

# Лекции

## История и перспективы развития Информатики и вычислительной техники

### 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, только что родились теория игр (1944) 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 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 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 зрелости.

### **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 людей) – «наука об общих закономерностях

процессов *управления и передачи информации* в различных системах, будь то *машины, живые организмы или общество*».

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» 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.

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

В своей классификации наук А. Ампер (1834) 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).

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. Далее Винер добавил (1950) к объектам, изучаемым кибернетикой, и общество. Таким образом, кибернетику 1.0 (или просто **кибернетику**) можно определять, 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 далее. В первом случае речь идет 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 результатов<sup>8</sup>, т.е. тех из них, которые являются общими для всех наук-компонент.

### ***1.1 Кибернетика Н.Винера***

**Немного истории (гносеологический взгляд).** Любая наука детерминируется своим «предметом» (предметной областью) и «методом» (единой совокупностью методов). Поэтому науки<sup>9</sup> 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, а длительное сотрудничество Н. Винера с биологами, наряду с широтой и глубиной его профессиональных интересов обеспечили «субъективное» выполнение этих условий. Как говорил впоследствии сам Н. Винер «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.

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

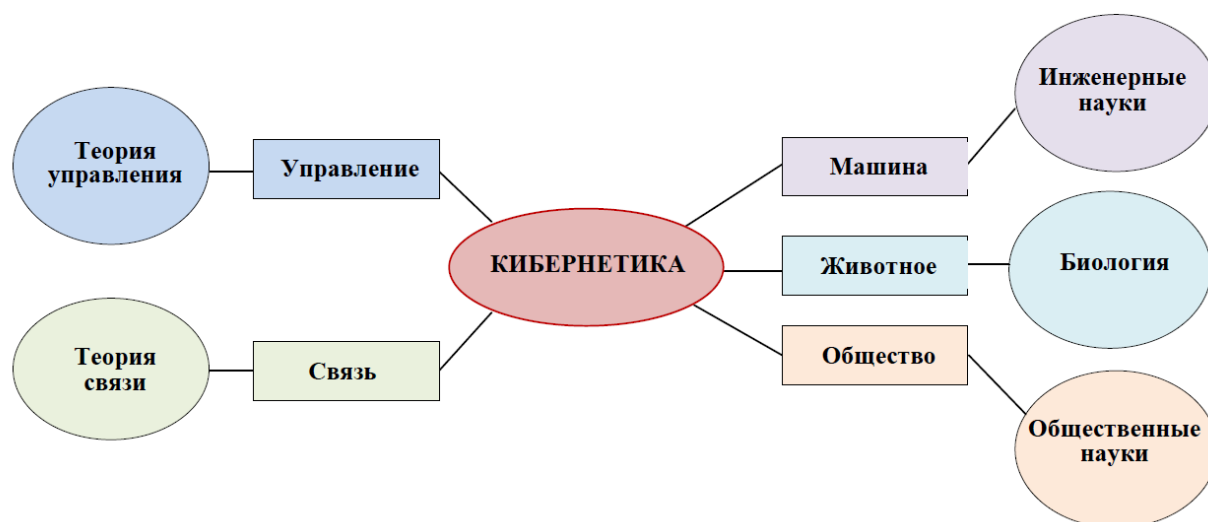


Рисунок 1 Винеровская кибернетика

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

- теория управления (1868 – статьи Д. Максвелла и И.Вышнеградского );
- математическая теория связи и информации (1948 – работы К. Шеннона );
- общая теория систем, системотехника и системный анализ (1968 – и, соответственно, 1956);
- 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, «нечеткие» системы, 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 и информатика.

**«Отраслевая» кибернетика.** Наряду с общей кибернетикой, выделяют и *специальные кибернетики*. 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;*

– *экономическая кибернетика*];

– *физическая кибернетика* (точнее – «*кибернетическая физика*»);

– *социальная кибернетика, педагогическая кибернетика*];

– *квантовая кибернетика* (управление квантовыми системами, квантовые вычисления) (см. обзоры в);

– *космическая кибернетика*;

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, так и их последователей.

### ***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 управление.



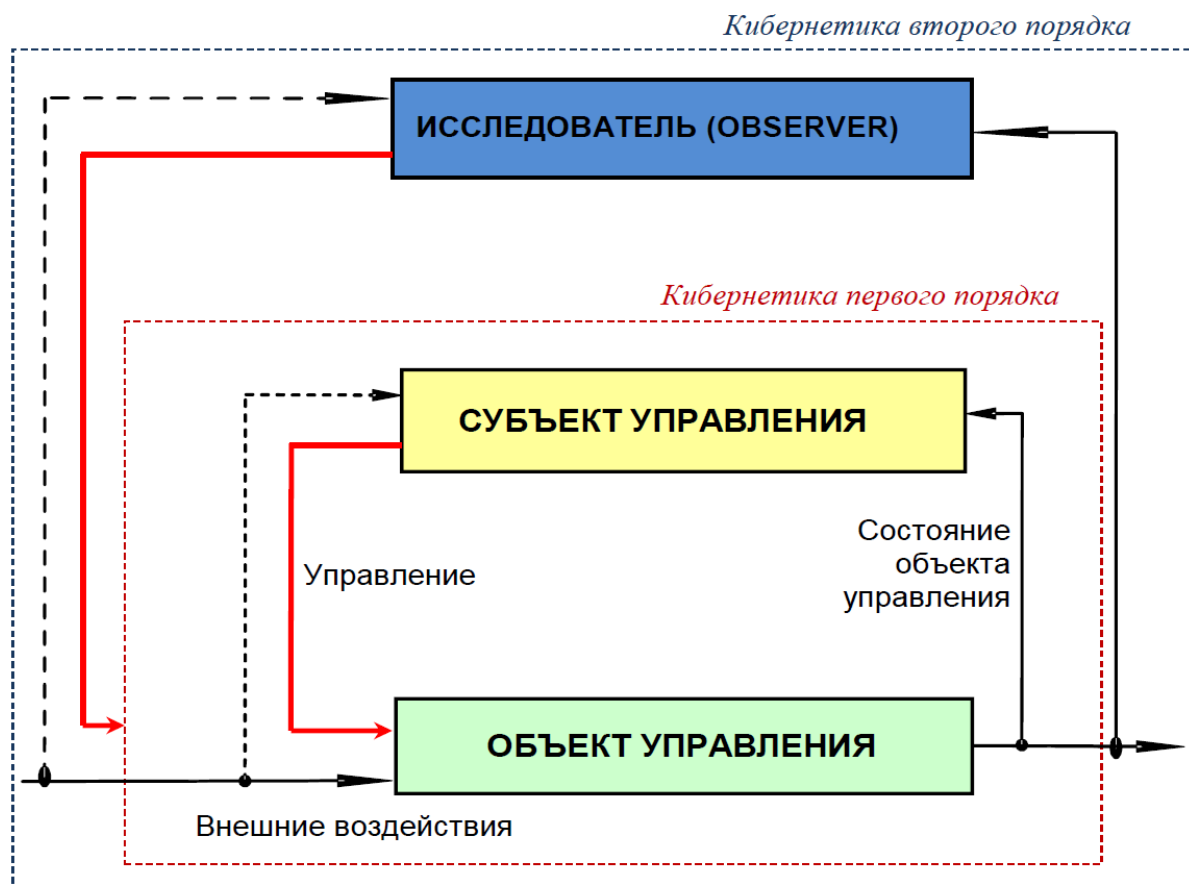


Рисунок 2 Кибернетика первого и второго порядка

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. 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 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. Также существуют еще 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. 3.

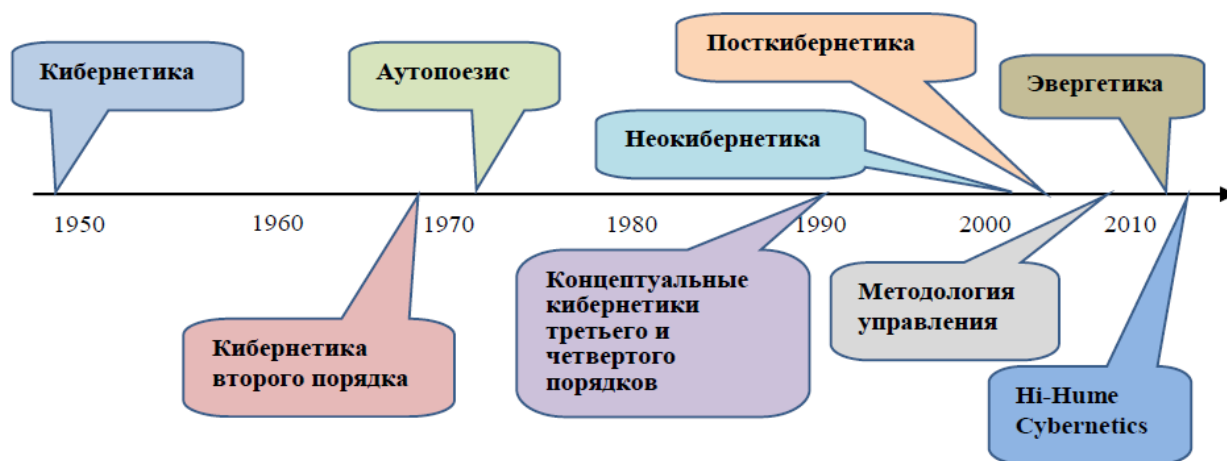


Рисунок 3 Онтогенез кибернетики – различные «кибернетики»

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.

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.».

### *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». Истина, как всегда посередине.

Сомнения в существовании «сегодня» кибернетики и аргументы в ее защиту 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»;
- «Приходится признать, что как научная дисциплина «кибернетика вообще», так и не сложилась». «Трудно найти специалиста, называющего себя кибернетиком.»;
- «Сегодня термин «кибернетика» произносится на всех перекрестках по делу и без дела».

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. 4).

