

Постановка и подход к проблеме создания научной методологии структурной идентификации для цели проектирования реальных систем автоматического управления с требуемыми свойствами

*К.С. Гинсберг,
с.н.с., к.т.н., доц., ginsberg@mail.ru
ИПУ РАН, г. Москва*

Обосновывается необходимость создания научной методологии структурной идентификации технических объектов. Приводится формулировка центрального вопроса проблемы создания научной методологии. Предлагается подход к решению указанной проблемы.

The necessity of creation of scientific methodology for the structure identification of technical objects is substantiated. The formulation of the central question of a problem of creation of scientific methodology is presented. The approach to the decision of the specified problem is offered.

Введение

В настоящее время отсутствует общепризнанное определение общего понятия о структурной идентификации технического объекта. Тем не менее, достаточно часто, начиная с 70 - 80-х годов XX века, под структурной идентификацией понимается процесс выбора структуры параметрической модели, на основе которой осуществляется параметрическая идентификация технического объекта, причем выбор основывается на анализе и обработке наблюдаемых входных и выходных сигналов объекта идентификации.

Данное определение содержит слово «структура», которое в рамках современной науки об идентификации систем, развиваемой в научной дисциплине «Идентификация систем», не получило однозначного, ясного и четкого толкования, т.е. не превратилось в определенный термин. Поэтому наравне с указанным определением используется другое общее определение структурной идентификации, не содержащее слова «структура»: структурная идентификация – процесс выбора типа математической модели технического объекта, основанный на анализе и обработке наблюдаемых входных и выходных сигналов объекта идентификации.

Указанные общие определения, задавая определенное начальное представление о структурной идентификации, сыграли значительную роль в разработке математического аппарата научной дисциплины «Идентификация систем». Однако эти определения ввиду своей предельной общности и многозначности составляющих их слов в настоящее время оказываются малополезными для описания, объяснения и построения рациональных схем организации структурной идентификации в составе современной инженерной практики создания наукоемких технических систем.

Интуитивно ясно, что общее понятие о структурной идентификации технического объекта является чрезвычайно широким по объему, а термином «структурная идентификация технического объекта» можно обозначить большое число различных по своим свойствам и количественным характеристикам процессов. Поэтому научные исследования проблемы рациональной организации структурной идентификации, в которых не изучаются отдельные виды структурной идентификации и не учитывается инженерный контекст их реализации, способны создавать научное обеспечение только для реализации самых общих функций структурной идентификации. При таком общем подходе вне рамок научных исследований оказываются многие значимые для инженерной практики проблемы реальных или потенциально возможных структурных идентификаций.

Тем не менее, за последние 50 лет именно общий подход выступал в качестве доминирующей установки в научных исследованиях в области структурной идентификации технических объектов. На основе общего подхода, опираясь только на результаты математических исследований, эвристические идеи и общие принципы, сконструированы практически все современные алгоритмы структурной идентификации. В работе [1] приведена библиография научных работ в области структурной идентификации, содержащая ссылки на 49 книг, 40 обзоров и 89 статей. Анализ указанных работ, а также динамика роста публикаций в данной области позволяют предположить, что возможности общего подхода как методологической основы создания алгоритмов структурной идентификации, описания и объяснения «механизмов» структурной идентификации практически полностью исчерпаны.

Для формирования необходимого прикладного научного знания требуется другой подход к проблеме рациональной организации структурной идентификации. Его ключевые установки:

- перейти от исследований структурной идентификации в целом к исследованию различных видов этой идентификации, возникающих в современных инженерных практиках;
- формировать содержание конкретного вида структурной идентификации на основе учета особенностей порождающих этот вид инженерной практики и применения научных конкретизаций общих положений системного, функционального, статистического и когнитивного подходов;
- основывать разработку математических средств автоматизации функций структурной идентификации, в первую очередь, на использовании языка и математического аппарата статистического подхода.

Назовем предлагаемый подход статистическим системно-функциональным подходом к исследованию проблемы рациональной организации структурной идентификации технических объектов или просто статистическим системно-функциональным подходом, если такое употребление не вызывает никаких недоразумений.

Основной целью настоящей работы является иллюстрация возможностей предлагаемого подхода с точки зрения развития базисных представлений о рациональной организации структурной идентификации технических объектов в составе современной инженерной практики создания наукоемких технических систем. В докладе обосновывается необходимость создания научной методологии структурной идентификации для цели проектирования реальных сис-

тем автоматического управления (САУ) с требуемыми свойствами, Приводится формулировка центрального вопроса проблемы создания научной методологии. Предлагается подход к решению указанной проблемы.

