что фундаментальная наука «опередила» технологии, и полученный ею задел сейчас реализуется в новых технологиях. Но отсутствие явного массового «запроса» от технологий к фундаментальной науке не является мотиватором интенсивного развития последней.

В эпоху нарастающей дифференциации наук, кибернетика была ярчайшим (и, к сожалению, одним из последних – модные сейчас «конвергентные науки» – НБИКС: нано, био, информационные, когнитивные науки и гуманитарные социальные технологии - пока еще не полностью реализовали себя в этом смысле) примером синергетического эффекта – успешной попытки интеграции различных наук, поиска их представителями единого языка и общих закономерностей. Действительно, распространенная сейчас *«междисциплинарность»* является, скорее, рекламным зонтичным брендом или реальным «стыком» двух или более наук, а подлинная ***Междисциплинарность*** должна оперировать общими (для нескольких наук) результатами и закономерностями.

В качестве гносеологического отступления отметим, что *диалектическая спираль* «от частного – к обобщениям, от обобщений - к новым частным результатам» характерна для теории любого масштаба – от частного, но целостного, направления исследований²⁰, до полномасштабных научных направлений (см. Рис. 11, заимствованный из [125]). Идеи Н. Винера об общих закономерностях управления и связи в системах различной природы явились результатом

²⁰ Например, удачный метод решения определенного класса задач теории управления в дальнейшем оказывается применим для решения задач в смежных областях (например, связь, производство и др.). Тем самым он, условно говоря, «перемещается» из теории управления в кибернетику. А затем, возможно (в случае применимости к любым системам, удовлетворяющим его исходным предположениям), этот метод становится достоянием прикладной математики – «гаечным ключом», которым могут пользоваться специалисты в самых разных областях.

обобщений некоторых (естественно, не всех!) достижений современных ему теории автоматического управления, теории связи, физиологии и ряда других наук. Появившаяся в результате кибернетика с ключевыми идеями обратной связи, гомеостаза и др. дала толчок для получения новых результатов в управлении, информатике и других науках.

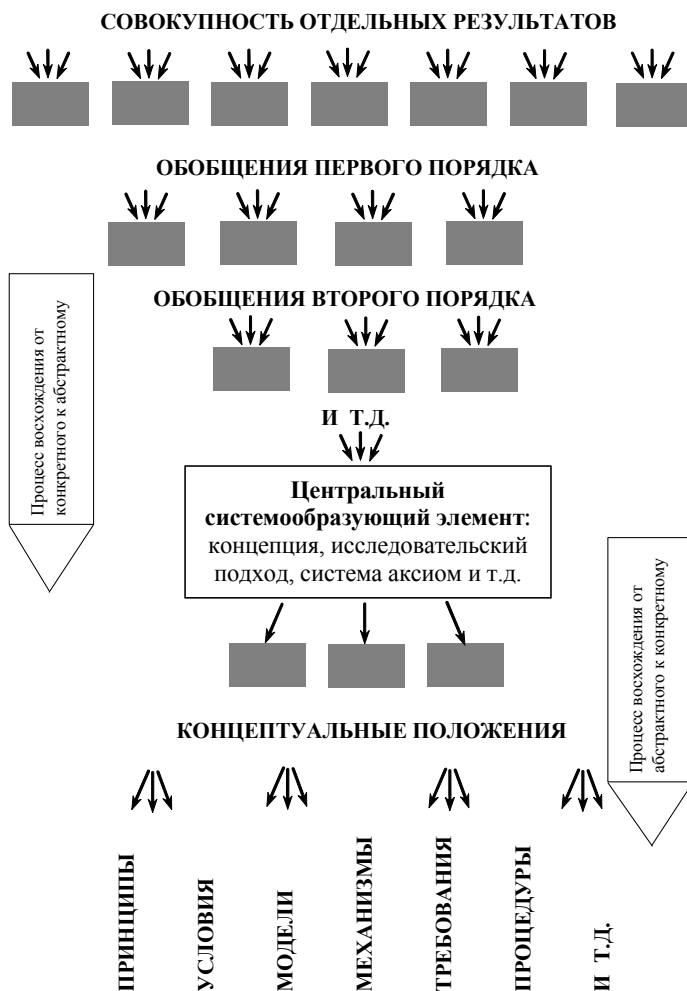


Рис. 11. Логическая структура теории [125]

Итак, после «романтического» периода (см. введение), настал период быстрого получения результатов, который привел к росту ожиданий. Эти ожидания были не всегда профессиональны. Кибернетика стала модной, ее стали популяризировать²¹, и число популяризаторов иногда превышало число профессионалов (справедливости ради, надо признать, что и у профессионалов оправдались далеко не все ожидания). Прав был А.Н. Колмогоров, который писал: «Я не принадлежу к большим энтузиастам всей той литературы по кибернетике, которая сейчас так широко издается, и вижу в ней большое количество, с одной стороны, преувеличений, а с другой – упрощенчества.» [88].

Подобная ситуация, наверное, вообще типична для развития областей науки и научных направлений. Можно привести много примеров неоправдавшихся ожиданий, создаваемых и поддерживаемых дилетантами. Так, например, терминологию вполне успешных и самостоятельных наук нелинейной динамики и синергетики [106, 174, 221, 261, 270] (аттракторы, бифуркации и т.п.) очень любят использовать гуманитарии для создания перед непосвященными научного антуража. Теория нечетких множеств, аппарат искусственных нейронных сетей, подходы генетических алгоритмов и многие другие научные направления в свое время в той или иной степени прошли или проходят сейчас через кризис, возникший в результате краха соответствующих завышенных ожиданий.

Рассмотрим следующие группы субъектов:

- ученые, специализирующиеся собственно на кибернетике;
- ученые – представители смежных (составляющих) наук;
- популяризаторы кибернетики (представители СМИ, или «ученые»-дилетанты, занимающиеся трактовкой чужих результатов²²);

²¹ Первым популяризатором был сам Н. Винер, который впоследствии писал: «Появление книги в мгновение ока превратило меня из ученого-труженика, пользующегося определенным авторитетом в своей специальной области, в нечто вроде фигуры общественного значения. Это было приятно, но имело и свои отрицательные стороны, так как отныне я был вынужден поддерживать деловые отношения с самыми разнообразными научными группами и принимать участие в движении, которое быстро приняло такой размах, что я уже не мог с ним справиться.» [37, с. 288].

²² Такие всегда были, есть и будут в любой, особенно – в интенсивно развивающейся, науке.

– представители власти («политики») и потенциальные потребители прикладных результатов («заказчики») со стороны бизнеса.

Неоправдавшиеся ожидания относительно кибернетики привели к разочарованиям всех этих групп субъектов. Действительно, специалисты по кибернетике, которых спрашивали: «А где результаты?», вполне обоснованно отвечали «Мы работаем как можем, а обещания давали популяризаторы – с них и спрос». Представители смежных наук, испытывая вполне обоснованную «ревность» к кибернетике, могли ответить «У нас все замечательно²³» (действительно, многие «компоненты» кибернетики, такие как теория управления, информатика и др. – см. Рис. 10 – вполне успешны). Популяризаторы редко испытывают угрызения совести²⁴ и всегда могут сказать: «Мы не специалисты, нас ввели в заблуждение». Политики, особенно с учетом отношения к кибернетике в СССР в начале 1950-х годов, чилийских экспериментов команды С. Бира (по внедрению кибернетических идей и подходов в реальную систему управления экономикой) и нереализованных стремлений В.М. Глушкова повсеместно внедрить АСУ в экономике СССР, тоже стали со временем испытывать определенный пессимизм по отношению к кибернетике.

Вроде бы виноватых нет, не удалось что-то, и ладно. На самом деле, не всё так плохо. Во-первых, **кибернетика вполне успешна как интегративная наука**, так как ее составляющие развивались, интенсивно развиваются и будут развиваться, а наличие единого взгляда и целостной картины взаимосвязи целой группы наук, несомненно, необходимо (см. также второй раздел). Рефлексия же относительно разочарований и их причин всегда полезна.

Во-вторых, кибернетику несколько десятилетий рассматривали как «волшебный фонарь», который может освещать и «прояснять правильное устройство» любой предметной области и системно ее организовывать (справедливо отмечал Н.Н. Моисеев, что кибернетика задает «стандарт мышления» [114]). Во многих случаях (технические системы, некоторые результаты в биологии и экономике и т.п.)

²³ На самом деле, за всплесками результатов в теории автоматического управления, статистической теории связи и др. последовал определенный относительный спад (который вполне естественен - см. также Рис. 30).

²⁴ В 1962 году, выступая на заседании Совета ИФИП, представитель СССР А.А. Дородницын предложил внести в будущий глоссарий терминов по процессам обработки информации два термина: «Cybernetics active» и «Cybernetics talkative».

надежды оправдались, и это привело к еще большим ожиданиям. Но любая синтетическая наука, и кибернетика здесь не исключение, является, скорее не «фонарем», а «линзой», позволяющей правильно сфокусировать лучи (научные и прикладные результаты), идущие от «источника света», которым должны выступать конкретные науки (ведь линза сама светить не может – она лишь преобразователь).

Основная *проблема кибернетики* как «линзы» заключается, пожалуй, в том, что кроме отцов-основателей классической кибернетики (Н. Винер, У. Эшби и С. Бир) **мало кто занимался профессионально Кибернетикой** (нового витка существенных обобщений – см. Рис. 11 - не произошло), пытаясь выявлять, формулировать и развивать общие законы (см. раздел 3), несмотря на то, что объем знаний в смежных науках за прошедшие десятилетия вырос на порядки. Более того, междисциплинарность кибернетики (множественность предметов и методов исследования²⁵) свидетельствовала и свидетельствует о ее «размытости», в отличие от Кибернетики, являющейся более цельной и имеющей свой собственный предмет – общие закономерности управления и связи. Поэтому именно на это – **на развитие Кибернетики – необходимо обратить внимание** и сконцентрировать усилия профильным специалистам!

В завершение настоящего раздела вспомним описанный в [125] гносеологический «*принцип неопределенности*»: более «слабые» науки вводят самые минимальные ограничивающие предположения и получают наиболее размытые результаты, «сильные» же науки наоборот – вводят множество ограничивающих предположений, используют специфические научные языки, но и получают более четкие (и, зачастую, более обоснованные) результаты, область применения которых четко ограничена введенными предположениями. Другими словами, текущий уровень развития науки характеризуется определенными совместными ограничениями на «обоснованность» результатов и их области применимости – см. Рис. 12. Иначе говоря, условно скажем, что «произведение» областей применимости и обоснованности результатов не превосходит некоторой константы – увеличение одного «сомножителя» неизбежно приводит к уменьшению другого.

²⁵ В этом смысле «междисциплинарность» может рассматриваться как негативная характеристика.

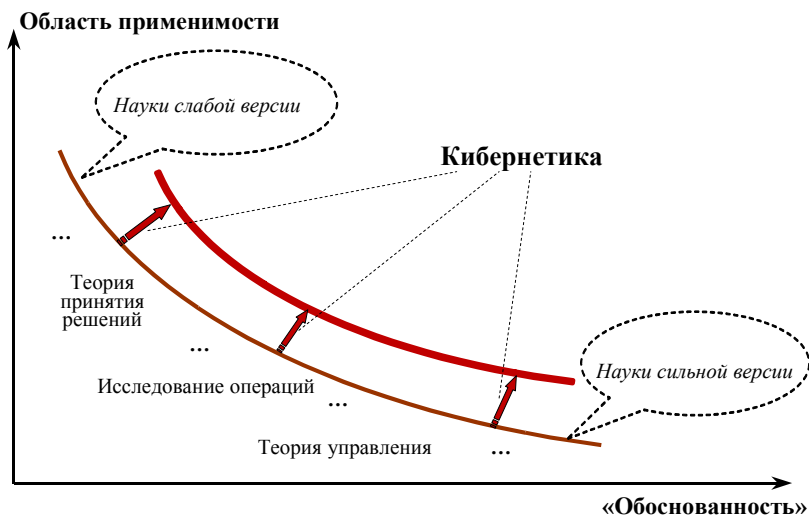


Рис. 12. «Принцип неопределенности»

Но эта закономерность имеет место только для некоторого текущего уровня развития соответствующей науки. Наличие обобщений (и в этом состоит основная роль Кибернетики!) раздвигает горизонты, смещая кривую вправо и вверх (см. Рис. 12), позволяя достичь прогресса по обеим переменным.

2. Кибернетика, философия и методология управления

Как отмечается в [131], специалисты каждой науки, достигшей определенного уровня гносеологической зрелости, осуществляют «рефлексия», формулируя общие законы и закономерности этой отрасли знания, то есть создают соответствующую *метанауку*. С другой стороны, любая «зрелая» наука становится предметом философских исследований. Например, именно таким образом на стыке XIX и XX веков появилась философия физики.

Исследования в области *теории управления*, зародившейся в середине XIX века, привели к созданию в середине XX века своей

метанауки – *кибернетики*, а затем и *системного анализа*. Кибернетика, в свою очередь, очень быстро стала предметом философских исследований – см., например, [10, 20, 61, 67, 71, 78, 79, 123, 150, 151, 165, 169, 192, 210, 242, 276] как самих «отцов» кибернетики, так и профессиональных философов.

Активно развивавшийся на протяжении XX века *менеджмент* – раздел теории управления, изучающий практику управления *организационными системами* (см. обзор в [26, 111, 135]) – породил к началу XXI века «*философию менеджмента*». Именно в это время начали появляться книги и статьи с названиями «Философия управления», «Философия менеджмента» и т.п. (см. ссылки в [131]), причем авторами этих работ являлись, как правило, профессиональные философы. В целом, можно констатировать, что назрела необходимость более четкого взаимного позиционирования философии и управления, методологии и управления, а также анализа общих законов и закономерностей функционирования сложных систем и управления ими [131].

2.1. Философия управления

С исторической точки зрения до определенного периода времени исследование проблем управления (впрочем, как и предметов большинства других современных наук) было прерогативой *философии*. Действительно, по словам Р. Декарта «вся философия подобна дереву, корни которого – метафизика, ствол – физика, а ветви, исходящие из этого ствола – все прочие науки».

Прав Р.А. Мирзоян, считающий, что историко-философский анализ дает основание заключить, что первыми теоретиками управления были именно философы [113]. Конфуций, Лао-Цзы, Сократ, Платон, Аристотель, Н. Макиавелли, Т. Гоббс, И. Кант, Г. Гегель, К. Маркс, М. Вебер, А.А. Богданов – все эти и многие другие философы создали концептуальную основу для появления современной науки управления, для развития и совершенствования управленческой практики.

Рассмотрим Рис. 13 [131], на котором представлены различные связи между категориями *философия* и *управление*, трактуемыми максимально широко, то есть, включая в философию онтологию, гносеологию, логику, аксиологию, этику, эстетику и т.д.; а управле-

ние рассматривая и как науку, и как вид практической деятельности. Ключевыми представляются три затененные на Рис. 13 области.



Рис. 13. Философия и управление

На сегодняшний день конкретные проблемы управления уже перестали быть предметом собственно философского анализа. Действительно, философия (как форма общественного сознания, как учение об общих принципах бытия и познания, об отношении человека к миру, как наука о всеобщих законах развития природы, общества и мышления) изучает ОБЩИЕ проблемы и закономерности, выделенные специалистами тех или иных конкретных наук.

Как считает В.С. Диев, философия управления – «система обобщающих суждений философского характера о предмете и методах управления, месте управления среди других наук и в системе научного знания в целом, его познавательной и социальной роли в современном обществе» [61, с. 36]. По мнению А.Г. Бутковского филосо-

фия – «наука о смысле всякой реальности (сущности)» [29, с. 5]. То есть, «философия управления» может определяться как наука о смысле управления.

Можно определять *философию управления* как раздел философии, связанный с осмыслением, интерпретацией управленческих процессов и управленческого познания; исследующий сущность и значение управления [131]. Это значение термина «философия управления» (см. верхнюю половину Рис. 13, обведенную пунктирной линией) имеет свою богатую внутреннюю структуру и включает гносеологические исследования науки об управлении, изучение логических, онтологических, этических и других оснований, как науки об управлении, так и управленческой практики.

Кибернетика (с большой буквы, исследующая наиболее общие теоретические закономерности). Как отмечает В.С. Диев, «... для большинства академических дисциплин существует круг вопросов, которые относят к их основаниям и традиционно обозначают как философию соответствующей науки, управление не является исключением в этом ряду» [61, с. 36]. В основания науки об управлении входят в т.ч. и общие закономерности и принципы эффективного управления, являющиеся предметом исследований в кибернетике (см. третий раздел).

В 70-е-90-е годы XX века, на фоне первых разочарований (см. выше) носителями канонических кибернетических традиций оставались, как ни странно, философы, а специалисты по теории управления отчасти утратили веру в могущество кибернетики.

Но так продолжаться до бесконечности не может. С одной стороны, философам жизненно необходимы знания о предмете, причем знания уже обобщенные. Действительно, как отмечает В.В. Ильин, «Философия есть рефлексия второго порядка; она является теоретизацией иных способов духовного производства. Эмпирический базис философии – специфические отражения различных типов сознания; философия тематизирует не в себе и саму по себе реальность, а обработки и проработки реальности в образных и категориально-логических формах» [71].

С другой стороны, специалистам по теории управления необходимо «за деревьями видеть лес». Поэтому можно выдвинуть гипотезу, что **Кибернетика должна и будет играть роль «философии» управления** (употребление кавычек существенно), исследующей

наиболее общие его закономерности. При этом основной акцент должен делаться на конструктивное развитие и взаимодействие с философией управления, то есть формирование содержания за счет получения конкретных (быть может, сначала – частных, а уже потом – более общих) результатов. Процесс рефлексии можно продолжить, рассматривая *философию кибернетики*, и т.д.

В [131] проведен краткий анализ соотношений философии управления (как раздела философии, исследующего общие проблемы теории и практики управления), Кибернетики (как раздела науки об управлении, обобщающего методы и результаты решения теоретических задач управления) и «философии» менеджмента (как раздела науки об управлении, обобщающего опыт успешной практической управленческой деятельности) – см. Рис. 14.



Рис. 14. Философия управления, Кибернетика и «философия» менеджмента

2.2. Методология управления

Методология – это учение об организации деятельности [124, 125]. Соответственно, предмет методологии – организация деятельности (*деятельность* – целенаправленная активность человека).

Управленческая деятельность является одним из видов практической деятельности. *Методология управления* является учением об организации управленческой деятельности, то есть деятельности субъекта управления (в случае, когда управляемая система включает человека, управленческая деятельность является *деятельностью по организации деятельности*) [131]. Теория управления акцентирует свое внимание, в основном, на взаимодействии субъекта и «объекта» управления (в роли последнего может выступать другой субъект) – см. Рис. 15, в то время как методология управления исследует деятельность субъекта управления и, следовательно, должна включаться в рамки Кибернетики.

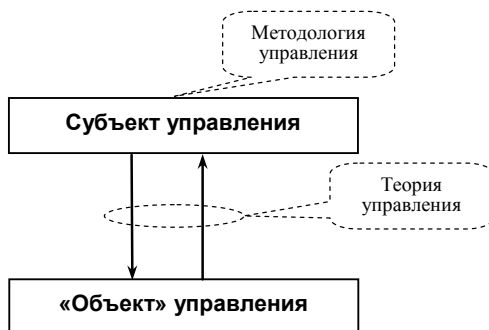


Рис. 15. Методология управления и наука об управлении

Развитие методологии управления позволило сформулировать *структуру управленческой деятельности* (см. Рис. 16) и выделить структурные компоненты теории управления [131].

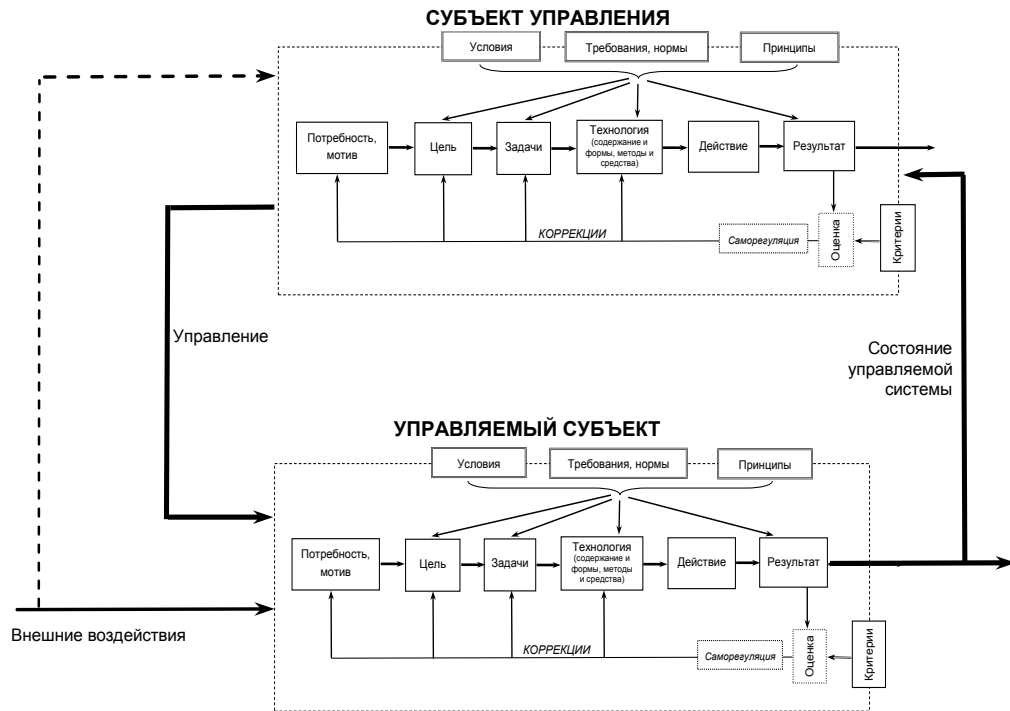


Рис. 16. Структура управленческой деятельности

Теорией называется форма организации научного знания о некоторой совокупности объектов, представляющая собой систему взаимосвязанных утверждений и доказательств и содержащая методы объяснения и предсказания явлений и процессов данной *предметной области*, то есть всех явлений и процессов, описываемых данной теорией. Любая научная теория состоит, во-первых, из взаимосвязанных структурных компонентов. Во-вторых, любая теория имеет в своем исходном базисе центральный системообразующий элемент [125].

В [131] показано, что центральным системообразующим элементом теории управления (социальными, организационными и др. системами междисциплинарной природы) является категория *организации*, так как управление – процесс организации, в результате которого в управляемой системе появляется организация как свойство (см. также заключение).

Структурными *компонентами теории* управления (см. Рис. 17) являются подробно рассмотренные в [131]:



Рис. 17. Компоненты теории управления

- задачи управления;
- структура управленческой деятельности;
- условия управления;

- типы управления;
- предметы управления;
- виды (методы) управления;
- формы управления;
- средства управления;
- функции управления;
- факторы, влияющие на эффективность управления;
- принципы управления;
- механизмы управления.

Основания методологии управления, характеристики управленческой деятельности, ее логическая и временная структура, а также *структура теории управления* (как совокупность устойчивых связей между ее компонентами) рассмотрены в [131, 254].

3. Законы, закономерности и принципы управления

Важным предметом Кибернетики являются общие законы, закономерности и принципы функционирования сложных систем и управления ими.

Законы, закономерности и принципы. *Принцип*, в соответствии с [126]:

1. Основное, исходное положение какой-либо теории, учения; руководящая идея, основное правило деятельности;
2. Внутреннее убеждение, взгляд на вещи, определяющие нормы поведения;
3. Основа устройства, действия какого-либо механизма, прибора, установки.

Мы будем использовать термин «принцип» в первом его значении, понимая под *принципами управления* основные положения и правила; или в третьем значении – как принцип (основу устройства) системы.

Закономерность – устойчиво действующие причинно-следственные связи явлений и процессов.

Закон – необходимое, существенное, устойчивое, повторяющееся отношение между явлениями.

Закономерности (в отличие от законов) не носят обязательного характера, принципы же можно трактовать как или жесткие императивы или как желательные свойства.

Существует *иерархия законов и принципов* (см. Рис. 18): наиболее общими являются философские законы; более «частными»

являются логические и другие общенаучные законы и принципы (в т.ч. познания и практической деятельности – см. [124, 125]); далее следуют законы, закономерности и принципы конкретных наук (с одной стороны, теория управления как наука имеет свои законы и принципы, с другой стороны она использует законы и принципы других наук, относящиеся к объекту управления).

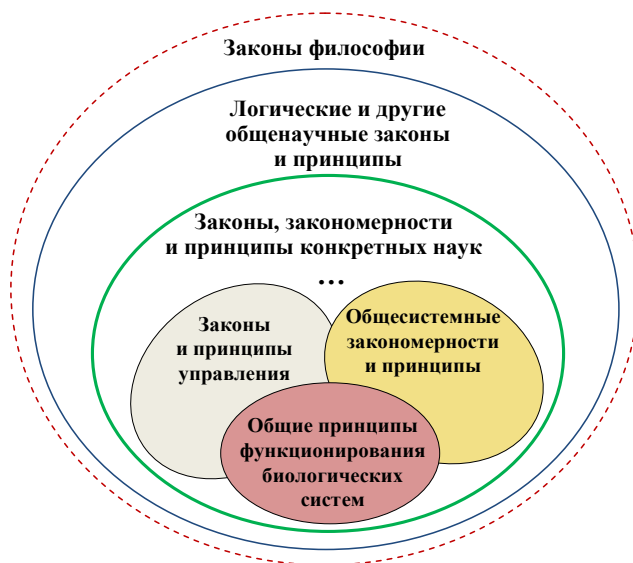


Рис. 18. Иерархия законов, закономерностей и принципов

Возникает закономерный вопрос, какие существуют общие законы управления? Общеизвестный ответ на этот вопрос сегодня не известен.

Во-первых, дело в том, что следует разделять два устоявшихся значения термина «закон управления». Первое (общее) значение приведено выше. Второе (узкое) значение: закон управления – зависимость (или класс зависимостей) управляющих воздействий от информации о состоянии управляемой системы и целей управления. Такого рода законов известно множество – пропорциональный, пропорционально-интегральный или управление по отклонению, управление по возмущению и др. законы управления. Но нас интересует первое – общее – значение этого термина.

Во-вторых, казалось бы, многие закономерности, известные в науке об управлении, не являются законами управления в общем

смысле этого термина. Так, например, такой распространенный в управлении «закон», как закон обратной связи, не является универсальным – существует программное управление и другие виды управлений, не использующие непосредственную информацию о текущих состояниях управляемой системы. Поэтому, его, скорее следовало бы назвать «принципом обратной связи».

В-третьих, встречающиеся в литературе «законы управления» (наличие цели, обратной связи и т.п.) являются, скорее не законами²⁶, а закономерностями или принципами (см. ниже). Приведем наиболее часто встречающиеся из них.

ОБЩИЕ ЗАКОНЫ УПРАВЛЕНИЯ (иногда их условно называют закономерностями):

1) *Закон целенаправленности* (у любого управления есть *цель*);

2) *Закон необходимого разнообразия* (иногда его называют *принципом адекватности*; сформулирован У. Эшби [179]) – разнообразие²⁷ регулятора должно быть адекватно разнообразию объекта²⁸ управления. В [193] разнообразие рассматривалось как сложность, и закон необходимого разнообразия был сформулирован как *закон необходимой сложности*. Сам Эшби считал, что «всякий закон природы есть ограничение разнообразия» [181, с. 183].

3) *Закон эмерджентности* (синергии) – основной закон теории систем – часть больше, чем целое (Аристотель); свойства системы не сводятся к «сумме» свойств ее элементов. У. Эшби, выражает следующее важное свойство сложной системы: «Чем больше система и чем больше различия в размерах между частью и целым, тем выше вероятность того, что свойства целого могут сильно отличаться от свойств частей».

4) *Закон (принцип) внешнего дополнения* сформулирован С. Биром (т.н. «третий принцип кибернетики»): любая система управления нуждается в «черном ящике» – определенных резервах, с помощью которых компенсируются неучтенные воздействия

²⁶ Бытует и такое мнение: математика, как язык, не имеет своих законов (в отличие, например, от естественных наук), так и теория управления как общий язык описания процессов управления не имеет своих законов, пока не конкретизирован класс объектов управления.

²⁷ Количественная характеристика системы, равная числу ее возможных состояний или логарифму этого числа.

²⁸ Закон необходимого разнообразия следовало бы уточнить - разнообразие регулятора должно быть адекватно разнообразию ПРЕДМЕТА УПРАВЛЕНИЯ, отражающего целевые аспекты объекта управления. Действительно, если субъектом управления является человек, то сложно представить себе «регулятор» с большим разнообразием.

внешней и внутренней среды (отметим, что эта идея лежит в основе робастного управления).

5) *Закон (принцип) обратной связи* (причинно-следственных связей – см. ниже).

6) *Закон оптимальности* – управление должно быть «наилучшим» с точки зрения достижения цели при имеющихся ограничениях²⁹. Как писал Леонард Эйлер: «Бог так устроил Природу, что в ней нет ничего такого, в чём бы не был виден смысл какого-нибудь максимума или минимума». С другой стороны Ю.Б. Гермейер считал, что, наблюдая некоторое поведение системы, апостериори всегда можно сконструировать функционал, который экстремизируется именно этим поведением [46]. Закон оптимальности не означает, что все без исключения реальные системы оптимальны, то есть обладают максимальной эффективностью; он носит, скорее, нормативный характер для тех, кто проектирует искусственные системы и/или синтезирует законы управления.

Достаточно часто к перечисленным добавляют принципы: причинности, декомпозиции (анализа), агрегирования (синтеза), иерархичности, гомеостаза, последовательности (прежде чем синтезировать управление, рассмотрите проблемы наблюдаемости, идентифицируемости, управляемости (включая устойчивость) и адаптируемости) и др.

Свои наборы законов, закономерностей и принципов кибернетики, управления, развития предлагали многие авторы (см., например, [148, 149, 223] и обзор в [131]).

Во-первых, многие из приводимых в литературе принципов спорны, так как являются примерами неадаптированного необоснованного переноса и/или «обобщения результатов». Например,

²⁹ Оптимизация заключается в том, чтобы среди множества возможных вариантов найти наилучшие в заданных условиях, при заданных ограничениях, то есть оптимальные альтернативы. В этой фразе важное значение имеет каждое слово. «Наилучшие» предполагают наличие критерия (или ряд критериев), способа (способов) сравнения вариантов. При этом важно учесть имеющиеся условия, ограничения, так как их изменение может привести к тому, что при одном и том же критерии (критериях) наилучшими окажутся другие варианты. Понятие оптимальности получило строгое и точное представление в различных математических теориях, прочно вошло в практику проектирования и эксплуатации технических систем, сыграло важную роль в формировании современных системных представлений, широко используется в административной и общественной практике, стало известным практически каждому человеку. Это и понятно: стремление к повышению эффективности любой целенаправленной деятельности как бы нашло свое выражение, свою ясную и понятную форму в идее оптимизации.