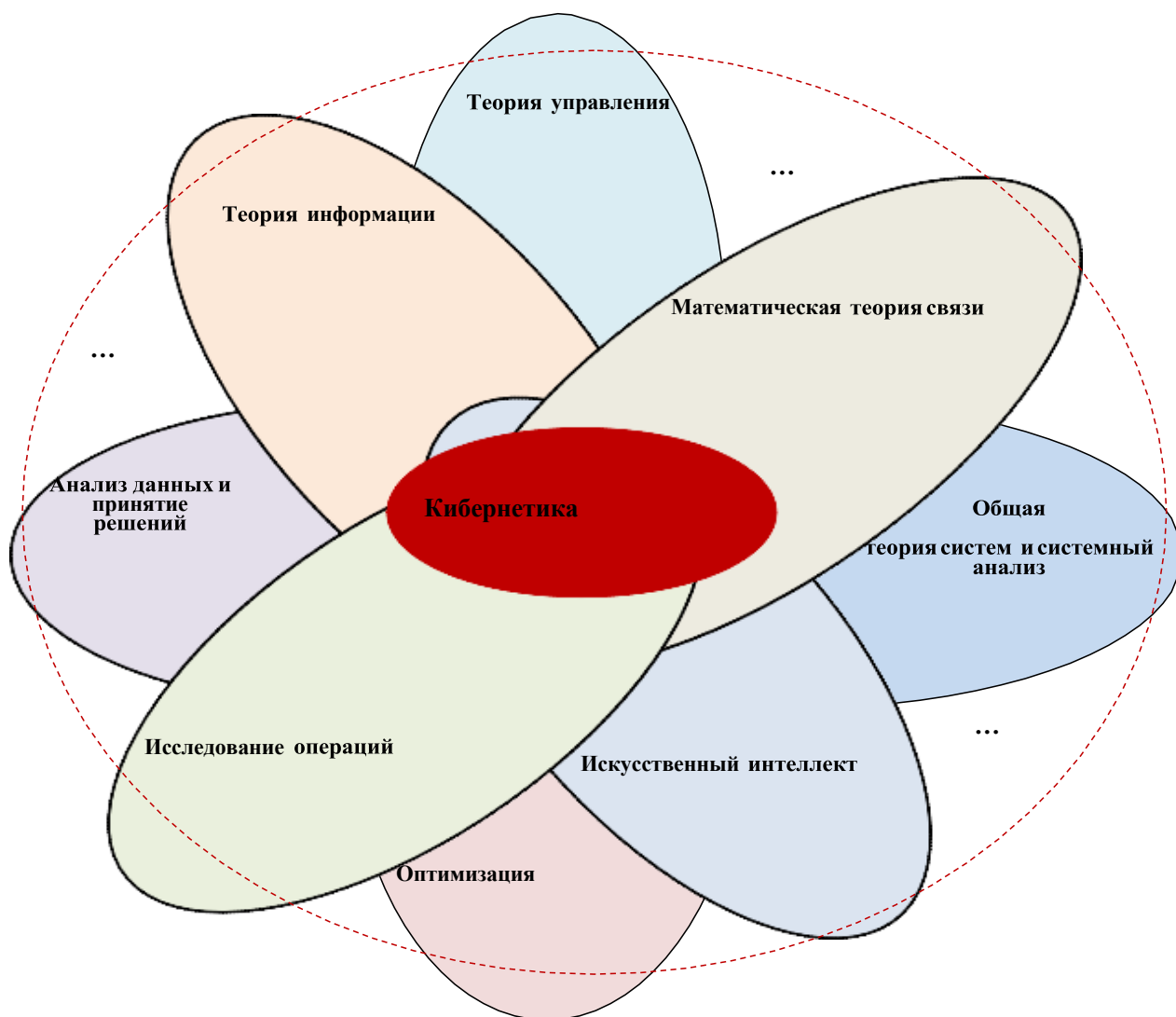


Рисунок 4 Состав и структура кибернетики

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 направлений (см. Рис. 4) росло, каждое из них продолжало развиваться, а общих закономерностей почти не выявлялось и не

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

Относительно Рис. 4 и ему подобных следует 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.» 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 исследований, до полномасштабных научных направлений см. Рис. 5.

Идеи Н. Винера об общих закономерностях управления и связи в системах различной природы явились результатом 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.

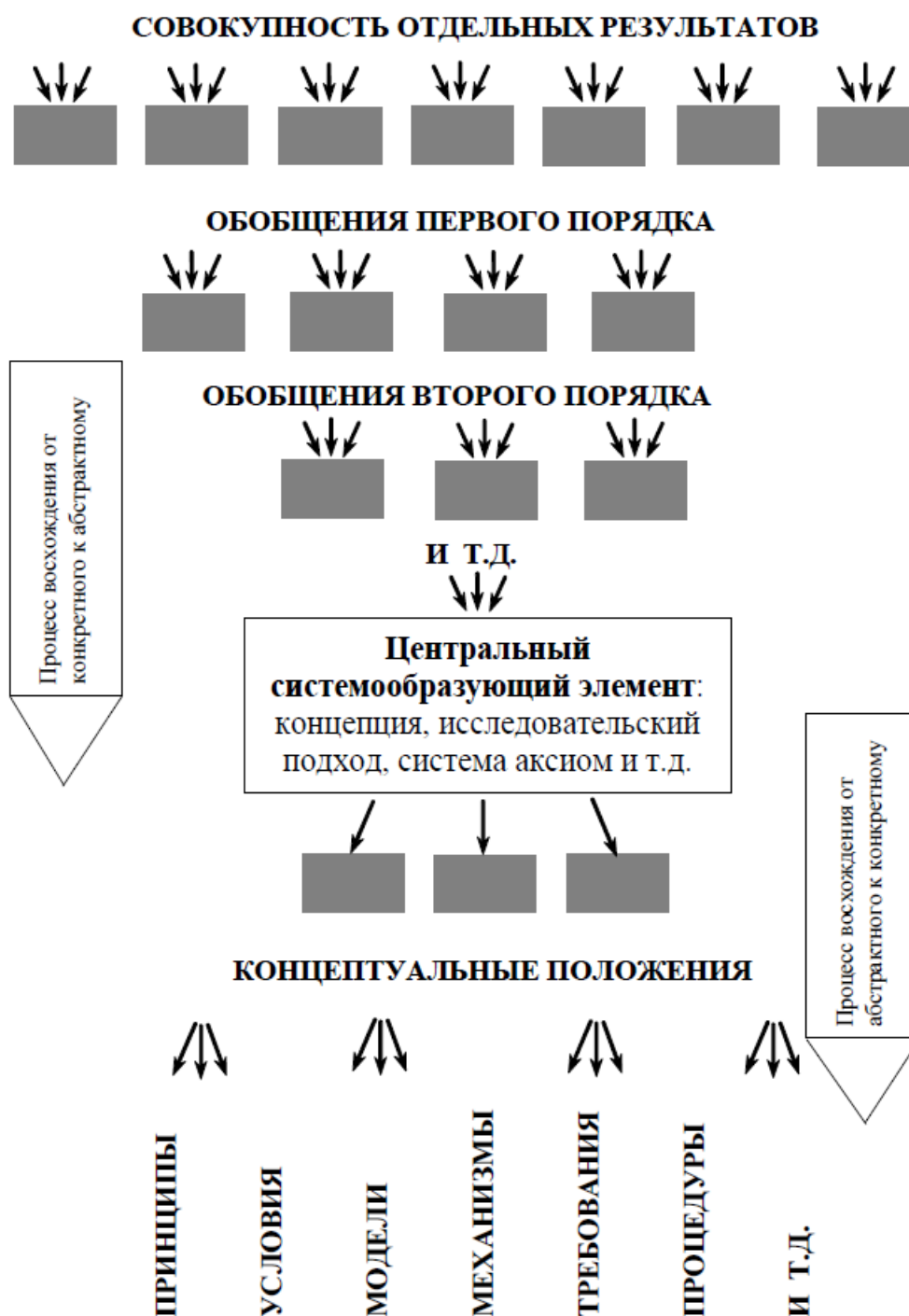


Рисунок 5 Логическая структура теории

## 2 Кибернетика, философия и методология управления

Специалисты каждой науки, достигшей определенного уровня гносеологической зрелости, осуществляют «рефлексию», 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 как самих «отцов» кибернетики, так и профессиональных философов.

Активно развивавшийся на протяжении XX века менеджмент – раздел теории управления, изучающий практику управления организационными системами – породил к началу XXI века «философию менеджмента». Именно в это время начали появляться книги и статьи с названиями «Философия управления». 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.

### ***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».

Первыми теоретиками управления были именно философы. 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. 6, 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 управление рассматривая и как науку, и как вид практической деятельности. Ключевыми представляются три затененные на Рис. 6 области.



Рисунок 6 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.

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». Философия — «наука о смысле

всякой реальности (сущности)». 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. Это значение термина «философия управления» (см. верхнюю половину Рис. 6, 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.

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 обобщённые. Действительно, «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».

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.

## ***2.2 Методология управления***

Методология – это учение об организации деятельности. 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)]. Теория управления акцентирует свое внимание, в основном, на взаимодействии субъекта и «объекта» управления (в роли последнего может выступать другой субъект) – см. Рис. 7, в то время как методология управления исследует деятельность субъекта управления и, следовательно, должна включаться в рамки Кибернетики.

Развитие методологии управления позволило сформулировать структуру управленческой деятельности (см. Рис. 8) и выделить структурные компоненты теории управления.