1. Постановка проблемы

Пусть задано семейство математических моделей технического объекта, параметризованное скалярным или векторным параметром с заданным множеством допустимых значений в евклидовом пространстве. Все параметры этого семейства выбраны таким образом, что их эмпирические значения можно определить на основе традиционных методов параметрической идентификации. Требуется в рамках решаемой задачи автоматизации выбрать «наилучшее» значение параметра, параметризующего заданное семейство, на основе априорной информации и апостериорных измерений входных и выходных сигналов технического объекта.

Сформулированная техническая задача относится к классу практических задач построения математических моделей реальных объектов по экспериментальным данным, которые исследуются в рамках научной дисциплины «Идентификация систем». Традиционно идентификационный подход к решению указанной технической задачи включает:

- математическую формализацию (с учетом содержания задачи автоматизации) технической задачи, в которой проблема выбора «наилучшего» значения искомого параметра истолковывается как задача оценивания неизвестного неслучайного параметра;
- процесс решения математической задачи на основе аппарата идентификации систем, результатом которого является алгоритм оценивания неизвестного неслучайного параметра;
- вычисление «наилучшего» значения искомого параметра с помощью разработанного алгоритма оценивания и имеющихся апостериорных измерений.

Результаты использования идентификационного подхода, несомненно, имеют практический смысл и полезность, с точки зрения инженерной практики создания САУ с требуемыми свойствами, если заданное семейство математических моделей технического объекта адекватно решаемой задаче автоматизации. Слово «адекватно» здесь понимается в следующем смысле. Заданное семейство математических моделей считается адекватным решаемой задаче автоматизации, если на основе этого семейства и результатов параметрической идентификации (нацеленной на выполнение требований задачи автоматизации), можно определить адекватную математическую модель технического объекта. Математическая модель называется адекватной, если она имеет такой уровень функционального подобия моделируемому объекту, при котором коллектив разработчиков на основе этой модели может создать систему автоматического управления с требуемыми свойствами.

Заданное семейство математических моделей технического объекта, обладающее указанным выше свойством, будем называть адекватным семейством математических моделей технического объекта, или кратко – адекватной модельной структурой технического объекта, или еще короче – адекватной модельной структурой. Нахождение этого семейства или его приемлемого (с точки зрения разработчиков САУ) приближения является обязательным этапом автоматизации любого технического объекта. В зависимости от имеющейся априорной информации о техническом объекте как объекте управления процесс поиска адекватной модельной структуры либо представляет собой привычную для разработчиков САУ процедуру, либо является трудоемким для разработчиков поиском нового достоверного знания о техническом объекте, требующим для своей реализации особых интеллектуальных усилий.

В настоящей работе данный трудный поиск называется структурной идентификацией технического объекта. Более полное определение приведено в обзоре [2]:

- «структурная идентификация – это поиск адекватного семейства математических уравнений (альтернатив) для параметрической или непараметрической идентификации или, иными словами, адекватного типа математической модели физической системы для параметрической или непараметрической идентификации» [2, с. 5];
- «На предметно-содержательном уровне, наглядном уровне, обусловленном в основном практическими работами в области идентификации, поиск осознается как сложная интеллектуальная деятельность, в которой доминирующую роль играют технологические и технические знания, интуиция, здравый смысл и жизненный опыт субъекта идентификации, его профессиональная подготовка в области процесса решения практических проблем управления» [2, с. 5].

В настоящее время не существует единой системы научных и технических знаний, признанной в качестве научной методологии структурной идентификации для цели проектирования реальных САУ в условиях априорной структурной неопределенности. Наличие априорной структурной неопределенности означает, что автоматизация технического объекта начинается в условиях отсутствия достоверного априорного знания об адекватной модельной структуре объекта. Отсутствие необходимого знания интерпретируется как наличие слабой модельной изученности объекта автоматизации как объекта управления.

Научная методология, как минимум, должна содержать: базовые понятия о структурной идентификации; логический и временной форматы процедуры структурной идентификации и ее системного контекста; представления о процессе структурной идентификации как о компоненте системы процессов создания реальной САУ с требуемыми свойствами, а о коллективе разработчиков САУ – как «субъекте» этого процесса; модели поведения субъекта структурной идентификации разной степени детализации. Наличие методологии позволяет коллективу разработчиков САУ более обоснованно и четко создавать адекватную постановку проблемы структурной идентификации и выбирать методы и средства для ее решения. Но самым существенным преимуществом использования методологии является возможность существенно снизить требования к профессиональной подготовке коллектива разработчиков как субъекта процесса структурной идентификации.