В. Парето установил эмпирически, что 20 % населения владеют 80 % капиталов [257]. Сейчас «*принцип Парето*» («принцип 80/20» или «пивной закон»³⁰) безо всякого обоснования формулируют как универсальный закон природы:

– 80 % стоимости запасов на складе составляет 20 % номенклатуры этих запасов;

– 80 % прибыли от продаж приносят 20 % покупателей;

– 20 % усилий приносят 80 % результата;

– 80 % проблем обусловлены 20 % причин;

– за 20 % рабочего времени работники выполняют 80 % работы;

– 80 % работы выполняют 20 % работников и т.д.

Или другой пример – «*принцип гармоничности*», когда из установленных Леонардо да Винчи пропорций (т.н. золотого сечения) и соответствующих свойств последовательности Фибоначчи, делается вывод, что рациональное соотношение всех величин (численностей персонала, зарплат, статей бюджета и др.) должно удовлетворять этой пропорции.

Понятно, что относиться к подобным «принципам» и их апологетам можно только с улыбкой – к науке ни те, ни другие не имеют никакого отношения.

Во-вторых, ни у одного из исследователей (!) нет *основания перечисления* предлагаемых им принципов или законов, что свидетельствует об их возможной неуниверсальности, а также о неполноте перечисления, ее слабой обоснованности, возможной внутренней противоречивости и т.д.

В-третьих, список законов, закономерностей и принципов необходимо наращивать и систематизировать.

В качестве иллюстрации приведем несколько «авторских» наборов принципов/законов управления/функционирования сложных систем.

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ [227, с. 60 – 67]:

1) *Принцип реакции* (the principle of reaction) – в качестве реакции на внешнее воздействие в системе усиливаются процессы, направленные на его компенсацию (принцип Ле Шателье – Брауна, заимствованный из физики и химии).

2) *Принцип связности* (the principle of system cohesion) – форма системы поддерживается балансом, статическим или динамическим,

³⁰ 20 процентов людей выпивают 80 процентов пива.

между связывающими и рассеивающими воздействиями. Аналогично поддерживается форма нескольких взаимодействующих систем.

3) *Принцип адаптации* (the principle of adaptation) – для устойчивого существования системы средний темп ее адаптации должен равняться или превосходить средний темп изменения окружающей среды.

4) *Принцип связанного разнообразия* (the principle of connected variety) – устойчивость взаимосвязанных систем растет с увеличением разнообразия и степенью связанности этого разнообразия с окружающей средой.

5) *Принцип ограниченного разнообразия* (the principle of limited variety) – разнообразие во взаимодействующих системах ограничено имеющимся пространством и минимальной степенью дифференциации.

6) *Принцип предпочитаемой формы* (the principle of preferred pattern) – вероятность того, что взаимодействующие системы окажутся в локально устойчивой конфигурации, растет с увеличением как разнообразия, так и связанности систем.

7) *Принцип цикличности прогресса* (the principle of cyclic progression) – взаимодействующие системы под влиянием внешнего источника энергии будут стремиться к циклическому прогрессу, в котором периодически генерируется и исчезает разнообразие системы.

В [129] отмечается, что большинство известных принципов и законов функционирования сложных (в первую очередь – биологических) систем носит именно характер закономерностей или гипотез. Для иллюстрации этого утверждения перечислим согласно [129] **ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**³¹ (см. также обзоры в [8, 129]), которые также являются предметом Кибернетики.

1. **Принцип наименьшего действия.** Когда в природе происходит некоторое изменение, количество действия, необходимое для этого изменения, является наименьшим возможным (фактически, совпадает с законом оптимальности, известен и широко используется в физике – конец 18-го начало 19-го вв.).

2. **Закон устойчивого неравновесия** (Э.С. Бауэр, 1935). Все живые и только живые системы никогда не бывают в равновесии и исполняют за счет свободной энергии постоянную работу против

³¹ Интересно, что подавляющее большинство этих принципов были сформулированы в 40-60-е годы XX века.

равновесия, требуемого законами физики и химии при соответствующих внешних условиях [15, с. 43] (см. также принцип реакции).

3. Принцип наипростейшей конструкции (Н. Рашевский, 1943). Та конкретная структура или конструкция живой системы, которую мы действительно находим в природе, является простейшей из возможных структур или конструкций, способных выполнять данную функцию или структуру функций [263].

4. Принцип обратной связи (см. также *принцип функциональной системы* П.К. Анохина [6]). Здесь же уместно упомянуть *принцип опережающего отражения действительности* – сложная адаптивная система реагирует не на внешнее воздействие в целом, а по «первому звену много раз повторявшегося последовательного ряда внешних воздействий» [5].

Практические реализации принципа обратной связи имеют очень продолжительную историю – от ряда механизмов в Египте 2-3 вв. до н.э. (водяные часы Хсибиоса), до, по-видимому, первого использования обратной связи в термостате Корнелиусом Дреббелем (1572 – 1633), регуляторов И. Ползунова (1765) и Д. Уатта (1781), первой системы программного управления ткацким станком Ж. Жаккара (1804 – 1808 гг.).

Первые фундаментальные работы по математической теории управления – Д.К. Максвелл [243] и И.А. Вышнеградский [44]³². Первое систематическое (в электротехнике оно исследовалось и в 20-е годы XX века) общее рассмотрение обратной связи – П.К. Анохин (1935) [4], затем (1943) – Розенблюм А., Винер Н. и Бигелу Д. [265]; окончательная формулировка – Винер Н. (1948) [34].

5. Принцип наименьшего взаимодействия (И.М. Гельфанд, М.Л. Цетлин, 1962 [45]). Нервные центры стремятся достичь такой ситуации, при которой афферентация (от латинского *afferentis* – «приносящий», то есть информационные и управляющие потоки и сигналы, передаваемые в центральной нервной системе) будет наименьшей. Или, другими словами, система целесообразно работает в некоторой внешней среде, если она стремится минимизировать взаимодействие со средой [173].

6. Принцип вероятностного функционирования мозга (А.Б. Коган, 1964 [81, 82]). Каждый из нейронов не имеет самостоятельной функции, то есть априори не является ответственным за

³² Первый учебный курс «Теория регуляторов прямого действия» был опубликован в России в 1838 г. Д.С. Чижовым.

решение конкретной задачи, распределение которых происходит достаточно случайным образом.

7. Принцип иерархической организации, в частности – обработки информации мозгом (Н.М. Амосов, Н.А. Бернштейн, Г. Уолтер, У.Р. Эшби [2, 16, 168, 182]). Достижение полной цели равноценно достижению совокупности подцелей.

8. Принцип адекватности (У.Р. Эшби, 1956 [179], Ю.Г. Антомонов [8] и др.). Сложность управляющей системы (динамика ее изменений) должна быть адекватна сложности (скорости изменения) управляемых процессов. Иными словами, «пропускная способность» регулятора устанавливает абсолютный предел управления, как бы не были велики возможности управляемой системы (см. закон необходимого разнообразия выше).

9. Принцип вероятностного прогнозирования при построении действий (Н.А. Бернштейн, 1966) [16]. Мир отражается в форме двух моделей – *модель потребного будущего* (вероятностное прогнозирование на основе предшествующего накопленного опыта) и модель свершившегося (однозначно отражает наблюдаемую действительность). Такому подходу вполне соответствует следующее определение обучения: «Обучение системы заключается в том, что она в соответствии с прежними успехами и неудачами (опыт) улучшает внутреннюю модель внешнего мира» [177, с. 228].

10. Принцип отбора нужных степеней свободы (Н.А. Бернштейн, 1966). В начале обучения задействуется большее число степеней свободы обучаемой системы, чем это необходимо для достижения целей обучения [16]. В процессе обучения число «участвующих» переменных уменьшается – «отключаются» несущественные переменные (ср. с явлениями генерализации и концентрации нервных процессов – И.П. Павлов, А.А. Ухтомский, П.В. Симонов и др.).

11. Принцип необходимости разрушения детерминизма (Ферстер Г., Ю.Г. Антомонов [7, 8, 72, 211] и др., 1966). Для достижения качественно нового состояния и повышения уровня организации системы необходимо разрушить (перестроить) существующую, сформированную в предшествующем опыте, детерминированную структуру связей элементов системы.

12. Принцип необходимого разнообразия (У.Р. Эшби, 1956). Этот принцип (см. выше) достаточно близок по смыслу к принципу адекватности [179].

13. Принцип естественного отбора (С.М. Данков, 1953). В системах, ставших эффективными в результате естественного отбо-

ра, разнообразие механизмов и пропускная способность каналов передачи информации не будет значительно превышать минимально необходимое для этого значение [205].

14. Принцип детерминистского представления (Ю. Козелецкий, 1979 и др.). При моделировании принятия решений индивидуумом допускается, что его представления о действительности не содержат случайных переменных и неопределенных факторов (последствия принимаемых решений зависят от строго определенных правил) [83].

15. Принцип дополнительности (несовместимости) (Н. Бор, 1927; Л.А. Заде, 1973). Высокая точность описания некоторой системы несовместима с ее большой сложностью [68]. Иногда этот принцип понимается более упрощенно – реальная сложность системы и точность ее описания при анализе в первом приближении обратно пропорциональны.

16. Принцип монотонности («не упускать достигнутого» У.Р. Эшби, 1952). В процессах обучения, самоорганизации, адаптации и т.д. система в среднем не удаляется от уже достигнутого (текущего) положительного результата (положения равновесия, цели обучения и т.д.) [179, 182].

17. Принцип естественных технологий биологических систем (А.М. Уголев, 1967 [166]). *Принцип блочности* – в основе физиологических функций, а также их эволюции лежит комбинирование универсальных функциональных блоков, реализующих различные элементарные функции и операции.

На первый взгляд, приведенные принципы функционирования биосистем можно условно разделить по подходам на естественнонаучные подходы, например – №№ 1, 2, 5, 8, 15, эмпирические подходы, например – №№ 4, 6, 10, 11, 14, 16, 17 и интуитивные подходы, например – №№ 3, 7, 9, 12, 13.

Естественнонаучные подходы («законы») отражают общие закономерности, ограничения и возможности биосистем, накладываемые законами природы. Эмпирические принципы, как правило, формулируются на основе анализа экспериментальных данных, результатов опытов и наблюдений, и носят более локальный характер, чем естественнонаучные. Наконец, интуитивные законы и принципы (которые по идее не должны противоречить естественнонаучным и быть согласованными с эмпирическими) носят наименее формальный и универсальный характер, основываясь на интуитивных представлениях и здравом смысле.

На самом деле, при более детальном рассмотрении видно, что все приведенные выше «естественнонаучные» принципы являются скорее эмпирическими и/или интуитивными. Например, принцип наименьшего действия, являющийся, казалось бы, классическим физическим законом, формулируется для механических систем (существуют его аналоги в оптике и других разделах физики). Его неадаптированное использование при изучении биологических и других систем, вообще говоря, не совсем корректно и не совсем обоснованно. То есть утверждение, что биосистемы удовлетворяют принципу наименьшего действия – всего лишь гипотеза, вводимая исследователями и не всегда подкрепленная на сегодняшний день корректными обоснованиями.

Таким образом, известные принципы (и законы) функционирования биосистем укладываются в одну из следующих формулировок: закономерность – «если система обладает таким-то (определенным) внутренним устройством, то она ведет себя таким-то (определенным) образом» или: гипотеза – «если система ведет себя таким-то (определенным) образом, то она, скорее всего, обладает такими-то (определенным) внутренним устройством». Добавление – «скорее всего» существенно: первый тип утверждений устанавливает достаточные условия для реализации наблюдаемого поведения и может быть частично или полностью подтвержден экспериментально; утверждения второго типа носят характер гипотез – «необходимых» условий (в большинстве случаев гипотетических и недоказанных и выполняющих объяснительную функцию), накладываемых на структуру и свойства системы, исходя из наблюдаемого ее поведения.

Частные законы и принципы. Следует отметить, что в рамках различных разделов теории управления формулируются отдельные законы и принципы, справедливые в рамках соответствующих предположений. Приведем несколько примеров.

В [170] приведен ряд *законов кибернетической физики*:

– Значение любого управляемого инварианта свободной системы можно изменить на произвольную величину при помощи сколь угодно малой обратной связи;

– Для управляемой лагранжевой или гамильтоновой системы с малой диссипацией степени ρ уровень энергии, достижимой при помощи управления уровня γ имеет порядок $(\gamma/\rho)^2$;

– Каждая управляемая хаотическая траектория может быть преобразована в периодическую при помощи сколь угодно малого управления.

В [135] приведен ряд *принципов теории управления организационными системами*:

– Принцип декомпозиции игры агентов (или периодов функционирования) – использование управляющим органом (*центром*) управлений, при которых существует равновесие в доминантных стратегиях игры агентов (соответственно, при которых выбор агентов в текущем периоде не зависит от истории игры);

– Принцип доверия (*принцип открытого управления* [27, 201] – аналогом является Revelation Principle [248]) – агент доверяет информации, сообщенной ему управляющим органом, а центр принимает решения, считая сообщенную агентами информацию истинной;

– Принцип достаточной рефлексии – глубина рефлексии агента определяется его информированностью.

Понятно, что приведенные и им подобные законы и принципы, являясь мощными и общими результатами отдельных разделов теории управления, не носят универсального характера – например, неприменимы или ограничено применимы в «смежных» разделах.

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ³³. Подробному рассмотрению приводимых ниже согласно [131] принципов управления посвящена работа [134], где их изложение иллюстрируется примерами управления образовательными системами.

Принцип 1 (иерархии). Система управления имеет, как правило, иерархическую структуру. Она должна соответствовать функциональной структуре управляемой системы и не должна противоречить иерархии смежных (по горизонтали и вертикали) систем. Задачи и ресурсы, обеспечивающие деятельность управляемой системы, должны быть декомпозированы в соответствии со структурой последней.

Принцип 2 (унификации). Управляемые и управляющие системы и подсистемы всех уровней должны описываться и рассматриваться в рамках единых принципов (как с точки зрения параметров их моделей, так и с точки зрения критериев эффективности функционирования), не исключаящих, впрочем, необходимости учета специфики каждой конкретной системы. Большинство реальных управленческих ситуаций может быть сведено к набору так назы-

³³ Конечно, в идеале было бы потребовать, чтобы все принципы выглядели не как требования к системам управления (о чем говорят обороты «должна», «необходимо, чтобы» и т.д.), которые могут выполняться или не выполняться, а как жесткое требование: если принцип не выполняется, то система неспособна управлять. Но, к сожалению таких «жестких» принципов (за исключением допустимости управления), пожалуй, не известно.

ваемых типовых, в которых оптимальны соответствующие *типовые решения*.

С другой стороны, управление неизбежно порождает *специализацию* (ограничение разнообразия) как субъектов управления, так и управляемых субъектов.

Принцип 3 (целенаправленности). Любое воздействие системы управления на управляемую систему должно быть целенаправленным.

Принцип 4 (открытости). Функционирование системы управления должно быть открытым для информации, инноваций и т.д.

Принцип 5 (эффективности). Система управления должна реализовывать наиболее эффективные из допустимых управляющих воздействий (см. также принцип экстремизации).

Принцип 6 (ответственности). Система управления несет ответственность за принимаемые решения и за эффективность функционирования управляемой системы.

Принцип 7 (невмешательства). Вмешательство управляющего органа любого уровня происходит в том и только в том случае, когда непосредственно подчиненные ему элементы не обеспечивают (в настоящее время и/или с учетом прогноза) реализации комплекса необходимых функций.

Принцип 8 (общественно-государственного управления, соучастия). Управление социальной системой должно быть нацелено на максимальное вовлечение всех заинтересованных субъектов (общество, органы государственной власти, физические и юридические лица) в совершенствование функционирования управляемой системы и самой системы управления.

Принцип 9 (развития). Одним из управляющих воздействий является изменение самой системы управления (которое, будучи индуцированным изнутри, может рассматриваться как саморазвитие). То же касается и развития управляемой системы.

Принцип 10 (полноты и прогнозирования). Предлагаемый набор управляющих воздействий должен в заданном диапазоне внешних условий обеспечивать достижение поставленных целей (требование полноты) оптимальным (и/или допустимым) способом с учетом возможных реакций управляемой системы на те или иные управляющие воздействия в прогнозируемых внешних условиях.

Принцип 11 (регламентации и ресурсного обеспечения управленческой деятельности). Управленческая деятельность должна быть регламентирована (стандартизована) и соответствовать ограничениям, установленным метасистемой (системой более высокого

уровня иерархии). Любое управленческое решение должно быть допустимым, в том числе – с точки зрения обеспеченности требуемыми ресурсами.

Принцип 12 (обратной связи). Для эффективного управления, как правило, необходима информация о состоянии управляемой системы и условиях ее функционирования, причем реализация любого управляющего воздействия и ее последствия должны отслеживаться, контролироваться субъектом управления.

Принцип 13 (адекватности). Система управления (ее структура, сложность, функции и т.д.) должна быть адекватна структуре (соответственно, сложности, функциям и т.д.) управляемой системы. Задачи, которые стоят перед управляемой системой, должны быть адекватны ее возможностям.

Принцип 14 (оперативности). Данный принцип требует, чтобы при управлении в режиме реального времени информация, необходимая для принятия решений, поступала вовремя, сами управленческие решения принимались и реализовывались оперативно в соответствии с изменениями управляемой системы и внешних условий ее функционирования. Другими словами, характерное время выработки и реализации управленческих решений не должно превышать характерное время изменений управляемой системы (то есть система управления должна быть адекватна управляемым процессам в смысле скорости их изменений).

Принцип 15 (опережающего отражения) – сложная адаптивная система прогнозирует возможные изменения существенных внешних параметров. Следовательно, при выработке управляющих воздействий необходимо предсказывать и упреждать такие изменения.

Принцип 16 (адаптивности). Если принцип опережающего отражения выражает необходимость прогнозирования состояния управляемой системы и соответствующих действий управляющего органа, то принцип адаптивности утверждает, что, во-первых, при принятии управленческих решений необходимо учитывать имеющуюся информацию об истории функционирования управляемой системы, а, во-вторых, однажды принятые решения (и даже принципы их принятия) должны периодически (см. принцип оперативности) пересматриваться в соответствии с изменениями состояния управляемой системы и условий ее функционирования.

Принцип 17 (рациональной централизации) утверждает, что в любой сложной многоуровневой системе существует рациональный уровень централизации управления, полномочий, ответственности,

информированности, ресурсов и т.д. Рациональная централизация, в том числе, подразумевает адекватную декомпозицию и агрегирование целей, задач, функций, ресурсов и т.д.

В [132] выделены качественно новые (присущие многоуровневым системам по сравнению с двухуровневыми) эффекты, отражающие влияние на эффективность управления следующих факторов:

- *фактор агрегирования*, заключающийся в агрегировании (т.е. «свертывании», «сжатию» и т.д.) информации об элементах системы, подсистемах, окружающей среде и т.д. по мере роста уровня иерархии;

- *экономический фактор*, заключающийся в изменении финансовых, материальных и др. ресурсов системы при изменении состава участников системы (управляемых субъектов, промежуточных управляющих органов и т.д.), обладающих собственными интересами;

- *фактор неопределенности*, заключающийся в изменении информированности участников системы о существенных внутренних и внешних параметрах функционирования;

- *организационный фактор*, заключающийся в изменении отношения власти, то есть возможности одних участников системы устанавливать «правила игры» для других участников;

- *информационный фактор*, заключающийся в изменении информационной нагрузки на участников системы.

«Фактически всякая сложная система, как возникшая естественно, так и созданная человеком, может считаться организованной, только если она основана на некоей иерархии или переплетении нескольких иерархий. Во всяком случае, до сих пор мы не знаем организованных систем, устроенных иначе» [164, с. 39].

Принцип 18 (демократического управления). Иногда его называют принципом *анонимности*. Этот принцип, имеющий ограниченную применимость, заключается в обеспечении равных условий и возможностей для всех участников управляемой социальной системы без какой-либо их априорной дискриминации в получении информационных, материальных, финансовых и других ресурсов.

Принцип 19 (согласованности). Это принцип отражает требование того, что управляющие воздействия в рамках существующих институциональных ограничений должны быть максимально согласованы с интересами и предпочтениями управляемых субъектов.

Принцип 20 (*этичности, гуманизма*) – при принятии управленческих решений учет существующих в обществе, организации и т.д. этических норм имеет приоритет перед другими критериями.

Отметим, что перечисленные принципы управления в большинстве своем универсальны для систем любой природы (исключение составляют, пожалуй, принципы соучастия, демократического управления, анонимности и согласованности, которые вряд ли имеют смысл при управлении техническими системами).

Таким образом, общие законы и принципы управления – это предмет Кибернетики, их список далеко не канонизирован, и его пополнение и систематизация – одна из основных задач Кибернетики!

4. Теория систем и системный анализ. Системная инженерия

Содержание кибернетики неразрывно связано (причем, как логически, так и исторически) с категорией «система» (см. приложение), и здесь ключевыми являются два термина – системный подход и системный анализ.

С точки зрения истории, «системный анализ» (как анализ систем – Systems Analysis) появился (первые употребления этого термина – в отчетах RAND Corporation в 1948 (!) году; первая книга-отчет – [232]) в рамках *общей теории систем* (ОТС, GST – General Systems Theory), основателем которой является биолог Людвиг фон Берталанфи, предложивший в 30-е годы XX века концепцию *открытой системы* [195] (первые комплексные публикации собственно по ОТС – [17, 194]), см. также [72, 196, 262] и предисловие С.П. Никанорова к русскоязычному переводу книги С. Оптнера [139].

В дальнейшем судьба системного анализа в СССР (а затем – в России) и за рубежом была различной. Начнем с того, что различались (и различаются сейчас) трактовки этого термина. Начнем с традиций русскоязычной научной литературы.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД – направление методологии научного познания и общественной практики, в основе которого лежит исследование объектов как *систем*: целостного³⁴ множества *элементов* в

³⁴ *Целостность, подчиненность единой цели являются системообразующим фактором.*

совокупности *отношений* и *связей* между ними³⁵. Системный подход способствует адекватной постановке проблем в конкретных науках и выработке эффективной стратегии их изучения.

Системный подход является общим способом организации деятельности, который охватывает любой род деятельности, выявляя закономерности и взаимосвязи с целью их более эффективного использования [124, 126].

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ – «практическая методология решения проблем» – совокупность методов, ориентированных на исследование сложных *систем* – технических, экономических, экологических, образовательных и т.д.

Результатом *системных исследований* является, как правило, *выбор* вполне определенной альтернативы: плана развития организации, региона, параметров конструкции и т.д. Ценность *системного подхода* состоит в том, что рассмотрение категорий системного анализа создает основу для логического и последовательного подхода к проблемам управления и принятия решений. Эффективность решения проблем с помощью системного анализа определяется структурой решаемых проблем [124, 126].

Системный анализ, отличаясь междисциплинарным положением, рассматривает, в частности, деятельность как сложную систему, направленную на подготовку, обоснование и реализацию решения сложных проблем: политического, социального, экономического, технического и т.д. характера [142, с. 360].

Для решения *хорошо структурированных* и количественно выражаемых, формализуемых *проблем* используются методы оптимизации и исследования операций, то есть, строится адекватная математическая модель, в рамках которой ищутся оптимальные целенаправленные действия (управление). Для решения *слабо структурированных* (слабоформализуемых) *проблем* используется различные методики, включающие типовые этапы – см. Табл. 2, содержащую ряд распространенных подходов к системному и стратегическому анализу решения проблем. Системный анализ при этом обладает универсальностью методов решения проблем: общие подходы для самых разных областей – организационного управления, экономики, военного дела, инженерных задач и др. [160].

³⁵ Совокупность устойчивых связей между элементами системы, обеспечивающих целостность и самождественность последней, называется ее структурой.

Табл. 2. Системный и стратегический анализ решения проблем (см. [52])

Е.П. Голубков	П. Друкер	Д.А. Новиков	С.Л. Оптнер	Н.П. Федоренко	Ю.И. Черняк	С. Янг
1. Постановка задачи 2. Исследование 3. Анализ 4. Предварительное суждение 5. Подтверждение 6. Окончательное суждение 7. Реализация принятого решения	1. Классификация ситуации 2. Полное определение проблемы и факторов 3. Определение граничных условий и способа решения 4. Определение «правильного», а не «приёмлемого» решения 5. Определение действия и ответственности 6. Проверка на соответствие реальности	1. Мониторинг и анализ текущего состояния 2. Прогноз развития 3. Целеполагание 4. Выбор технологии деятельности 5. Планирование и распределение ресурса 6. Стимулирование (мотивация) 7. Контроль и оперативное управление 8. Рефлексия, анализ и улучшения деятельности	1. Идентификация симптомов 2. Определение актуальности проблемы 3. Определение целей 4. Определение структуры системы и ее дефектов 5. Определение возможностей 6. Нахождение альтернатив 7. Оценка альтернатив 8. Выработка решения 9. Признание решения 10. Запуск процесса решения 11. Управление процессом реализации решения 12. Оценка реализации и ее последствий	1. Формулирование проблемы 2. Определение целей 3. Сбор информации 4. Разработка максимального количества альтернатив 5. Отбор альтернатив 6. Построение модели в виде уравнений, программ или сценария 7. Оценка затрат 8. Испытание чувствительности (параметрическое исследование)	1. Анализ проблемы 2. Определение системы 3. Анализ структуры системы 4. Формирование общей цели и критерия 5. Декомпозиция цели, выявление потребности в ресурсах и процессах 6. Выявление ресурсов и процессов 7. Прогноз и анализ будущих условий 8. Оценка целей и средств 9. Отбор вариантов 10. Диагноз существующей системы 11. Построение комплексной программы развития 12. Проектирование организации для достижения целей	1. Определение цели организации 2. Выявление проблемы 3. Диагноз 4. Поиск решения 5. Оценка и выбор альтернатив 6. Согласование решения 7. Утверждение решения 8. Подготовка к вводу в действие 9. Управление применением решения 10. Проверка эффективности

Итак, в СССР системный анализ рассматривался наряду с общей теорией систем (а затем почти «поглотил» её) как совокупность общих принципов рассмотрения любых систем (системный подход). В термине «системный анализ», как и в кибернетике, рассматривая его как интегративную науку, можно выделить «зонтичное» определение – как объединение под эгидой «системности» различных наук-составляющих: искусственный интеллект, исследование операций³⁶, теория принятия решений, системотехнику и др. – см. Рис. 19. С этой точки зрения системный анализ почти не имеет корпуса собственных результатов.



Рис. 19. Состав и структура системного анализа

Такой результат имеет свои причины – исторически системный анализ явился развитием таких дисциплин как *исследование операций* (первая книга – [117], классические учебники – [31, 32, 279]³⁷,

³⁶ В [232, с. 1] говорится, что «системный анализ и исследование операций соотносятся как стратегия и тактика».

³⁷ Хрестоматийный спектр исследования операций включает: задачи выбора, многокритериальное принятие решений, линейное, нелинейное и динамическое

современные – [225, 272]; со временем *Operations Research* за рубежом трансформировалось в *Management Science*³⁸ с основными приложениями в организационном управлении и управлении производством [191]) и *системотехника* (первая книга – [54]). И сегодня многие российские авторы (см., например, [9, 63, 84, 115, 153, 156, 161]), помимо, собственно, концепции системности, понимают под системным анализом совокупность методов оптимизации, исследования операций [225, 272], принятия решений, математической статистики и др. (с этой точки зрения «классическим» учебником по системному анализу является [133]). Обзор истории развития системного анализа в СССР и России можно найти в [39, 161].

Вторая трактовка системного анализа (будем по аналогии с Кибернетикой называть его *Системным анализом* с большой буквы – ср. Рис. 10 и Рис. 19) – как общие законы, закономерности, принципы и т.д. функционирования и исследования систем различной природы. Здесь основной корпус результатов составляют философские и концептуальные аспекты системного анализа и общей теории систем – см. [21, 139, 154, 155, 167, 175].

Среди советских, а далее – российских, «системных» научных школ нельзя не упомянуть два мощных научно-прикладных течения: «методологическую школу» Г.П. Щедровицкого [179, 180] и учеников С.П. Никанорова – «школу концептуального анализа и проектирования систем организационного управления» [121, 122]. Оба эти направления содержат в своем основном тезаурусе категории: система, управление, организация и методология, и стремятся анализировать и синтезировать максимально общие методы решения широкого класса проблем, т.е. неразрывно связаны с Кибернетикой.

Системный анализ, как и кибернетика, пережил и «романтический» период, и период разочарований (см. раздел 1.3). Слова О.И. Ларичева – «В наши дни слова «анализ систем» или «системный анализ» часто вызывают у различных людей прямо противоположные чувства. Тут и вера во всемогущество нового подхода, способного, наконец, решить трудные и масштабные проблемы, тут и обвинения в пустых разговорах, украшенных модной терминологией.» [96, с. 61] – актуальны и сегодня. Как и для Кибернетики, для Системного анализа чрезвычайно востребованы ОБЩИЕ результа-

программирование, марковские случайные процессы, теорию массового обслуживания, игровые методы обоснования решений, сетевое планирование и теорию надежности.

³⁸ С. Бир определял *Management Science* как использование исследования операций в бизнесе.

ты, в т.ч. – обобщающие результаты интенсивно развивающихся наук, входящих в «зонтичный бренд» системного анализа (см. Рис. 19).

Теория систем и системная инженерия. Теперь перейдем к анализу «системной» терминологии в англоязычной литературе. Высокий уровень абстрагирования и общности системных исследований в СССР и России соответствует англоязычным терминам «General Systems Theory» (первоначально) и «*Systems Science*» (в наши дни). То есть, сегодня русскоязычному термину «системный анализ» соответствует, скорее, англоязычный «*Systems Science*» (SS – науки о системах, системные исследования) – см. Рис. 20.

Общая теория систем за рубежом получила несколько направлений развития. Во-первых, в ее «мэйнстриме» родились два поднаправления – *теория системных классов* К. Боулдинга [42, 196] и *методология мягких систем* П. Чекланда (Soft Systems Methodology) [203, 204].

Во-вторых, отдельно следует отметить, что в 50-70-ые годы XX века значительное развитие получила *математическая теория систем* (Mathematical System Theory) [28, 75, 76, 100, 108, 109], фактически, слившаяся затем с теорией управления.

В-третьих, естественно, следует упомянуть *системную динамику*, исследующую влияние свойств элементов системы и ее структуры на поведение системы во времени. Основным аппаратом здесь является имитационное моделирование систем дифференциальных уравнений или дискретных отображений. Пионерскими работами являются [213, 214], наиболее известным приложением к глобальному развитию – [245], представление о современном состоянии можно представить по работам [222, 246].