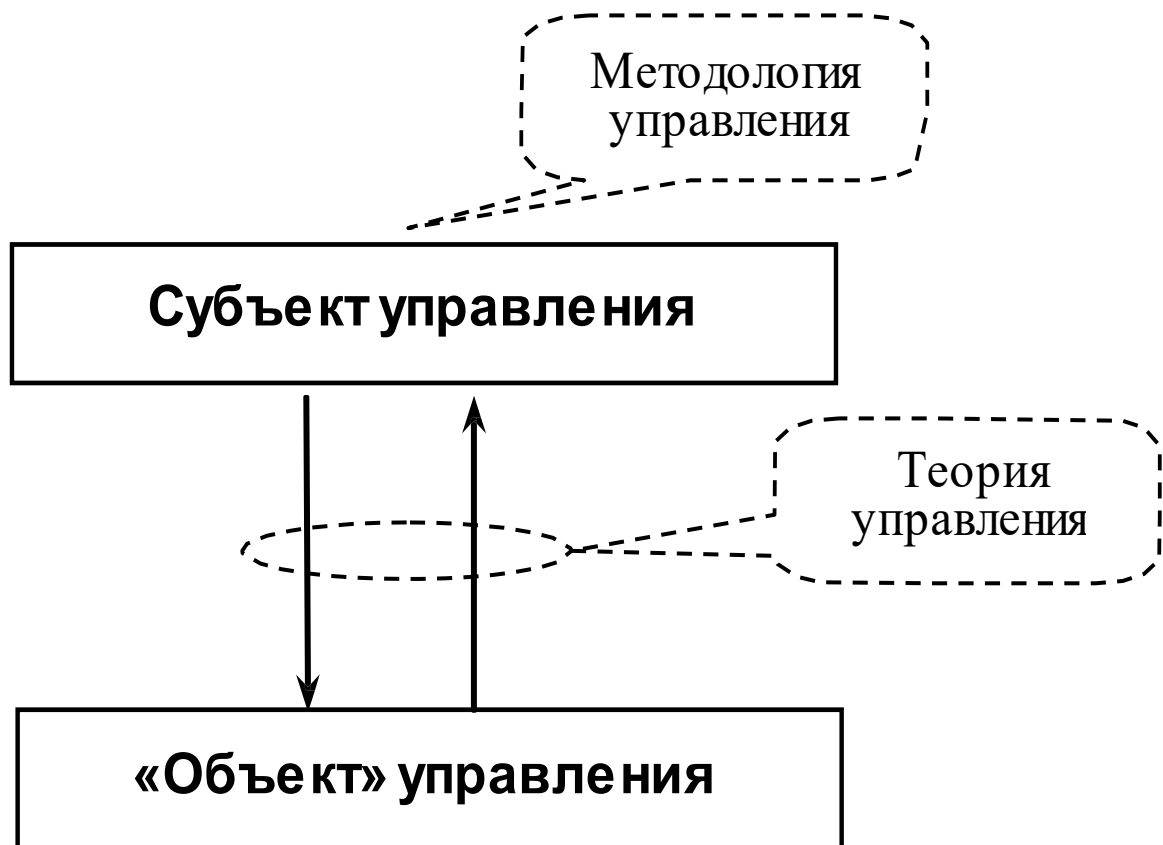


Рисунок 7. Методология управления и наука об управлении

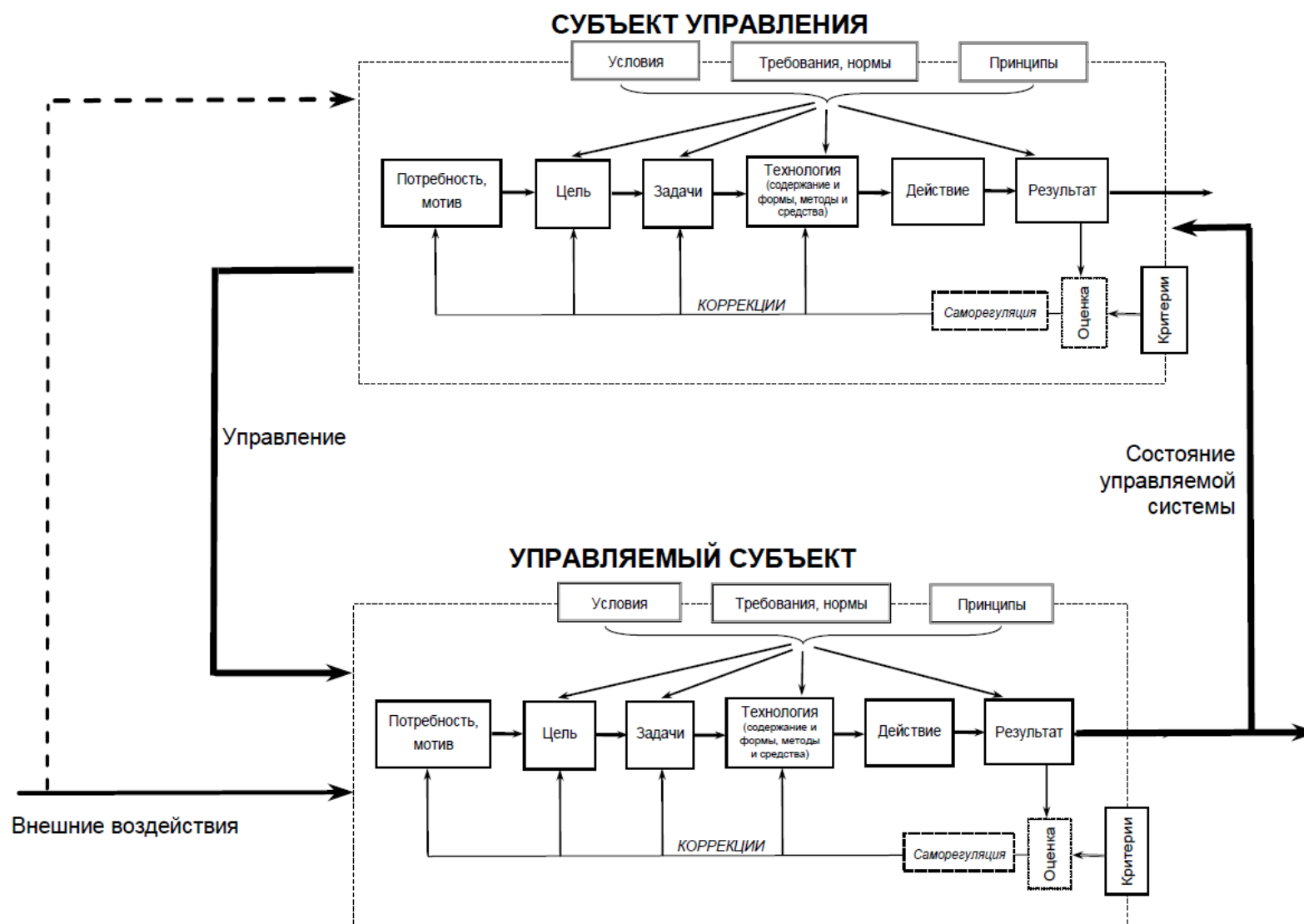


Рисунок 8

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.

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.

Структурные компоненты теории управления см. Рис. 9.



Рисунок 9 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.



Рисунок 10 Иерархия законов, закономерностей и принципов

Возникает закономерный вопрос, какие существуют общие законы управления? Общепринятый 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 законами, а закономерностями или принципами. Приведем наиболее часто встречающиеся из них.

**ОБЩИЕ ЗАКОНЫ УПРАВЛЕНИЯ** (иногда их условно называют закономерностями):

Закон целенаправленности (у любого управления есть цель);

Закон необходимого разнообразия (иногда его называют принципом адекватности; сформулирован У. Эшби – разнообразие регулятора должно быть адекватно разнообразию объекта управления. Разнообразие — это сложность, и закон необходимого разнообразия был сформулирован как закон необходимой сложности. Сам Эшби считал, что «всякий закон природы есть ограничение разнообразия».

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».

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

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

б) Закон оптимальности – управление должно быть «наилучшим» с точки зрения достижения цели при имеющихся ограничениях. 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. 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.

Во-первых, многие из приводимых в литературе принципов спорны, так как являются примерами неадаптированного необоснованного переноса и/или «обобщения результатов». Например, В. Парето установил эмпирически, что 20 % населения владеют 80 % капиталов. Сейчас «принцип Парето» («принцип 80/20») 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:**

- 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, 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.

Большинство известных принципов и законов функционирования сложных (в первую очередь – биологических) систем носит именно характер закономерностей или гипотез.

## **ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

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 равновесия, требуемого законами физики и химии при соответствующих внешних условиях (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.

4. **Принцип обратной связи** (см. также *принцип функциональной системы* П.К. Анохина. 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»). 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 и И.А. Вышнеградский. Первое систематическое (в электротехнике оно исследовалось и в 20-е годы XX века) общее рассмотрение обратной связи – П.К. Анохин (1935), затем (1943) – Розенблюм А., Винер Н. и Бигелоу Д.; окончательная формулировка – Винер Н. (1948).
5. **Принцип наименьшего взаимодействия** (И.М. Гельфанд, М.Л. Цетлин, 1962. 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).
6. **Принцип вероятностного функционирования мозга** (А.Б. Коган, 1964. Каждый из нейронов не имеет самостоятельной функции, то есть априори не является ответственным за 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). Достижение полной цели равноценно достижению совокупности подцелей.
- 8. Принцип адекватности** (У.Р. Эшби, 1956, Ю.Г. Антомонов 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). 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».
- 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. 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 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.
13. **Принцип естественного отбора** (С.М. Данков, 1953). В системах, ставших эффективными в результате естественного отбора, разнообразие механизмов и пропускная способность каналов передачи информации не будет значительно превышать минимально необходимое для этого значение.
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).
15. **Принцип дополнительности (несовместимости)** (Н. Бор, 1927; Л.А. Заде, 1973). Высокая точность описания некоторой системы несовместима с ее большой сложностью. 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). 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 естественно-научным 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.

Приведем 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  $\rho$  уровень энергии, достижимой при помощи управления уровня  $\gamma$  имеет порядок  $(\gamma/\rho)^2$ ;
- Каждая управляемая хаотическая траектория может быть преобразована в периодическую при помощи сколь угодно малого управления.

Принципы 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 – аналогом является Revelation Principle) – 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 ограниченно применимы в «смежных» разделах.

### **ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ.**

**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 исключающих, впрочем, необходимости учета специфики каждой конкретной системы. Большинство реальных управленческих ситуаций может быть сведено к набору так называемых 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.

Выделим 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 некой иерархии или переплетении нескольких иерархий. Во

всяком случае, до сих пор мы не знаем организованных систем, устроенных иначе».

**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», 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) 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*.

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*: целостного множества *элементов* в совокупности *отношений* и *связей* между ними<sup>35</sup>. 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.

**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.

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.

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* используются различные методики. Системный анализ при этом обладает универсальностью методов решения проблем: общие подходы для самых разных областей – организационного управления, экономики, военного дела, инженерных задач и др.

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 операций, теория принятия решений, системотехнику и др. – см. Рис. 11. С этой точки зрения системный анализ почти не имеет корпуса собственных результатов.



## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ



Рисунок 11 Состав и структура системного анализа

Такой результат имеет свои причины – исторически системный анализ явился развитием такой дисциплины как *исследование операций*. Со временем *Operations Research* за рубежом трансформировалось в *Management Science* с основными приложениями в организационном управлении и управлении производством и *системотехника*. И сегодня многие российские авторы помимо, собственно, концепции системности, понимают под системным анализом совокупность методов оптимизации, исследования операций, принятия решений, математической статистики и др.

Вторая трактовка системного анализа (будем по аналогии с Кибернетикой называть его *Системным анализом* с большой буквы – 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.

Среди советских, а далее – российских, «системных» научных школ нельзя не упомянуть два мощных научно-прикладных течения:

«методологическую школу» Г.П. Щедровицкого и учеников С.П. Никанорова – «школу концептуального анализа и проектирования систем организационного управления». 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. 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.» актуальны и сегодня. Как и для Кибернетики, для Системного анализа чрезвычайно востребованы ОБЩИЕ результаты, в т.ч. – обобщающие результаты интенсивно развивающихся наук, входящих в «зонтичный бренд» системного анализа.

**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. 12.

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

Во-вторых, отдельно следует отметить, что в 50-70-ые годы XX века значительное развитие получила *математическая теория систем* (Mathematical System Theory), 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. 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.

В дальнейшем, за рубежом SA развивался в направлении *Systems Engineering* (SE), т.е. *системотехники* – 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 организационно-технических систем на русском языке используют термин *системная инженерия*.

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

На сегодня SS и SE 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. 12. А общая теория систем является для них *общеметодологическим ядром* – см. Рис. 12.

