

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. О. Поляков,

д-р техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

П. Т. Тукабаев,

канд. мед. наук

Новороссийский филиал Современного гуманитарного института

Рассмотрена возможность новых подходов к организации обратной связи при взаимодействии биологических («биосоциальных») и технических компонент высокого уровня организационной сложности. В основу исследования положена необходимость контекстно-зависимого и структурного представления систем для повышения организации уровня управления. Указывается возможность и целесообразность введения понятия биотехнической обратной связи как совокупности сигнального и структурного обмена информацией между компонентами сложной системы.

It is proposed to consider a possibility of developing new approaches to arranging for a feedback at the interaction between biological («bio-social») and technical components of high organizational complexity. The research is based upon the necessity to implement context-dependent and structural representations of the systems to receive a new higher level in control organization. Possibility and advantage of introducing new notions for biotechnical feedback as an aggregate of signal and structural information exchange between the complex system components are indicated.

Введение

Исследования сложных систем, начиная еще со времен Л. фон Берталанфи [1], а также работы современных выдающихся ученых ([2] и др.) прямо указывают на необходимость расширения понимания «живого» на небиологические системы высших порядков сложности. Такое утверждение справедливо распространить и на «разнокомпонентные» системы. Это означает, что для сложных систем уровня «живого» или уровня «симбиоза» живого и технического требуется управление, точно соответствующее тому, что существует в открытых живых системах — взаимодействие на основе контекстно-зависимого языка, принципиально недоступное для представления в фон Неймановской машине без серьезных семантических потерь. Например, по [2], это общество и город или, скажем, население и обслуживающая его медицинская клиника, или даже отдельный человек и обслуживающая его информационно-техническая система.

Задача повышения уровня представления взаимодействующих компонент систем такого рода является одной из важнейших в развитии совре-

менного расширенного понимания биотехнических систем. Исходя из сказанного, предлагается обсуждение проблем организации обратной связи, связанной с решением задач повышения уровня управления в сопряженных «неоднородных по материалу» системах при взаимодействии биологических («биосоциальных») и технических компонент высокого уровня организационной сложности.

Биологическая обратная связь

Прямой перенос методов управления, разработанных для замкнутого представления технических систем, на системы открытые, активно взаимодействующие с внешним миром, порождает множество проблем, решать которые до сих пор пытаются все большим усложнением постановок задач оптимизационного управления. Но того, что необходимо для системы технической и программной, — системы формальной, удовлетворяющей условиям ее реализации с использованием автоматов ($U_{\text{внеш}} = 0$), никогда не будет достаточно для системы природной (неформальной по сущности самой Приро-

ды [$U_{\text{внеш}} = U(p)$, где p — априорно неизвестная вероятность произвольного внешнего воздействия на систему]. Основная причина всех проблем — замкнутость представлений, обеспечиваемых математическим аппаратом, контекстной независимостью его языка.

Термин «управление» обычно используется одновременно в двух смыслах: 1) управление как достаточно свободная организационная деятельность, направленная на достижение определенных

целей: $X \xrightarrow{U_{\text{орг}}} X_{\text{целевое}}$; 2) управление в смысле использования конкретного управляющего воздействия, т. е. некоторой физической величины, изменение которой производится по алгоритму дости-

жения априорно поставленной цели: $X \xrightarrow{U_{\text{алг}}} X_{\text{опт}}$.

Обратим внимание на то, что для организационного целевого управления требуются решения в открытой постановке, а аппарат выработки управляющего воздействия декларируется в подходе замкнутом, обеспечиваемом алгоритмически. Кроме учета этой коллизии для нашего исследования требуется еще и некоторое новое специфическое понимание управления, учитывающее особенности симбиоза систем с принципиально разными свойствами, разными собственными языками представления:

$$(X_{\text{биол}} \Leftrightarrow X_{\text{техн}})_{t1} \xrightarrow{U} (X_{\text{биол}} \Leftrightarrow X_{\text{техн}})_{t2}. \quad (1)$$

Управление в технических системах всегда понималось как выражение воли стороннего для нее управленца, воли, на которую накладывались лишь технические ограничения управляемой системы. Однако при любых попытках построения технических систем с биологической компонентой на управление накладываются еще и не технические ограничения. Речь идет о предварительной самостоятельной оценке биологической компонентой целесообразности управляющего воздействия. Тогда управление U в (1) представляется в виде

$$U = F(U_{\text{внеш}}, (X_{\text{биол}} \Leftrightarrow X_{\text{техн}})_{t1}). \quad (2)$$

Такого рода оценка не может быть выражена математически (без учета контекстной зависимости восприятия управления) и сегодня наиболее реальным методом ее учета (хотя и не вполне адекватным для случая взаимодействия сложных систем) является введение известного понятия биологической обратной связи (БОС).