Возвращаясь к системному анализу, отметим, что *Systems Analysis* (SA) дословно переводится не как «системный анализ», а как «анализ систем» (различие значений этих терминов на русском языке очевидно). Анализом систем в широком смысле может быть названо любое аналитическое исследование, направленное на то, чтобы помочь руководителю, ответственному за принятие решений, в выборе предпочтительного курса действий [253].

В дальнейшем, за рубежом SA развивался в направлении *Systems Engineering* (SE), т.е. *системотехники* (классические публикации – [47, 54]) – направления науки и техники, охватывающего весь *жизненный цикл* (LifeCycle) – проектирование, создание, испытание, эксплуатацию, сопровождение, обслуживание и ремонт, модернизацию и утилизацию – сложных систем. В наши дни для SE организа-

ционно-технических систем на русском языке используют термин *системная инженерия*.

Со временем SA превратился в практико-ориентированные технологии анализа конкретных систем – продуктов и/или услуг [249, 267, 277, 280], причем этап анализа системы рядоположен с ее дизайном (SD – Systems Design), развитием (Systems Development) и т.д.

На сегодня SS и SE (см. современные учебники, пособия и стандарты [97, 207, 220, 228, 267, 271, 277, 280] включают: SA, SD, *управление жизненным циклом продукта* (PLM – Product Lifecycle Management), *управление проектами* и программами (Project and Program Management), ряд разделов менеджмента и др. – см. Рис. 20. А общая теория систем является для них *общеметодологическим ядром* – см. Рис. 20.

Большинство приложений SE – сложные технические и организационно-технические системы, а также разработка программного обеспечения.

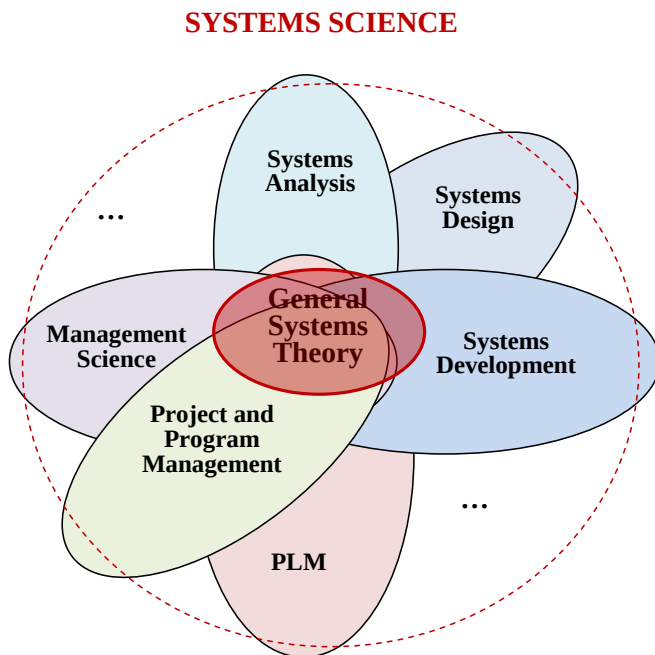


Рис. 20. Состав и структура Systems Science

Разделы «системных исследований» (SA, SD, ...) сегодня являются, скорее, не научными направлениями, а совокупностью *технологий* и *единого языка*, сформулированных в виде *стандартов*, появившихся в результате обобщения *успешного опыта* практической деятельности (см. также заключение).

Системы систем. Интенсивно развивающимся направлением теории систем и системной инженерии является проблематика т.н. «*системы систем*», рассматривающая взаимодействие автономных (самодостаточных) систем, которые в совокупности образуют целостную систему (со своими целями, функциями и т.д.). Примерами являются сети сетей, SmartGrid в энергетике, взаимодействие подразделений и родов войск в военном деле, сложные производства и т.п. Зародилось это направление, существенно опирающееся на концепцию *холизма*³⁹ [269], в конце 1960-х (см. классическую статью Р. Акоффа [184]). Хороший обзор современного состояния исследований приведен в [230].

5. Некоторые тренды и прогнозы

Любая зрелая наука должна прогнозировать свое развитие и развитие смежных наук. Если Кибернетика является *метанаукой* (см. второй раздел) по отношению к своим компонентам – теории управления и др., то одной из ее функций должен быть *анализ их трендов*, поиск обобщений и *прогноз* (в идеале был бы желателен нормативный прогноз, т.е. многоальтернативный сценарный прогноз с выделением желательных траекторий и действий по их реализации).

Ряд трендов теории управления (их перечень не претендует на полноту, а, скорее, является призывом к активизации подобной деятельности) анализируется в настоящем разделе. В том числе, проводится краткий анализ тематики ведущих конференций по управлению (раздел 5.1), рассматриваются междисциплинарность (раздел 5.2), «сетевизм» (раздел 5.3), гетерогенные модели и иерархическое моделирование (раздел 5.4), «интеллектуализация» и рефлексия (раздел 5.5), большие данные и большое управление (раздел 5.6). Вне рассмотрения остаются внутрипарадигмальные проблемы

³⁹ *Холизм* – подход, в рамках которого сложные системы рассматриваются в целом, и их свойства не могут быть выведены в результате анализа свойств их частей.

различных разделов теории управления, в т.ч. эффекты «линейности» их развития, стремление к самоизоляции⁴⁰ и др.

5.1. Анализ тематики ведущих конференций по управлению

В мире ежегодно проходит, как минимум, несколько сотен научных конференций (а также семинаров, симпозиумов, съездов и т.д.), посвященных тем или иным аспектам теории управления и ее приложений. Тем не менее, существует небольшое число «знаковых» ведущих мероприятий, отражающих и определяющих основные тренды [127]. Среди подобных мероприятий можно выделить (не претендуя на полноту списка и осознавая его субъективность) конгрессы международной федерации по автоматическому управлению (IFAC – *International Federation of Automatic Control*)), проводимые раз в три года, и конференцию по решениям и управлению (CDC – *Conference on Decisions and Control*), проводимую ежегодно Институтом инженеров электротехники и электроники (IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*). Наряду с этим, регулярно проводятся (иногда совместно с CDC) «национальные»⁴¹ конференции: Американская конференция по управлению (ACC – *American Control Conference*) и Европейская конференция по управлению (ECC – *European Control Conference*). Для СССР национальных конференций по управлению были Всесоюзные совещания по теории регулирования, позднее – по автоматическому управлению и еще позднее – по проблемам управления, что отражает и расширение предмета теории управления: первое Всесоюзное совещание было проведено в Москве в 1940 г., всего за время существования СССР прошло 11 Всесоюзных совещаний (последнее, одиннадцатое, – в Ташкенте в 1989 г.). Традиции Всесоюзных совещаний в масштабах России и стран СНГ продолжило XII *Всероссийское совещание по проблемам управления* (ВСПУ, 2014).

В целом, в мире наблюдается стабильный рост числа публикаций по управлению (см. Рис. 4 – Рис. 7).

⁴⁰ Существующая грантовая система финансирования науки поддерживает дифференциацию наук и отчасти стимулирует существование научных самовоспроизводящихся "сект" во всех отраслях науки.

⁴¹ Употребление кавычек обусловлено тем, что в этих конференциях принимают участие ученые из десятков стран.

На Рис. 21 – Рис. 23 приведены результаты «количественного» сравнения⁴² тематик Конгрессов IFAC 2011 и 2014 гг. (см. также [145]), ACC-2011, CDC-ECC-2011, CDC-2012, CDC-2013 и ВСПУ-2014⁴³.

Общая тематика. Экспертно (классифицировал доклады автор; отметим, что, несмотря на субъективность классификаций и достаточную произвольность их оснований, для нас важны не абсолютные, а относительные значения, так как речь идет о распределении приоритетов и их динамике) выделялись следующие группы тематик: *математическая теория управления* (математические результаты, инвариантные относительно предметной области, к которой относится объект управления), *«классика»* (теория автоматического управления (ТАУ) в широком понимании⁴⁴), *«сетевое управление»* (охватывающее ситуации, когда объект и/или предмет управления и/или связи между ними имеют сетевую структуру), *технические средства управления, прикладные задачи управления* – см. Рис. 21 – Рис. 23.

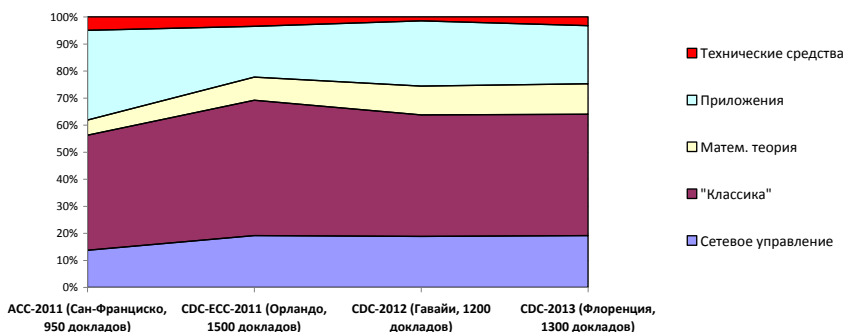


Рис. 21. Общая тематика конференций CDC

⁴² На всех рисунках отложены относительные доли числа докладов, посвященных соответствующей тематике.

⁴³ От четверти до трети докладов ВСПУ-2014 были посвящены проблематике управления системами междисциплинарной природы (социально-экономической, организационно-технической и т.п.). Они не вошли в проводимый анализ.

⁴⁴ Несмотря на свою «классичность» ТАУ интенсивно развивается, причем в ней появляются как новые задачи в известных областях (например, в, казалось бы, хрестоматийных линейных системах), так и новые объекты управления (например, число публикаций по управлению квантовыми системами претерпевает бурный рост).

Рис. 21 и Рис. 22 иллюстрируют, во-первых, относительную «стабильность традиций» тех или иных конференций, а, во-вторых, хорошо известный специалистам факт, что конференции CDC являются более «теоретическими», в то время как IFAC в большей степени ориентирован на приложения. С этой точки зрения ВСПУ-2014 ближе к традициям конгрессов IFAC.

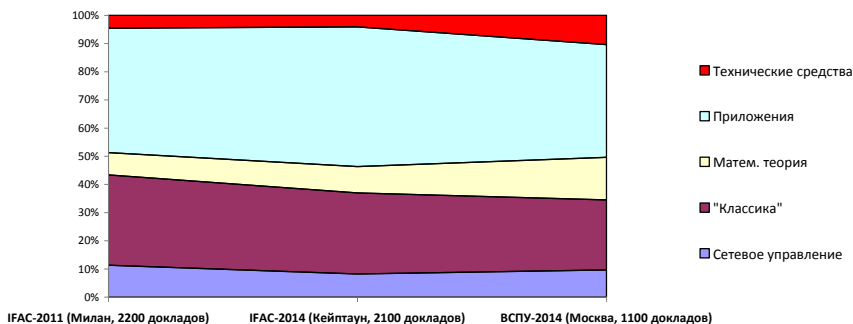


Рис. 22. Общая тематика конгрессов IFAC и ВСПУ-2014



Рис. 23. Тематика докладов ВСПУ-2014

Сетевое управление. Необходимо отметить рост интереса к задачам *сетевого управления* (удвоение числа статей в рецензируемых журналах по данной тематике за 5-6 лет), что подтверждается в т.ч.

анализом соответствующих публикаций в Web of Science – см. Рис. 24.

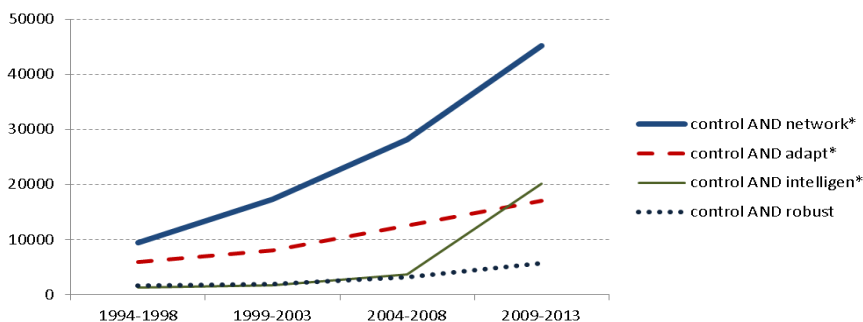


Рис. 24. Число статей (индексируемых в Web of Science) в мире, посвященных проблематике сетевого управления

Рис. 25 и Рис. 26 детализируют тематику сетевого управления по уровням архитектуры агентов в *мультиагентных системах* (МАС) и решаемым на этих уровнях задачах (см. также раздел 5.3); экспертно выделялись следующие группы тематик: МАС и задачи консенсуса, коммуникации в МАС, кооперативное управление, верхние уровни управления (*стратегическое поведение* агентов), «другое» (в основном, информационно-коммуникационные сети с небольшим акцентом на проблемы управления).

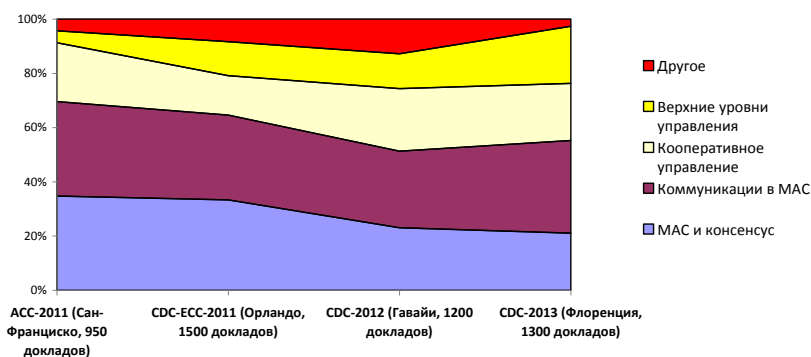


Рис. 25. Детализация тематики сетевого управления на конференциях CDC

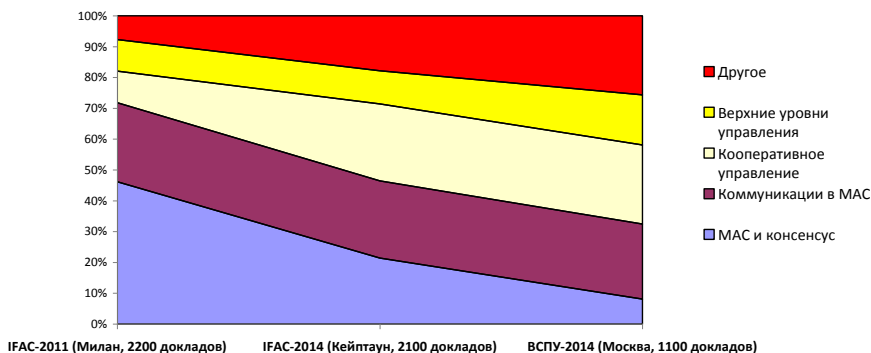


Рис. 26. Детализация тематики сетевого управления на конгрессах IFAC и ВСПУ-2014

Рис. 25 и Рис. 26 иллюстрируют, что внимание исследователей со временем все больше смещается к более высоким уровням архитектуры агентов, т.е. от проблематики консенсуса и коммуникаций агентов – к кооперативному управлению и моделям стратегического поведения агентов [212].

Приложения. Рис. 27 и Рис. 28 детализируют внутреннюю структуру прикладной тематики рассматриваемых конференций – экспертно выделялись такие группы прикладных областей как: *энергетика, биология и медицина, авиация и космос, производство* (в основном, промышленное), *мехатроника* и роботы, *транспорт* (в основном, автомобильный и проблемы автотрафика), *морские подвижные объекты* и «другое» (от сельского хозяйства до проблем образования).

Рис. 27 и Рис. 28 иллюстрируют, что в последнее время наблюдается смещение акцентов с традиционных задач управления производством и телекоммуникациями в сторону энергетики и биомедицинских приложений.

Наблюдаемые в мире тенденции, к сожалению, не всегда находят пропорциональное отражение в интересах российских специалистов по управлению. В качестве «смежной» отрицательной тенденции можно привести «самоизоляцию» (отрыв от мейнстрима мировой науки по тематике и уровню) отдельных российских научных школ, особенно – региональных (соответствующие проблемы требуют отдельного обсуждения и останавливаться на них подробно мы не будем).

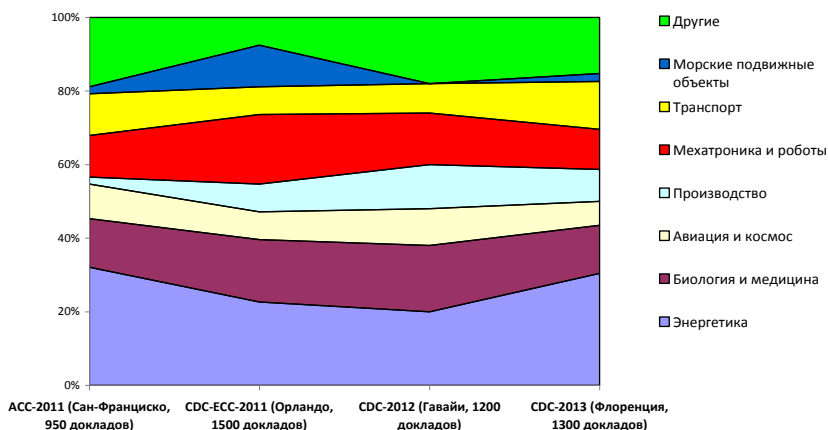


Рис. 27. Детализация прикладной тематики на конференциях CDC

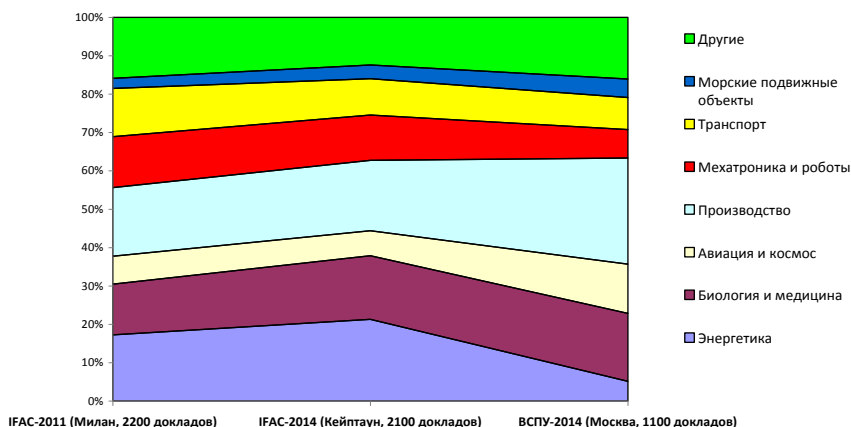


Рис. 28. Детализация прикладной тематики на конгрессах IFAC и ВСПУ-2014

С этой точки зрения масштабные национальные конференции по проблемам управления могут служить площадкой коммуникаций и инструментом помощи отдельным (особенно – молодым) исследователям во встраивании в мировую науку, отслеживании ее динамично изменяющихся приоритетов. Что, конечно, не заменяет важности (и для молодых, и для опытных исследователей) громадной пользы (и даже необходимости) участия в ведущих мировых меро-

приятиях, типа рассматриваемых выше конгрессов и симпозиумов IFAC, CDC, ACC, ECC и др.

5.2. Междисциплинарность

Современная теория управления (см. Рис. 29 и Рис. 31) исследует проблемы управления различными классами *объектов* управления, разрабатывая или используя соответствующие *методы* и *средства* управления.



Рис. 29. Объекты, методы и средства управления

Термин «*междисциплинарность*» (нахождение на стыке научных дисциплин⁴⁵, наук, их разделов и т.д.) применим как для отражения разнообразия (и соответствующей общности – тогда употребляется термин *Междисциплинарность* с большой буквы) объектов, так и разнообразия методов и средств управления. В настоящем подразделе речь пойдет, в основном, о многообразии объектов управления.

Структура *жизненного цикла теории управления* определенным классом объектов приведена на Рис. 30. Пользуясь сведениями,

⁴⁵ Согласно «Новой философской энциклопедии», научная дисциплина – «форма организации профессиональной науки, объединяющая на предметно-содержательном основании области научного знания, сообщество, занятое его производством, обработкой и трансляцией, а также механизмы развития и воспроизводства соответствующей отрасли науки как профессии».

накопленными в профильной науке относительно объекта управления⁴⁶, специалисты по теории управлению формулируют соответствующие модели и проводят их теоретическое исследование (решая задачи анализа и синтеза управлений, изучения таких свойств, как наблюдаемость, идентифицируемость, управляемость, устойчивость и др.).

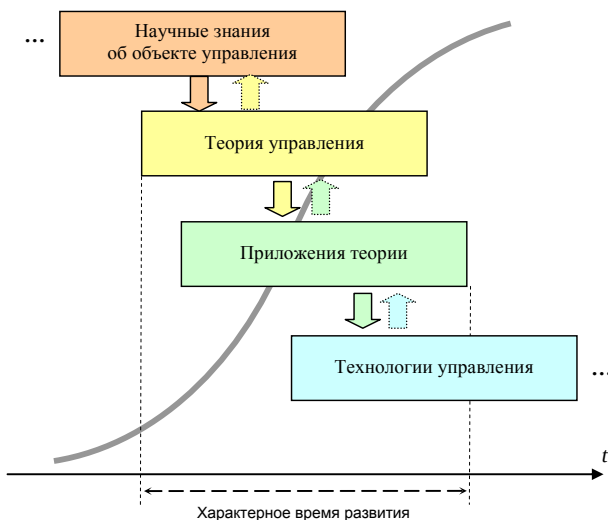


Рис. 30. Жизненный цикл теории управления определенным классом объектов

Затем теория находит свои приложения, реализуемые в итоге в виде тех или иных технологий управления. С временной точки зрения, наверное, для каждого класса объектов управления существуют как свое характерное время развития, так и своя «золотая пора» – когда темп получения результатов максимален (см. Рис. 30).

За полтора века своего развития теория управления охватила множество предметов управления – см. Рис. 31. В области *технических* и *организационно-технических систем* в последние 10-15 лет акцент сместился на децентрализованные интеллектуальные системы (см. также раздел 5.5). Так, все большее число исследований

⁴⁶ Например, для такого класса объектов управления, как *технические системы*, «поставщиками» исходной информации могут выступать механика, аэродинамика и т.д.

посвящено т.н. *верхним уровням управления* в рамках терминологии иерархии их типов [30]:

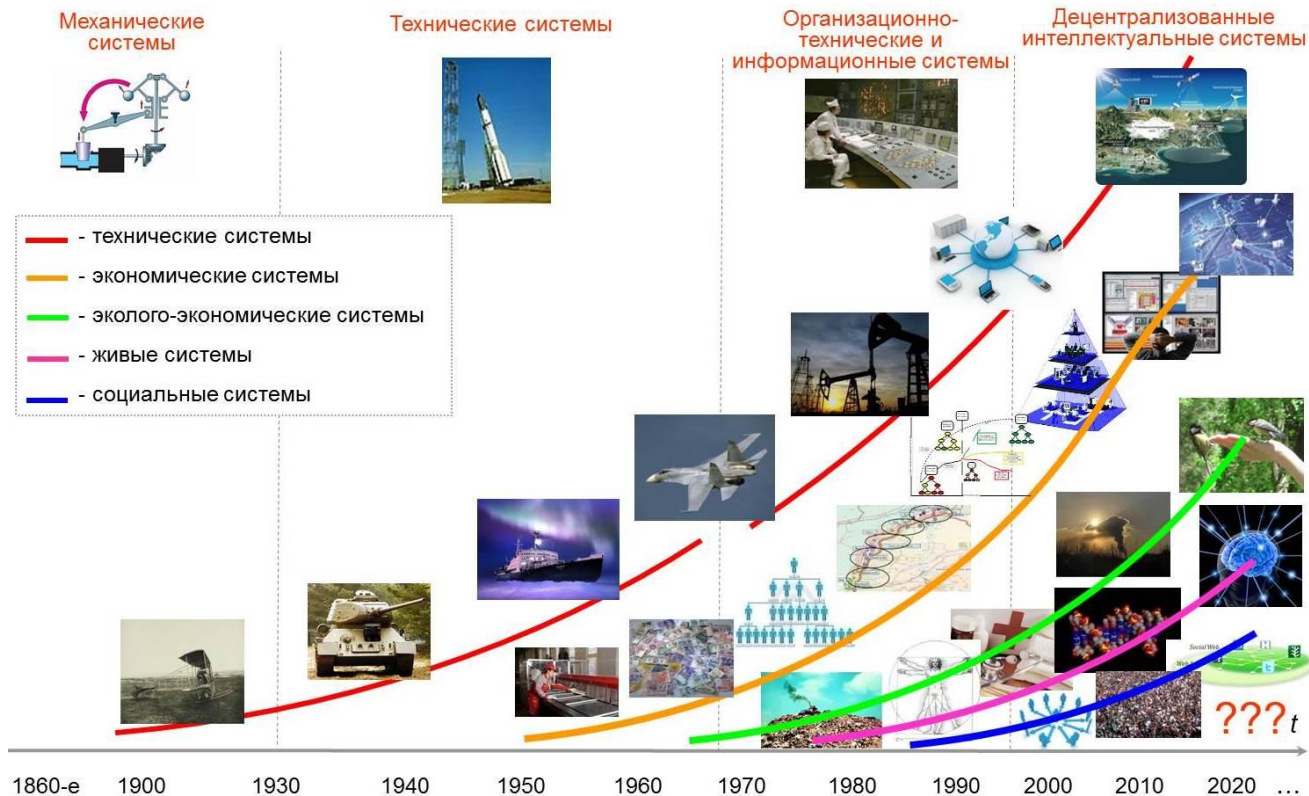
- 1) программное управление;
- 2) позиционное управление;
- 3) робастное управление;
- 4) адаптивное управление;
- 5) интеллектуальное управление;
- 6) интеллектуальное управление (критерий интеллектуальности, отличающий от п. 5 – наличие самостоятельного целеполагания (автономной и адаптивной генерации критериев эффективности) в контуре управления).

Параллельно математическая теория управления за последние полвека⁴⁷ охватывала все новые и новые классы объектов управления (с 50-60-х годов XX века – *экономические системы*, чуть позднее – *эколого-экономические* и др. *системы*). В последние десятилетия в фокусе внимания все чаще оказываются *живые системы* и *социальные системы*. Для эффективного развития соответствующих разделов теории управления, для обладания знаниями об объекте управления, необходимо тесное сотрудничество математиков-управленцев с представителями соответствующих отраслей науки.

Кроме того, область приложений теории управления постоянно расширяется. Ключевой проблемой (*проблема интеграции*) распространения ее методов является наличие достаточно адекватных моделей объектов управления. Опять же, для этого необходимо тесное сотрудничество математиков-управленцев с представителями других отраслей науки – физики, экономики, биологии, социологии и др.

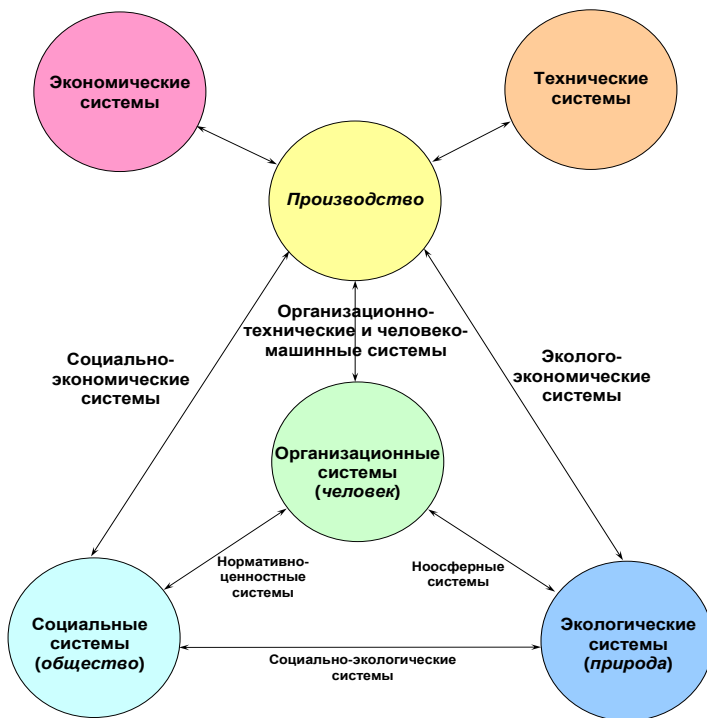
Для того чтобы той или иной крупной научной организации или научной ассоциации, или научной школе сохранить и/или завоевать в области управления лидерские позиции через несколько десятилетий, когда кажущиеся сейчас новыми объекты управления станут хрестоматийными, начинать заниматься их активным исследованием нужно уже сегодня!

⁴⁷ Интересно, что, с точки зрения более продолжительной исторической ретроспективы, социальные и технические системы циклически сменяли друг друга в фокусе внимания теории управления, возвращаясь «назад» на новом витке диалектической спирали. Действительно, наверное, первым объектом управления (в доисторическом обществе) были люди, затем – транспорт и простейшие механизмы, потом опять люди (Платон-Н. Маккиавели-Ф. Бэкон-Т. Гоббс-...-А. Ампер-Б. Трентовский). Потом с середины XIX века – опять технические (механические) системы. Сейчас на повестке дня снова актуально управление людьми.



Все чаще объектами управления становятся т.н. *системы междисциплинарной природы* [131]. Положив в основание классификации направленность человеческой деятельности: «природа – общество – производство», можно выделить организационные (человек), экологические (природа), социальные (общество), а также экономические и технические (производство) системы – см. Рис. 32. На «стыке» этих четырех классов систем возникают следующие попарные комбинации:

- организационно-технические системы;
- социально-экономические системы;
- эколого-экономические системы;
- социально-экологические системы;
- нормативно-ценностные системы;
- ноосферные системы⁴⁸.



⁴⁸ Т.е. системы, в которых специальным образом организованная деятельность человека является определяющим фактором развития экологических систем крупного (планетарного) масштаба.

Рис. 32. Классификация систем междисциплинарной природы

Одним из подтверждений концентрации внимания исследователей на системах междисциплинарной природы является выделение, в том числе, следующих *приоритетов*:

– национальный научный фонд США: групповое управление, кластеры космических аппаратов, командование и управление сражением, управление финансовыми и экономическими системами, управление биологическими и экосистемами, многопрофильные команды людей в контуре управления и др.;

– в ЕЭС: человеко-машинный симбиоз (моделирование человека в контуре управления и как объекта управления), сложные распределенные системы и повышение качества систем в неопределенной среде (глобальные производства, безопасность, стратегии гетерогенного управления, новые принципы мультидисциплинарной координации и управления) и др.;

– основные направления фундаментальных исследований РАН: управление в междисциплинарных моделях организационных, социальных, экономических, биологических и экологических систем; групповое управление; кооперативное управление и др.