Ситуация с созданием научной методологии не была бы столь критической, если бы имела отношение только к состоянию научных исследований. Существует, несомненно, тесная взаимосвязь между инженерными исследованиями высокопрофессионального коллектива разработчиков САУ и деятельностью исследователей научных проблем структурной идентификации. Эта взаимосвязь чаще всего проявляется в том, что понятия, методы и средства, необходимые для решения конкретной задачи структурной идентификации, разработчики САУ обычно заимствуют из аппарата науки, а неисследованные в научных работах компоненты разрабатывают самостоятельно. Чем сложнее процесс поиска адекватного семейства математических моделей объекта автоматизации, тем труднее разработчикам создавать указанные компоненты и, как правило, должен быть более длителен процесс автоматизации, вклю-

чающий структурную идентификацию. Поэтому отсутствие научной методологии и необходимого для ее реализации математического обеспечения значительно уменьшает эффективность инженерных исследований разработчиков САУ по организации структурной идентификации. Возможно, по этой причине процесс автоматизации, включающий структурную идентификацию, традиционно осознается как весьма трудный и длительный [3].

С учетом указанных потребностей инженерной практики, центральный вопрос проблемы научной методологии желательно сформулировать следующим образом. Какой должна быть научная методология структурной идентификации, чтобы на основе ее методов и средств профессионально подготовленные коллективы разработчиков САУ могли рационально организовать процесс построения адекватной модельной структуры произвольного технического объекта в условиях априорной структурной неопределенности или, другими словами, оказались способными разработать рациональный проект структурной идентификации?

Изложенные выше представления, по сути дела, определяют целевую направленность настоящей работы как определенного концептуального видения проблем рациональной организации структурной идентификации технических объектов с позиций актуальных потребностей инженерной практики.

2. Подход к решению проблемы

Проблема рациональной организации структурной идентификации в составе современной инженерной практики создания САУ с требуемыми свойствами является одной из наиболее трудных и малоизученных проблем в области идентификации систем. Ее решение до сих пор не найдено, прежде всего, из-за отсутствия адекватных концептуальных моделей:

- поведения коллектива разработчиков САУ как субъекта структурной идентификации;
- структурной идентификации и ее системного контекста как существенно взаимосвязанных подсистем инженерной практики и научного знания.

По-видимому, первое детальное исследование этой проблемы представлено в работе [3]. Однако данное исследование не получило дальнейшего развития. Отсутствие системного модельного описания реальных или возможных (с точки зрения инженерной практики) процессов структурной идентификации и ее системного контекста, трудности научного анализа содержания структурной идентификации, отсутствие адекватных моделей поведения ее субъекта на многие десятилетия практически остановили процесс изучения проблемы рациональной организации реальной структурной идентификации для цели создания САУ с требуемыми свойствами.

Научный интерес к этой проблеме стал возрождаться сравнительно недавно, что в основном связано с новыми модельными представлениями о структурной идентификации и ее рациональной организации. В частности, существенную роль сыграли следующие идеи:

- не обязательно создавать именно психологические модели субъекта структурной идентификации;
- разработку моделей поведения для субъекта структурной идентификации следует осуществлять с позиций системного, функционального и когнитивного подходов к исследованию реальных систем;
- в первую очередь, необходимо разработать системно-функциональные модели поведения субъекта структурной идентификации [1];
- модели возможного поведения высокопрофессиональных коллективов разработчиков САУ в процессе структурной идентификации следует рассматривать как описание эталона поведения для других коллективов разработчиков САУ;
- методы выбора наиболее предпочтительной модельной структуры из заданного набора модельных структур технического объекта можно разработать на основе постановки и решения математических задач статистического синтеза [1].

Здесь и далее под модельной структурой понимается семейство математических моделей технического объекта для цели создания САУ с требуемыми свойствами, параметризованное скалярным или векторным параметром с заданным множеством допустимых значений в евклидовом пространстве. Адекватной модельной структурой называется модельная структура, на основе которой коллектив разработчиков в процессе параметрической идентификации (нацеленной на выполнение требований Заказчика САУ) может определить адекватную модель технического объекта. Под адекватной моделью технического объекта понимается математическая модель, имеющая такой уровень функционального подобия моделируемому объекту, при котором на ее основе можно создать САУ, удовлетворяющую требованиям Заказчика (т.е. САУ с требуемыми свойствами).