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

## **SYSTEMS SCIENCE**

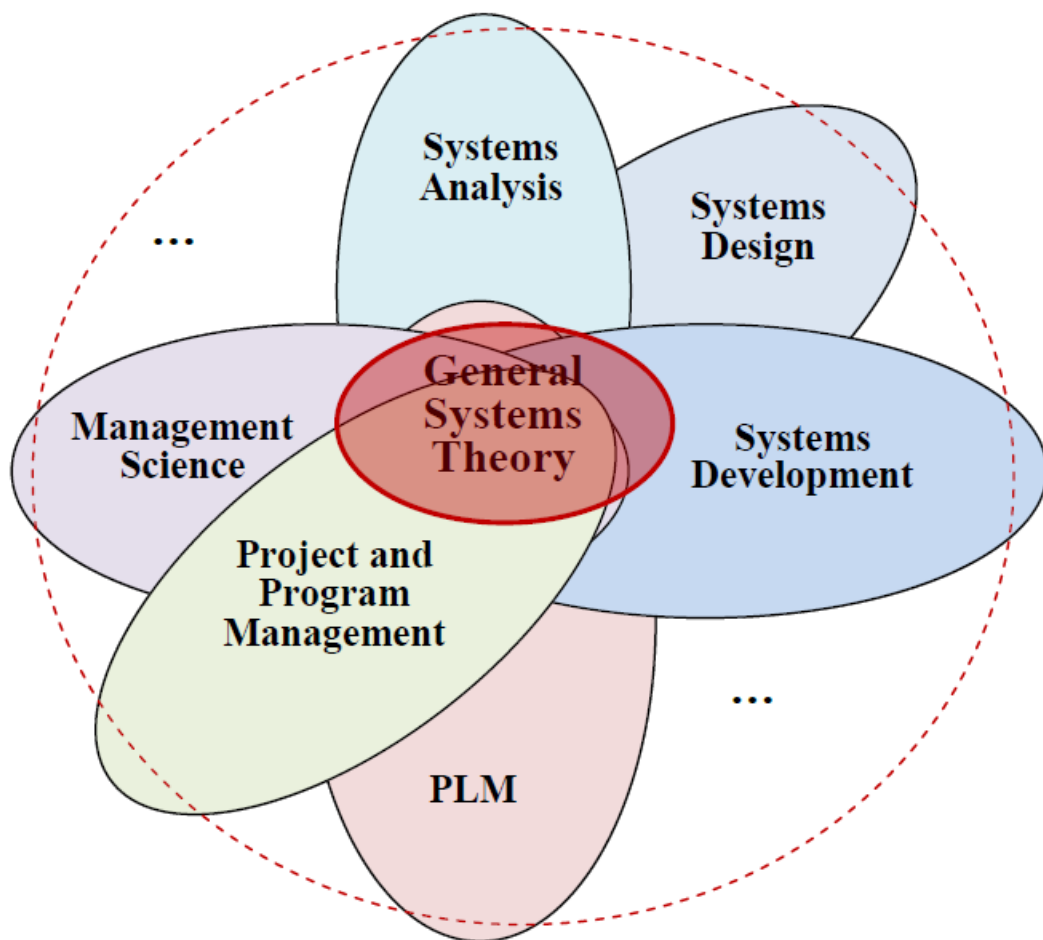


Рисунок 12 Состав и структура Systems Science

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.

**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 в конце 1960-х.

## 5. Некоторые тренды и прогнозы

### 5.1. Междисциплинарность

Современная теория управления (см. Рис. 13 и Рис. 31) исследует проблемы управления различными классами объектов управления, разрабатывая или используя соответствующие методы и средства управления.



Рисунок 13 Объекты, методы и средства управления

Термин «междисциплинарность» (нахождение на стыке научных дисциплин, 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. 14. Пользуясь сведениями, накопленными в профильной науке относительно объекта управления, 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.).

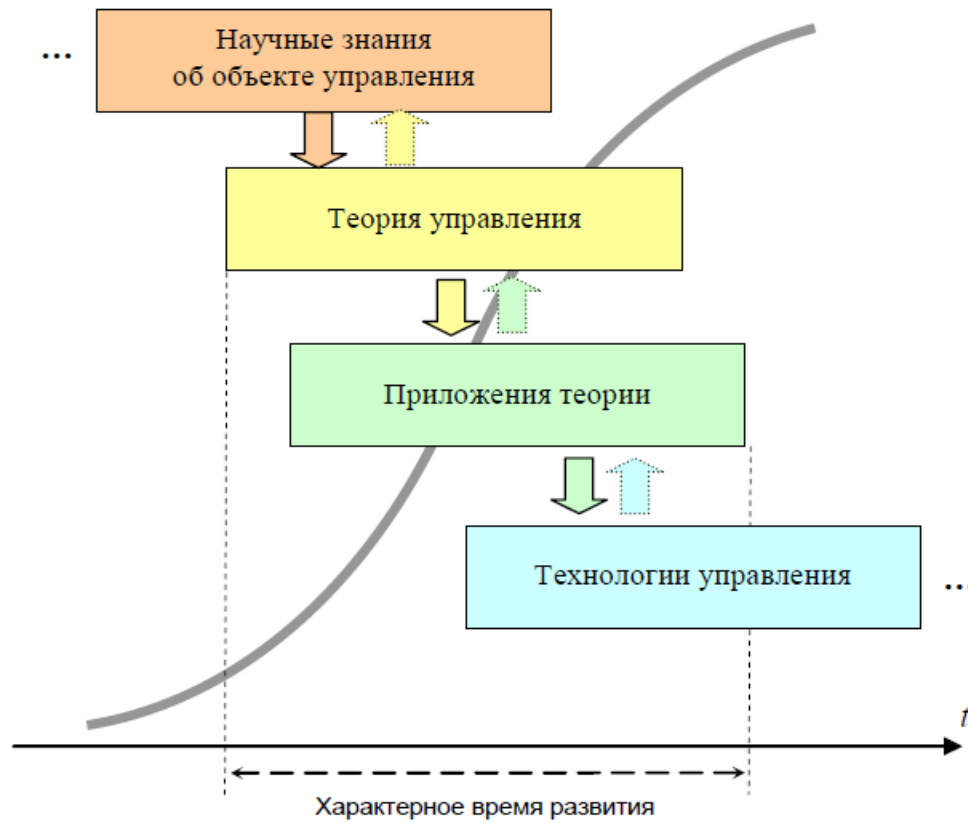


Рисунок 14 Жизненный цикл теории управления определенным классом объектов

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.

За полтора века своего развития теория управления охватила множество предметов управления – см. Рис. 15. В области технических и организационно-технических систем в последние 10-15 лет акцент сместился на децентрализованные интеллектуальные системы. Так, все большее число исследований посвящено т.н. *верхним уровням управления* в рамках терминологии иерархии их типов:

- 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 полвека 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!



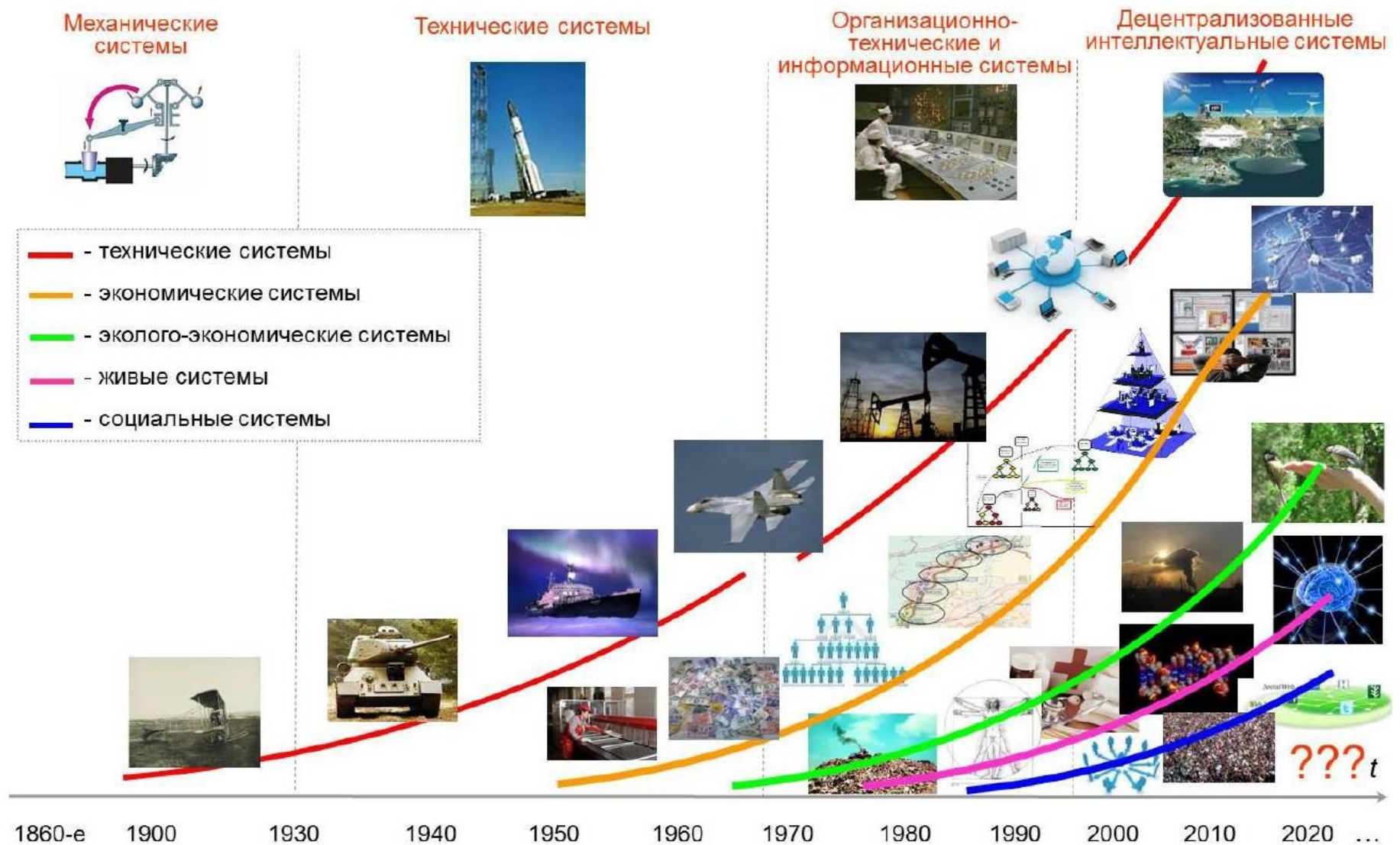


Рисунок 15 Прошлое, настоящее и будущее теории управления

Все чаще объектами управления становятся т.н. системы междисциплинарной природы. 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. 16. 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 системы (Т.е. системы, в которых специальным образом организованная деятельность человека является определяющим фактором развития экологических систем крупного (планетарного) масштаба).