В [217] отмечаются три глобальных вызова, стоявших и стоящих перед кибернетикой – переходы:

1) от неживого – к живому (от химии – к биологии);

2) от живого – к разумному (от живых существ – к человеческому сознанию);

3) от человеческого сознания – к человеческому духу как высшему уровню сознания.

Специфика систем междисциплинарной природы (включающих человека) как объекта управления заключается в следующем:

– самостоятельное *целеполагание*, *целенаправленность* поведения (сознательное искажение информации, невыполнение обязательств и т.д.);

– *рефлексия* (нетривиальная взаимная информированность, дальновидность, прогнозирование поведения управляющего органа или объекта/субъекта управления, *эффект обмена ролями*⁴⁹ и т.п.);

⁴⁹ В системах, участники которых обладают стратегическим поведением, не всегда можно однозначно разделить их на управляющих и управляемых – например, частую встречу ситуации когда подчиненный манипулирует своим руководителем.

– *ограниченная рациональность* (с учетом специфики психики человека, принятие решений в условиях неопределенности и ограничений на объем обрабатываемой информации);

– *кооперативное и/или конкурентное взаимодействие* (образование коалиций, информационное и др. противодействие);

– *иерархичность, многокомпонентность, распределенность и/или разномасштабность* (в пространстве и/или во времени – см. в т.ч. в [189] обсуждение востребованности развития принципа необходимого разнообразия на MultiScale системы).

Исторически, «механические» системы (затем – технические системы) были первыми классами массовых объектов управления (см. Рис. 31), исследуемых в теории, и именно для этих классов получены наиболее глубокие и обширные теоретические результаты решения задач управления. Поэтому при появлении новых объектов управления возникает вполне оправданное желание осуществить «*перенос результатов*» – транслировать на них часть уже имеющихся результатов. И именно так обстояло дело с системами междисциплинарной природы – на них переносились как общие результаты Кибернетики, так и конкретные результаты исследования задач управления теми или иными техническими системами (стрелка «I» на Рис. 33).

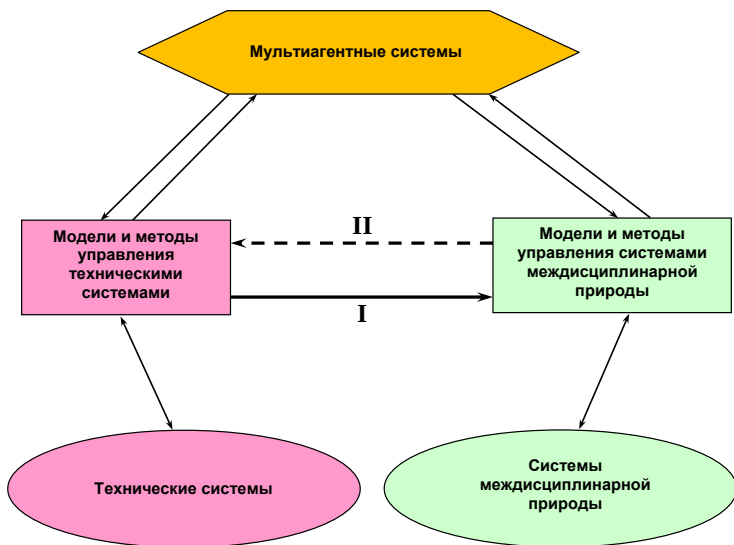


Рис. 33. «Перенос» результатов

Со временем, по мере накопления собственных результатов в рамках моделей и методов управления системами «немеханической» (например, живые системы⁵⁰) и/или междисциплинарной природы (например, социально-экономические системы), начал проявляться и обратный процесс – все больше искусственных технических или информационных систем наделяются свойствами, первоначально присущими только социальным или живым системам – и это один из трендов, который в дальнейшем, наверное, будет только усиливаться. Инструментом «обратной трансляции результатов» (стрелка «II» на Рис. 33) во многих случаях (примерами являются такие проявления «интеллектуальности», как кооперативное поведение, рефлексия и т.п.) выступают *мультиагентные системы*, речь о которых пойдет ниже.

5.3. «Сетевизм»

Вот уже полтора десятилетия развитие теории управления стимулируют тенденции «миниатюризации»⁵¹, «децентрализации» и «интеллектуализации» систем, которые состоят из большого числа взаимодействующих между собой автономных *агентов* технической, социальной или информационной природы. Такие свойства мультиагентных систем (МАС) как *децентрализованность* взаимодействия и множественность агентов, с одной стороны, дают их качественно новые эмерджентные свойства (*автономность*, меньшая *уязвимость* к неблагоприятным воздействиям и др.), важные во многих приложениях [264, 268, 282].

МАС условно могут быть разделены на «технические» (пионерские работы – середина 1990-х годов) и *программные* (пионерские работы – середина 1970-х годов) – см. Рис. 34. К первым (и соответственно – к областям приложений) относятся мобильные роботы (колесные, беспилотные летательные аппараты (БЛА), автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) и др.), системы управления сложными производственными и технологическими объектами (АСУТП, энергетика – SmartGrid и др.). Ко вторым – системы управления, в которых агентами являются *софтботы* – автономные

⁵⁰ Справедливости ради, надо признать, что живые системы всегда вдохновляли ученых и инженеров на использование аналогий – «повторения» тех или иных свойств объектов живой природы в искусственных системах.

⁵¹ Задачи управления квантовыми системами решаются пока, в основном, в теории, но объекты управления микроуровня («микро-системы») уже стали почти привычными.

программные модули, которые в рамках установленных протоколов решают задачи *распределенной оптимизации* (примерами приложений являются логистические системы в производстве, на транспорте, софтботы в цифровых сетях – формирование и оперативная корректировка в реальном времени расписаний, распределения функций и задач и т.д.).

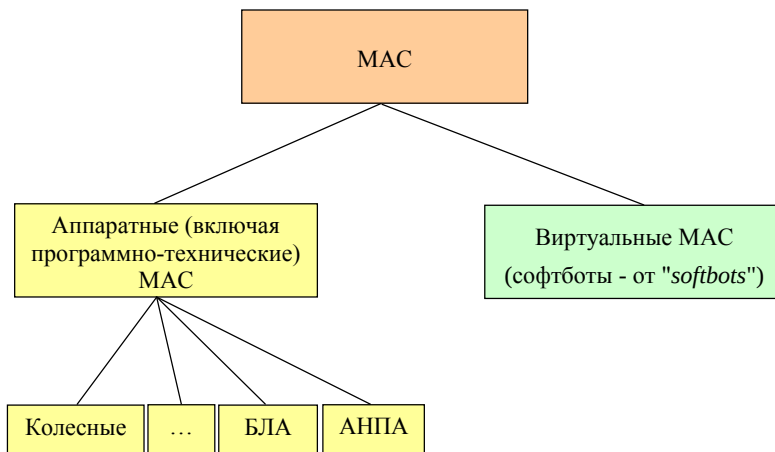


Рис. 34. Виды мультиагентных систем

С другой стороны, тенденцией, яркой в последние 10-15 лет, является переход от *централизованного управления*, когда одна управляющая система управляла каждым из управляемых объектов – например, агентов, включая попарные взаимодействия между ними, к, сначала, *децентрализации системы управления* (над сетью взаимодействующих надстраивается сеть управления), а затем к осуществлению *коммуникаций* между управляющими системами и агентами через сеть (отдельной задачей при этом является управление этой сетью) – см. Рис. 35. Примеры «сетевых» MAC рассматриваются в следующем подразделе.

Таким образом, «сетевизм» на сегодня имеет место и в объекте управления, и в системе управления, и во взаимодействии между ними. Более того, зачастую система управления оказывается «*погруженной*» в объект управления, в результате получается единая (быть может, с внутренней иерархической структурой – см. следующий раздел) сеть взаимодействующих агентов. Число работ по

«сетевой» тематике (а ее можно трактовать еще шире⁵² – как использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), Интернет– и других технологий в сложных распределенных системах) огромно и продолжает расти (см. раздел 5.1).

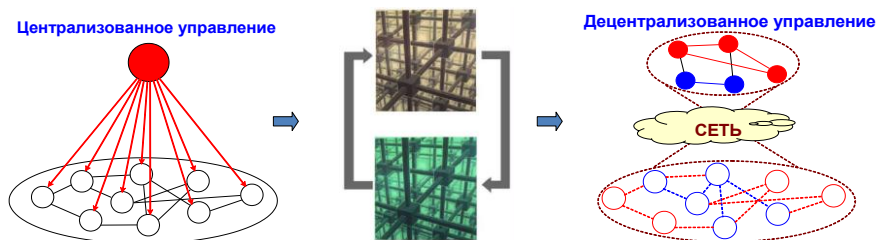


Рис. 35. Децентрализованное управление

Следует признать, что пока подавляющее большинство работ по мультиагентной тематике, несмотря на ее «массовость», носит теоретический характер, ограничиваясь, как правило, вычислительными экспериментами – число открытых работ, содержащих описание реальных внедрений МАС, пока невелико.

Назревает переход от так называемой парадигмы «си в кубе» (C^3), когда совместно (!) решаются задачи управления, вычислений и связи (Control + Computations + Communications), к концепции «си в пятой» (C^5) – Control + Computations + Communications + Costs + lifeCycle, когда упомянутые задачи должны решаться в комплексе с учетом стоимостных (в широком смысле) аспектов на протяжении всего жизненного цикла рассматриваемой системы, включая, в т.ч., этап совместного проектирования управляющей системы и объекта управления.

Говоря о «сетевизме» нельзя не упомянуть чрезвычайно модный сегодня «сетецентризм»⁵³ (иногда даже употребляют термин «сетецентрическая лихорадка») – подход, имеющий несколько трактовок – от принципов организации и исследования любых сетей вообще и, в частности, «собирающихся» на время для выполнения

⁵² Мы не будем говорить подробно о проникновении ИКТ (а они сейчас «существенно сетевые») и в технику, и в повседневную жизнь, о соответствующих образовательных и социальных возможностях и угрозах.

⁵³ Здесь используются свои аббревиатуры – похожие, но отличающиеся от принятых в теории управления (см. выше): C^3I – Command, Control, Communications and Intelligence, C^4I – Command, Control, Communications, Computers and Intelligence и т.п.

конкретной задачи — т.н. *сетевые организации*, взаимодействие подразделений на театре военных действий и т.п. — в нужное время и в нужном месте. Наиболее массово «сетцентрический подход» используется в проблематике сетцентрических войн для обеспечения как вертикальной, так и горизонтальной интеграции всех участников операции — элементов систем управления, связи, разведки и поражения.

Еще одним из проявлений «сетевизма» является все большая распространенность *распределенных систем поддержки принятия решений*. Интенсивное развитие ИКТ повышает значимость информационных аспектов управления в децентрализованных иерархических системах (примером является задача поддержки принятия решений в рамках распределенных систем принятия решений, интегрирующих разнородную ведомственную и отраслевую информацию по стратегическому планированию и прогнозу). Одним из таких аспектов является применение *информационного управления* — целенаправленного влияния на информированность управляемых субъектов, поэтому актуальной является задача создания математического аппарата, адекватно описывающего взаимосвязь поведения участников системы и их взаимной информированности [136].

Другим важным информационным аспектом управления в децентрализованных иерархических системах является создание интеллектуальных аналитических систем, реализующих информационно-аналитическое обеспечение целеполагания и всего цикла управления. При этом представляется актуальным обоснование методических подходов к оценке эффективности управления в децентрализованных иерархических системах, включая разработку принципов и интеллектуальных технологий сбора, представления, обработки, хранения и обмена данными.

Следует подчеркнуть, что значительная часть информации, необходимой для процесса оценки ситуации, целеполагания и разработки управленческих решений в децентрализованных системах имеет плохо структурированный, в большинстве случаев, текстовый характер, что требует постановки и решения задач её релевантного поиска и последующего анализа. Эти обстоятельства, в свою очередь, приводят к необходимости разработки как новых методов поиска информации (и даже шире — обработки знаний), основанных не только и не столько на учете её лексики и различных количественных характеристик, сколько на анализе её семантики, развитии методов выделения целевых данных, ряда параметров ситуации и

оценки их динамики для последующего моделирования сценариев её развития.

5.4. Гетерогенные модели и иерархическое моделирование

В последние годы все более распространенным в теории управления становится термин «*гетерогенность*» системы, понимаемая, прежде всего, как разнородность её математического описания, например, разнородности описания отдельных подсистем, в частности, типа и масштаба шкалы времени, в которой функционирует подсистема, разнотипности языка описания отдельных закономерностей, присущих объекту изучения и т.д. Термин «гетерогенность» также часто используется для обозначения сложности, проявляющейся в *разнородности* (как качественной, так и временной и функциональной), *распределенности* (в пространстве и времени), *иерархичности/сетевой структуры* объекта управления и управляющей системы (см. предыдущий подраздел).

Адекватной технологией построения и совместного исследования комплекса моделей гетерогенных систем является т.н. *иерархическое моделирование*, когда модели, описывающие различные части исследуемой системы или различные ее свойства (быть может, с различным уровнем детализации) упорядочиваются в определенной логике – выстраиваются в иерархию (обычно более низким уровням иерархии соответствует более высокая степень детализации описания моделируемых систем) или в последовательность – горизонтальную «цепочку», в каждом элементе которой степень детализации примерно одинакова, причем результаты одной модели, являются исходными данными для следующей. Подобный подход к моделированию зародился и активно развивался в 60–70-х годах XX века [28, 108].

Иерархические модели являются, в некотором смысле, более широкой категорией, чем гибридные модели и многомодельный подход. *Гибридная модель* – модель, согласованно сочетающая в себе элементы двух или более моделей, отражающих различные аспекты исследуемого явления или процесса и/или использующих различный аппарат (язык) моделирования – см. Рис. 36. Например, гибридная модель может включать в себя дискретную и непрерывную подмодели, или цифровую и аналоговую и т.д.

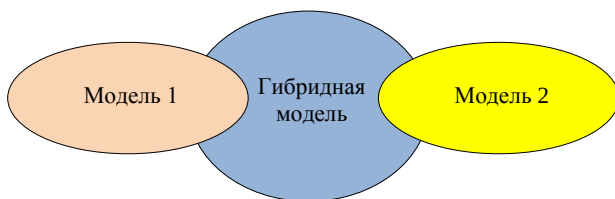


Рис. 36. Гибридная модель: узкое понимание

В более широком понимании гибридная модель, представляет собой комплекс моделей, выбор каждой конкретной из которых происходит при выполнении определенных условий – см. Рис. 37. Например, в гибридных динамических системах (ДС, системах с переключениями) выражение, фигурирующее в правой части ДС, может выбираться из заданного числа вариантов в зависимости от текущего состояния системы и/или времени и/или выполнения каких-либо других условий.

В рамках *многомодельного подхода* несколько моделей используются последовательно или параллельно с последующим или текущим анализом и выбором «лучших» результатов.

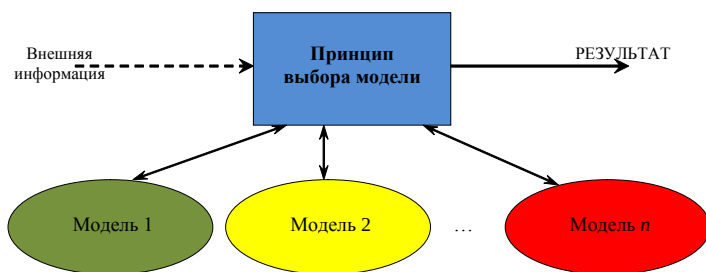


Рис. 37. Гибридная модель: современное понимание. Многомодельность

Иерархические (последовательные) модели могут иметь еще более сложную структуру (см. Рис. 38), причем модель каждого уровня может быть гибридной или использовать многомодельный подход. При их использовании возникают, в том числе, хорошо известные в математическом моделировании проблемы *агрегирования* и *декомпозиции*.

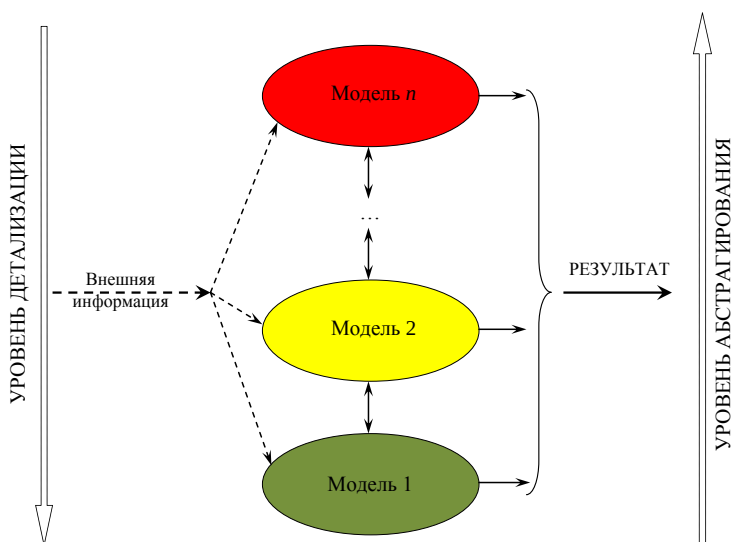


Рис. 38. Иерархическая (последовательная) модель

Несколько примеров структуры иерархических моделей приводятся ниже в настоящем подразделе.

5.4.1. Модель боевых действий [130]. Если противники однократно и одновременно принимают решения о распределении своих ресурсов (сил и средств) «в пространстве» (между плацдармами), то получаем *игру полковника Блотто* (ИПБ⁵⁴), в которой победитель на каждом из плацдармов определяется в результате решения соответствующих *уравнений Ланчестера*. Другими словами, можно рассматривать «иерархическую» модель, в которой на верхнем уровне иерархии игроки распределяют свои ресурсы между плацдармами в рамках той или иной вариации теоретико-игровой модели ИПБ, а на нижнем уровне исход сражения на каждом из плацдармов описывается той или иной вариацией модели Ланчестера. Сложность аналитического исследования таких иерархических моделей обусловлена тем, что в большинстве случаев для ИПБ трудно найти аналитическое решение (см. обзор в [91]).

⁵⁴ Классическая ИПБ заключается в том, что два командира (полковники Блотто и Лотто) распределяют свои ограниченные ресурсы между конечным числом плацдармов. Победителем на плацдарме является тот, у кого на нем оказалось больше ресурсов. Каждый из командиров стремится победить на максимальном числе плацдармов.

Для моделей Ланчестера также можно использовать иерархический подход – на нижнем уровне *методом Монте-Карло* имитируется взаимодействие отдельных боевых единиц, на среднем уровне взаимодействие описывается *марковскими моделями*, а на верхнем (агрегированном, детерминированном) уровне используются собственно дифференциальные уравнения ланчестеровского типа. «Над» этими моделями, вводя в них управляемые параметры (распределение сил и средств во времени – ввод резервов и т.д.), можно надстраивать задачи управления в терминах управляемых динамических систем, *дифференциальных и/или повторяющихся* игр и др. В результате получим иерархическую модель, приведенную в Табл. 3.

Табл. 3. Модель боевых действий

Уровень иерархии	Моделируемые явления/процессы	Аппарат моделирования
5	Распределение сил и средств в пространстве	Игра полковника Блотто и ее модификации
4	Распределение сил и средств во времени	Оптимальное управление, повторяющиеся игры и др.
3	Динамика численности	Уравнения Ланчестера и их модификации
2	«Локальное» взаимодействие подразделений	Марковские модели
1	Взаимодействие отдельных боевых единиц	Имитационное моделирование, метод Монте-Карло

5.4.2. Модель распределенного преодоления системы обороны (так называемая *задача о диффузной бомбе* [89]). Примером иерархической модели МАС является задача о диффузной бомбе, которая заключается в следующем: группа автономных подвижных агентов должна поразить цель с заданными координатами. В каждый такт времени каждый агент может быть с определенной вероятностью обнаружен и уничтожен системой обороны. Вероятность обнаружения/уничтожения зависит от координат агента, его скорости и расположения относительно других агентов. Задача заключается в синтезе таких алгоритмов децентрализованного взаимодействия агентов и принятия ими решений о направлении и скорости движения, чтобы максимизировать число агентов, достигших цели. «Интеллектуальность» агентов заключается, в том числе, в том, что

часть агентов-разведчиков, может оперативно получать информацию о параметрах системы обороны. Остальные агенты, наблюдая за поведением разведчиков (в условиях ограничений на коммуникации между агентами), «рефлексируя» получают оценку опасной области и решают поставленную задачу. Стратегическое взаимодействие противоборствующих сторон может описываться в терминах теории игр – см. [90].

В целях оценки и выбора наиболее эффективных алгоритмов поведения в [89] используется иерархическая модель, приведенная в Табл. 4.

Табл. 4. Модель диффузной бомбы

Уровень иерархии	Моделируемые явления/ процессы	Аппарат моделирования
6	Выбор состава группы агентов и их свойств	Методы дискретной оптимизации
5	Выбор агентами траекторий и скоростей движения	Оптимальное управление
4	Прогноз агентом поведения других агентов	Рефлексивные игры. Метод рефлексивных разбиений
3	Минимизация вероятности обнаружения на основании текущей информации	Алгоритмы выбора направления движения
2	Избежание столкновений, обход препятствий	Алгоритмы выбора локальных траекторий
1	Движение агента к цели	Уравнения динамики движения

5.4.3. Иерархическая структура агентов в мультиагентных системах (МАС). В МАС (см. также разделы 5.1 и 5.3) иерархия моделей порождается, в том числе, функциональной структурой самого агента, которая имеет несколько иерархических уровней – см. Рис. 39 [130, 136]. На нижнем (операционном) уровне осуществляется реализация действий, например – стабилизация движения по заданной траектории. На тактическом уровне осуществляется выбор действий, в том числе – с учетом взаимодействия с другими агентами (в т.ч. возможны ситуации, когда целедостижением одновременно занимается несколько систем управления, объединенных общей задачей [163]). Стратегический уровень отвечает за *принятие реше-*

ний, обучение и адаптивность поведения. И, наконец, высший уровень (целеполагания) соответствует принципам *выбора целей* и механизмов функционирования агентов. Рассмотренная в предыдущем подразделе задача о диффузной бомбе является примером реализации общей структуры Рис. 39.

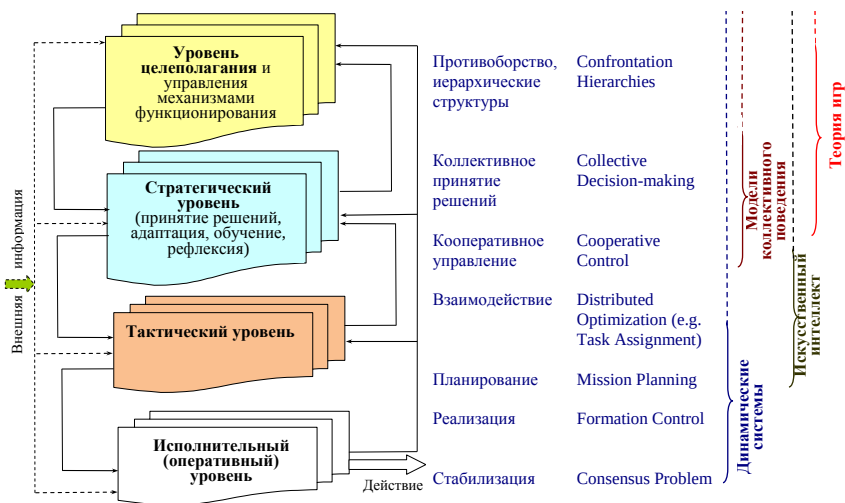


Рис. 39. Иерархическая структура агента в МАС

Приведенная на Рис. 39 структура является достаточно универсальной. Но, в то же время, большинство реализаций мультиагентных систем ограничивается двумя нижними уровнями, используя аппарат *теории динамических систем*.

Для задач *планирования миссии* могут быть использованы разнообразные средства *искусственного интеллекта* – нейросетевые, эволюционные, логические и другие.

Отдельно следует отметить такое широко используемое в МАС направление современной теории оптимизации, как *распределенная оптимизация* (Distributed Optimization, Agent-Based Computing; см. обзор [198]). Ее основная идея заключается в следующем: задача поиска экстремума функции многих переменных декомпозируется на ряд подзадач, решаемых отдельными агентами в условиях ограниченной информации. Например, каждый из агентов «отвечает» за свою переменную и на очередном шаге выбирает ее значение, зная предыдущие выборы некоторых своих «соседей» и стремясь макси-

мизировать свою локальную «целевую функцию». Спрашивается, можно ли по заданной исходной функции найти «целевые функции» агентов и правила их взаимодействия, чтобы автономное поведение агентов приводило к реализации централизованного оптимума (в *алгоритмической/вычислительной теории игр* [186, 239] соответствующему, например, равновесию Нэша игры агентов или эффективному по Парето их состоянию).

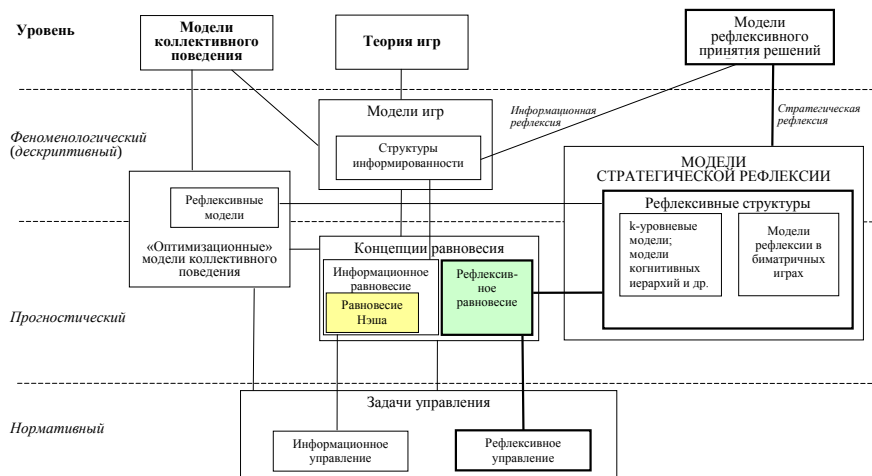


Рис. 40. Принятие решений: информационная и стратегическая рефлексия

Перейдем к стратегическому уровню архитектуры агента, то есть уровню, отвечающему адаптации, обучению, рефлексии и пр. аспектам стратегического принятия решений. *Теория игр* [248] и *теория коллективного поведения* [107, 138] изучают модели взаимодействия рациональных агентов. Для теории игр традиционной является схема, когда сначала описывается «модель игры»; затем выбирается концепция равновесия, определяющая, что понимается под устойчивым исходом игры; после чего может формулироваться та или иная *задача управления* – выбора значений управляемых «параметров игры», приводящих к реализации требуемого равновесия (см. Рис. 40, на котором «уровни» соответствуют функциям науки – см. раздел 1.1).

Учет *информационной рефлексии* приводит к необходимости построения и анализа структур информированности [136], что в

итоге дает возможность определить информационное равновесие и в дальнейшем ставить и решать задачи *информационного управления*. Учет *стратегической рефлексии* приводит к аналогичной цепочке, выделенной жирными линиями: решаются задачи *«рефлексивного управления»* [133].

5.4.4. Модель информационного противоборства в социальных сетях. Объектом и средством управления в данном примере является *социальная сеть* или другой «сетевой» объект [53, 229].

Можно выделить несколько уровней описания и анализа социальных сетей – см. Табл. 5. На первом (нижнем) уровне сеть рассматривается «в целом» (данное описание, хотя и не является детализированным, обычно необходимо для экспресс-анализа общих свойств объекта). Здесь для агрегированного описания и идентификации параметров сети используются *статистические методы*, *методы семантического анализа* и др.

На втором уровне с использованием аппарата *теории графов* решаются задачи анализа структурных свойств сети.

На третьем уровне анализируется информационное взаимодействие агентов. Здесь спектр возможных моделей описания динамики мнений агентов и их влияния друг на друга наиболее широк – *марковские модели*, *конечные автоматы*, *модели диффузии инноваций*, *модели заражения* и многие другие.

На четвертом уровне с использованием аппарата *оптимального управления* или *дискретной оптимизации* ставятся и решаются задачи управления.

И, наконец, на пятом уровне для описания взаимодействия субъектов, воздействующих на социальную сеть каждый в своих интересах, как правило, используется аппарат *теории игр*, в том числе – рефлексивных игр.

В результате получается иерархическая модель, приведенная в Табл. 5.

На примере социальных медиа [53] ярко проявляются проблемы *социальной, экономической и информационной безопасности ИКТ*. Развитие технологий происходит все более быстрыми темпами, и общество уже не всегда успевает осознать как новые возможности, которые дает та или иная технология, так и те угрозы, которая она несет. Если при открытии атомной энергии ученые четко осознавали возможные проблемы ее использования в военных целях (вспомним, например, известное письмо А. Эйнштейна президенту США Ф.Д. Рузвельту в 1939 году), то сегодня даже специалисты по ИКТ не до конца понимают социальное влияние последних. Конечно,

ИКТ дают для принятия решений, в частности – для экспертной деятельности [52], массу новых возможностей. Но, с другой стороны, возникают и новые проблемы.

*Табл. 5. Модель информационного противоборства
в социальной сети*

Уровень иерархии	Моделируемые явления/ процессы	Аппарат моделирования
5	Информационное противоборство	Теория игр, теория принятия решений
4	Информационное управление	Оптимальное управление, дискретная оптимизация
3	Информационное взаимодействие агентов	Марковские модели, конечные автоматы, модели диффузии инноваций, модели заражения и др.
2	Анализ структурных свойств сети	Теория графов
1	Анализ сети в целом	Статистические методы, методы семантического анализа и др.

Так как результаты функционирования компьютерных *систем поддержки принятия решений*, в том числе – полученные в рамках тех или иных формальных моделей средствами современных ИКТ, используются при принятии реальных ответственных решений, то обостряются вопросы безопасности – обеспечения защищенности принимаемых решений и их последствий от негативных воздействий участников (как «технических», так и субъектных) этой деятельности.

Кроме того, у общества и государства неизбежно растет интерес к социальным медиа (онлайновым сетям и др.) как к источнику специфической информации для опережающего выявления неявных тенденций, которые только зарождаются и на которые можно влиять.

Другими словами, встают проблемы социальной, экономической и информационной безопасности, как личности, так и общества и государства, поскольку социальные, экспертные и др. сети – это на самом деле арена информационного противоборства, когда управляющие субъекты ведут борьбу «за умы» других участников сети, а

сама социальная сеть является объектом или средством информационных воздействий.