Основываясь на новых модельных представлениях, можно выдвинуть три предположения о существенных свойствах структурной идентификации:

- 1) субъектом структурной идентификации является коллектив разработчиков САУ, который осуществляет практическое познание технического объекта как объекта управления, нацелен на построение адекватной модельной структуры и мотивирован на создание реальной САУ с требуемыми свойствами;
- 2) структурную идентификацию нельзя вычлнить из всей инженерной практики создания реальной САУ и рассматривать независимо, не потеряв при этом существенных для ее функционирования связей;
- 3) структурная идентификация является обязательной компонентой инженерной практики создания реальной САУ в условиях априорной структурной неопределенности.

Здесь термин «практическое познание» употребляется в традиционном значении: «познание действительности в процессе общественной практики, т.е. трудовой деятельности и повседневной жизни» [4, с. 74]. Практическое познание «осуществляется не ради самого знания, а для эффективного воздействия субъекта на объект» [5, с. 298-299], оно не отделено от практики, а непосредственно включено в нее.

Приведенные три предположения рассматриваются в настоящей работе как содержание основной гипотезы исследований по разработке научной методологии структурной идентификации для цели проектирования САУ с требуемыми свойствами (кратко, научной методологии структурной идентификации или еще короче – научной методологии). Относительно научной методологии предполагается, что эта методология, в первом приближении, представляет собой научно и экспериментально обоснованную детализированную системно-функциональную эталонную модель поведения субъекта структурной идентификации. Эталонной моделью называется модель «для подражания», которая содержит описание эталона поведения для субъекта структурной идентификации. В качестве эталона принимаются модели реального или возможного поведения высокопрофессиональных коллективов разработчиков САУ

в процессе структурной идентификации. Указанной моделью состав научной методологии не ограничивается. В наиболее развитом виде она содержит следующие компоненты:

- 1) детализированную системно-функциональную эталонную модель поведения субъекта структурной идентификации;
- 2) вербально-графическую модель системного контекста структурной идентификации;
- 3) описание источников данных и знаний, с которыми субъект непосредственно или опосредованно взаимодействует в процессе подготовки и реализации структурной идентификации; в частности это описание должно включать концептуальную модель объекта автоматизации, идеи, методы, модели и алгоритмы разработанного математического обеспечения структурной идентификации;
- 4) описание на понятийном уровне содержания существенных взаимодействий субъекта, системного контекста, технических и программных средств информационной поддержки, источников данных и знаний в процессе структурной идентификации.

Развитие научной методологии осуществляется главным образом путем детализации и совершенствования системно-функциональной эталонной модели поведения субъекта структурной идентификации. Этот процесс организуется в виде итерационной процедуры, каждая итерация которой состоит из пяти этапов:

- 1) построение базовой эталонной модели;
- 2) анализ базовой модели: выделение функций коллектива разработчиков САУ, которые можно частично или полностью автоматизировать; разделение функций на подфункции, часть из которых можно полностью автоматизировать;
- 3) создание концептуальных, математических, программных и технических средств для реализации или информационной поддержки выделенных функций коллектива разработчиков САУ;
- 4) построение новой эталонной модели, учитывающей включение в деятельность разработчиков САУ новых автоматических, информационных и методологических средств;
- 5) анализ новой модели; принятие решения о переходе к следующей итерации или о завершении итерационной процедуры.

В настоящей работе считается, что коллектив разработчиков САУ является субъектом структурной идентификации, а в его деятельности доминируют познавательные процессы. Наличие у структурной идентификации указанных специфических особенностей вызывает необходимость в обсуждении трех важных для ее понимания вопроса. Что представляет собой структурная идентификация как система процессов и взаимодействий? Какая научная дисциплина изучает познавательную деятельность, и какие у этой дисциплины ключевые идеи? Какие традиционные представления о трудностях формализации и автоматизации познавательной деятельности?

В составе структурной идентификации выделим субъекта (коллектив разработчиков САУ) и средства структурной идентификации, а в системном контексте этой идентификации выделим объект автоматизации, который изучается субъектом как объект управления. Рассматривая на модельном уровне только указанные объекты (субъект, средства, объект автоматизации), можно выделить в структурной идентификации следующие процессы и взаимодействия:

- познавательную деятельность субъекта структурной идентификации, включающую его взаимодействия с техническими средствами, знаниями и экспериментальными данными об объекте автоматизации;
- процессы функционирования технических средств структурной идентификации, включающие их взаимодействия со знаниями и экспериментальными данными об объекте автоматизации.