При этом под активной БОС чаще всего понимается обучение человека управлению собственными физиологическими процессами посредством их косвенной визуализации с использованием технических приборов или иных средств. В работах же с тематикой биотехнического характера делается все возможное для сведения проблемы к выделению управляющего физического сигнала с последующим взаимодействием на уровне сигнальной обратной связи. Все это совершенно справедливо, но, по сути рассматриваемой проблемы,

недостаточно. Не всегда действие БОС можно свести к текущему обучению, часто это выработка отложенного действия. Не всегда сигнальной обратной связи достаточно для полного представления изменения состояний компонентов в системах, требующих их восприятия на уровне «живого». Известные определения БОС не отвечают реалиям функционирования систем рассматриваемого нами уровня. В них не хватает учета выраженного влияния контекстно-зависимого аспекта взаимодействия биологического («биосоциального») и технического компонентов системы.

Необходимость новой постановки исследований для биотехнических систем (как, впрочем, и осознания их на новом уровне сложности) в некоторой степени следует и из работ Е. П. Попечителя [4], впервые указавшего на необходимость глубинного осмысления взаимосвязи множества различных представлений систем, возникающего при использовании различных математических аппаратов, различных приборов и наборов признаков для их описания. Тем более это важно во взаимодействии сложных разнокомпонентных по представлению и материалу «живых» системах.

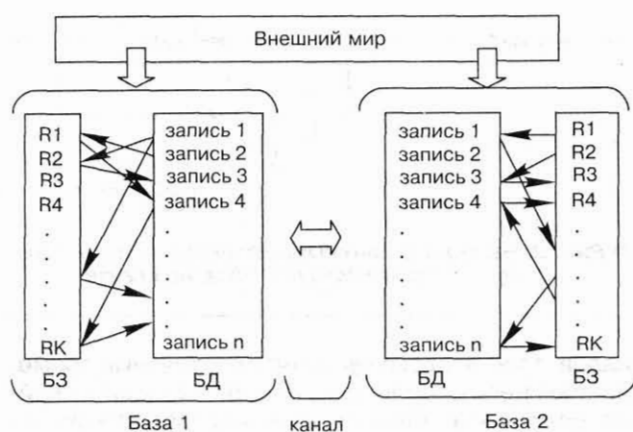
Управление в многокомпонентных «живых» системах

В настоящее время при создании биотехнических систем, составной частью которых является человек (биотехническая компонента), все реалии управления сводятся к необходимости принятия решений за счет использования систем с базами знания. Однако априорно проектируемая структура всех современных баз не позволяет учитывать в управлении требования (2). Поэтому нас здесь интересует только направление, связанное с организацией управления в сложных системах, ориентированное на специальные конфигурации баз [6–8], для которых структура хранимых записей является функцией входного информационного потока $S_{\text{хр}} = f(R, A, B)$, где A, B — данные, факты, сведения, ситуации, а R — текущие отношения между ними (текущее знание о взаимодействии). Отметим, что такие базы могут характеризовать как биологическую, так и техническую составляющую сложных систем. Такого рода построения обеспечивают минимизацию семантических потерь и выполнение условия (2) по критерию

$$S_{\text{хр}} \xrightarrow{t} S_{\text{ест}} \text{ при } f(R, A, B) \rightarrow \psi, \quad (3)$$

где ψ — предельно достижимые возможности представления естественного языка в машине фон Неймана (например, с использованием формально-логического или сетевого его представления).

В соответствии с (3) структурное управление (управление на уровне переопределения во времени знания R) должно предопределять возможность равнопонятого (воспринимаемого в одном контексте) двум и более системам использования



■ Рис. 1. Двухбазовый вариант актуализации хранимых структур

входной информации, на языке, способном нести и передавать данные и знание о предметной области. Достаточно ясно, что предложенный подход на уровне возможностей машины фон Неймана реализует известные гипотезы об управлении на основе использования контекстно-зависимых языков [2].