5.4.5. «Иерархическая автоматизация» в организационно-технических системах. *Производственные системы* с 80-х годов XX века прошли долгий путь – от гибких (flexible) к комплексным (holonic) системам. В последние годы интерес к ним усилился в связи с новыми вызовами рынка – эффективность специализации и децентрализации производства, индивидуализация продуктов и услуг и т.д. Возникли *сетевые производства*, появляются «*облачные*» *производства*. Наряду с внедрением принципиально новых технологий собственно производства (нанотехнологии, аддитивные технологии, цифровое производство и т.п.), изменяются подходы к его организации – акцент смещается от автоматизации операций к *автоматизации управления* (на всех этапах жизненного цикла).

Такие вызовы, как:

- огромное число заказных конфигураций продукта;
- совмещение мелкосерийного и массового производства;
- сокращение срока выполнения индивидуального заказа;
- интеграция цепочек поставок для сокращения склада;

и др., приводят к необходимости предлагать решения, которые бы обеспечивали:

- универсальность производственной системы и отдельных ее компонент;
- способность быстро и гибко подстраиваться под новые задачи;
- автономность принятия производственных решений за счет широкой автоматизации управления;
- живучесть, тиражируемость и масштабируемость за счет сетевцентрического управления и применения мультиагентных технологий;
- принятие производственных решений с учетом экономических факторов и т.д.

Современные производственные системы имеют иерархическую структуру – см. Рис. 41, а сложность решаемых задач управления порождает декомпозицию последних на уровни принятия решений. Каждому уровню решения задач управления соответствуют свои цели, *модели* и *инструментарий* (Рис. 41) на каждом из этапов управления (организация, планирование, реализация, контроль и анализ). Следовательно, в производственных организационно-технических системах возникает возможность (и необходимость) иерархического моделирования.



Рис. 41. Иерархические модели в производственных системах

Возможность эта реализуется, но очень нерегулярно и несистемно. Понятно, что решать реальные задачи автоматизации, анализа, поддержки принятия решений в производственных системах можно только в рамках соответствующих автоматизированных информационных систем. В качестве иллюстрации рассмотрим список классов таких систем в порядке возрастания «уровня иерархии»:

- системы нижнего уровня (PLC, MicroPC, ...);
- системы диспетчерского и оперативного управления (SCADA, DCS, ...);
- системы планирования и управления производством (MRP, CRP, ..., MRP2, ...);
- интегрированные системы (MES, ..., ERP, ...);
- системы, отвечающие за взаимодействие с внешним миром или развитие (SCM, CRM, PMS, ...);
- аналитические системы верхнего уровня (OLAP, BSC, DSS, ...).

Каждый из этих классов систем так или иначе использует математические модели, но использует очень фрагментарно и, как правило, использует тем меньше, чем выше уровень иерархии⁵⁵. Так, например, контроллеры нижнего уровня в полной мере используют

⁵⁵ Этот вывод справедлив как для отдельных информационных систем, так и для интегрированных (реализующих комплекс перечисленных функций) информационных систем управления жизненным циклом (PLM), включая системы автоматизированного проектирования и др.

теорию автоматического регулирования; в системы управления проектами (PMS) встроены классические алгоритмы поиска критических путей, методы Монте-Карло для оценок продолжительностей, эвристики балансировки используемых ресурсов; в ERP-системах и логистических системах (SCM) используются простейшие результаты из теории управления запасами; и т.д.

Тем не менее, полноценное внедрение в информационные системы т.н. «жестких» моделей [12] и «количественной науки» – результатов исследования операций, дискретной оптимизации, анализа данных и других отраслей современной прикладной математики – еще ждет своего часа.

Глобальных проблем здесь несколько. С одной стороны, математические модели требуют очень точной и актуальной информации, обеспечение которой иногда требует слишком больших организационных и иных затрат. С другой стороны, зачастую «мягкие» модели (элементарное наведение управленческого порядка на производстве, внедрение типовых решений и стандартов (сформулированных на качественном уровне лучших практик) и т.д.) дают при небольших усилиях внедрения выигрыш, в разы превышающий результаты использования количественных моделей. Поэтому, наверное, последние следует внедрять во вторую очередь, «выжимая» остатки возможного повышения эффективности.

Завершая раздел, посвященный гетерогенным моделям и иерархическому моделированию, отметим ряд общих для них классов проблем. Современные объекты управления настолько сложны, что в них зачастую невозможно выделить чисто иерархические или чисто сетевые составляющие – необходимо рассматривать *сети иерархий и иерархии сетей*.

Во-первых, для моделей каждого из уровней возникают собственные, присущие используемому в них математическому аппарату, сложности. Кроме того, имеют место проблемы «содержательного сопряжения» моделей, поиска *общего языка* между представителями различных предметных областей.

Во-вторых, при «сшивании» моделей их комплекс наследует все отрицательные свойства каждой из компонент. Например, если хотя бы одна из моделей в «цепочке» не допускает аналитического исследования, то и вся цепочка обречена на имитационное моделирование. Темп вычислений будет соответствовать наихудшему из результатов по уровням и т.д.

В третьих, возникает необходимость оценок сравнительной эффективности решений агрегированных задач, а также разработки и

тиражирования типовых решений соответствующих задач управления, что позволило бы переводить их в инженерную плоскость.

5.5. Стратегическое поведение

Теория управления прошла длительный путь – от систем автоматического регулирования до систем *интеллектуального управления* – см. Рис. 31 и Рис. 42.

Последнее можно определять по-разному (не все приводимые «определения» удачны): как включающее целеполагание [30]; как основывающееся на методах искусственного интеллекта (например, использующее искусственные нейронные сети, эволюционные (генетические) алгоритмы, логический вывод или логико-динамические модели, представление знаний и работу со знаниями и т.д.⁵⁶); как имитирующее поведение человека и т.д.



Рис. 42. От автоматического регулирования
– к интеллектуальному управлению

К сожалению, употребление прилагательного «интеллектуальный» (применительно к системе управления, поведению и т.д.) стало во многом модой (отсутствие этой характеристики воспринимается как несовременность), тем самым «обесценив» его значение.

Выше были выделены такие свойства систем междисциплинарной природы, включающих человека (или искусственных систем, «подражающих» человеку), как самостоятельное целеполагание, целенаправленность поведения, рефлексия, ограниченная рациональность, кооперативное и/или конкурентное взаимодействие. Все эти свойства могут быть объединены в рамках категории *стратегическое поведение*. С исторической точки зрения, систематический

⁵⁶ Каждый из этих классов обладает своими преимуществами и своими недостатками, особенно с учетом требований реального времени. На сегодня выбор исследователя, инженера конкретных из этих средств во многом является искусством, и существенно зависит от опыта и традиций соответствующих научных школ. Глобальными задачами являются максимальное сглаживание недостатков отдельных средств и разработка общих методик их комплексирования в зависимости от решаемой задачи.

учет человеческого фактора (включая стратегическое поведение объекта управления) в математических задачах управления впервые начали осуществлять с конца 60-х годов XX века в *теории активных систем* (основатель – В.Н. Бурков⁵⁷) – см. первые работы [27, 201], обзор [200] и современные учебники и монографии [26, 111].

Ниже рассматриваются некоторые актуальные аспекты стратегического поведения (при этом вне рассмотрения остаются многие «внутренние» проблемы таких научных направлений, как теория игр, механизмы управления и др.).

Интеллектуальные мультиагентные системы. Одной из современных тенденций и *теории мультиагентных систем*, и *теории игр*, и *искусственного интеллекта* (последние два научных направления ориентированы на верхние уровни архитектуры агента – см. Рис. 39) является стремление к их интеграции.

При этом теория игр (в рамках так называемой *алгоритмической теории игр* [186]) движется «сверху вниз» (см. Рис. 43) – от единого описания игры к его децентрализации и исследованию возможности автономной (распределенной) реализации механизмов поведения и реализации равновесий. А теория МАС, двигаясь «снизу вверх» (см. Рис. 43), то есть параллельным, но в силу локализации научных сообществ – не совпадающим путем, стремится все больше учитывать *стратегическое поведение*, а также вырабатывать типовые *тестовые задачи и сценарии*. Необходимость последних обусловлена тем, что в большинстве случаев на тактическом уровне используются те или иные эвристические алгоритмы (число которых в силу популярности мультиагентной тематики растет очень быстро), которые нужно уметь сравнивать между собой по сложности, эффективности и т.д.

Достаточно часто, и чем дальше, тем, наверное, это будет иметь место чаще, происходит использование концепции *ограниченной рациональности* – в отсутствии времени, возможности или необходимости вместо оптимальных ищутся (зачастую, эвристически) и используются допустимые псевдо-оптимальные управления.

Кроме того, учет «человеческого» фактора приводит к необходимости привлечения как *теории механизмов управления* [111], так и поведенческих теорий (*экспериментальная экономика*, *экспериментальная теория игр* – см. обзор и ссылки в [133]). Поэтому

⁵⁷ Автор настоящей работы является воспитанником этой научной школы и учеником проф. В.Н. Буркова.

«нормативная» картина взаимодействия МАС и наук, исследующих стратегическое поведение, имеет вид, приведенный на Рис. 44.

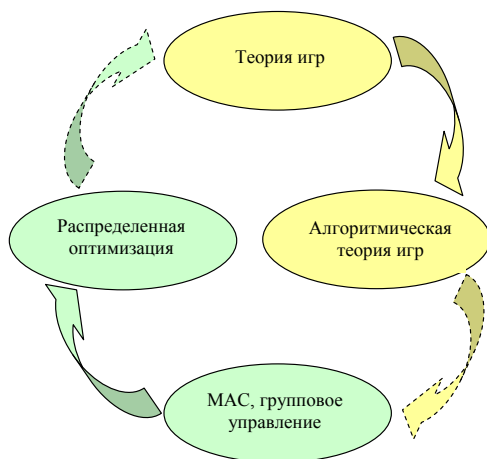


Рис. 43. МАС и стратегическое поведение: текущее состояние



Рис. 44. МАС и стратегическое поведение: нормативное состояние

Также отметим, что стремление к максимальной интеллектуализации ограничено «затратами» (вычислительными, когнитивными

ми, тактико-техническими, экономическими и др.) – см. Рис. 45. То есть, в МАС уровень «интеллектуализации» агентов должен быть рациональным – адекватным решаемой задаче (с учетом «затрат»). Кроме того, стремление к максимальной «интеллектуализации» - максимизация «гарантированной» (по множеству возможных ситуаций) эффективности функционирования МАС на уровне целеполагания - соответствует отказу от децентрализации, т.е. переходу к централизованной системе.

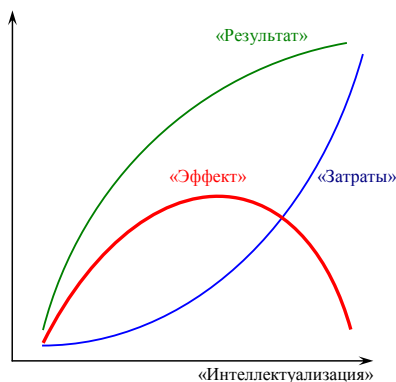


Рис. 45. Цена «интеллектуализации»

Рефлексия. Теория игр исследует взаимодействие супер-интеллектуальных агентов (которые по своим когнитивным возможностям априори равны исследователю) [248], в то время как теория коллективного поведения предполагает, что агенты рациональны (или ограниченно рациональны). Один из возможных путей⁵⁸ перехода между ними (от рациональных к супер-интеллектуальным агентам) заключается в увеличении «интеллектуальности» агентов за счет наделения их способностью к рефлексии – см. Рис. 46 и обзоры в [133, 136].

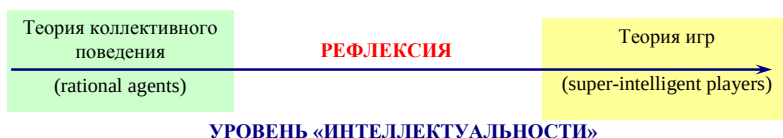


Рис. 46. Рефлексия и рост «интеллектуальности»

⁵⁸ Альтернативами являются, например, рассмотрение эволюционных игр [281] или эффектов научения в играх [248].

Информационная рефлексия – процесс и результат размышлений агента о том, каковы значения неопределенных параметров, что об этих значениях знают и думают его оппоненты (другие агенты). При этом собственно «игровая» компонента отсутствует, так как никаких решений агент не принимает.

Стратегическая рефлексия – процесс и результат размышлений агента о том, какие принципы принятия решений используют его оппоненты (другие агенты) в рамках той информированности, которую он им приписывает в результате информационной рефлексии – см. Рис. 40.

Одними из ключевых являются понятия *информационной/рефлексивной структуры*, описывающей нетривиальную взаимную информированность агентов (или их автоинформированность – см. модели этического выбора в [101]), и *фантомного агента*, как существующего в сознании других реальных и фантомных агентов и обладающего определенной информированностью.

Введение понятия фантомного агента позволяет определить *рефлексивную игру* (термин, введенный в 1965 г. В.А. Лефевром [103]) как игру реальных и фантомных агентов, а также определить *информационное равновесие* как обобщение равновесия Нэша на случай рефлексивной игры, в рамках которого предполагается, что каждый агент (реальный и фантомный) при вычислении своего субъективного равновесия (равновесия в той игре, в которую он со своей точки зрения играет) использует имеющуюся у него иерархию представлений об объективной и рефлексивной реальности [136].

Исследования рефлексивных игр, во-первых, позволяют с единых методологических позиций и с помощью унифицированного математического аппарата описывать и анализировать разнообразные ситуации коллективного принятия решений агентами, обладающими различной информированностью, исследовать влияние рангов рефлексии на выигрыши агентов, изучать условия существования и реализуемости информационных равновесий и т.д. Во-вторых – позволяют определить условия существования и свойства информационного равновесия, а также конструктивно и корректно сформулировать задачу *информационного управления*, заключающуюся в поиске управляющим органом такой информационной структуры, что реализующееся в ней информационное равновесие наиболее выгодно с его точки зрения. Подробное описание теоретических результатов и многочисленные примеры прикладных моделей рефлексивных игр и информационного управления можно найти в [136].

Достижения и иллюзии «эмерджентного интеллекта». В заключение настоящего подраздела рассмотрим кратко одно из направлений, связанных с «интеллектуальным» управлением, «интеллектуальным» поведением искусственных (например - мультиагентных) систем.

В последние два десятилетия значительное внимание исследователей в кибернетике и искусственном интеллекте посвящено явлению *эмерджентного интеллекта* (от англ. emergent – внезапно появляющийся), заключающегося в том, что система, состоящая из большого числа относительно простых однородных локально взаимодействующих между собой и с внешней средой элементов (например, агентов в МАС⁵⁹), демонстрирует неожиданно сложное⁶⁰ (по сравнению с простотой своих элементов) «интеллектуальное» поведение. Многие исследования вдохновлены аналогами в живой природе (Swarm Intelligence - эвристические алгоритмы распределенной оптимизации: муравьиные и пчелиные колонии, рои птиц, косяки рыб и др.).

Плюсы подобных систем: дешевизна и простота отдельного элемента, устойчивость к локальным отказам, масштабируемость, реконфигурируемость, асинхронность, возможность параллельной обработки локальной информации (следовательно - высокая эффективность работы в *реальном времени*). Их многочисленные современные приложения: социальные системы (мудрость толпы, сетевая экспертиза, социальные сети и др.), экономические системы (финансовые и др. рынки, национальная и региональная экономики и т.д.), телекоммуникационные сети, модели производственных и транспортно-логистических систем, робототехника, извлечение знаний (в т.ч. из Интернета), Интернет вещей и др. [52, 53, 128, 178, 209, 266].

Появление качественно новых свойств системы в целом, которыми не обладает ни один из входящих в нее отдельных элементов - переход от простого локального и децентрализованного (в отсутствии централизованного управления) взаимодействия элементов к нетривиальному и сложному глобальному поведению – позволяет интерпретировать последнее как *адаптивное* и *самоорганизующееся*, ведь **нелинейность, эволюционность, адаптивность и самоор-**

⁵⁹ К этому же классу можно условно отнести и уже ставшую привычной проблематику искусственных нейронных и иммунных сетей, вероятностных автоматов, генетических алгоритмов и др.

⁶⁰ Иногда говорят о рождении новой науки - науки о сложности (Complexity Science).

ганизация - характеристические черты реальных современных сложных систем (см. примеры и обсуждение, например, в [266]).

Однако, в эмерджентном интеллекте, наряду с множеством достижений и большими перспективами, иногда существует ряд иллюзий. На самом деле в нем речь идет об искусственных системах, а «адаптация», и «самоорганизация», при всех их плюсах, заложены на этапе создания системы. Для искусственных систем, несмотря на *закон эмерджентности* (свойства системы не сводятся к «сумме» свойств ее элементов - см. выше), их поведение полностью определяется поведением/взаимодействием ее элементов.

Подобные заблуждения уже встречались в истории науки – на ранних стадиях развития кибернетики и искусственного интеллекта⁶¹ – и, приведя к множеству разочарований, очень сильно затормозили развитие этих научных направлений.

Кроме того, следует помнить, что в МАС реализуются эвристики, и при всех их плюсах, необходимо оценивать гарантированную эффективность предлагаемых и реализуемых ими решений (см. также выше).

В целом, можно выделить три крупных класса источников появления «новых» свойств системы:

- *аддитивное взаимодействие*⁶² элементов системы;

- *множественность элементов и взаимосвязей между ними* (быть может, нелинейных, асинхронных, с задержками распространения информации и т.д.) не позволяет наблюдателю/исследователю, обладающему *ограниченной информацией* и *когнитивными возможностями*, произвести мысленный эксперимент, в деталях воспроизводящий поведение агентов во времени; поэтому результаты компьютерной симуляции приводят к «неожиданному»⁶³ для наблюдателя поведению системы;

⁶¹ *Кибернетическая система не может демонстрировать поведения, отличного от являющегося результатом заложенных в нее алгоритмов (которые могут быть «стохастическими», «недетерминированными» и т. д.), несмотря на кажущуюся генерацию новых знаний или проявления качественно нового («неожиданного») поведения, особенно при взаимодействии нескольких и, тем более, значительного числа элементов (простая по устройству система проявляет сложное поведение).*

⁶² *Например, один микроробот не может сдвинуть тяжелый груз, а большое их количество, прикладывая усилия одновременно и сонаправленно, может.*

⁶³ *Полная модель системы настолько сложна, что для стороннего наблюдателя все выглядит как «чудо» появления новых свойств (а ученые это настолько эксплуатируют, что иногда начинают верить сами, что искусственная система может демонстрировать «самостоятельное» поведение).*

- *искусственная рандомизация* (встраиваемая в алгоритмы поведения – взаимодействия агентов друг с другом и/или со средой) необходима для порождения разнообразия (и, в конечном счете, для самоорганизации)⁶⁴.

5.6. Большие данные и большое управление

Большие данные (Big Data, первое упоминание, – по-видимому, в специальном выпуске журнала «Nature» [251]) в информационных технологиях – направление в науке и практике, связанное с разработкой и применением методов и средств оперирования большими объемами неструктурированных данных.

Оперирование Big Data включает их⁶⁵:

- сбор (получение);
- передачу;
- хранение (включая запись и извлечение);
- обработку (преобразование, моделирование, вычисления и анализ данных);
- использование (включая визуализацию) в практической, научной, образовательной и других видах человеческой деятельности.

Иногда «большими данными» в узком смысле называют только технологии сбора, передачи и хранения Big Data. Тогда обработку больших данных, включая построение и анализ моделей на их основе, называют *большой аналитикой* (в том числе и большие вычисления), а визуализацию (учитывающую когнитивные возможности пользователя) соответствующих результатов – *большой визуализацией* (см. Рис. 49).

Универсальный *цикл оперирования* большими (да и, вообще, любыми) данными приведен на Рис. 50. Ключевые элементы в данном цикле – объект и субъект («потребитель»), которому требуются знания о состоянии (и закономерностях его изменения) первого. Но между данными, собираемыми об объекте, и знаниями, необходи-

⁶⁴ *Неопределенность всегда порождается неопределенностью (она не может возникнуть из абстрактной «сложности» и подобных концептуальных факторов), потенциально включающей незнание (недостаточную информацию) и/или действие случайных факторов; и, если Вы наблюдаете «неопределенность», то надо, анализируя причинно-следственные связи, искать ее источник («исходную неопределенность»). Различные факторы сложности, естественно, только усложняют этот процесс.*

⁶⁵ *Иногда говорят о конструкции «4D» – выявление (Discovery), отбор (Discrimination), переработка (Distillation), доведение в нужном представлении (Delivery/Dissemination).*

мыми субъекту, иногда лежит целая «пропасть». Первичные данные должны быть предварительно обработаны – превращены в более или менее структурированную информацию, из которой в зависимости от задачи, стоящей перед субъектом, должны быть извлечены требуемые знания.



Рис. 47. «Большая триада»⁶⁶ – данные, аналитика, визуализация

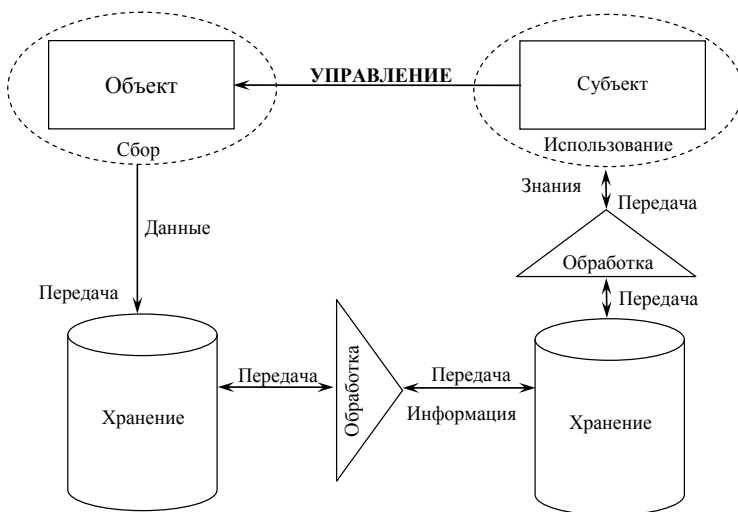


Рис. 48. Универсальный цикл оперирования Big Data

⁶⁶ Еще одну сверхмодную триаду – большие данные, высокопроизводительные вычисления и облачные технологии – обсуждать мы не будем.

Эти знания, в частности, могут быть использованы субъектом для управления объектом – осуществления целенаправленных воздействий, обеспечивающих требуемое его поведение. В частном случае (при неодушевленном субъекте) управление может быть автоматическим. Наверное, скоро в обиход войдет термин «*большое управление*⁶⁷» (Big Control) как управление на основе больших данных, большой аналитики и, быть может, большой визуализации⁶⁸ [128].

Значительная часть усилий в области Big Data пока направлена на разработку технологий сбора, передачи, хранения и преобразования больших данных, в то время как большой аналитике и визуализации уделяется гораздо меньшее внимание; но акценты постепенно все более смещаются в сторону именно алгоритмов эффективной обработки Big Data.

Источники и «потребители» Big Data:

– наука – астрономия и астрофизика, метеорология, ядерная физика, физика высоких энергий, геоинформационные и навигационные системы, дистанционное зондирование Земли, геология и геофизика, аэродинамика и гидродинамика, генетика, биохимия и биология и др.

– Интернет (в широком смысле, включая *Интернет вещей*) и другие телекоммуникационные системы;

– бизнес, торговля и финансы, а также маркетинг и реклама (включая трейдинг, таргетирование и рекомендательные системы, CRM-системы, RFID – радиочастотные идентификаторы, все чаще используемые в торговле, транспорте и логистике и др.);

– мониторинг (гео-, био-, эко-, космический, авиа– и др.);

– безопасность (системы военного назначения, антитеррористическая деятельность и др.);

– электроэнергетика (включая атомную); SmartGrid;

– медицина;

⁶⁷ Как отмечалось выше, специалисты по теории управления в последние полтора десятилетия все чаще говорят о совместном решении задач управления, вычислений и связи – так называемая проблема C³ (Control, Computation, Communication) – решения задач синтеза управляющих воздействий в реальном времени с учетом задержек в каналах связи и временных затрат на обработку информации (включая вычисления). Кроме того, существует устойчивое словосочетание «управление большими системами» (Large-scale Systems Control), однако большие данные могут порождаться и «маленькими» в этом смысле системами.

⁶⁸ Возможна и другая трактовка термина «большое управление» – как управления процессами оперирования Big Data, что представляет собой самостоятельную и нетривиальную проблему на стыке информатики и теории управления.

- госуслуги и госуправление;
- производство и транспорт (объекты, узлы и агрегаты, системы управления и др.).

Многочисленные примеры⁶⁹ приложений Big Data в этих областях можно найти в научно-популярной (иногда даже в «глянцевой») литературе, свободно доступной в Интернете (повторять эти типовые примеры и «пугать» читателя «зетта-» и «йоттабайтами» мы не будем).

Современный уровень автоматизации практически всех перечисленных отраслей таков, что в них большие данные, де-факто, автоматически генерируются. Поэтому все чаще задаются вопросом – сколько потоковых данных мы «теряем» (из-за того, что не можем или не успеваем их сохранить или обработать)? Вопрос этот корректен для инженера по ИКТ, но не для ученого и, тем более, не для пользователя результатов обработки Big Data – они бы спросили соответственно: «что мы потеряли существенного» и «что изменилось бы для нас, если бы мы успели все собрать и обработать».

Традиционно, большими считаются, как минимум, данные, объем которых превосходит существующие возможности оперирования ими в требуемые сроки на отдельном неспециализированном ПК или сервере. Такое определение несколько «лукаво» – данные, считающиеся «большими» сегодня, перестанут быть таковыми завтра с развитием методов и средств работы с ними. Данные, казавшиеся «большими» несколько столетий или даже десятилетий назад (в отсутствии возможности их автоматической обработки), сегодня легко обрабатываются на бытовом компьютере. Соревнование между вычислительными потребностями (гипотетическими) человечества и соответствующими технологическими возможностями существует давно, и, естественно, потребности всегда опережали и будут опережать возможности. И несоответствие между ними служит колоссальным стимулом развития науки – приходится искать более простые (но адекватные) модели, придумывать более эффективные алгоритмы и т.д.

Иногда в определение Big Data добавляют такие их свойства, как 5V – объем (Volume), скорость (Velocity), разнообразие (Variety),

⁶⁹ Основная идея использования Big Data заключается в попытке выявить «скрытые закономерности» – найти ответы на нетривиальные вопросы, например: прогноз эпидемий по информации из соцсетей или о продажах в аптеках; задачи диагностики (медицинской и технологической); удержание клиентов благодаря анализу поведения покупателей в магазине по перемещению в пространстве RFID-меток товаров и пр.

достоверность (Veracity) и обоснованность (Validity); или говорят, что от большого объема обычных данных большие данные отличаются наличием большого потока (здесь учитывается и объем, и скорость – объем в единицу времени) неструктурированных⁷⁰ данных.

Неструктурированность (в широком понимании) Big Data (текст, видео, аудио, структура коммуникаций и т. п.) является их характерной чертой и вызовом для прикладной математики, лингвистики, когнитивных наук и искусственного интеллекта. Действительно, разработка технологий обработки⁷¹ в реальном времени, в том числе с возможностью выявления «скрытой» информации, больших потоков текстовой, аудио-, видео- и другой информации составляет мейнстрим приложений перечисленных научных областей⁷² к ИКТ.

Тем самым, мы наблюдаем прямой (и явный) запрос от технологий к науке. Второй (и столь же явный) «запрос» заключается в адаптации к анализу больших данных традиционных методов статистического анализа, оптимизации и т. п. Более того, помимо адаптации, необходима разработка новых методов, учитывающих специфику Big Data – сейчас модно рекламировать средства аналитики (как правило, бизнес-аналитики) для больших данных, но список этих средств почти совпадает с хрестоматийным набором статистических инструментов (и даже уже этого набора, так как не все методы применимы в условиях большой размерности). То же самое относится и к:

– *методам машинного обучения* (Support Vector Machine, Random Forests, искусственные нейронные сети, байесовы сети, включая методы выделения информативных признаков и снижения размерности пространства признаков, а также к проблематике переобучения моделей) и *искусственного интеллекта*;

– *оптимизационным задачам большой размерности* (как «альтернатива»), помимо ставших привычными технологий параллель-

⁷⁰ Неструктурированность данных может порождаться также их пропусками и/или разномасштабностью (в пространстве и времени – так называемых multi-scale systems) анализируемых явлений и процессов.

⁷¹ Эти технологии, в первую очередь, должны предусматривать агрегирование данных (например, фиксация изменений в технологических данных или хранение агрегированных показателей), ведь не всегда нужно использовать все данные (особенно, если они «однородны»).

⁷² Математика может хорошо работать со структурированными данными, поэтому преобразование неструктурированных данных в структурированные – отдельная важная задача.

ных вычислений, активно развивается распределенная оптимизация);

– *методам дискретной оптимизации* (здесь «альтернативой» служит применение мультиагентных программных систем – см. обсуждение задач распределенной оптимизации выше).

Общим для перечисленных «запросов» технологий к науке заключается в том, что нельзя надеяться, что удастся ограничиться адаптацией или небольшой модификацией известных, уже хорошо зарекомендовавших себя методов. Нужно понимать, что автоматическое построение (с помощью традиционного аппарата⁷³) модели по сырым данным в общем случае представляет собой не более чем модную иллюзию⁷⁴ – мы придумаем алгоритмы, «напустим» их на большие массивы неструктурированной (и в большинстве случаев нерелевантной) информации и благодаря этому будем принимать более эффективные решения (см. «иллюзию эмерджентного интеллекта» выше). Чудес на свете не бывает: как правило, для получения качественно новых выводов нужна новая модель, новая парадигма (см. работы по методологии науки [125, 236]).

Сложность окружающего нас мира растет не так быстро, как возможности фиксации («измерения») и хранения данных, которые, похоже, опередили возможности человечества по осознанию возможности и целесообразности их использования, т. е., мы «захлебываемся» в данных и судорожно пытаемся придумать, что с ними можно делать.

Но на эту ситуацию можно посмотреть и с другой стороны: основной тезис заключается в следующем – получить большие (сколь угодно большого мыслимого объема) данные можно и достаточно просто (лежащие на поверхности примеры нам дают *комбинаторная оптимизация*, *нелинейная динамика* или *термодинамика* – см. далее), нужно понимать, что с ними делать (Природе нужно задавать правильные вопросы). Более того, можно придумать сколь угодно сложную модель, использующую Big Data, а затем пытаться достичь в ее рамках все более высокой точности. Проблема в том, получим

⁷³ Обычно ситуация дополнительно обременена предшествующим опытом исследователя/разработчика и традициями его научной школы – успешное решение некоторой одной задачи приводит к формированию вполне естественного убеждения, что этими же методами (ими и только ими!) можно решить все остальные нерешенные задачи.