Структурную идентификацию образно можно представить как автоматизированный процесс анализа и обработки знаний и экспериментальных данных об объекте автоматизации, не включающий опытную эксплуатацию спроектированной пробной САУ с требуемыми свойствами.

Структурная идентификация как процесс прикладного и эмпирического (опытного) познания – трудный для научного исследования объект изучения, преобразования и управления. Как процесс эмпирического познания структурная идентификация может исследоваться различными научными дисциплинами когнитивной науки, которая объединяет и обобщает «данные из разных наук под определенным углом зрения» [6, с. 59]. Суть когнитивного подхода, который объединил различные научные дисциплины в рамках когнитивной науки на ранних этапах ее становления, – прежде всего:

- в идее, что «человек активно «перерабатывает информацию», строя внутренние модели (репрезентации) окружения» [7, с. 109];
- в идее «реконструкции организмом своего окружения и мысленной работы с этой внутренней моделью» [7, с. 108];
- в идее, что «мысль рождает действие» (thought directs action)» [8, с. 285].

Общая характеристика когнитивного подхода (или, иными словами, когнитивизма) ясно выражена В.З. Демьянковым: «Когнитивизм – взгляд, согласно которому человек должен изучаться как система переработки информации, а поведение человека должно описываться и объясняться в терминах внутренних состояний человека. Эти состояния физически проявлены, наблюдаемы и интерпретируются как получение, переработка, хранение, а затем и мобилизация информации для рационального решения разумно формулируемых задач» [9, с. 17].

Главная особенность рациональной организации (автоматизации) структурной идентификации состоит в том, что для ее реализации необходимо автоматизировать трудную познавательную деятельность. В период наибольшего влияния кибернетики в СССР направление исследований по автоматизации трудной интеллектуальной деятельности называлось автоматизацией процессов мышления [10], автоматизацией интеллектуальных процессов [11] или автоматизацией творческих процессов [12]. Именно в рамках этого направления в 60-х годах XX века впервые обсуждены возможности и пределы автоматизации познавательных процессов. Уже в начале 60-х годов XX века было ясно осознано, что трудные проблемы в исследованиях в области автоматизации возникают в тех случаях, когда автоматизируемая деятельность воспринимается исследователями как единое, нерасчленимое целое, а не как хорошо структурированная система, содержащая рутинные, однообразные операции и неформализованные интеллектуальные действия. В этих случаях процесс автоматизации дополнительно включает этапы детального описания автоматизируемой деятельности и специальной формализации знания о данной деятельности в форме концептуальных и математических моделей. При этом сам процесс формализации значительно усложняется. Он перестает быть чисто интуитивным и включает специальные средства формализации. На необходимость создания специальных средств формализации еще в 1976 году указывает Ю.В. Орфеев: «Сторонники «машинного мышления» правы, когда они

предполагают безграничность процесса формализации, следовательно, воспроизводимость продукта мыслительной деятельности на ЭВМ, но они забывают тот фундаментальный факт, что процессу формализации какого-либо вида деятельности человека предшествует творческая деятельность человека по созданию самих средств формализации» [13, с. 345].

Такие же трудные проблемы возникают и в научных исследованиях в области автоматизации познавательной деятельности субъекта структурной идентификации. Однако для структурной идентификации будущие проблемы видятся еще более трудными. В процессе структурной идентификации, образно говоря, необходимо в идеале преобразовать «вещь в себе» (математические уравнения) в «вещь для нас» (адекватную модельную структуру технического объекта). Трудность этого преобразования является общепризнанным фактом. Возможности человека осознать ее основания (причины возникновения и способы преодоления) некоторым выдающимися ученым представляются ограниченными.

В качестве примера подобного мнения сошлемся на точку зрения Н. Бурбаки: «основная проблема состоит во взаимодействии мира математического и мира экспериментального. То, что между экспериментальными явлениями и математическими структурами существует тесная связь, – это, как кажется, было совершенно неожиданным образом подтверждено недавними открытиями современной физики, но нам совершенно неизвестны глубокие причины этого... и, быть может, мы их никогда и не узнаем» [14, с. 258].