В [8] показано, что предложенное определение знания как структуры связи данных, которую можно наблюдать, изучать и изменять, приводит к инженерно понятному подходу к работе со знанием, к системам «с управлением на структурах». В [9 и др.] на основе (3) предлагается двухкомпонентная конструкция (рис. 1). Такая двухбазовая архитектура функционирует как система управления структурами представления взаимодействующих подсистем по условиям (1), (2) и (3) как

$$S_{\text{База 1}} \xleftrightarrow{U_t} S_{\text{База 2}}, \text{ где } U_t \equiv U(2) \quad (4)$$

и имеет возможность хранения в реляционном виде всех необходимых сведений — данных (включая числовые и текстовые) и связей между ними с выполнением (2) по критерию (3).

Структурная парадигма управления и структурная обратная связь

Введенное понятие сдвоенной базы в составе взаимодействующих баз данных и знания является конструктивным, ибо в такой формулировке обеспечивается введение и формирование новой парадигмы управления [9]. Классическая парадигма управления («сигнальная» парадигма) происходит от понятия управляющего сигнала, выражаемого в аналоговой или цифровой форме, контроля достигнутого результата управления и его коррекции по отклонению за счет системы управления с обратной связью. Представим ее в виде

$$y = F\left(\sum x_{\text{вх}}, x_{\text{ос}}\right), \quad (5)$$

что допустимо для систем, описательная сложность которых допускает их функциональное представление. При этом мы считаем, что в некоторой области допустимого управления передаточные функции системы обладают, по крайней мере, непрерывностью, т. е. имеет смысл понятие «величины сигнала управления».

Сохранение этой парадигмы для системно-сложных объектов автоматически сводит нас к уровню их кибернетической модели (модели, не создающей в себе индивидуальный информационный образ системы с изменяемой структурой связей). Системный взгляд указывает, что для разрешения этих проблем надо перейти к другой парадигме управления, которую здесь мы условно запишем сравнительно с (5) как

$$y = F\left(YS_{\text{База 1}}^{\text{База 1}} \xleftrightarrow{U_t} S_{\text{База 1}}^{\text{База 1}} \middle| K\right), \quad (6)$$

где K — выбранный критерий взаимного преобразования (контекстного «доверия») взаимодействующих баз. Такую парадигму предложено называть парадигмой согласования структур данных или парадигмой структурного управления [9] (структурной обратной связи). Итак, обратная связь, как сигнальный способ коррекции передаточной функции, в системах, требующих для своего представления естественного языка, не существует в связи с отсутствием выраженной передаточной функции. Ее место занимает структура данных и аппарат согласования структур данных.

Отметим, что здесь управление, как стабилизация состояния системы, сводится к удержанию ее на так называемом гомеокинетическом плато [7 и др.]. Некоторые ученые уже давно отмечали ограниченность систем управления с обратной связью как формы управления [10]. В нашем случае ее место занимает аппарат согласования структур данных.

Фундаментальное отличие указанных парадигм заключается отнюдь не только в способах выработки обратной связи — измерение отклонения выходного сигнала или оценку текущей структуры системы. Ясно, что второй вариант эквивалентен учету «собственной точки зрения» активной системы, а это означает выбор для постановки исследовательской работы системного подхода, концептуального понимания замкнутости сигнальной и системной открытости структурной парадигмы.

Пример сигнальной обратной связи в биологических системах

Достаточно понятно, что «внутри» любой реальной системы вполне можно считать существующей обыкновенную сигнальную обратную связь, обеспечивающую выполнение «механистических» функций отдельных подсистем биологической или биотехнической системы. Роль БОС здесь сводится, в конечном счете, к выработке механизма достижения тех или иных конечных результатов для одной или группы отдельных подсистем.

Но и даже просто с сигнальной обратной связью в биологических системах все обстоит несколько сложнее, чем в технических. Понятие сигнальной обратной связи, конечно, может быть продуктивно использовано при исследовании конкретных биологических систем в самых простых случаях, но часто эта связь существует в «усложненном» виде. Например, на основе введения в рассмотрение «сдвоенного кольца обратной связи» [11], становится ясен и без дофаминовой теории механизм болезни Паркинсона, зачастую преследующей спортсменов высшей квалификации после ухода из спорта.