⁷⁴ Хотя в некоторых случаях увеличение объема данных может (при правильной обработке) дать дополнительную информацию.

ли мы при этом, кроме массы новых проблем⁷⁵, качественно новые результаты. Математикам и физикам давно известно, что увеличение размерности модели и ее «усложнение» (стремление учесть все больше факторов и связей между ними) далеко не всегда ведет к адекватному росту «качества» результатов моделирования, а иногда и вовсе приводит к абсурду⁷⁶.

В [128] на основании рассмотрения ряда примеров отмечается, что большие данные по своему источнику можно условно разделять на *естественные* и *искусственные*. В первом случае данные порождает некоторый существующий независимо от нас объект, а мы (как «исследователи») решаем, что и сколько «измерять» и т.д. Во втором случае источником данных служит модель, которая может порождать большие данные, при этом сложность (поток данных) отчасти управляема и определяется в процессе моделирования.

«Рецепты». Можно выделить четыре большие группы *субъектов* (см. Рис. 49), оперирующих (явно или косвенно) большими данными в своей профессиональной (научной и/или практической) деятельности:

- разработчики средств оперирования Big Data (производители соответствующего программного и аппаратного обеспечения, а также его продавцы, консультанты, интеграторы и др.);

- разработчики методов оперирования Big Data (специалисты по прикладной математике и компьютерным наукам);

- специалисты-предметники – ученые, исследующие реальные объекты (или их модели), служащие источниками больших данных;

- потребители, использующие или собирающиеся использовать результаты анализа больших данных в своей практической деятельности.

Каждый из представителей перечисленных групп взаимодействует с другими (см. штриховой контур на Рис. 50) – нормативное (к которому надо стремиться) разделение «зон ответственности» приведено на Рис. 50, где толщина стрелок условно отражает степень вовлеченности).

⁷⁵ О проблемах адекватности модели и устойчивости результатов моделирования мы, осознавая их важность, пока забудем.

⁷⁶ Не говоря уже о ситуациях, когда в рамках существующих научных парадигм принципиально невозможно моделирование поведения системы на достаточно большом горизонте времени (примером может служить «точное» и «своевременное» прогнозирование погоды).

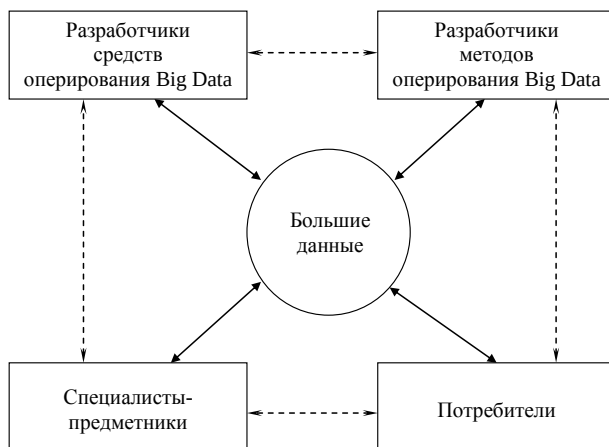


Рис. 49. Субъекты, оперирующие большими данными

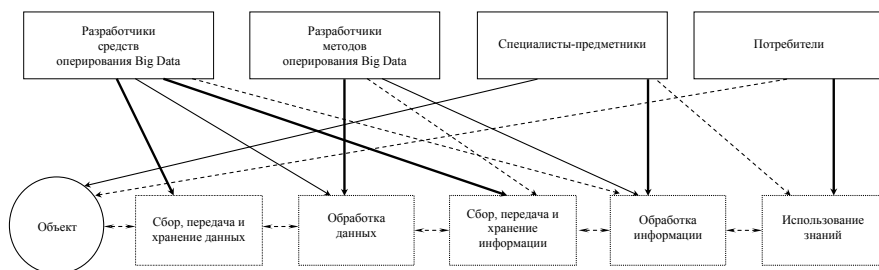


Рис. 50. Разделение «зон ответственности»

Не претендуя на конструктивность, даже исходя из здравого смысла, можно сформулировать следующие общие «рецепты» для перечисленных групп субъектов.

Для разработчиков средств оперирования Big Data: продавать решения в области Big Data (в том числе и аналитические) станет все труднее, если их не пополнять новыми адекватными математическими методами и не предусматривать возможность работы потребителя в тесном взаимодействии с разработчиками методов и специалистами-предметниками.

Для собратьев-математиков: актуален запрос на адаптацию известных и развитие новых (в первую очередь – обладающих сложностью, близкой к линейной) методов обработки больших потоков

неструктурированных данных, которые представляют собой хороший полигон тестирования новых моделей, методов и алгоритмов (желательно за счет разработчиков и/или потребителей).

Для специалистов-предметников: технологии Big Data дают новые возможности получения и хранения огромных массивов «экспериментальной» информации, постановки так называемых вычислительных экспериментов, а развиваемые методы прикладной математики дают возможность системной генерации и быстрой верификации гипотез (выявления скрытых закономерностей).

Для потребителей: дорогие технологии сбора и хранения Big Data вряд ли дадут эффект без привлечения специалистов по методам и по предмету (при обязательном четком понимании, на какие вопросы потребитель хочет получить ответы от Big Data⁷⁷).

В качестве позитивного тренда в оперировании большими данными отметим стремление к поиску адекватных *макроописаний больших систем*. Примером могут служить работы по моделированию социальных систем – социальных сетей, толпы и т.д., – в которых рассматриваются как их микро-описания (на уровне отдельных агентов) [14], так и макро-описания (в терминах функций распределения существенных параметров) [25], причем проводится анализ соответствия между ними [24]. Такой подход развивается также в рамках *социофизики* и *эконофизики* при применении аппарата *статистической физики* к моделированию *сложных сетей* и больших социально-экономических систем.

Некоторые опасности. Помимо упомянутых необходимости поиска адекватных простых моделей и настораживающего тренда опережающего развития технологий, можно предположить будущую актуальность следующих проблем (их список не структурирован и открыт).

- *Информационная безопасность Big Data.* Здесь потребуются и адаптация известных, и разработка принципиально новых методов и средств. Ведь, наряду с нарастающей актуальностью проблем *кибербезопасности* (в узком смысле – информационной безопасностью систем управления) и проблемой обеспечения защиты «от информации» (особенно, в социальных системах), необходимо учитывать специфику, собственно, Big Data.

⁷⁷ Правда, можно «складировать» данные на всякий случай на будущее – вдруг когда-то возникнет мысль, что с ними делать – захочется, например, проверить ту или иную гипотезу, а данные уже под рукой.

- *Энергетическая эффективность Big Data.* Уже сейчас центры обработки данных представляют собой существенный класс потребителей электроэнергии. Чем больше данных мы хотим обрабатывать, тем больше потребуется энергии.

- *Принцип дополнительности.* Возмущающая роль «наблюдателя» давно известна в квантовой физике. А как обстоит дело в социальных системах, элементы которых (люди) активны – обладают своими интересами и предпочтениями, способны самостоятельно выбирать свои действия и пр. [27, 111, 135]?

Одно из проявлений заключается в так называемом *манипулировании информацией*. В теории коллективного выбора давно известно, что активный субъект сообщает информацию, прогнозируя результаты ее использования, и в общем случае не будет сообщать достоверную информацию [26, 27, 111, 201].

Другой пример – так называемый *активный прогноз*, когда система меняет свое поведение на основании новых знаний, полученных о себе [136].

Снимаются или усугубляются эти и подобные проблемы в области Big Data?

- *Принцип неопределенности* в следующем (гносеологическом) варианте [125]: текущий уровень развития науки характеризуется определенными совместными ограничениями на «обоснованность» результатов и их области применимости (см. также выше Рис. 12). Применительно к Big Data принцип неопределенности означает, что существует рациональный баланс между степенью детальности описания состояния интересующей нас системы и обоснованностью тех результатов и выводов, которые мы хотим сделать на основании этого описания.

- Традиционно при построении и эксплуатации информационных систем (будь то корпоративные системы или системы поддержки госуслуг, межведомственного документооборота и т. п.) считается, что содержащаяся в них информация должна быть максимально полной, унифицированной и общедоступной (с учетом разделения прав доступа). Но ведь возможно показывать каждому пользователю реальность, искаженную в своем «кривом зеркале» – создавать для каждого свою индивидуальную информационную картину⁷⁸, осущес-

⁷⁸ Как минимум – часть «объективной» картины (правду, только правду, но не всю правду), как максимум – произвольную непротиворечивую систему представлений о реальности.

ствляя тем самым *информационное управление* [135, 136]. Стремиться к этому или бороться с этим в области Big Data?

В целом, подводя итог рассмотрению ряда трендов и прогнозов для теории управления, необходимо констатировать, что подобный (и, конечно, гораздо более систематический, регулярный и глубокий) анализ необходим и для других наук – кибернетики, системного анализа, оптимизации, искусственного интеллекта и др. Это, в свою очередь, дало бы импульс для развития Кибернетики – появления обобщений в виде соответствующих новых законов, закономерностей, принципов и т.д.

Научно-методическое обеспечение. В заключение настоящего раздела рассмотрим один частный, но очень важный аспект современного состояния теории управления, а именно – научно-методическое обеспечение высшего образования в области теории управления.

Попробуйте (если Вы считаете себя что-то понимающим в теории управления) ответить на дилетантский вопрос⁷⁹: «Порекомендуйте, пожалуйста, *учебник* по современной теории управления (одну книгу, соответствующую годовому курсу, не ограниченную только *теорией автоматического управления* (ТАУ), или еще уже – только линейными системами, или робастному управлению или каким-либо еще разделом теории управления), который позволил бы непосвященному студенту-математику или студенту-инженеру составить о ней относительно полное и соответственно - обратно пропорциональное полноте - поверхностное впечатление».

Ответы, к сожалению, будут неутешительны. С одной стороны, имеются хорошие справочники [110, 159, 273], учебники и учебные пособия по ТАУ, как классические – см., например, [43, 141] и обзор в [226], так и современные – см., например, [3, 13, 23, 77, 98, 185, 190, 199, 208, 255]. Есть замечательные учебники и монографии по отдельным разделам ТАУ: робастному управлению [146], управлению нелинейными системами [235] и др.

Другими словами, современные учебники и справочники хорошо покрывают классическую ТАУ, но почти не затрагивают общих

⁷⁹ Еще один интересный «образовательный» вопрос, вытекающий из общности законов и принципов управления, мы сформулируем, но подробно обсуждать не будем: «Что лучше - в каждом «отраслевом» вузе иметь свой факультет управления, или иметь один профильный вуз по управлению с «отраслевыми» факультетами?».

постановок задач управления и принятия решений (ограничиваясь динамическими системами как «универсальным» аппаратом описания любых объектов управления), почти не рассматривают интеллектуальное управление, сетевое управление, специфику управления конкретными «отраслевыми» классами объектов и т.д. С сожалением можно констатировать, что, несмотря на усилия Н. Винера и его последователей по созданию единой науки управления, ни один из учебников по ТАУ не содержит (даже во введении) упоминаний об общности законов и процессов управления машиной, животным и обществом.

А если тот же вопрос («Порекомендуйте, пожалуйста, учебник...») задать относительно потенциального читателя, не очень хорошо владеющего математикой – как до него (например, до школьника) донести результаты современной теории управления? Ответы будут еще более печальны. Конечно, можно аргументировать, что объем накопленных в теории управления научных знаний огромен, что их освоение требует подготовки, что дилетанту их не понять, что эту функцию выполняют справочники и энциклопедии (Handbooks) и т.д. и т.п. Но есть контраргумент – многие науки (физика, химия, биология) сегодня могут быть изложены и на уровне школьного учебника, и на уровне университетского учебника (подобные «энциклопедические» учебники существуют, например, для не менее «емких» наук – информатики, искусственного интеллекта, теории игр, исследования операций и др.), и на уровне научной монографии. Почему же сегодня нет школьных учебников по теории управления⁸⁰, почему мало соответствующих учебников для вузов? Создание простых (но строгих и полных) учебников по теории управления является насущным вызовом для специалистов в этой области!

Заключение: «кибернетика 2.0»

Итак, выше кратко рассмотрены история кибернетики, ее современное состояние, тренды и перспективы развития ряда составляющих ее наук (в основном – теории управления). А как обстоит

⁸⁰ Отметим, что, говоря о «теории управления» в настоящей работе мы понимаем именно математическую теорию управления, а не одноименный раздел «менеджмента», беллетристическими учебниками по которому сейчас переполнены полки книжных магазинов.

дело с перспективами собственно кибернетики? Для этого обратимся к первоисточкам – исходному определению кибернетики как науки об УПРАВЛЕНИИ и СВЯЗИ.

С управлением все относительно понятно, со связью, на первый взгляд, тоже – в 40-е годы появилась (в т.ч. усилиями самого Н. Винера) математическая теория связи и информации (модели определения количества информации, пропускных способностей каналов связи, затем интенсивно начала развиваться теория кодирования и т.д.).

Но посмотрим на «связь» немного шире⁸¹. У Н. Винера и в статье [265], и в исходной книге [34], в явном или неявном виде фигурируют *целесообразность* и *каузальность* (*причинно-следственные связи*: действительно, для осуществления *обратной связи*, управление-следствие определяется причиной – состоянием управляемой системы; управляющее воздействие на входе управляемой системы вызвано причиной – состоянием системы управления и т.д.). Конечно, важно по каким каналам связи и как именно передается информация, но все это вторично, если речь идет о закономерностях, универсальных для животного, машины и общества.

Еще более широкий взгляд – трактовка «связи» как ВЗАИМОСВЯЗИ – между элементами управляемой системы, между управляющей и управляемой системой и т.д., включая различные виды воздействий и взаимодействий (материальных, информационных и пр.). При этом «взаимосвязь» является по отношению к «связи» более общей категорией.

Взаимосвязям (в общесистемном виде) соответствует категория ОРГАНИЗАЦИИ (см. определение и обсуждение ниже). Поэтому, если сделать простую коррекцию – заменить в винеровском определении кибернетики «связь» на «организацию», то получим более общее и современное определение кибернетики: «наука об органи-

⁸¹ Академик А.Н. Колмогоров выступал против такой трактовки. В 1959 году он писал: «Кибернетика занимается изучением систем любой природы, способных воспринимать, хранить и перерабатывать информацию и использовать ее для управления и регулирования. При этом кибернетика широко пользуется математическим методом и стремится к получению конкретных специальных результатов, позволяющих как анализировать такого рода системы (восстанавливать их устройство на основании опыта обращения с ними), так и синтезировать их (рассчитывать схемы систем, способных осуществлять заданные действия). Благодаря этому своему конкретному характеру, кибернетика ни в какой мере не сводится к философскому обсуждению природы целесообразности в машинах и философскому анализу изучаемого ею круга явлений». Но позволим себе не согласиться (по этому вопросу) с великим советским математиком.

зации систем и управления ими», которое назовем условно «*кибернетикой 2.0*» - см. ниже.

Заменяя в определении кибернетики «связь» на более общую «организацию», мы тем самым несколько дистанцируемся от информатики. Поэтому рассмотрим кратко обоснованность и последствия этого дистанцирования.

Кибернетика и информатика. На сегодняшний день и кибернетика, и информатика являются самостоятельными междисциплинарными фундаментальными науками [55, 87]. По образному выражению Б.В. Соколова и Р.М. Юсупова [157], информатика и кибернетика являются «сиамскими близнецами», однако в природе сиамские близнецы все-таки являются патологией⁸².

Кибернетика и информатика сильно пересекаются (в т.ч. на уровне общей научной базы – статистической теории информации⁸³ [87]). Но акценты у них сильно различны. Если фундаментальные идеи кибернетики – это винеровские «управление и связь в животных и машине», то фундаментальные идеи информатики – это формализация (в теории) и компьютеризация (на практике). Соответственно, если базовой математической основой кибернетики является теория управления и теория информации, то соответствующей основой информатики является теория алгоритмов и формальных систем⁸⁴.

Предмет современной информатики (или даже зонтичного бренда *информационных наук*), охватывающей сегодня и компьютерные, и информационные направления (в зарубежной терминологии - Information Science, Computer Science и Computational Science [86]), - информационные процессы.

⁸² Определение кибернетики, например, как «объединения» общих законов информатики и управления породит меганауку, лишенную конкретного содержания и обреченную на вечное нахождение на концептуальном уровне.

⁸³ Отметим, что математическая (статистическая) теория связи и информации оперирует количественными оценками информации. Существенных продвижений в формулировке оценок содержательной (семантической) ценности информации, к сожалению, достигнуто не было, и эта задача продолжает оставаться одним из глобальных вызовов информатике.

⁸⁴ Это различие отчасти является оправданием того, что некоторые науки, которые принято относить к информатике (за рубежом – к Computer Sciences), не нашли отражения в настоящей работе: теория формальных языков и грамматик, «настоящий» искусственный интеллект (не искусственные нейронные сети, которые сегодня являются эмпирической инженерной наукой, а инженерия знаний, формализация рассуждений, планирование поведения и т.д.), теория автоматов, теория вычислительной сложности и т.д.

Действительно, с одной стороны, обработка информации в широком смысле нужна всюду (!), а не только в управлении и/или в процессе организации. С другой стороны, информационные процессы и соответствующие ИКТ уже настолько интегрированы в процессы управления⁸⁵, что разделить их почти невозможно, и тесное взаимодействие информатики и кибернетики на частном операционном уровне будет продолжаться и расширяться.

Организация. Теория организации. Организационная культура. В соответствии с определением, данным в Философском энциклопедическом словаре, *организация*:

- 1) внутренняя упорядоченность, согласованность взаимодействия более или менее дифференцированных и автономных частей целого, обусловленная его строением;
- 2) совокупность процессов или действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого;
- 3) объединение людей, совместно реализующих некоторую программу или цель и действующих на основе определенных процедур и правил – см. Рис. 51.

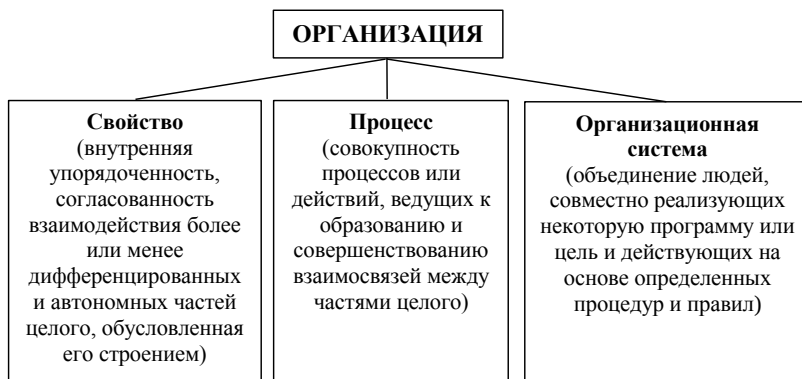


Рис. 51. Определение «организации»

В настоящей работе мы используем понятие «организация», в первом и во втором его значении, то есть как процесс (второе значение) и как результат этого процесса (первое значение) организации.

⁸⁵ Н. Винер считал, что процессы управления, это, в первую очередь информационные процессы - получение, обработка и передача информации; см. также выше обсуждение совместного решения задач управления, вычислений и связи.

Третье значение (организационная система) - как класс объектов управления - используется в теории управления *организационными системами* [111, 135].

На дескриптивном (феноменологическом) и объяснительном уровне «организация системы» отражает, соответственно, КАК и ПОЧЕМУ ИМЕННО ТАК организована система (организация как *свойство*); на нормативном уровне – как она ДОЛЖНА быть организована (требования к свойству организации) и как ее СЛЕДУЕТ организовывать (требования к *процессу* организации).

Научное направление, которое было бы призвано исследовать ответы на поставленные вопросы (его логично называть *теория Организации*⁸⁶, или **О³ (организация как свойство, процесс и система)** - по аналогии с С³), на сегодняшний день почти не развито, хотя понятно, что оно тесно связано и отчасти пересекается с общей теорией систем и системным анализом (они занимаются, в основном, проблемами дескриптивного уровня, почти не обращаясь к нормативному) а также с методологией (как общим учением об организации деятельности [124]). **Создание полноценной теории Организации является актуальной задачей кибернетики!**

Говоря о понятии организации, нельзя не акцентировать внимание на таком феномене, как организационная культура. В различные исторические периоды развития цивилизации имели место разные основные типы форм организации деятельности, которые в современной литературе получили название *организационной культуры* – см. Табл. 6.

Уже сегодня заметно проявляющимся типом организационной культуры является *знаниевый тип организационной культуры*, в рамках которого именно знания (индивидуальные и коллективные) об организации (!) деятельности будут и товаром, и способом нормирования и трансляции деятельности, а формой общественного устройства будет *сетевое общество знаний*⁸⁷ (сейчас распространен

⁸⁶ Отметим, что параллельно существует одноименное научное направление «теория организации», являющееся, условно говоря, и по своему предмету (организационные системы), и по используемым методам, разделом менеджмента. К сожалению, многочисленные учебники (а монографий по этому научному направлению почти нет) во введениях содержат краткие общие слова о свойстве и процессе организации, а затем все их содержание посвящено организационным системам - менеджменту организаций (см., например, классические учебники [57, 62, 112]).

⁸⁷ Названия: «знаниевый тип организационной культуры», «общество знаний», «управление знаниями» (в данном контексте) и т.д. по нашему мнению неудачны, поскольку один из предшествующих типов организационной культуры – профессиональный (научный) – также базировался на научных знаниях. Но исторически

термин «экономика знаний»). Условно можно сказать, что кибернетика 1.0 соответствовала проектно-технологической организационной культуре, кибернетика 2.0 соответствует знаниевой (с точки зрения организационной культуры на новом этапе важной становится именно организация).

*Табл. 6. Характеристика типов
организационной культуры [124, 131]*

Типы организационной культуры	Способы нормирования и трансляции деятельности	Формы общественного устройства, воспроизводящие способ
Традиционная	Миф и ритуал	Коммунальные группы, формируемые по принципу «свой-чужой» на отношениях родства.
Корпоративно-ремесленная	Образец и рецепт его воссоздания	Корпорация, имеющая формально иерархическое строение – мастер, подмастерье, ученик.
Профессиональная (научная)	Теоретические знания в форме текста	Профессиональная организация, построенная на принципе свободного и равноправного обмена знаниями.
Проектно-технологическая	Проекты, программы и технологии	Технологическое общество, структурированное по принципу коммуникативности и профессиональных отношений.
Знаниевая	Знания (индивидуальные и коллективные) об организации деятельности	Сетевое общество знаний.

эти термины уже получили широкое распространение. Поясним, что имеется в виду под знаниями в данном случае. В профессиональном (научном) типе организационной культуры ведущую роль играли научные знания, существующие и передающиеся в форме текстов. В данном же случае под знаниями подразумеваются знания людей и знания организаций об организации деятельности.

Рассмотрим, как соотносятся две базовых категории «организация» и «управление», фигурирующие в определении кибернетики 2.0.

Управление в философском энциклопедическом словаре определяется как «элемент, функция организованных систем различной природы: биологических, социальных, технических, обеспечивающая сохранение их определенной структуры, поддержание режима деятельности, реализацию программы, цели деятельности». *Управление* – «воздействие на управляемую систему с целью обеспечения требуемого ее поведения» [135, с. 9].

То есть, категории организации и управления пересекаются, но не совпадают. Можно считать, что первое соответствует проектированию, дизайну системы, второе – ее функционированию⁸⁸, а совместно они реализуются на этапах реализации и адаптации системы – см. Рис. 52. Другими словами, организация (стратегический контур) «предшествует» управлению (тактический контур).

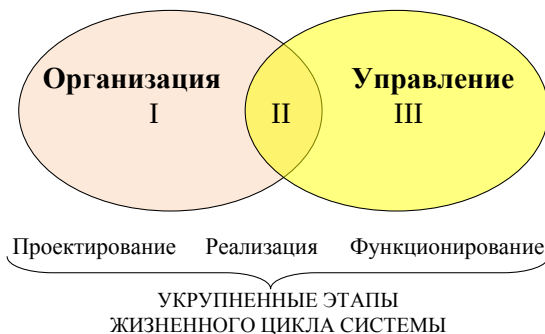


Рис. 52. Организация и управление

Примеры содержания областей на Рис. 52:

I. Дизайн (проектирование, включая состав, структуру и функции) систем - организация, но не управление (хотя в теории управления организационными системами есть управление составом и управление структурой системы).

II. Совместный дизайн системы и объекта управления. Адаптация. Настройка механизмов управления.

⁸⁸ Условная аналогия: организации соответствует «деизм» (создатель системы не вмешивается в ее функционирование), а управлению - «теизм» (участие создателя системы в текущем ее функционировании).

III. Функционирование регуляторов в технических системах – управление, но не организация.

Возможно «иерархическое» соотношение организации и управления⁸⁹, т.к., с одной стороны, процесс управления требует организации (организация, например, является одним из этапов управленческого цикла А. Файоля и одной из функций организационного управления – см. [111]). С другой стороны, процессом организации (например, жизненным циклом системы), в свою очередь, можно и нужно управлять.

С усложнением создаваемых человечеством систем процессу и свойству организации уделяется, и будет уделяться в дальнейшем, все большее внимание. Действительно, управление стандартными объектами (например, разработка регуляторов для технических и/или производственных систем) становится в большей степени ремеслом, чем наукой, а на первый план выходят стандартизация технологий организации деятельности, управления созданием новых технологий деятельности и т.д., т.е. *инженерия систем деятельности*.

Успешное сочетание (в рамках кибернетики 2.0) организации и управления позволит обоснованно и эффективно отвечать на главный вопрос инженерии систем деятельности о том, как строить системы управления ими («рефлексивный» вопрос, относящийся к кибернетике второго или более высоких порядков) – человечеству необходимо научиться проектировать и реализовывать системы управления сложными системами (высокотехнологичным производством, жизненным циклом продукции, организациями, регионами и т.д.) так же, как уже научились в инженерии эффективно проектировать материальные объекты (технические и т.п. системы).

Изучение кибернетики имеет общеобразовательное значение, так как формирует целостное современное научное мировоззрение.

Кибернетика 2.0. Кибернетика 2.0 выше была определена как наука об (общих закономерностях) организации систем и управления ими.

⁸⁹ Вообще, соотношение организации и управления очень нетривиально и требует дальнейшего осмысления. Например, в мультиагентных системах децентрализованное управление, заключающееся в выборе законов и правил взаимодействия автономных агентов, может рассматриваться как организация. Другой пример - Библия как инструмент организации [148] (создание системы норм, которая стала общим знанием и реализовывала институциональное управление обществом).

Тесная связь кибернетики с общей теорией систем и системным анализом, а также все возрастающая роль технологий (см. Рис. 10, Рис. 19 и Рис. 20) позволяют предположить, что кибернетика 2.0 должна включать в себя в т.ч. *кибернетику* (как винеровскую, так и кибернетику более высокого порядка – см. раздел 1.2), *Кибернетику*, а также *общую теорию систем* и *системный анализ* с результатами в следующих формах:

- общие законы, закономерности и принципы, исследуемые в рамках метанаук – *Кибернетика* и *Системный анализ*;
- совокупность результатов наук-компонентов («зонтичные бренды» – *кибернетика* и *системные исследования*, объединяющие соответствующие науки);
- принципы разработки соответствующих технологий.

На последних остановимся чуть более подробно. *Технология* – система условий, форм, критериев, методов и средств решения поставленной задачи [124, 125, 126]. Технологии сегодня стандартизуют *ремесло*⁹⁰ и *искусство*⁹¹, выделяя и обобщая лучшие практики; создание технологий требует соответствующего научного обоснования – см. Рис. 53.

Выделим следующие *общие технологии*:

- *системные* (общие принципы; организация деятельности);
- *информационные* (вид обеспечения деятельности);
- *организационные* (реализация согласованной совместной деятельности).

Помимо общих, существуют «отраслевые» технологии (зависящие от предмета, предметной области) практической деятельности («производства»); в каждом конкретном случае они обладают своей спецификой.

С этой точки зрения комплексное изучение (и создание) систем (любых систем – будь то машины, живые организмы или общество) в рамках кибернетики 2.0 включает привлечение соответствующих результатов наук-методов, наук-предметов, а также общих и отраслевых технологий – см. Рис. 55.

⁹⁰ *Ремесло* – личное, основанное на опыте мастерство выполнения рутинных операций.

⁹¹ *Искусство* – система приемов и методов в какой-н. отрасли практической деятельности; процесс использования таланта; чрезвычайно развитое творческое мастерство, умение.

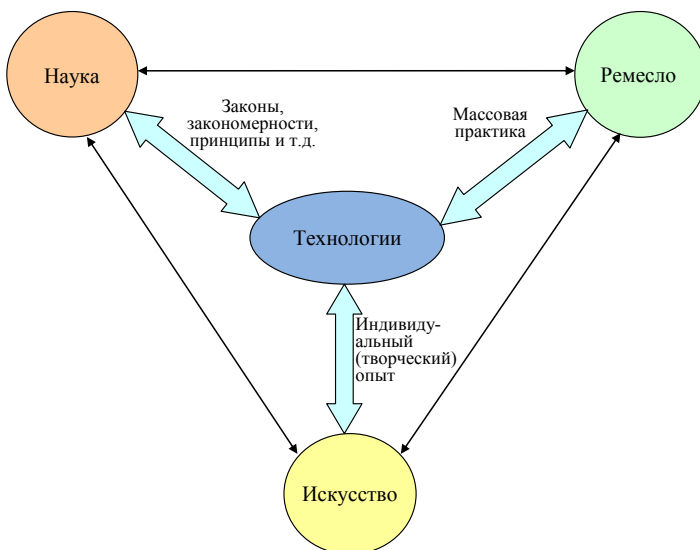


Рис. 53. Наука, технология («ремесло») и искусство

Ключевыми словами для кибернетики 2.0 являются: *управление, организация, система* – см. Рис. 54.