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,

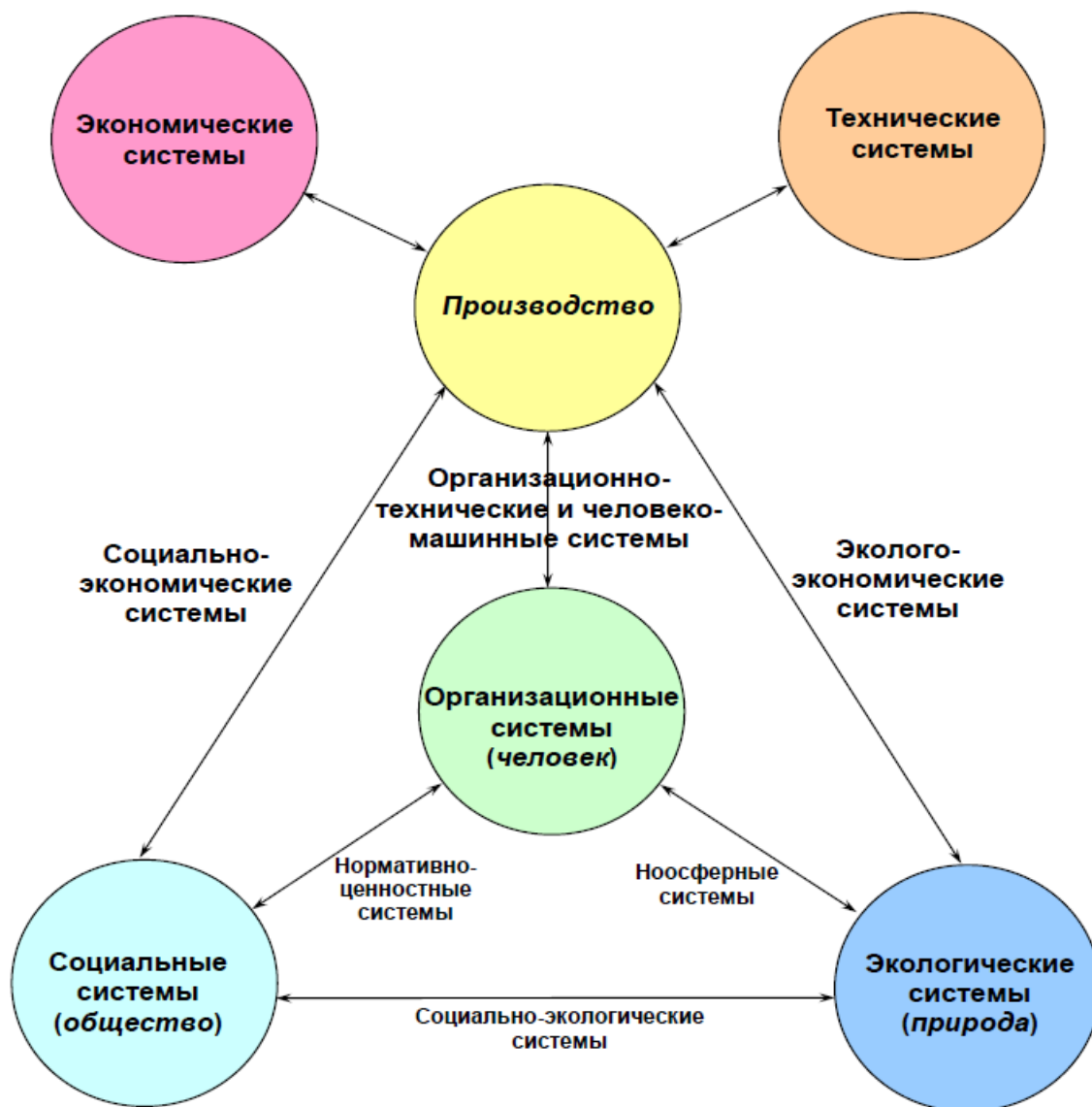


Рисунок 16 Классификация систем междисциплинарной природы

экономических, биологических и экологических систем; групповое управление; кооперативное управление и др.

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 и т.п.);
- *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).

Исторически, «механические» системы (затем – технические системы) были первыми классами массовых объектов управления (см. Рис. 17), 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. 17).

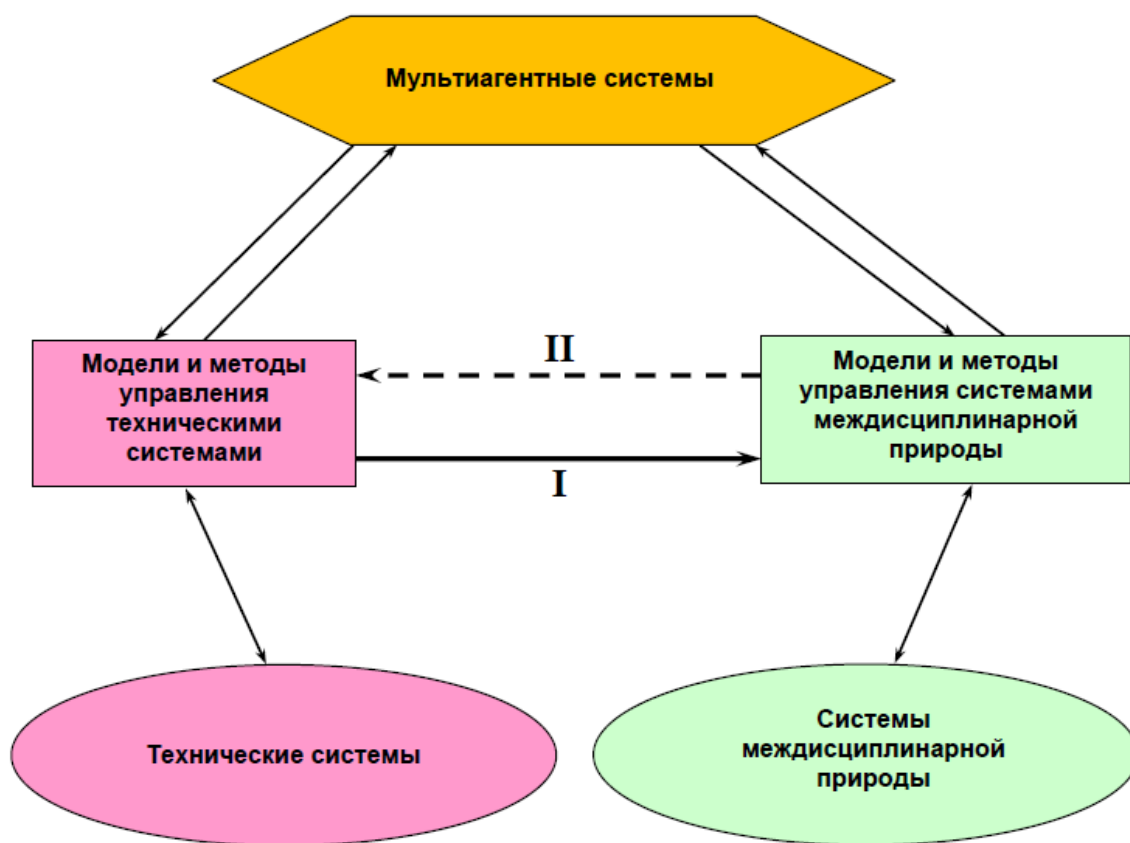


Рисунок 17 «Перенос» результатов

Со временем, по мере накопления собственных результатов в рамках моделей и методов управления системами «немеханической» (например, живые системы) 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. 17) во многих случаях (примерами являются такие проявления «интеллектуальности», как кооперативное поведение, рефлексия и т.п.) выступают мультиагентные системы, речь о которых пойдет ниже.

## 5.2. «Сетевизм»

Вот уже полтора десятилетия развитие теории управления стимулируют тенденции «миниатюризации», «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.

МАС условно могут быть разделены на «технические» (пионерские работы – середина 1990-х годов) и программные (пионерские работы – середина 1970-х годов) – см. Рис. 18. 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 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.). 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

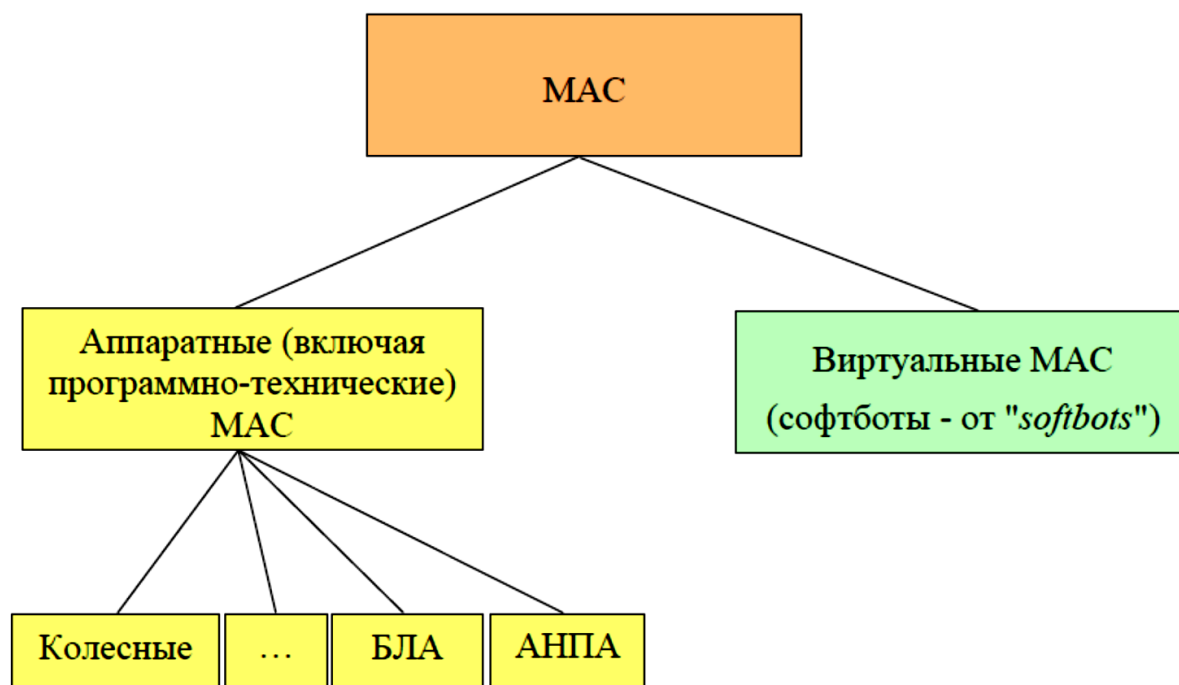


Рисунок 18 Виды мультиагентных систем

агентами через сеть (отдельной задачей при этом является управление этой сетью. 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) сеть взаимодействующих агентов. Число работ по «сетевой» тематике (а ее можно трактовать еще шире – как использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), Интернет– и других технологий в сложных распределенных системах) огромно и продолжает расти.