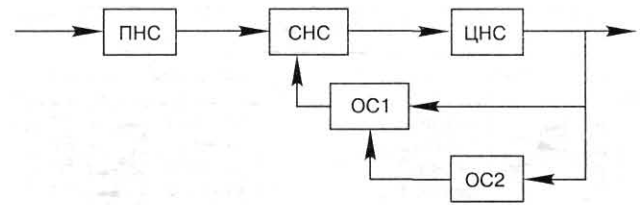
Можно утверждать, что нервная система человека в своей макроструктуре содержит минимум три функционально и морфологически отделенные компоненты — периферическую (ПНС), стволую (СНС) и центральную (ЦНС) нервную системы, т. е. три подсистемы и, по крайней мере, два кольца обратной связи (рис. 2).

Человек воспринимается как механическое устройство, в котором надо выработать относительно других спортсменов лучшее движение по параметрам скорости и траектории достижения цели. Фактически это прямой системотехнический подход к человеку в чисто техническом понимании этого подхода. Единственное отличие — механизмы выработки конечных результатов реализованы на уровне живого, что и позволяет нам говорить здесь о биотехнической проблеме биологической системы.

Тренировка (проводимая на уровне совершенствования технических возможностей биологической системы) состоит в том, чтобы подготавливая образом построить набор операторов обратной связи (ОС1 и ОС2) так, чтобы сложные связки движений, выполняемые в «нормальном режиме» с помощью осознанного конструирования из траекторий различных динамических систем, объединились в одно движение.

Это возможно только благодаря очень точной настройке ОС2, вовремя (в нужный момент движения, управляемого изначально ОС1) переключающей операторы ОС1. Фактически ОС1 вводится в «ненормальный» режим обратной связи, на которую наложено влияние ОС2 (управляющей другой составляющей того же сложного движения). При резком снижении тренировочных нагрузок нарушается точность настройки ОС2, однако ОС1 уже настроена на работу в режиме «переключения от ОС2» и если «алгоритм переключения» нарушен, то динамическая система становится неустойчивой даже в пределах простой траектории движения.

Излечить такое «техническое» заболевание в биологической системе практически невозможно, для этого требуется вернуть в прежнее состояние обратные связи, реализованные после огромных затрат организма на их создание в неестественном для него виде, как «настройки биологического механизма». Иначе надо резко замедлить «внутрисистемное время», подавив активность нейронов и снизив тем самым скорость распространения сиг-



■ Рис. 2. Выработка сложных рефлексов на уровне возможностей сигнальной обратной связи

налов, то есть резко увеличить постоянные времени всех регуляторов; фактически, «задавить» нейрорептиками активность, ставшую избыточной. Конечно, подобная подмена функционального назначения ОС может быть вызвана и патогенными причинами, и тогда остается только насильственное подавление активности элементов и подсистем биохимическими средствами.

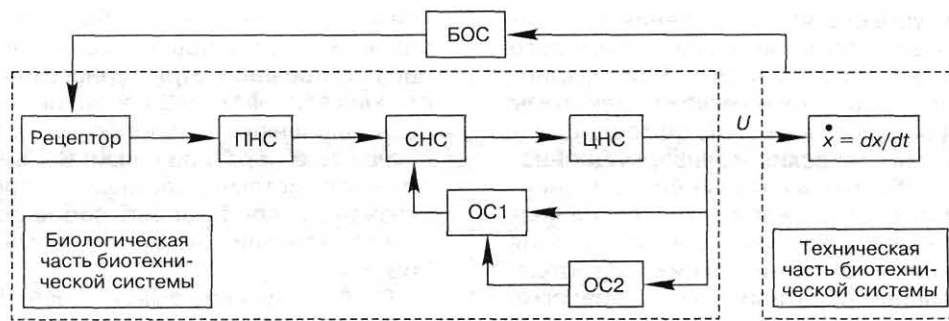
В принципе, мы пришли здесь к проблеме реального использования тренировок на основе использования активной БОС, к реализации тех самых рекомендаций, которые иногда предлагаются в литературе как «положительные перспективы». Далеко не всегда последствия могут быть столь разрушительными, но один из вариантов подстерегающей нас опасности прямого использования БОС для «внутренних тренировок» достаточно ясен.