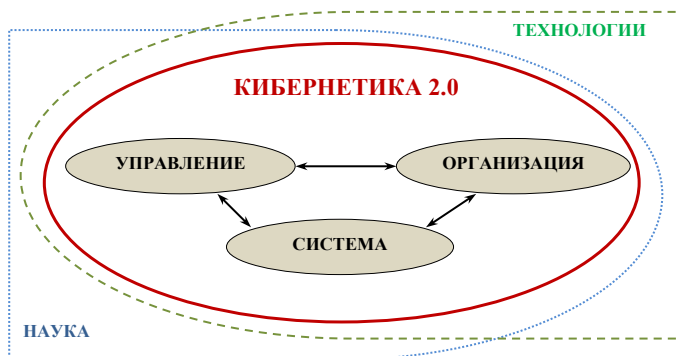


Рис. 54. Ключевые слова «кибернетики 2.0»

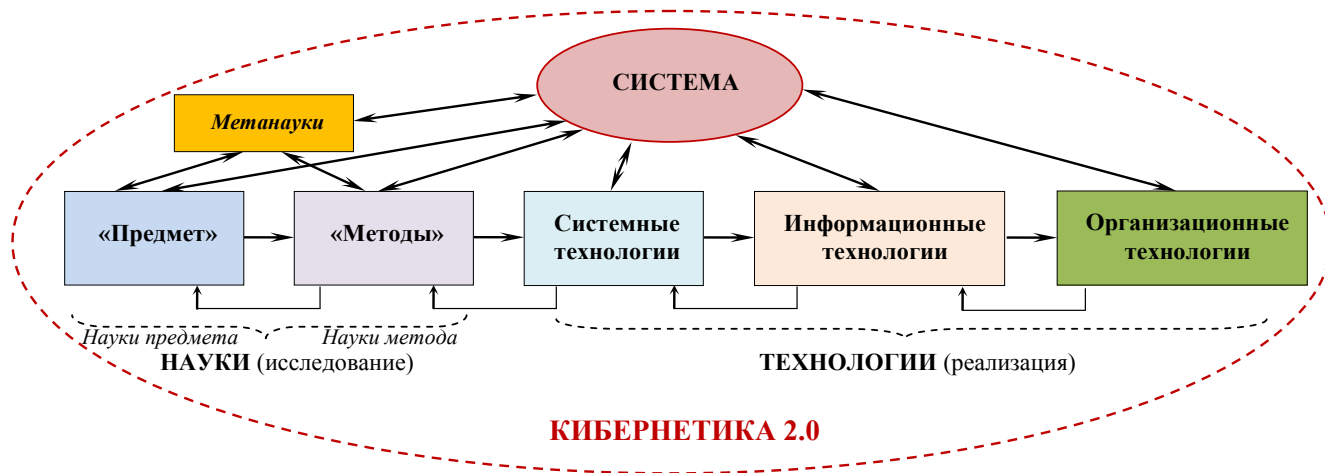


Рис. 55. Науки и технологии

Для кибернетики 2.0 можно выделить, как и для кибернетики выше, *концептуальное ядро*, которое по аналогии назовем Кибернетикой 2.0 с большой буквы. На концептуальном уровне Кибернетику 2.0 составляют: философия управления (включая общие законы, закономерности и принципы управления), методология управления, теория Организации (включая общие законы, закономерности и принципы функционирования сложных систем, а также разработки и выбора общих технологий) – см. Рис. 56.

Базовыми науками для кибернетики 2.0 являются теория управления, общая теория систем и системный анализ, а также системная инженерия – см. Рис. 56.

Комплементарными науками для кибернетики 2.0 являются информатика, оптимизация, исследование операций и искусственный интеллект – см. Рис. 56.

Отметим, что представленная на Рис. 56 *общая архитектура кибернетики 2.0* может проецироваться на различные предметные области и отрасли наук-предмета в зависимости от класса рассматриваемых систем (технические, биологические, социальные и т.д.).

Перспективы «кибернетики 2.0». Альтернативами для дальнейшего развития кибернетики являются следующие сценарии:

– *негативистский сценарий*, при котором все более доминирует мнение, что «кибернетики не существует», и она все более предается забвению;

– *«зонтичный» сценарий* – кибернетика рассматривается, с отданием должного прошлым заслугам, как «механистическое» (не-эмерджентное) объединение, а прогноз ее развития определяется как совокупность трендов развития, базовых и комплементарных наук, охватываемых «зонтичным брендом» кибернетики;

– *«философский» сценарий*, в рамках которого корпусом новых результатов кибернетики 2.0 являются только концептуальные рассуждения (развитие концептуального уровня);

– *предметный (отраслевой) сценарий*, в рамках которого основные результаты получаются на стыке с отраслевыми приложениями;

– *конструктивно-оптимистический (желательный) сценарий*, который заключается в том, что происходят сбалансированное развитие базовых, комплементарных и «концептуальных» наук, сопровождаемое *конвергенцией и междисциплинарной трансляцией их общих результатов*, а также основывающаяся на этом генерация обобщений концептуального уровня (реализации мечты Н. Винера о «понимании науки как целого» - см. эпиграф к настоящей работе).

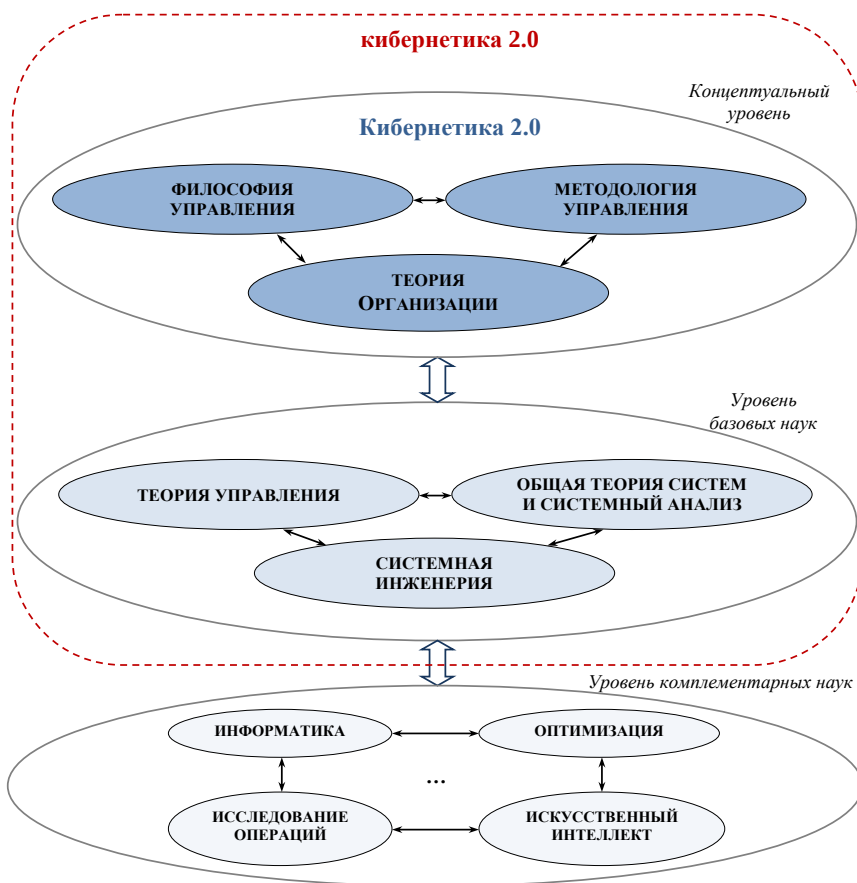


Рис. 56. Состав и структура кибернетики 2.0

Вернувшись к трендам и группам субъектов, перечисленных в разделе 1.3, отметим, что развитие кибернетики 2.0 в условиях усиливающейся дифференциации наук дает (см. Рис. 57):

- ученым, специализирующимся собственно на кибернетике, и ученым – представителям смежных наук: общую картину обширной предметной области (и общий язык ее описания), возможность позиционирования своих результатов и их продвижения в новых теоретических и прикладных областях;

- потенциальным потребителям прикладных результатов со стороны власти бизнеса: во-первых, уверенность в единстве позиций⁹² профильных исследователей; во-вторых, наличие новых фундаментальных и основывающихся на них прикладных результатов даст возможность более эффективно решать задачи управления самыми разнообразными классами объектов.

Актуальными представляются следующие классы *задач управления*:

- сетцентрические системы (включая как военные приложения, так и сетевые и облачные производства);
- информационное управление и кибербезопасность;
- управление жизненным циклом сложных организационно-технических систем;
- инженерия систем деятельности.

Перспективными *областями приложений* являются: живые системы, социальные системы, «микро»-системы, энергетика и транспорт.

Можно выделить (см. также пятый раздел) ряд глобальных *вызовов* (т.е. явлений, которые уже наблюдаются, но не укладываются полностью в рамки кибернетики 1.0), на которые должна ответить кибернетика 2.0:

1) **вавилонская башня науки** (междисциплинарность, дифференциация наук; в первую очередь, в контексте кибернетики – наук об управлении и смежных с ними);

2) **крах централизации** (децентрализация и сетевизм, включая системы систем, распределенную оптимизацию, эмерджентный интеллект, мультиагентные системы и т.д.);

3) **стратегическое поведение** (во всех его проявлениях, включая несогласованность интересов, целеполагание, рефлексии и т.д.);

4) **проклятие сложности** (включая все аспекты сложности и нелинейности⁹³ современных систем, а также «проклятие размерности» - большие данные и большое управление).

⁹² Разнообразие и противоречивость мнений и подходов специалистов/подчиненных всегда смущает заказчика/руководителя.

⁹³ Можно образно сказать, что в этом смысле кибернетика 2.0 должна включать в себя «нелинейную ТАУ», исследующую нелинейные децентрализованные объекты управления с нелинейными наблюдателями и т.д.



Рис. 57. Вызовы, классы задач и актуальные приложения кибернетики 2.0

Таким образом, основная задача кибернетики 2.0 - развитие базовых и комплементарных наук, ответ на сформулированные глобальные вызовы, достижение прогресса в соответствующих приложениях (см. Рис. 57).

Основные Задачи Кибернетики 2.0:

1) обеспечение Междисциплинарности исследований (по отношению к базовым и комплементарным наукам – см. Рис. 56);

2) поиск, систематизация и исследование в рамках «философии управления» общих законов, закономерностей и принципов управления системами различной природы, что потребует все новых «витков» обобщений (см. Рис. 11);

3) создание и развитие теории Организации (O^3).

В заключение подчеркнем, что настоящая работа описывает для кибернетики филогенез ее нового этапа - кибернетики 2.0. Последующее развитие кибернетики потребует еще немало совместных усилий математиков, философов, специалистов по теории управления, системному инжинирингу и многих других.

Литература

- 1 Акофф Р. Эмери М. О целеустремленных системах. – М.: Советское радио, 1974. – 272 с. / Ackoff R., Emery F. On Purposeful Systems: An Interdisciplinary Analysis of Individual and Social Behavior as a System of Purposeful Events. 2nd ed. – New York: Aldine Transaction, 2005. – 303 p.
- 2 Амосов Н.М. Моделирование сложных систем. – Киев: Наукова думка, 1968. – 81 с.
- 3 Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Избранные главы теории автоматического управления. – СПб: Наука, 2000. – 475 с.
- 4 Анохин П.К. Проблема центра и периферии в современной физиологии нервной деятельности / В кн.: Проблема центра и периферии в нервной деятельности. – Горький, 1935. С. 9 – 70.
- 5 Анохин П.К. Опережающее отражение действительности // Вопросы философии. 1962. № 7. С. 97 – 112.
- 6 Анохин П.К. Теория функциональной системы, как предпосылка к построению физиологической кибернетики / Биологические аспекты кибернетики. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 74 – 91.
- 7 Антомонов Ю.Г., Харламов В.И. Кибернетика и жизнь. – М.: Сов. Россия, 1968. – 327 с.
- 8 Антомонов Ю.Г. Моделирование биологических систем. Справочник. – Киев: Наукова думка, 1977. – 259 с.
- 9 Антонов А.В. Системный анализ. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
- 10 Аптер М. Кибернетика и развитие. – М.: Мир, 1970. – 215 с.
- 11 Арбиб М. Метафорический мозг. – М.: Мир, 1976. – 296 с. / Arbib M. The Metaphorical Brain: An Introduction to Cybernetics as Artificial Intelligence and Brain Theory. – New York: Wiley, 1972. – 384 p.
- 12 Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. – М.: МЦНМО, 2000. – 32 с.
- 13 Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. 3-е изд. – М.: Высшая школа, 2003. – 614 с.
- 14 Барабанов И.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Динамическая модель информационного управления в социальных сетях // Автоматика и Телемеханика. 2010. № 11. С. 172 – 182. / Barabanov I., Korgin N., Novikov D., Chkhartishvili A. Dynamic

Models of Informational Control in Social Networks // Automation and Remote Control. 2010. Vol. 71. No 11. P. 2417 – 2426.

15 Бауэр Э.С. Теоретическая биология. – М.-Л.: Изд-во ВИЭМ, 1935. – 206 с.

16 Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. – М.: Медицина, 1966. – 347 с.

17 Берталанфи Л. Общая теория систем – критический обзор / Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. С. 23 – 82. / Bertalanffy L. General System Theory – a Critical Review // General Systems. 1962. Vol. 7. P. 1 – 20.

18 Бир С. Кибернетика и управление производством. – М.: Наука, 1965. – 391 с. / Beer S. Cybernetics and Management. – London: The English University Press, 1959. – 214 p.

19 Бир С. Мозг фирмы. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с. / Beer S. Brain of the Firm: A Development in Management Cybernetics. – London: Herder and Herder, 1972. – 319 p.

20 Бирюков Б.В. Кибернетика и методология науки. – М.: Наука, 1974. – 414 с.

21 Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. – М.: Наука, 1973. – 271 с.

22 Богданов А.А. Всеобщая организационная наука. – М.: Экономика, 1989. Т. 1. – 304 с. Т. 2. – 351 с.

23 Босс В. Лекции по теории управления. – М.: ЛИБРОКОМ. Том 1. Автоматическое регулирование, 2012. – 216 с. Том 2. Оптимальное управление, 2014. – 208 с.

24 Бреер В.В., Новиков Д.А., Рогаткин А.Д. Микро- и макромоделли социальных сетей // Проблемы управления. Часть 1: Теория. 2014. № 5. С. 28 – 33. Часть 2: Идентификация и имитационные эксперименты. 2014. № 6. С. 45 – 51.

25 Бреер В.В., Новиков Д.А., Рогаткин А.Д. Стохастические модели управления толпой // Управление большими системами. 2014. № 52. С. 85 – 117.

26 Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с. / Burkov V., Goubko M., Korgin N., Novikov D. Introduction to Theory of Control in Organizations. – New York: CRC Press, 2015. – 352 p.

27 Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. – М.: Наука, 1977. – 255 с. / Burkov V. Foundations of Mathematical Theory of Active Systems. – Moscow: Nauka, 1977. – 255 p. (in Russian)

28 Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 420 с.

29 Бутковский А.Г. К методологии и философии кибернетики. Краткие тезисы. – М.: ИПУ РАН, 2010. – 59 с.

30 Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. – М.: Физико-математическая литература, 2000. – 352 с.

31 Вентцель Е.С. Исследование операций – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.

32 Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. – М.: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 208 с.

33 Винер Н. Бывший вундеркинд. – Ижевск: РХД, 2001. – 272 с. / Wiener N. Ex-Prodigy: My Childhood and Youth. – Cambridge: The MIT Press, 1964. – 317 p.

34 Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Наука, 1983. – 338 с. / Wiener N. Cybernetics: or the Control and Communication in the Animal and the Machine. – Cambridge: The Technology, 1948. – 194 p.

35 Винер Н. Кибернетика и общество. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – 200 с. / Wiener N. The Human Use of Human Beings; Cybernetics and Society. – Boston: Houghton Mifflin Company, 1950. – 200 p.

36 Винер Н. Творец и робот. – М.: Прорпесс, 1966. – 104 с. / Wiener N. God and Golem, Inc.: A Comment on Certain Points where Cybernetics Impinges on Religion. – Cambridge: The MIT Press, 1966. – 99 p.

37 Винер Н. Я – математик. – Ижевск: РХД, 2001. – 336 с. / Wiener N. I Am Mathematician. – Cambridge: The MIT Press, 1964. – 380 p.

38 Виттих В.А. Проблемы эвергетики // Проблемы управления. 2014. № 4. С. 69 – 71. / Vittikh V.A. Evolution of Ideas on Management Processes in the Society : From Cybernetics to Evergetics // Group Decision and Negotiation. <http://link.springer.com/article/10.1007/s10726-014-9414-6/fulltext.html>. Published online : 14 September 2014.

39 Волкова В.Н. Из истории развития системного анализа в нашей стране. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 210 с.

40 Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. 2-е изд. – СПб.: СПб.ГТУ, 2001. – 512 с.

41 Воробьев Г.Г. Социология и кибернетика // Социологические исследования. 1993. № 11. С. 3 – 9.

42 Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А. Математические модели организаций. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.

43 Воронов А.А. Управляемость, наблюдаемость, устойчивость. – М.: Наука, 1979. – 339 с.

44 Вышнеградский И.А. О регуляторах прямого действия // Известия СПб. практического технологического института. 1877. Том 1. С. 21 – 62.

45 Гельфанд И.М., Гурфинкель В.С., Цетлин М.Л. О тактиках управления сложными системами в связи с физиологией / Биологические аспекты кибернетики. – М.: Издательство АН СССР, 1962. С. 66 – 73.

46 Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. – М.: Наука, 1976. – 327 с. / Germeier Yu. Non-Antagonistic Games, 1976. – Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1986. – 331 p.

47 Гиг Дж. Прикладная общая теория систем. Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. Том 1, 2. – 733 с. / Gigch J. Applied General Systems Theory. 2nd ed. – New York: Harper & Row, 1978. – 736 p.

48 Глушков В.М. Введение в кибернетику. – Киев: Изд-во Академии наук УССР, 1964. – 324 с.

49 Горский Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления. - Новосибирск: Наука, 1988. - 327 с.

50 Горский Ю.М., Степанов А.М., Теслинов А. Г. Гомеостатика. Гармония в игре противоречий. – Иркутск: Репроцентр А1, 2008. - 634 с.

51 Гринченко С.Н. Метаэволюция (систем неживой, живой и социально-технологической природы). - М.: ИПИ РАН, 2007. - 456 с.

52 Губанов Д.А., Коргин Н.А., Новиков Д. А., Райков А.Н. Сетевая экспертиза / Под ред. чл-к РАН Д.А. Новикова, проф. А.Н. Райкова. – М.: Эгвес, 2010. – 168 с. / Gubanov D., Korgin N., Novikov D., Raikov A. E-Expertise: Modern Collective Intelligence. – Heidelberg: Springer, 2014. – 150 p.

53 Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2010. – 228 с.

54 Гуд Г., Макол Р. Системотехника. Введение в проектирование больших систем. – М.: Советское радио, 1962. – 384 с. / Goode H., Machol K. System Engineering: an Introduction to the Design of Large-scale Systems. – New York: McGrawhill Book Company, 1957. – 551 p.

55 Гуревич И.М., Урсул А.Д. Информация – всеобщее свойство материи: Характеристики, оценки, ограничения, следствия. – М.: ЛИБРОКОМ, 2012. – 312 с.

56 Гуц А.К. Основы квантовой кибернетики. – Омск: Полиграфический центр КАН, 2008. – 204 с.

57 Дафт Р. Теория организации. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. – 736 с. / Daft R. Organization Theory and Design. 11th ed.. – New York: Cengage Learning, 2012. – 688 p.

58 Джордж Ф. Мозг как вычислительная машина. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 528 с. / George F. The Brain as a Computer. – New York: Pergamon Press, 1962. – 437 p.

59 Джордж Ф. Основы кибернетики. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с. / George F. The Foundations of Cybernetics. – London: Gordon and Breach Science Publisher, 1977. – 286 p.

60 Дидук Н.Н., Коваль В.Н. Существует ли наука кибернетика? // Проблемы управления и информатики. 2001. №3. С. 133 – 155.

61 Диев В.С. Управление. Философия. Общество // Вопросы философии. 2010. № 8. С. 35 – 41.

62 Долгов А.И. Теория организации. – М.: Флинта, 2011. – 224 с.

63 Дрогобыцкий И.Н. Системный анализ в экономике. – М.: ЮНИТИ, 2011. – 423 с.

64 Дружинин В.В., Конторов Д.С. Введение в теорию конфликта. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.

65 Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии. – М.: Сов. радио, 1976. – 295 с.

66 Егоров П.В., Лысенко Ю.Г., Овечко Г.С., Тимохин В.Н. Экономическая кибернетика. 2-е изд. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2003. – 516 с.

67 Жуков Н.И. Философские основы кибернетики. – Минск: БГУ, 1976. – 224 с.

68 Заде Л. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / Математика сегодня. – М.: «Знание», 1974. С. 5 – 49. / Zadeh L. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes / IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. 1973. Vol. SMC-3. No. 1. P. 28 – 44.

69 Из истории кибернетики / Редактор-составитель Я.И. Фет. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2006. – 339 с.

70 Ильин В.А. Философские вопросы кибернетики. – М.: Изд-во социально-экономической литературы, 1964. – 391 с.

71 Ильин В.В. Философия и история науки. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

72 Исследования по общей теории систем / Сб. переводов. – М.: Прогресс, 1969. – 520 с. (General Systems, 1962.).

73 История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде). Вып.1. Яркие фрагменты истории // Под общ. ред. чл.-кор. РАН Р.М. Юсупова; составитель М.А. Вус; Ин-т информатики и автоматизации РАН. – СПб.: Наука, 2008. – 356 с.

74 Калинин В.Н. Современная космическая кибернетика – методологические основы и направления исследования // Информация и космос. 2007. №3. С. 7 – 16.

75 Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Проблемы математической теории систем. – М.: Мир, 1971. – 400 с. / Kalman R., Falb P., Arbib M. Topics in Mathematical System Theory. – McGraw Hill Book Co., 1969.

76 Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. – М.: Мир, 1982. – 216 с. / Casti J. Connectivity, Complexity and Catastrophe in Large-Scale Systems. – Chichester: John Wiley and Sons 1979. – 203 p.

77 Ким Д.П. Теория автоматического управления. 2-е изд. - М.: Физматлит, 2007. Том 1: Линейные системы. - 310 с. Том 2: Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. - 440 с.

78 Клаус Г. Кибернетика и общество. – М.: Прогресс, 1967. – 432 с. / Kybernetik und Gesellschaft. – Berlin: Veb Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1964. – 384 p.

79 Клаус Г. Кибернетика и философия. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1964. – 529 с. / Klaus G. Kybernetik in philosophischer Sicht. – Berlin: Dietz Verlag Berlin, 1961. – 491 p.

80 Кобринский Н.Е., Майминас Е.З., Смирнов А.Д. Экономическая кибернетика. – М.: Экономика, 1982. – 408 с.

81 Коган А.Б. Вероятностно -статистический принцип нейронной организации функциональных систем мозга // ДАН СССР. 1964. Том. 154. № 5. С. 1231 – 1245.

82 Коган А.Б., Наумов Н.П., Режабек В.Г., Чораян О.Г. Биологическая кибернетика. – М.: Высшая школа, 1972. – 384 с.

83 Козелецкий Ю. Психологическая теория решений. – М.: Прогресс, 1979. – 504 с. / Kozielecki J. Psychological Decision Theory. – London: Springer, 1982. – 424 p.

84 Козлов В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений. – М.: Проспект, 2010. – 176 с.

85 Колин К.К. О структуре научных исследований по комплексной проблеме «информатика» / Социальная информатика. - М.: ВКИШ, 1990. С. 19 – 33.

86 Колин К.К. Становление информатики как фундаментальной науки и комплексной научной проблемы // Системы и средства

информатики. 2006. Спецвыпуск «Научно-методологические проблемы информатики». С. 7 – 58.

87 Колин К.К. Философские проблемы информатики. – М.: БИНОМ, 2010. – 270 с.

88 Колмогоров А.Н. Математика – наука и профессия. Библиотечка «Квант». Выпуск 64. – М.: Наука, 1988. С. 43 – 62.

89 Корепанов В.О., Новиков Д.А. Задача о диффузной бомбе // Проблемы управления. 2011. № 5. С. 66 – 73. // Korepanov V., Novikov D. Automation and Remote Control. 2013. Vol. 74. No 5. P. 863 – 874.

90 Корепанов В.О., Новиков Д.А. Модели стратегического поведения в задаче о диффузной бомбе // Проблемы управления. 2015. № 2. С. 38 – 44.

91 Корепанов В.О., Новиков Д.А. Рефлексивная игра полковника Блотто // Системы управления и информационные технологии. 2012. № 1 (47). С. 55 – 62.

92 Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 496 с.

93 Крылов В.Ю., Морозов Ю.И. Кибернетические модели и психология. – М.: Наука, 1984. – 174 с.

94 Крылов С.М. Неокибернетика: Алгоритмы, математика эволюции и технологии будущего. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 288 с.

95 Кузин Л.Т. Основы кибернетики. – М.: Энергия, 1979. Т 1. – 504 с. Т. 2. – 584 с.

96 Ларичев О.И. Системный анализ: проблемы и перспективы // Автоматика и телемеханика. 1975. № 2. С. 61 – 71.

97 Левенчук А.В. Системноинженерное мышление. – М.: МФТИ, 2015. – 305 с.

98 Леонов Г.А. Теория управления. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. – 233 с.

99 Лепский В.Е. Философия и методология управления в контексте развития научной рациональности / Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления. – М.: ИПУ РАН, 2014. С. 7785 – 7796.

100 Лернер А.Я. Начала кибернетики. – М.: Наука, 1967. – 400 с. / Lerner A. Fundamentals of Cybernetics. – Berlin: Springer, 1972. – 294 p.

101 Лефевр В.А. Алгебра совести. – М.: Когито-центр., 2003. – 426 с. / Lefevbre V. Algebra of Conscience. – London: Springer, 2001. – 372 p.

102 Лефевр В.А. Кибернетика второго порядка в Советском Союзе и на западе // Рефлексивные процессы и управление. 2002. No. 1. Том 2. С. 96 – 103.

103 Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. – М.: Советское радио, 1973. – 158 с. / The Structure of Awareness: Toward a Symbolic Language of Human Reflexion. – NY: Sage Publications, 1977. – 199 p.

104 Ляпунов А.А. Проблемы теоретической и прикладной кибернетики. – М.: Наука, 1980. – 336 с.

105 Майер Р.В. Кибернетическая педагогика: Имитационное моделирование процесса обучения. – Глазов: ГГПИ, 2013. – 138 с.

106 Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б., Подлазов А.В. Нелинейная динамика: подходы, результаты, надежды. 3-е изд. – М.: УРСС, 2011. – 280 с.

107 Малишевский А.В. Качественные модели в теории сложных систем. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 528 с.

108 Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с. / Mesarović M., Mako D., Takahara Y. Theory of Hierarchical Multilevel Systems. – New York: Academic, 1970. – 294 p.

109 Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. – М.: Мир, 1978. – 312 с. / Mesarovic M. Takahara Y. General Systems Theory: Mathematical Foundations (Mathematics in Science and Engineering). – Elsevier, 1975. – 322 p.

110 Методы классической и современной теории автоматического управления / Учебник в 5-и томах. Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.

111 Механизмы управления / Под ред. Д.А. Новикова. – М.: Ленанд, 2011. – 192 p. / Mechanism Design and Management: Mathematical Methods for Smart Organizations / Ed. by Prof. D. Novikov. – New York: Nova Science Publishers, 2013. – 163 p.

112 Мильнер Б.З. Теория организации. 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 480 с.

113 Мирзоян Р.А. Управление как предмет философского анализа // Вопросы философии. 2010. № 4. С. 35 – 47.

114 Моисеев Н.Н. Люди и кибернетика. – М.: Молодая гвардия, 1984. – 224 с.

115 Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.

116 Моисеев Н.Н. Современный рационализм. – М.: МГВП КОКС, 1995. – 376 с.

117 Морз Ф., Кимбелл Д. Методы исследования операций. – М.: Советское радио, 1956. – 308 с. / Morse P., Kimball G. Methods of Operations Research. – New York: Wiley, 1951. – 258 p.

118 Моррис У. Наука об управлении: Байесовский подход. – М.: Мир, 1971. – 304 с. / Morris W. Management Science: A Bayesian Introduction. – New York: Prentice Hall, 1968. – 226 p.

119 Мэнеску М. Экономическая кибернетика. – М.: Экономика, 1986. – 229 с.

120 Нижегородцев Р.М. Социальные функции научного знания: социофилософский синтез и проблемы причинности // Философия хозяйства. 2006. № 3. С. 16 – 25.

121 Никаноров С.П. Концептуализация предметных областей. – М.: Концепт, 2009. – 268 с.

122 Никаноров С.П. Теоретико-системные конструкты для концептуального анализа и проектирования. – М.: Концепт, 2006. – 312 с.

123 Новик И.Б. Кибернетика: философские и социологические проблемы. – М.: Гос. изд-во полит. лит-ры, 1963. – 206 с.

124 Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. – М.: Синтег, 2007. – 668 с.

125 Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. – М.: Либроком, 2010. – 280 с. / Novikov A., Novikov D. Research Methodology: From Philosophy of Science to Research Design. – Amsterdam, CRC Press, 2013. – 130 p.

126 Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология: словарь системы основных понятий. – М.: Либроком, 2013. – 208 с.

127 Новиков Д.А. Анализ некоторых ведущих конференций по управлению // Автоматика и телемеханика. 2014. № 12. С. 160 – 166.

128 Новиков Д.А. Большие данные – от Браге к Ньютону // Проблемы управления. 2013. № 6. С. 15 – 23. / Novikov D.A. Big Data and Big Control // Advances in Systems Studies and Applications. 2015. Vol. 15. No 1. P. 21 – 36.

129 Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения. – М.: Институт проблем управления РАН, 1998. – 98 с.

130 Новиков Д.А. Иерархические модели военных действий // Управление большими системами. 2012. № 37. С. 25 – 62. / Novikov D.A. Hierarchical Models of Warfare // Automation and Remote Control. 2013. Vol. 74. No 10. P. 1733 – 1752.

131 Новиков Д.А. Методология управления. – М.: Либроком, 2011. – 128 с. / Novikov D. Control Methodology. – New York: Nova Science Publishers, 2013. – 76 p.

132 Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – 150 с.

133 Новиков Д.А. Модели стратегической рефлексии // Автоматика и телемеханика. 2012. – №1. С. 3–22. / Novikov D. Models of Reflexive Behavior // Automation and Remote Control. 2012. Vol. 73. No 1. P. 1 – 19.

134 Новиков Д.А. Теория управления образовательными системами. – М.: Народное образование, 2009. – 452 с.

135 Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 3-е изд. – Физматлит, 2012. – 604 с. / Novikov D. Theory of Control in Organizations. – New York: Nova Science Publishers, 2013. – 341 p.

136 Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексия и управление: математические модели. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2013. – 412 с. / Novikov D., Chkhartishvili A. Reflexion and Control: Mathematical Models. – London: CRC Press, 2014. – 298 p.

137 Новосельцев В.Н. Теория управления и биосистемы. – М.: Наука, 1978. – 319 с.

138 Опойцев В.И. Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения. – М.: Наука. 1977. – 248 с.

139 Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. – М.: Советское радио, 1969. – 170 с. / Optner S. Systems Analysis for Business Management. – New York: Prentice Hall, 1960. – 190 p.

140 Парин В.В., Баевский Р.М. Введение в медицинскую кибернетику. – М.: Медицина, 1966. – 300 с.