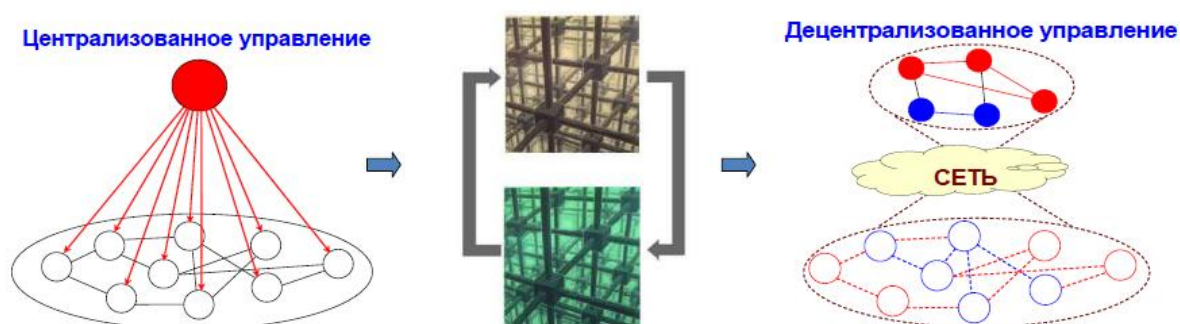


Рисунок 19 Децентрализованное управление

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» (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 конкретной задачи – т.н. сетевые организации, взаимодействие подразделений на театре военных действий и т.п. – в нужное время и в нужном месте. Наиболее массово «сетецентрический подход» используется в проблематике сетецентрических 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.

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 выработки 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.

### 5.3. *Большие данные и большое управление*

Большие данные (Big Data) – направление в науке и практике, связанное с разработкой и применением методов и средств оперирования большими объемами неструктурированных данных.

Оперирование Big Data включает:

- 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. 20).

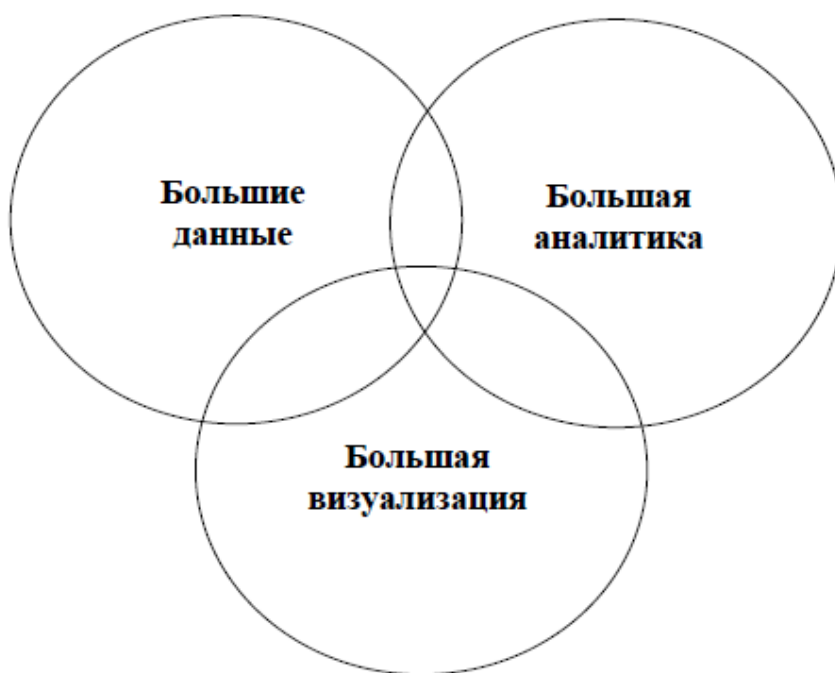


Рисунок 20 Большая триада – данные, аналитика, визуализация

Универсальный цикл оперирования большими (да и, вообще, любыми) данными приведен на Рис. 21. 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, необходимыми 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.

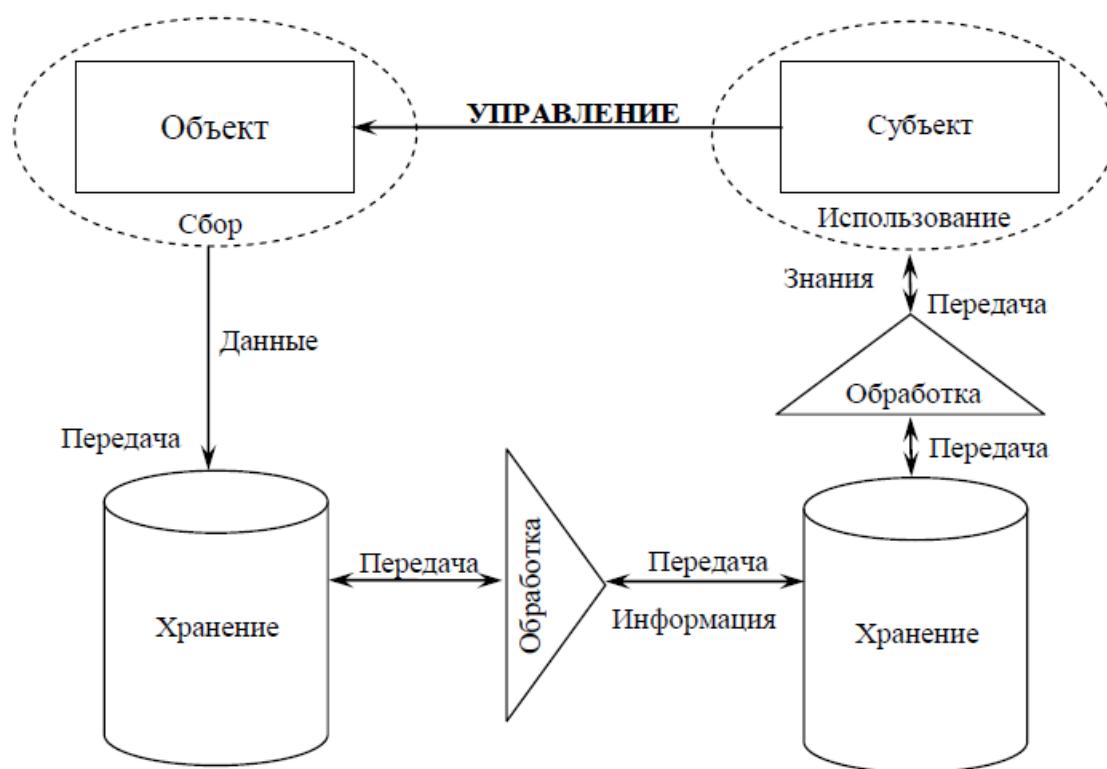


Рисунок 21 Универсальный цикл оперирования Big Data

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*» (Big Control) как управление на основе больших данных, большой аналитики и, быть может, большой визуализации.

Значительная часть усилий в области Big Data пока направлена на разработку технологий сбора, передачи, хранения и предобработки 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;

- госуслуги и госуправление;

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

Многочисленные примеры приложений Big Data в этих областях можно найти в научно-популярной литературе, свободно доступной в Интернете.

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) 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) неструктурированных 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 обработки в реальном времени, в том числе с возможностью выявления «скрытой» информации, больших потоков текстовой, аудио-, видео- и

другой информации составляет мейнстрим приложений перечисленных научных областей 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 параллельных вычислений, активно развивается распределенная оптимизация);

- *методам дискретной оптимизации* (здесь «альтернативой» служит применение мультиагентных программных систем).

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 аппарата) модели по сырым данным в общем случае представляет собой не более чем модную иллюзию – мы придумаем алгоритмы, «напустим» их на большие массивы неструктурированной (и в большинстве случаев нерелевантной) информации и благодаря этому будем

принимать более эффективные решения. Чудес на свете не бывает: как правило, для получения качественно новых выводов нужна новая модель, новая парадигма.

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 ли мы при этом, кроме массы новых проблем, 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 абсурду.

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. 22), 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. 23) – нормативное (к которому надо стремиться) разделение «зон ответственности» приведено на Рис. 23, где толщина стрелок условно отражает степень вовлеченности).