Биотехническая обратная связь

Вернемся к реалиям существования явления, названного БОС, и оценим правомочность и целесообразность его использования для представления биотехнических систем в нашем расширенном, многокомпонентном их понимании. Рассмотрим некоторые возможности повышения уровня информационного обмена биологических и технических компонент таких систем за счет использования рассмотренного выше подхода. Начнем с того, что, исходя из смысла и содержания традиционного определения БОС, можно дать достаточно подробную схематическую иллюстрацию биотехнической системы, разделив биологическую и техническую части (рис. 3). Отметим, что выделенное в биологической части множество сигнальных обратных связей, взятое из рис. 2, может быть другим и является лишь иллюстрацией их принципиального наличия.

Однако целостное понимание всей цепи БОС здесь остается на уровне ее замыкания от технической части к центральной нервной системе на сигнальном уровне через рецепторы, ибо, в традиционном понимании БОС, контролировать можно только изменение измеряемых величин. Соответственно уровень связи двух составных частей биотехнической системы остается в такой цепи в информационном смысле даже ниже фактографического.

При таком подходе биологической части реально доступна для восприятия техническая часть си-

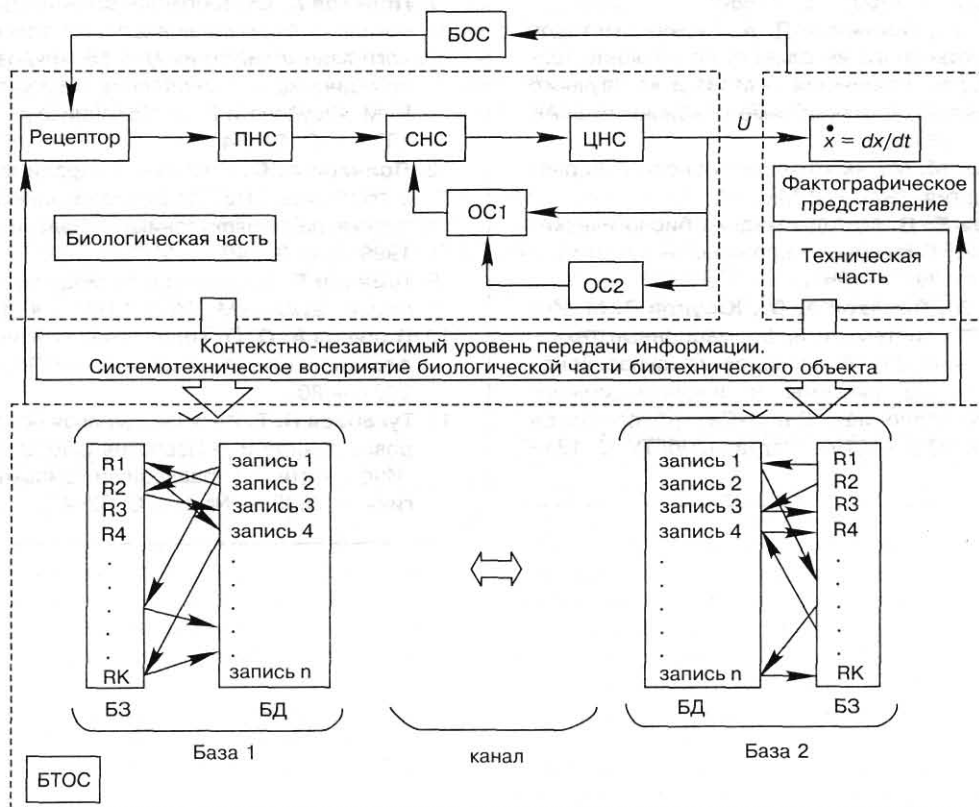


■ Рис. 3. Организация обратных связей в биотехнической системе на уровне традиционного понимания БОС

стемы лишь в объеме ее функциональной (модельной) представимости сигналами, доступными рецепторам. В этом смысле правомерно утверждать, что технической части доступны лишь измеримые на ее входе сигналы u , выработанные в активной биологической части системы, под действием которых техническая часть изменяет свое состояние. Характер происходящих при этом процессов определяется скоростью изменения переменной состояния объекта $\dot{x} = dx/dt$, которая представляет собой многомерную величину $x = (x_1, \dots, x_N)$, где x_1, \dots, x_N — скорости изменения компонент многомерной переменной x . Если бы мы могли на том

же языке адекватно описать биологическую часть биотехнической системы, то многие проблемы кибернетического представления такого комплекса были бы решены.