141 Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. – М.: Наука, 1986. – 616 с.

142 Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с. / Peregudov F., Tarasenko F. Introduction to Systems Analysis. – OH: Columbus: Glencoe/Mcgraw-Hill, 1993. – 320 p.

143 Поваров Г.Н. Ампер и кибернетика. – М.: Сов. радио, 1977. – 96 с.

144 Полонников Р.И., Юсупов Р.М. Воспримет ли кибернетику XXI век // Проблемы управления и информатики. 2001. № 6. С. 132 – 152.

145 Поляк Б.Т., Степанов О.А., Фрадков А.Л. 19-й Всемирный конгресс ИФАК // Автоматика и телемеханика. 2015. № 2. С. 150 – 156.

- 146 Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
- 147 Поспелов И.Г. Предисловие к книгам Н. Винера «Кибернетика и общество» и «Творец и робот». – М.: Тайдекс, 2003. – 248 с.
- 148 Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
- 149 Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности. – М.: Наука, 2003. – 428 с.
- 150 Пушкин В.Г., Урсул А.Д. Системное мышление и управление. – М.: РАУ, 1994. – 185 с.
- 151 Пушкин В.Г., Урсул А.Д. Информатика, кибернетика, интеллект: философские очерки. – Кишинев: Штиинца, 1989. – 341 с.
- 152 Редько В.Г. Эволюционная кибернетика. М.: Наука, 2003. – 156 с.
- 153 Рыков А.С. Модели и методы системного анализа: принятие решений и оптимизация. – М.: МИСИС, 2005. – 352 с.
- 154 Садовский В.Н. Основы общей теории систем. – М.: Наука, 1978. – 280 с.
- 155 Сетров М.И. Основы функциональной теории организации. – Л.: Наука, 1972. – 164 с.
- 156 Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высшая школа, 2004. – 616 с.
- 157 Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Анализ междисциплинарного взаимодействия современной информатики и кибернетики: теоретические и практические аспекты // Материалы XII Всероссийского совещания по проблемам управления. – М.: ИПУ РАН, 2014. С. 8625 – 8636.
- 158 Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Неокибернетика в современной структуре системных знаний // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. № 2(3). С. 3 – 10.
- 159 Справочник по теории автоматического управления / Красовский А.А. (ред.). – М.: Наука, 1987. – 712 с.
- 160 Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2004. – 186 с.
- 161 Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 848 с.
- 162 Теслер Г.С. Новая кибернетика. – Киев: Логос, 2004. – 404 с.
- 163 Теслинов А.Г. Развитие систем управления: методология и концептуальные структуры. – М.: «Глобус», 1998. – 229 с.

- 164 Турчин В.Ф. Феномен науки: Кибернетический подход к эволюции. – М.: Наука, 1993. – 296 с. / Turchin V. The Phenomenon of Science. – New York: Columbia University Press, 1977. – 348 p.
- 165 Тюхтин В.С. Отражение, системы, кибернетика. – М.: , 1972. – 256 с.
- 166 Уголев А.М. Естественные технологии живых систем. – Л.: Наука, 1987. – 317 с.
- 167 Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. – М.: Мысль, 1978. – 272 с.
- 168 Уолтер Г. Живой мозг. – М.: Мир, 1970. – 300 с. / Walter G. The Living Brain. – London: Pelican Books, 1963. – 255 p.
- 169 Урсул А.Д. Природа информации. – М.: Политиздат, 1968. – 288 с.
- 170 Фрадков А.Л. Кибернетическая физика. – СПб.: Наука, 2004. – 208 с. / Fradkov A. Cybernetical Physics: From Control of Chaos to Quantum Control (Understanding Complex Systems). – Berlin: Springer, 2006. – 236 p.
- 171 Харитонов В.А., Алексеев А.О. Концепция субъектно-ориентированного управления в социальных и экономических системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №05(109). – IDA [article ID]: 1091505043. – Режим доступа:<http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/43.pdf>.
- 172 Хрестоматия по истории информатики / Автор-составитель Я.И. Фет; отв. ред. Б.Г. Михайленко; Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2014. – 559 с.
- 173 Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. – М.: Наука, 1969. – 316 с.
- 174 Чернавский Д.С. Синергетика и информация. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.
- 175 Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой. – М.: Экономика, 1975. – 191 с.
- 176 Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 832 с. / Shannon C., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. – Illinois: University of Illinois Press, 1948. – 144 p.; Shannon C. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. P. 379 – 423, 623 – 656.

177 Штейнбух К. Автомат и человек. – М.: Сов. радио, 1967. – 494 с. / Steinbuch K. Automat und Mensch. Kybernetische Tatsachen und Hypothesen. – Berlin: Springer-Verlag, 1963. – 392 p.

178 Шуровьески Д. Мудрость толпы. – М.: Вильямс, 2007. – 304 с. / Surowiecki J. The Wisdom of Crowds: Why the Many Are Smarter Than the Few and How Collective Wisdom Shapes Business, Economies, Societies and Nations. – New York: Doubleday, 2004. – 336 p.

179 Щедровицкий Г.П. Избранные труды. - М.: Шк. Культ. Полит., 1995. - 800 с.

180 Щедровицкий Г.П. Путеводитель по методологии организации, руководства и управления. Хрестоматия. - М.: «Дело», 2003. - 160 с.

181 Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М.: Мир, 1966. – 432 с. / Ashby W. An Introduction to Cybernetics. – London: Chapman and Hall, 1956. – 295 p.

182 Эшби У.Р. Конструкция мозга. – М.: ИЛ, 1962. – 399 с. / Ashby W. Design for a Brain: The Origin of Adaptive Behavior. – New York: John Wiley & Sons, 1952. – 298 p.

183 Янг С. Системное управление организацией. – М.: Сов. Радио, 1970. – 456 с. / Young S. Management: a Systems Approach. – Glenview: Scott, Foresman and Company, 1966. – 360 p.

184 Ackoff R. Towards a Systems of Systems Concepts // Management Science. 1971. Vol. 17. No 11. P. 661 – 671.

185 Albertos P., Mareels I. Feedback and Control for Everyone. – Berlin: Springer, 2010. – 318 p.

186 Algorithmic Game Theory / Eds. Nisan N., Roughgarden T., Tardos E., and Vazirani V. – N.Y.: Cambridge University Press, 2009. – 776 p.

187 Ampère A.-M. Essai sur la philosophie des sciences. – Paris: Chez Bachelier, 1843. P. 140 – 142.

188 Arrow K. Social Choice and Individual Values. – New York: Wiley, 1951. – 99 p.

189 Asaro P. Whatever Happened to Cybernetics / Geist in der Maschine. – Wien: Verlag Turia, 2010. – P. 39 – 50.

190 Astrom K., Murray R. Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. – Princeton: Princeton University Press, 2012. – 408 p. (<http://press.princeton.edu/titles/8701.html>)

191 Baker K., Kropp D. Management Science: Introduction to the Use of Decision Models. – New York: John Wiley and Sons Ltd, 1985. – 650 p.

- 192 Bateson G. Steps to an Ecology of Mind. – San Francisco: Chandler Pub. Co., 1972. – 542 p.
- 193 Bar-Yam Y. Multiscale Variety in Complex Systems // Complexity. 2004. Vol. 9. No 4. P. 37 – 45.
- 194 Bertalanffy L. General System Theory: Foundations, Development, Applications. – New York: George Braziller, 1968. – 296 p.
- 195 Bertalanffy L. The Theory of Open Systems in Physics and Biology // Science. 1950. 13 Jan. Vol. 111. P. 23 – 29.
- 196 Boulding K. General System Theory – The Skeleton of Science // Management Science. 1956. Vol. 2. P. 197 – 208.
- 197 Boxer P., Kenny V. Lacan and Maturana: Constructivist origins for a 3⁰ Cybernetics // Communication and Cognition. 1992. Vol. 25. No 1. P. 73 – 100.
- 198 Boyd S., Parikh N., Chu E., et al. Distributed Optimization and Statistical Learning via the Alternating Direction Method of Multipliers // Foundations and Trends in Machine Learning. 2011. No. 3(1). P. 1 – 122.
- 199 Bubnicki Z. Modern Control Theory. – Berlin: Springer, 2005. – 423 p.
- 200 Burkov V., Enaleev A. Stimulation and Decision-making in the Active Systems Theory: Review of Problems and New Results // Mathematical Social Sciences. 1994. Vol. 27. P. 271 – 291.
- 201 Burkov V., Lerner A. Fairplay in Control of Active Systems / Differential Games and Related Topics. Amsterdam, London: North-Holland Publishing Company, 1971. P. 164 – 168.
- 202 Cannon W. The Wisdom of the Body. – New York: Norton, 1932. – 312 p.
- 203 Checkland P. Soft System Methodology: A Thirty Years Retrospective // Systems Research and Behavioral Science. 2000. Vol. 17. P. 11 – 58.
- 204 Checkland P. Systems Thinking, Systems Practice. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 1981. – 331 p.
- 205 Dancoff S., Quastler H. The Information Content and Error Rate of Living Things / Essays on the Use of Information Theory in Biology. – Illinois: University of Illinois Press, 1953. P. 263 – 274.
- 206 Gonçalves C. Quantum Cybernetics and Complex Quantum Systems Science – A Quantum Connectionist Exploration // Neuroqantology. 2015. Vol. 13. No 1.
- 207 Dennis A., Wixom B., Roth R. Systems Analysis and Design. 5th ed. – New York: Wiley, 2012. – 594 p.
- 208 Dorf R., Bishop R. Modern Control Systems. 12th ed. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2011. – 1111 p.

209 Emergent Intelligence of Networked Agents / Ed. by Namatame A., Kurihara S., Nakashima H. – Berlin: Springer, 2007. – 261 p.

210 Foerster H. The Cybernetics of Cybernetics. 2nd edition. Minneapolis: Future Systems, 1995. – 228 p.

211 Foerster H. Understanding Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition, New York: Springer-Verlag, 2003. – 362 p.

212 Forrest J., Novikov D. Modern Trends in Control Theory: Networks, Hierarchies and Interdisciplinarity // Advances in Systems Science and Application. 2012. Vol.12. No. 3. P. 1 – 13.

213 Forrester J. Industrial Dynamics. – Cambridge: Pegasus Communications, 1961. – 464 p.

214 Forrester J. Principles of Systems. – Cambridge: Pegasus Communications, 1968. – 387 p.

215 George F.H. Philosophical Foundations of Cybernetics. – Kent: Abacus Press, 1979. – 157 p.

216 Gerovich S. From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics. – Cambridge: MIT Press, 2002. – 383 p.

217 Gershenson C., Csermely P., Érdi P., Knyazeva H., Laszlo A. The Past, Present and Future of Cybernetics and Systems Research // Systems. Connecting Matter, Life, Culture and Technology. 2013. Vol. 1 No 3. P. 4 – 13.

218 Grössing G. Quantum Cybernetics. Toward a Unification of Relativity and Quantum Theory via Circularly Causal Modeling. – New York: Springer, 2000. – 153 p.

219 Gubanov D., Makarenko A., Novikov D. Analysis Methods for the Terminological Structure of a Subject Area // Automation and Remote Control. 2014. Vol. 75. No. 12. P. 2231 – 2247.

220 Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) v1.3.2. BKCASE, INCOSE 2015. – 971 p.

221 Haken H. Advanced Synergetics: Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices. 2nd ed. – New York: Springer-Verlag, 1993. – 356 p.

222 Handbook of Dynamic Systems Modeling / Ed. by P. Fishwick. – New York: CRC Press, 2007. – 760 p.

223 Heylighen F. Principles of Systems and Cybernetics: an Evolutionary Perspective / Cybernetics and Systems'92. – Singapore: World Science, 1992. P. 3 – 10.

224 Heylighen F., Joslyn C. Cybernetics and Second-Order Cybernetics / Encyclopedia of Physical Science & Technology. 3rd ed. – New York: Academic Press, 2001. P. 155 – 170.

- 225 Hillier F. and Lieberman G. Introduction to Operations Research (8 th ed.). – Boston: McGraw-Hill, 2005. – 1061 p.
- 226 Historic Control Textbook / Ed. by J. Gertler. – Oxford: Elsevier, 2006. – 304 p.
- 227 Hitchins D. Putting Systems to Work. – New York: Wiley, 1993. – 342 p.
- 228 INCOSE Systems Engineering Handbook Version 3.2.2 – A Guide for Life Cycle Processes and Activities / Ed. by C. Haskins. – San Diego: INCOSE, 2012. – 376 p.
- 229 Jackson M. Social and Economic Networks. – Princeton: Princeton Univ. Press, 2010. – 520 p.
- 230 Jaradat R., Keating C. A Histogram Analysis for System of Systems // International Journal System of Systems Engineering. 2014. Vol. 5. No. 3. P. 193 – 227.
- 231 Julong D. Introduction to Grey System Theory // The Journal of Grey System. 1989. Vol. 1. P. 1 – 24.
- 232 Kahn H., Mann I. Techniques of Systems Analysis. – Santa Monica: RAND Corporation, 1956. – 168 p.
- 233 Kaufman A. Introduction to Fuzzy Arithmetic. – New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1991. – 384 p.
- 234 Kenny V. There's Nothing Like the Real Thing. Revisiting the Need for a Third-Order Cybernetics // Constructivist Foundations. 2009. No 4(2). P. 100 – 111.
- 235 Khalil H. Nonlinear systems. 2nd ed. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. – 734 p.
- 236 Kuhn T. The Structure of Scientific Revolutions. – Chicago: University of Chicago Press, 1962. – 264 c.
- 237 Mancilla R. Introduction to Sociocybernetics (Part 1): Third Order Cybernetics and a Basic Framework for Society // Journal of Sociocybernetics. 2011. Vol. 42. No 9. P. 35 – 56.
- 238 Mancilla R. Introduction to Sociocybernetics (Part 3): Fourth Order Cybernetics // Journal of Sociocybernetics. 2013. Vol. 44. No 11. P. 47 – 73.
- 239 Mansour Y. Computational Game Theory. – Tel Aviv: Tel Aviv University, 2003. – 150 p.
- 240 Maruyama M. The Second Cybernetics: Deviation-Amplifying Mutual Causal Processes // American Scientist. 1963. Vol. 5. No 2. P. 164 – 179.
- 241 Maturana H., Varela F. Autopoiesis and Cognition. – Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1980. – 143 p.

- 242 Maturana H., Varela F. The Tree of Knowledge. – Boston: Shambhala Publications, 1987. – 231 p.
- 243 Maxwell J.C. On Governors // Proceedings of the Royal Society of London. 1868. Vol. 16. P. 270 – 283.
- 244 Mead M. The Cybernetics of Cybernetics / Purposive Systems. Ed. by Foerster, H.von et al. – New York: Spartan Books, 1968. – P. 1 – 11.
- 245 Meadows D., Randers J., Behrens W. The Limits to Growth. – New York: Universe Books, 1972. – 205 p.
- 246 Meadows D. Thinking in Systems. – London: Earthscan, 2009. – 218 p.
- 247 Müller K. The New Science of Cybernetics: A Primer // Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics. 2013. Vol. 11. No 9. P. 32 – 46.
- 248 Myerson R. Game Theory: Analysis of Conflict. – London: Harvard Univ. Press, 1991. – 568 p.
- 249 NASA Systems Engineering Handbook. 2007. – 360 p.
- 250 Nash J. Non-cooperative Games // Ann. Math. 1951. Vol. 54. P. 286 – 295.
- 251 Nature. – 2008. September 3 (Special Issue).
- 252 Neumann J., Morgenstern O. Theory of Games and Economic Behavior. – Princeton: Princeton University Press, 1944. – 776 p.
- 253 Novick D. Program Budgeting. – Cambridge: Harvard University Press, 1965. – 88 p.
- 254 Novikov D., Rusyaeva E. Foundations of Control Methodology // Advances in Systems Science and Application. 2012. Vol. 12. № 3. P. 33 – 52.
- 255 Ogata K. Modern Control Engineering. 5th ed. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010. – 905 p.
- 256 Orlovski S. Optimization Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory. – Berlin: Springer, 1987. – 452 p.
- 257 Pareto V. Cours d'Economie Politique. Vol. 2. 1897. – 420 p.
- 258 Pawlak Z. Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning About Data. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishing, 1991.
- 259 Peters B. Normalizing Soviet Cybernetics // Information & Culture: A Journal of History. 2012. Vol. 47. No 2. P. 145 – 175.
- 260 Pickering A. The Cybernetic Brain. – Chicago: The University of Chicago Press, 2010. – 537 p.
- 261 Prigogine I., Stengers I. Order Out of Chaos. – New York: Bantam Books, 1984. – 285 p.

262 Rapoport A. General System Theory: Essential Concepts & Applications. – Kent: Abacus Press, 1986. – 250 p.

263 Rashevsky N. Outline of a New Mathematical Approach to General Biology // Bulletin of Mathematical Biophysics. 1943. Vol. 5. P. 33 – 47, 49 – 64, 69 – 73.

264 Ren W., Yongcan C. Distributed Coordination of Multi-agent Networks. – London: Springer, 2011. – 307 p.

265 Rosenblueth A., Wiener N., Bigelow J. Behavior, Purpose and Teleology // Philosophy of Science. 1943. No 10. P. 18 – 24.

266 Rzevski G., Skobelev P. Managing Complexity. – London: WIT Press, 2014. – 216 p.

267 Satzinger J., Jackson R., Burd S. Introduction to Systems Analysis and Design. 6th ed. – Boston: Course Technology, 2011. – 512 p.

268 Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 504 p.

269 Smuts J. Holism and Evaluation. – London: Macmillan, 1926. – 368 p.

270 Strogatz S. Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering (Studies in Nonlinearity). – Boulder: Westview Press, 2001. – 512 p.

271 Systems Engineering Guide. – Bedford: MITRE Corporation, 2014. – 710 p.

272 Taha H. Operations Research: An Introduction (9th ed.). – NY: Prentice Hall, 2011. – 813 p.

273 The Control Handbook. 2nd ed. Ed. By W. Levine. – New York: CRC Press, 2010. – 3526 p.

274 Trentowski B. Stosunek Filozofii do Cybernetyki, Czyli Sztuki Rządzenia Narodem. – Warszawa, 1843. – 195 p.

275 Umpleby S. A Brief History of Cybernetics in the United States // Austrian Journal of Contemporary History. 2008. Vol. 19. No 4. P. 28 – 40.

276 Umpleby S. The Science of Cybernetics and the Cybernetics of Science // Cybernetics and Systems. 1990. Vol. 21. No. 1. P. 109 – 121.

277 Valachich J., George J., Hoffer J. Essentials of Systems Analysis and Design. 5th ed. – Prentice Hall: Pearson, 2012. – 445 p.

278 Varela F. A Calculus for Self-reference // International Journal of General Systems. 1975. Vol. 2. P. 5 – 24.

279 Wagner H. Principles of Operations Research. 2-nd ed. – NJ Upper Saddle River: Prentice Hall, 1975. – 1039 p.

280 Wasson C. System Analysis, Design and Development: Concepts, Principles and Practices. – Hoboken: Wiley, 2006. – 832 p.

281 Weibull J. Evolutionary Game Theory. – Cambridge: The MIT Press, 1995. – 256 p.

282 Wooldridge M. An Introduction to Multi-Agent Systems. – New York: John Wiley and Sons, 2002. – 376 p.

Приложение: базовые термины

АДАПТАЦИЯ⁹⁴ – процесс, в ходе которого устанавливается или поддерживается приспособленность системы (т.е. поддержание ее основных параметров) при изменении условий внешней и внутренней среды. Нередко адаптацией (адаптированностью) называют и результат такого процесса – наличие у системы приспособленности к некоторому фактору среды. Понятие адаптации первоначально применялось к биологическим системам – прежде всего к отдельно-му организму (или его органам и др. подсистемам), а затем – к популяции организмов. С появлением кибернетики, в которой в качестве механизма адаптации рассматривается отрицательная обратная связь, обеспечивающая целесообразное реагирование сложной иерархичной самоуправляющейся системы на изменяющиеся условия среды, понятие адаптации стало широко применяться в социальных и технических науках.

АНАЛИЗ – одна из мыслительных операций – разложение исследуемого целого на части, выделение отдельных признаков и качеств явления, процесса или отношений явлений, процессов. Процедуры анализа входят органической составной частью во всякое изучение любого объекта и обычно образуют его первую фазу, когда человек переходит от нерасчлененного изучения объекта к выявлению его строения, состава, его свойств и признаков. Анализ – один из теоретических методов-операций, присущий любой деятельности.

ГОМЕОСТАТ (от ὁμοιος – одинаковый, подобный и στάσις – состояние, неподвижность) – 1) способность открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия; 2) для биологических систем – постоянство характеристик, существенных для жизнедеятельности системы, при наличии возмущений во внешней среде; состояние относительного постоянства; относительная независимость внутренней среды от внешних условий [137, 179, 202].

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ – активное взаимодействие человека с окружающей действительностью, в ходе которого человек выступает как субъект, целенаправленно воздействующий на объект и удовлетво-

⁹⁴ *Определения, если не оговорено особо, приводятся в соответствии с [126]. Анализ структуры терминологии (взаимосвязей между терминами) можно найти в [219].*

ряющий таким образом свои потребности. Основные структурные компоненты деятельности приведены на Рис. 16.

ИЕРАРХИЯ (от греч. «священная власть») – принцип структурной организации сложных многоуровневых систем, состоящий в упорядочении взаимодействия между уровнями в порядке от высшего к нижнему и характеризующий взаимную корреляцию и соподчинение процессов на различных уровнях системы и обеспечивающий ее функционирование и поведение в целом.

МОДЕЛЬ – в широком смысле – любой образ, аналог (мысленный или условный: изображение, описание, схема, чертеж, график, план, карта и т.п.) какого-либо объекта, процесса или явления (оригинала данной модели); модель – вспомогательный объект, выбранный или преобразованный в познавательных целях, дающий новую информацию об основном объекте. Для того чтобы создаваемая модель соответствовала своему назначению, недостаточно создать просто модель. Необходимо, чтобы она отвечала ряду требований – ингерентность, адекватность и простота, обеспечивающих ее функционирование.

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ – отсутствие или недостаток определения или информации.

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ (ОС) – обратное воздействие результатов процесса на его протекание; поступление информации о состоянии управляемой системы в управляющую систему (см. «управление»). ОС характеризует системы регулирования и управления в живой природе, обществе и технике. Различают положительную и отрицательную ОС. Если результаты процесса усиливают его, то ОС является положительной. Когда результаты процесса ослабляют его действие, то имеет место отрицательная ОС. Отрицательная ОС стабилизирует протекание процессов. Положительная ОС, напротив, обычно приводит к ускоренному развитию процессов и к колебательным процессам. В сложных системах (например, в социальных, биологических) определение типов ОС затруднительно, а иногда и невозможно. ОС классифицируют также в соответствии с природой тел и сред, посредством которых они осуществляются: механическая (например, отрицательная ОС, осуществляемая центробежным регулятором Уатта в паровой машине); оптическая (например, положительная ОС, осуществляемая оптическим резонатором в лазере); электрическая и т.д. Понятие ОС как формы взаимодействия играет важную роль в анализе функционирования и развития сложных систем управления в живой природе и обществе.

ОРГАНИЗАЦИЯ: 1) внутренняя упорядоченность, согласованность взаимодействия более или менее дифференцированных и автономных частей целого, обусловленная его строением; 2) совокупность процессов или действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого; 3) объединение людей, совместно реализующих некоторую программу или цель и действующих на основе определенных процедур и правил», то есть механизмов функционирования (механизм – «система, устройство, определяющее порядок какого-либо вида деятельности»). Данное значение термина «организация» является определением организационной системы. Категория «организации» является центральным системообразующим элементом теории управления [135].

ПОВЕДЕНИЕ – одна из нескольких возможных в данной обстановке (среде) последовательностей движений, действий. Явления поведения нельзя рассматривать безотносительно к той среде, в которой оно разыгрывается. Иногда поведением человека называют только внешнее проявление его деятельности.

РАЗВИТИЕ – необратимое, направленное, закономерное изменение материальных и идеальных объектов. Развитие в желательную сторону называется прогрессом. В нежелательную сторону – регрессом.

РАЗНООБРАЗИЕ – количественная характеристика системы, равная числу ее возможных состояний или логарифму этого числа.

САМООРГАНИЗАЦИЯ – процесс, в ходе которого создаётся, воспроизводится или совершенствуется организация сложной системы. Процессы самоорганизации могут иметь место только в системах, обладающих высоким уровнем сложности и большим количеством элементов, связи между которыми имеют не жёсткий, а, например, вероятностный характер. Свойства самоорганизации обнаруживают объекты самой различной природы: живая клетка, организм, биологическая популяция, биогеоценоз, человеческий коллектив, сложные технические системы и т.д. Процессы самоорганизации происходят за счёт перестройки существующих и образования новых связей между элементами системы. Отличительная особенность процессов самоорганизации – их целенаправленный, но вместе с тем и естественный, спонтанный характер: эти процессы, протекающие при взаимодействии системы с окружающей средой, в той или иной мере автономны и относительно независимы от среды.

САМОРЕГУЛЯЦИЯ – в общем смысле определяется как целесообразное функционирование живых систем, представляет собой

замкнутый контур регулирования (см. обратная связь), в котором субъект и объект управления совпадают. Саморегуляция имеет следующую структуру: принятая субъектом цель его деятельности, модель значимых условий деятельности, программа собственно исполнительных действий, система критериев успешности деятельности, информация о реально достигнутых результатах, оценка соответствия реальных результатов критериям успеха, решения о необходимости и характере коррекций деятельности.

СИНЕРГЕТИКА – междисциплинарное направление научных исследований процессов самоорганизации в сложных системах, описывающих и объясняющих появление качественно новых свойств и структур (см. синергия) на макроуровне в результате взаимодействий элементов открытой системы на микроуровне. Использует аппарат нелинейной динамики (в т.ч. теории катастроф) и неравновесной термодинамики.

СИНТЕЗ – одна из мыслительных операций – соединение различных элементов, сторон объекта в единое целое (систему). Синтез противоположен анализу, с которым он неразрывно связан. Синтез – один из теоретических методов-операций, присущий любой деятельности.

СИСТЕМА – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство, подчиненных достижению цели. Основные особенности систем: целостность, относительная обособленность от окружающей среды, наличие связей со средой, наличие частей и связей между ними (структурированность), подчиненность всей организации системы некоторой цели.

СРЕДА (внешняя среда) – совокупность всех объектов/субъектов, не входящих в систему, изменение свойств и/или поведение которых влияет на изучаемую систему, а также тех объектов/субъектов, чьи свойства и/или поведение которых меняются в зависимости от поведения системы.

СТРУКТУРА – совокупность устойчивых связей между множеством компонентов объекта (элементами системы), обеспечивающих его целостность и самотождественность.

УПРАВЛЕНИЕ – 1) элемент, функция организованных систем различной природы: биологических, социальных, технических, обеспечивающая сохранение их определенной структуры, поддержание режима деятельности, реализацию программы, цели деятельности; воздействие на управляемую систему с целью обеспечения требуемого ее поведения; 2) наука управления; 3) объект – аппарат

управления, структура (например, подразделение), включающая субъектов, осуществляющих управление.

ФУНКЦИЯ – 1) В философии – явление, зависящее от другого и изменяющееся по мере изменения этого другого явления; 2) в математике – закон, по которому каждому значению переменной величины (аргумента) ставится в соответствие некоторая определённая величина, а также сама эта величина; отношение двух (группы) объектов, в котором изменению одного из них сопутствует изменение другого; 3) работа, производимая органом, организмом; 4) роль, значение чего-н.; роль, которую субъект или социальный институт выполняет относительно потребностей надсистемы или интересов составляющих ее групп и индивидов; обязанность, круг деятельности.

ЧЕРНЫЙ ЯЩИК – система, внутреннее устройство и механизм работы которой очень сложны, неизвестны или неважны в рамках данной задачи (существенным является внешнее поведение).

ЦЕЛЬ – то, к чему стремятся, что надо осуществить. В философии цель (действия, деятельности) – один из элементов поведения и сознательной деятельности человека, который характеризует предвосхищение в мышлении результата деятельности и пути его реализации с помощью определённых форм, методов и средств. Цель выступает как способ интеграции различных действий человека в некоторую последовательность, систему.

Приложение: темы для самостоятельной работы

- 1) Научные открытия XX века. Междисциплинарная трансляция результатов
- 2) Кибернетика А. Ампера
- 3) Кибернетика Б. Трентовского
- 4) Тектология А.А. Богданова
- 5) Н. Винер и его вклад в кибернетику
- 6) У. Эшби и его вклад в кибернетику
- 7) С. Бир и его вклад в кибернетику
- 8) Л.-ф. Берталанфи и общая теория систем
- 9) Г. Ферстер и общая теория систем
- 10) А.И. Берг и его вклад в кибернетику
- 11) В.М. Глушков и его вклад в кибернетику
- 12) А.Н. Колмогоров и его вклад в кибернетику
- 13) А.А. Ляпунов и его вклад в кибернетику
- 14) История теории регуляторов
- 15) История теории управления
- 16) История общей теории систем и системного анализа
- 17) История информатики
- 18) История искусственного интеллекта
- 19) История исследования операций
- 20) История кибернетики в СССР и США
- 21) История системотехники и системного инжиниринга
- 22) Онтологический анализ базовых определений кибернетики
- 23) Системы систем
- 24) Библиометрический анализ общей и отраслевых кибернетик
- 25) Библиометрический анализ конференций по кибернетике
- 26) Кибернетика второго порядка
- 27) Аутопоезис
- 28) Кибернетики 3-го и более высоких порядков
- 29) Экономическая кибернетика
- 30) Кибернетическая физика
- 31) Философия управления
- 32) Методология управления
- 33) Философия и методология информатики. Философия информации
- 34) Методология «мягких» систем

- 35) Системные классы К. Боулдинга
- 36) Системная динамика
- 37) Законы, закономерности и принципы управления
- 38) Методы решения слабоструктурированных проблем
- 39) Гибридные модели. Многомодельный подход. Иерархическое моделирование
- 40) «Жесткие» и «мягкие» модели
- 41) Теория организации
- 42) Эмерджентный интеллект
- 43) Большие данные и задачи управления

Сведения об авторе



**НОВИКОВ
ДМИТРИЙ
АЛЕКСАНДРОВИЧ**

1970 г.р., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора Института проблем управления Российской академии наук, заведующий кафедрой «Проблем управления» Московского физико-технического института.

Автор более 500 научных работ по теории управления системами междисциплинарной природы, методологии, системному анализу, теории игр, принятию решений, управлению проектами и математическим моделям механизмов управления организационными и социально-экономическими системами.

E-mail: novikov@ipu.ru, www.mtas.ru.