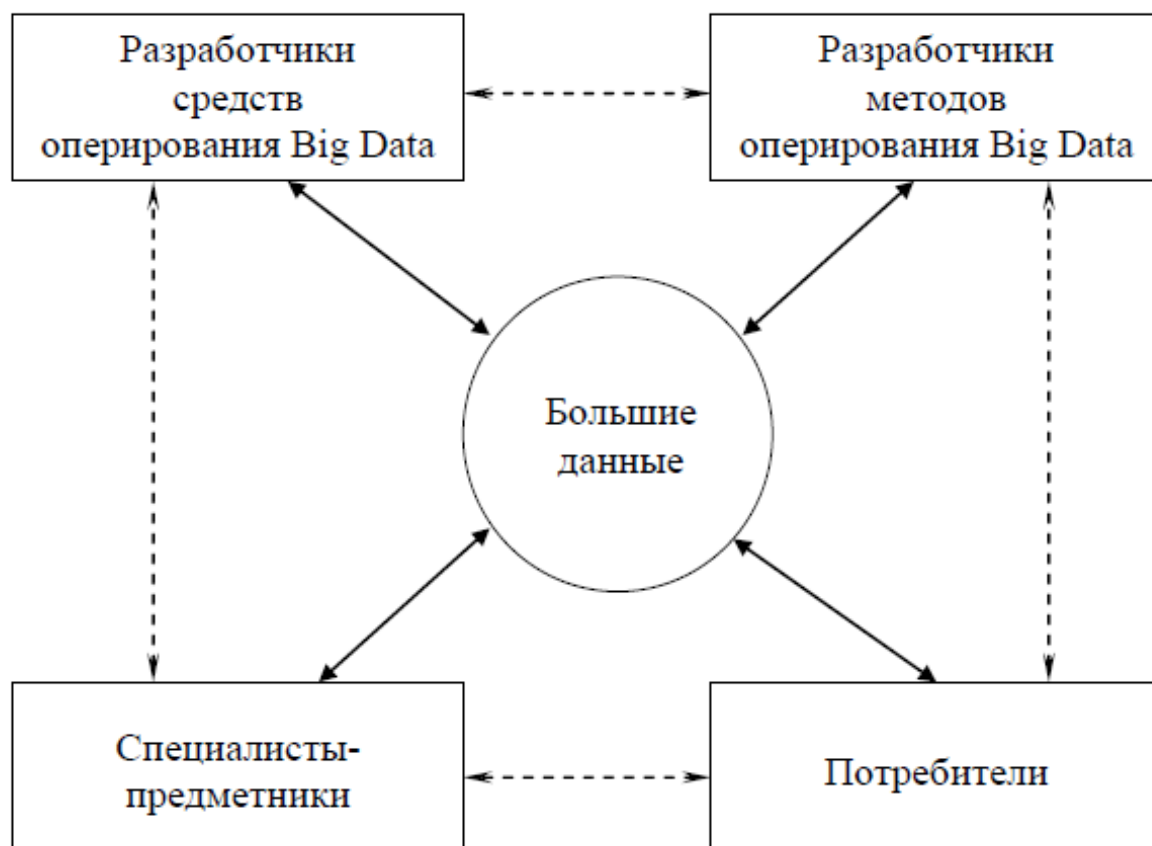


Рисунок 22 Субъекты, оперирующие большими данными



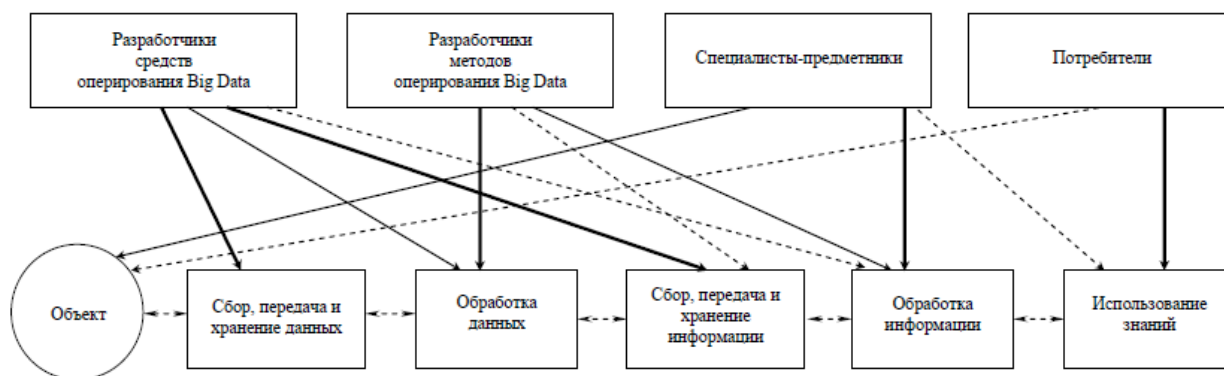


Рисунок 23 Разделение «зон ответственности»

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 Data).

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 микроописания (на уровне отдельных агентов), так и макроописания (в терминах функций распределения существенных параметров), причем проводится анализ соответствия между ними. 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 упомянутой 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 потребуется 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.

- 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 дополненности. 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?

- 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.

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

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

- Принцип неопределенности в следующем (гносеологическом) варианте: текущий уровень развития науки характеризуется определенными совместными ограничениями на «обоснованность» результатов и их области применимости. 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 картину, осуществляя тем самым информационное управление.

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 вопрос: «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, учебники и учебные пособия по ТАУ, как классические, так и современные. Есть замечательные учебники и монографии по отдельным разделам ТАУ: робастному управлению, управлению нелинейными системами и др.

Другими словами, современные учебники и справочники хорошо покрывают классическую ТАУ, но почти не затрагивают общих 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 (Hand- books) 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 управления, почему мало соответствующих учебников для вузов? Создание простых (но строгих и полных) учебников по теории управления является насущным вызовом для специалистов в этой области!

## **История кафедры САПРиУ**

В 1971 году в Ленинградском технологическом институте имени Ленсовета создана кафедра автоматизированных систем управления, первым заведующим которой был доцент, к.т.н. Ильин Борис Владимирович. Коллектив кафедры занимался разработкой и внедрением в учебный процесс и промышленность методологии структурного и параметрического синтеза и анализа автоматических и автоматизированных систем управления технологическими процессами (применительно к объектам нефтеперерабатывающей, нефтехимической промышленности и синтеза аммиака), систем автоматизации научных исследований и экспериментов, подсистем автоматизированных систем управления производством. Основателем научной школы кафедры САПРиУ был первый заведующий кафедрой автоматизированных систем управления (АСУ), доцент, к.т.н. Борис Владимирович Ильин.

Научное направление кафедры АСУ, являющейся предшественницей кафедры САПРиУ, формировалось начиная с 1972 г., на основе научных интересов Б.В. Ильина в области теории и практики автоматического регулирования применительно к задачам нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности — процессов первичной переработки нефти, каталитического риформинга, высокотемпературной полимеризации и др.

В 70-е годы на кафедре велись научно-исследовательские работы по созданию подсистем АСУП - автоматизированных систем управления производством, АСУ-вуз и АСУРОСМИНВУЗ, основным результатом которых явилась подсистема материально-технического снабжения в АСУ - Россия.

Начиная с 1977 г. на кафедре в рамках существующего научного направления под руководством к.т.н., доцента В.В. Сотникова выполнялись работы в области создания систем автоматизированного управления потенциально-опасными процессами химических производств. Были

разработаны математические модели ряда технологических процессов и на их основе созданы подсистемы АСУТП.

С 1990 г. на кафедре начинаются работы по созданию тренажерных систем для управления потенциально-опасными технологическими процессами. Впоследствии эти работы под руководством к.т.н., доцентом Т.Б. Чистяковой были сформированы в новое научное направление - синтез интеллектуальных систем обучения и тренажа управленческого персонала химико-технологических процессов (ХТП).



Рисунок 24 Творческий коллектив по разработке программного обеспечения для оптимального управления каландровой линией. На переднем плане руководители проекта проф. Коллерт К. (Германия) и профессор Чистякова Т.Б., а также студенты-дипломники (слева направо) Михайлова М., Папурин М., Васильев С., Назаров М.

Под научным и методическим руководством д.т.н., профессора Т.Б. Чистяковой выполняются работы в области «Создания научно-методических основ информационно-образовательной среды открытого химико-технологического образования».

В рамках научного направления кафедры САПРиУ разработаны методы и инструментальные средства синтеза обучающих систем и тренажеров для химико-технологических процессов, систем управления ими, проектирования, аппаратно-технологического оформления с учетом экологической безопасности и экономической эффективности, создан банк функциональных и имитационных моделей ряда типовых объектов химической технологии.

В 70-е годы научно-исследовательская работа проводилась в основном на базе Киришского и Мозырского нефтеперерабатывающих заводов. В результате научно-исследовательских разработок были созданы оригинальные математические модели и системы управления процессами производства нефти, подготовлено около десяти кандидатов технических наук по специальности 05.13.06 - “Автоматизация технологических процессов и производств”, получены пять авторских свидетельств, написана монография, отражающая результаты работы кафедры в области каталитического риформинга, получены пять актов о внедрении результатов НИР в промышленность. Выполнение этих работ обусловило участие преподавателей кафедры в работе факультета по переподготовке руководящего состава НИИ и предприятий нефтеперерабатывающей промышленности, организованного в институте в 1972 г.

Начиная с 1977 г. на кафедре в связи с запросами предприятий оборонной промышленности начаты работы в области создания систем автоматизированного управления потенциально-опасными процессами химических производств.

Под руководством доцента, к.т.н. В.В. Сотникова для ряда отраслевых НИИ и промышленных предприятий, таких, как АНИИХТ, БОЗ, завод “Заря”, предприятие “Краснознаменец”, ДНИХТИ, завод им. Свердлова, были разработаны математические модели основных технологических процессов производства энергетических материалов и на их основе созданы отдельные подсистемы

АСУТП. Большое значение в выполнении этих работ имело сотрудничество научного коллектива кафедры с кафедрами инженерного химическо-технологического факультета.

Учитывая запросы НИИ оборонной промышленности, на кафедре под руководством доцента, к.т.н. В.Л. Рукина проводились работы по автоматизированному проектированию производства высокоэнергетических соединений.





Рисунок 25 Владимир Васильевич Сотников

В процессе выполнения разных НИР была сформирована методология создания систем управления для потенциально-опасных процессов в условиях неполной информации.

По результатам этих работ были защищены две докторские диссертации - В.В. Сотниковым в 1981 г. и В.В. Кашметом в 1986г., девятнадцать кандидатских диссертаций, получены 32 авторских свидетельства, 45 актов о внедрении на предприятиях военно-промышленного комплекса научно-исследовательских разработок, из которых девять - с авторскими свидетельствами на изобретения.

Начиная с 1989 г., на кафедре начали развиваться новые направления. Так, на одной из баз ГИПХа по заданию НПО “Энергомаш” сотрудниками кафедры разрабатывалась система управления стендовыми испытаниями реактивных двигателей для космических аппаратов.

Одновременно с этими исследованиями были начаты работы для производств спецхимии в области тренажерных систем, ориентированных на потенциально-опасные производства.

Эти работы впоследствии сформировались в новое научное направление - синтез интеллектуальных систем обучения и тренажа для многоцелевых химико-технологических процессов, возглавляемое в настоящее время заведующей кафедрой профессором, д.т.н. Т.Б. Чистяковой. Работы в этой

области позволили ей защитить в 1997 г. докторскую диссертацию, подготовить к защите несколько аспирантов и получить 5 актов о внедрении результатов исследования, объектами которых являлись технологические процессы на предприятиях по производству каучука, латекса, кокса в Череповце, Ярославле, Дзержинске и др. городах.

С 1977 г. и по настоящее время на кафедре проводится комплексная госбюджетная НИР на тему “Системы автоматизированного проектирования и управления, обучения и тренажа химико-технологических процессов”

В 2000-2001 гг. выполнялись также госбюджетные работы на тему “Создание научно-методических основ информационно-образовательной среды открытого химико-технологического образования”.

С 2002 г. на кафедре совместно с НКТБ “Кристалл” проводится НИР на тему: “Разработка теории и исследования информационно-технологических систем на основе наукоемких технологических и технических компонентов для решения проблем экологической безопасности”.

Таким образом, начиная с 1972 г. и по настоящее время научное направление кафедры САПРиУ связано с разработкой и внедрением современных автоматизированных систем проектирования и управления, интеллектуальных систем, направленных на решение теоретических и прикладных задач химических производств. Итогом НИР кафедры за истекший период времени является защита трех докторских и 44 кандидатских диссертаций. Кафедрой получено более 45 актов о внедрении НИР (в том числе девять авторских свидетельств) на производствах, среди которых ГИПХ, Киришский НПЗ, Мозырский НПЗ, ДНИХТИ, АНИИХТ (г. Бийск), Нижнекамский завод синтетического каучука, завод по производству латекса (г. Ярославль), АО “Северосталь” (г. Череповец), Братский лесопромышленный комплекс, заводы по производству полимерной пленки (Германия, Санкт-Петербург); 36 авторских свидетельств на изобретения, пять из которых внедрены на производстве. Пять сотрудников кафедры были награждены Почетным знаком “Изобретатель СССР”, получены 25 свидетельств о регистрации

программ для ЭВМ и 1 диплом Президиума Российской Академии естественных наук за научное открытие в области теории информации (доцент А.А. Егоров).