Однако искать совместимость собственных языков двух частей биотехнической системы вполне можно не на кибернетическом, а, например, на фактографическом уровне представления знания во исполнение положений (4) и (6), т. е. на уровне языка, гораздо более близкого к естественному, что вполне соответствует все той же гипотезе [2] об адекватной работе со сложными объектами (рис. 4). Здесь БОС в традиционном понимании не исчезает, но дополняется ее языковым представ-



■ Рис. 4. Организация биотехнической обратной связи на основе двухбазовой архитектуры хранения информации

лением, причем уровень языка общения определяется предельными возможностями текстового представления технической части. Все механистические составляющие технической подсистемы могут и должны образовывать БОС по традиционной схеме, а прогностические и информационно-аналитические проблемы, в которых биокомпонента не может обойтись без своей технической части, реализуются через сравнение структур описания «от биологической» и «от технической» подсистем, т. е. с использованием обратной связи в парадигме структурного управления. Исходя из общей терминологии, такую конструкцию можно назвать биотехнической обратной связью (БТОС), обеспечивающей взаимодействие, стремящееся к минимизации семантических потерь при реализации контекстно-зависимого управления на контекстно-независимом автомате.

Обратим внимание на конфигурацию БТОС (см. рис. 4). Реально она представляет собой две обратные связи, выполненные по рассмотренному выше структурному принципу. Каждая связь обеспечивает работу своей подсистемы — биологичес-

кой и технической, но их общность на уровне двухбазовой архитектуры позволяет вести непрерывное согласование структурного представления состояния этих частей. В принципе, здесь можно увидеть внешнюю аналогию с двумя кольцами сигнальной обратной связи. Весьма вероятно, что для всех системно-сложных построений обратная связь будет представлять собой достаточно сложные образования, но это тема отдельной публикации.

Главный для нас вывод здесь достаточно понятен — в биотехнической системе надо искать способ сведения языка биологической части к языку, доступному технике, но напротив, делать все возможное, чтобы системы, существующие в неразрывном симбиозе (простое общение человека, например, с компьютером здесь интересно в основном при организации автоматических аналитических систем [11]), общались на не программистском языке возможно высокого уровня, не отрицая и их сигнальное взаимодействие там, где такой язык оказывается достаточно экономным и представительным.

Литература

1. **Берталанфи Л. фон.** Общая теория систем: Критический обзор // Исследования по общей теории систем. М.: Прогресс, 1969. — С. 23–82.
2. **Поспелов Г. С., Поспелов Д. А.** Влияние методов теории искусственного интеллекта на решение традиционных задач управления. — М.: Изд-во Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР, 1977. — 36 с.
3. **Коршунов Ю. М.** Математические основы кибернетики. М.: Энергия, 1972. — 176 с.
4. **Попечителев Е. П.** Методы медико-биологических исследований. Системные аспекты. — Житомир: Изд-во ЖИТИ, 1997. — 186 с.
5. **Ерофеев А. А., Поляков А. О., Юсупов Р. М.** Интеллектуальные системы и информационные технологии управления // В сб. докладов междунар. конф. «Интеллектуальные системы и информационные технологии управления», Санкт-Петербург—Псков 19–23 июня 2000 г. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, С. 131–134.
6. **Ерофеев А. А., Поляков А. О.** Интеллектуальные системы управления. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. — 256 с.
7. **Поляков А. О.** Проблемы организации межбазового обмена информацией в условиях телеконференциального взаимодействия // В сб. трудов семинара «Телемедицина — становление и развитие» / Под ред. Р. М. Юсупова и Р. И. Полонникова. — СПб.: Омега, 1999. — С. 61–64.
8. **Поляков А. О.** Системная парадигма управления // В сб.: Труды СПбГТУ: Вычислительная техника, автоматика, радиоэлектроника. — Издание СПбГТУ № 472, 1998. — С. 32–49.
9. **Шеннон Р.** Имитационное моделирование — искусство и наука. — М.: Мир, 1978. — 418 с.
10. **Поляков А. О.** От количественной информации к информодинамической машине. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. — 80 с.
11. **Тукабаев П. Т.** Информационная безопасность и здоровье личности // Известия СПбГЭТУ (ЛЭТИ), серия «Информатика, управление и компьютерные технологии». — 2002. — № 2. — С. 32–40.