С 1997 г. преподаватели, сотрудники, аспиранты и студенты кафедры ежегодно принимают активное участие в работе международных научных конференций:

- Математические методы в химии и химической технологии;
- Математические методы в технике и технологиях;
- Наукоемкие химические технологии;
- Современные технологии обучения;
- Научно-технические конференции аспирантов СПбГТИ (ТУ);
- Информационные технологии в науке, проектировании и производстве;
- Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения;
- CAD/CAM/PDM - международная конференция и выставка;
- Микроэлектроника и информатика.

В рамках межвузовского договора о партнерстве до 1990 г. кафедра сотрудничала с Высшей школой им. К. Шорлеммера, г. Мерзебург (ГДР); с 1995 г. доцентом В.Н. Гиляровым налажено сотрудничество с Университетом Галле-Витенберг, г.Галле (Германия); с 1997 г. совместно с кафедрой эластомеров СПбГТИ(ТУ) и фирмой “Клёкнер-Пентапласт” проводятся работы по созданию систем управления в производстве полимерной пленки (научный руководитель - Т.Б. Чистякова). В настоящее время по линии DAAD проводятся НИР с Берлинским университетом ( В.Н. Гиляров, ст. преп. Г.В. Кузнецова).

На основании договора, заключенного между Санкт-Петербургским государственным технологическим институтом (техническим университетом) и фирмой “Клёкнер Пентапласт” (Германия), выполняется работа по теме “Программное обеспечение для моделирования и управления каландровой линией”.

В 2000-2001 гг. на кафедре “Системы автоматизированного проектирования и управления” совместно с Рурским университетом (кафедра автоматизированных систем управления, Рурский университет, г. Бохум, Германия) выполнялась НИР на тему: “Софт-компьютинг в автоматизированных системах потенциально-опасных химико-технологических процессов и системах экологического мониторинга”. В 2002 г. совместно с Бумердесским Университетом (Алжир) проводится НИР по теме “Системы и среды автоматизации в нефтепереработке”.

Развитие научно-педагогической школы кафедры САПРиУ связано в настоящее время с проектированием систем управления, обучения для гибких многоассортиментных химико-технологических процессов с использованием современных информационных технологий, методов и средств моделирования, CALS - технологий проектирования, методов искусственного интеллекта.

Для подготовки специалистов в этой области и проведения исследований на кафедре созданы проблемно-ориентированные лаборатории и классы, оснащенные современным оборудованием и программными средствами:

- лаборатория (класс) гибких автоматизированных систем, созданная на базе робототехнического комплекса;
- класс интеллектуальных информационных сред, оснащенный программами-оболочками экспертных систем INTER-ЭКСПЕРТ, КАРРА, системой разработки нечетких экспертных систем FuzzyToolbox, интеллектуальными системами обучения и управления химико-технологическими процессами (каталитического риформинга, производства кокса, фосфора, смолы, латексов и др.);
- класс информационных технологий в проектировании, оборудованный графической станцией на базе процессора Pentium IV и двумя ПК на базе процессоров Pentium II и Celeron 700. плоттером, сканером, а также программными графическими средами Компас, ACAD, Visio и библиотекой

графических примитивов, разработанных сотрудниками и преподавателями кафедры;

- класс сетевых технологий, предназначенный для изучения вопросов организации, настройки и администрирования сетей на базе Windows 2000/NT, Novel, Unix и Интернет-сервисов;
- класс программного обеспечения интегрированных систем проектирования и управления оснащенный SCADA-системами, контроллером и интегрированным пакетом программного обеспечения к нему;
- класс имитационного моделирования сложных систем, ориентированный на моделирование динамики непрерывно-дискретных систем, проведение вычислительных экспериментов и обработку их результатов.

На кафедре имеется корпоративная компьютерная сеть, предназначенная для обеспечения доступа пользователям к внутренним техническим средствам и информационным ресурсам сети, а также к ресурсам глобальной сети Интернет. Выделенный канал обеспечивает соединение с сетью Российских университетов.

В корпоративную сеть кафедры входят 5 сегментов локальных сетей, объединяющих более 40 компьютеров и 2 сервера. В настоящее время ресурсы сети регулярно используют более 300 человек (студенты, аспиранты, преподаватели и сотрудники).

Разработана библиотека программных модулей, используемых как в учебном процессе, так и в научно-исследовательской работе. Эта библиотека содержит такие модули, как “Каталитический риформинг”, “Адсорбция”, “Абсорбция”, “Эмульсионная полимеризация”, “Производство фосфора” и “Производство кокса”.

Развитие нового научного направления предусматривает интеграцию нескольких крупных областей научных знаний:

информационные технологии и системы; химические технологии и химическое материаловедение; методология учебного процесса и организация

научных исследований на базе новейших достижений в вышеуказанных областях.

Научное направление реализуется путем разработки интеллектуальных систем обучения и управления, внедрения их в химические производства, организации на их основе научно-учебной базы, предназначенной для научно-экспериментальной отработки новых технологий, рецептур химических материалов, а также обучения по химико-технологическому профилю и подготовки кадров по управлению многостадийными гибкими технологическими процессами по многим направлениям химической технологии (процессы органического и микробиологического синтеза, технологии неорганических веществ и специальных материалов).

Выполняемые в настоящее время научные работы, подготовка студентов и специалистов высшей квалификации в рамках научного направления проводятся в интеграции с кафедрами: химии и технологии переработки эластомеров, химии и технологии органических соединений азота, технологии нефте- и углехимических производств, технологии катализаторов, химической технологии материалов и изделий сорбционной техники, технологии электротермических и плазмохимических производств, с ФГУП “НКТБ ”Кристалл”, СКТБ “Технолог” Минобразования России, ЗАО “Трест Севзапмонтажавтоматика”, АО “Кинеф”, ОАО “Наука”, ОАО “Балтика”, Ленинградской и Балаковской АЭС, АОЗТ “Продэкс”, ОАО “Ленгипронефтехим”, ОАО “Апатит”, АОЗТ “Нефтехимпроект” и др., а также с рядом зарубежных партнеров - фирмой “Клёкнер Пентапласт” (Германия), Рурским университетом (Германия), Бумердесским Университетом (Алжир).



Рисунок 26 На снимке 1978 года справа налево первый заведующий кафедрой Б.В. Ильин, В.Н. Гиляров - ныне доцент кафедры, Г. Райниг - выпускник и аспирант нашего института, ныне заведующий кафедрой Автоматизации Бохумского университета, Германия.

Ученые кафедры поддерживают научные связи с учеными: РХТУ им. Д.И. Менделеева (профессор Л.С. Гордеев, профессор В.П. Мешалкин, профессор А.Ф. Егоров); МГУИЭ (профессор В.С. Балакирев); МГТУ им. Баумана (профессор И.П. Норенков); МГАТХТ (А.С. Мозжухин, профессор А.К. Фролкова); профессором Ярославского государственного технического университета Ю.В. Васильковым; ректором Ярославского института повышения квалификации руководящих работников и специалистов химической и нефтехимической промышленности Н.Н. Аниськиным; профессорами Тверского государственного технического университета Н.Н. Филатовым и С.И. Дворецким, с которыми проводятся совместные исследования в области проектирования, управления, искусственного интеллекта для химико-технологических процессов; профессором, д.т.н. Гюнтером Воцны, заведующим кафедрой динамики и управления техническими установками института процессов и аппаратов Технического университета (г.Берлин) и профессором той же кафедры, д.т.н., почетным профессором Технологического института Клаусом Хартманом.

Предполагается расширение научной интеграции как в рамках института, так и за счет внешней кооперации при развитии данной тематики в аспекте новых химических технологий.

Основное направление подготовки кандидатов и докторов наук на кафедре - специальность "Автоматизация процессов химической

промышленности”. Право научного руководства аспирантами имели четыре сотрудника кафедры: профессор, д.т.н. Т.Б. Чистякова, профессор, д.т.н. В.В. Сотников, доцент, к.т.н. В.Н. Гиляров, доцент, к.т.н. В.Л. Рукин.

Три сотрудника кафедры являлись членами докторского диссертационного совета (профессор В.В. Сотников - председатель совета, доцент В.И. Халимон - ученый секретарь, профессор Т.Б. Чистякова - член совета).

В 1986-1996 гг. действовал также специализированный совет по защите кандидатских диссертаций.

Кафедрой подготовлено более 1000 выпускников с высшим образованием. Выпускники кафедры, подготовленные по направлению “Информатика и вычислительная техника” (специальность САПР), работают в основном по специальности: программистами, системными администраторами, руководителями отделов АСУ, автоматизированного проектирования, информационных технологий, директорами, менеджерами технологических процессов и производств (ОАО КИНЕФ, “Красный химик”, ФГУП з-д им. Климова. АО “Пигмент”. АО “Красный Треугольник” и др.), научно-производственных объединений (“Наука”, “Продэкс”, “Гранит”, “Нептун”, СКТБ “Технолог”, “Фармсинтез”, “Ленэнерго”, “Севзапмонтажавтоматика” и др.). банков, государственных структур (казначейство. ГУВД и др.). торговых фирм. компьютерных фирм (“Виста”. “Компьютер-сервис”, “Компьютерные технологии”, “T-SYSTFMS”, “Real Time Systems”, “Штурманские приборы” и др.).

Сотрудники кафедры публикуют научные статьи, в том числе в международных сборниках и центральных изданиях “САПР и графика”, “Экологические системы и приборы”, “Приборы. Системы управления”, “Кокс и химия”, “Современные технологии автоматизации”, “Chemical Journal” и др. Изданы учебники и учебные пособия объемом, посвященные вопросам математического, программного, информационного, технического обеспечения автоматизированного проектирования систем управления.



экспертных систем, систем тренажа для многоцелевых химико-технологических процессов (процессы эмульсионной полимеризации, коксования, производства смолы, каталитического риформинга, адсорбции, абсорбции, производства фосфора, карбида кальция и др.)

Профессор кафедры, д.т.н. В.В. Сотников награжден знаком “Заслуженный работник Министерства образования Российской Федерации”, медалью “За доблестный труд”;

Почетной грамотой Министерства образования Российской Федерации награждены доцент Л.В. Гольцева и доцент Л.Ф. Макарова.

Профессор Т.Б. Чистякова является членом-корреспондентом Международной Академии “Информация, связь, управление в технике, природе, обществе”.

Доцент Егоров А.А. является действительным членом Русской Академии.