Тем не менее, человек способен находить адекватную математическую модель технического объекта для цели проектирования САУ в ходе теоретической и практической деятельности путем построения пробных математических моделей и их практическим опробованием, т.е. путем «сравнения придумываемого и наблюдаемого» [15, с. 109]. Особенно ясно эта мысль выражена А. Эйнштейном в статье «Иоганн Кеплер» «Представляется, что человеческий разум должен свободно строить формы, прежде чем подтвердилось бы их действительное существование. Замечательное произведение всей жизни Кеплера особенно ярко показывает, что из голой эмпирии не может расцвести познание. Такой расцвет возможен только из сравнения придумываемого и наблюдаемого» [15, с. 109].

Если мы не можем и не должны исключать коллектив разработчиков САУ из процесса структурной идентификации, то желательно стремиться, как к идеалу, к системной организации и автоматизации его познавательной деятельности. Это означает, что необходимо не только снабдить коллектив разработчиков понятийным, методологическим и математическим обеспечением трудных для него познавательных функций, но и предоставить ему системно - функциональное описание его желательной познавательной деятельности с указанием ее проблемных ситуаций, мотивов, целей, методов и средств.

Заключение

Есть веские основания считать, что имеется существенное несоответствие (противоречие) между достигнутым уровнем научных знаний о структурной идентификации и требуемым уровнем, необходимым для адекватного (с точки зрения потребностей инженерной практики) решения проблем рациональной организации структурной идентификации конкретного технического объекта. Представляется, что применение разработанного подхода к проблеме создания научной методологии структурной идентификации позволит преодолеть имеющийся разрыв и создать необходимое для инженерной практики научное знание.

Литература

1. Гинсберг К.С. Концепция научного проектирования инженерного моделирования для слабо изученных объектов управления: новый подход к проблемам структурной идентификации [Электронный ресурс] // Труды IX Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '12. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2012. 1 CD-ROM. С. 802-828.
2. Прангишвили И.В., Лотоцкий В.А., Гинсберг К.С., Смолянинов В.В. Идентификация систем и задачи управления: на пути к современным системным методологиям // Проблемы управления. 2004. № 4. С. 2-15.
3. Ротач В.Я. Автоматизация настройки систем управления / В.Я. Ротач, В.Ф. Кузицин, А.С. Ключев, С.И. Лейкин, В.К. Ярыгин. М.: Энергоатомиздат, 1984. 272 с.
4. Жеребило Т.В. Словарь лингвистических терминов. Назрань: ООО «Пилигрим», 2010. 486 с.
5. Философия и методология познания / под общ. и науч. ред. В.Л. Обухова, Ю.Н. Солонина, В.П. Сальникова и В.В. Васильковой. СПб: Фонд поддержки науки и образования в области правоохранительной деятельности «Университет», 2003. 560 с.
6. Кубрякова Е.С., Демьянков В.З., Панкрац Ю.Г., Лузина Л.Г. Краткий словарь когнитивных терминов / Под общей редакцией Е.С. Кубряковой. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1997. 245 с.
7. Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания: В 2 т. Т. 1. М.: Смысл: Издательский центр «Академия», 2006. 448 с.
8. Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания: В 2 т. Т. 2. М.: Смысл: Издательский центр «Академия», 2006. 432 с.
9. Демьянков В.З. Когнитивная лингвистика как разновидность интерпретирующего подхода // Вопросы языкознания. 1994. №4. С. 17-46.
10. Леонтьев А.Н. Автоматизация и человек // Психологические исследования. Вып. 2. М.: Изд-во МГУ, 1970. с. 3-12.
11. Часть 3. Проблемы автоматизации и моделирования интеллектуальных процессов // Методологические проблемы кибернетики (Материалы к Всесоюзной конференции): В 2 т. Т. 2. М.: АН СССР, 1970. С. 5-141.
12. Рабинович В.Л. Некоторые вопросы автоматизации творческих процессов // Методологические проблемы кибернетики (Материалы к Всесоюзной конференции): В 2 т. Т. 2. М.: АН СССР, 1970. С. 8-19.
13. Орфеев Ю.В. О формальных и неформальных компонентах в решении задач человеком и ЭВМ // Кибернетика и современное научное познание. М.: Наука, 1976. С. 333-346.
14. Бурбаки Н. Очерки по истории математики. М.: КомКнига, 2006. 296 с.
15. Эйнштейн А. Иоганн Кеплер (1930) // А. Эйнштейн. Физика и реальность. М.: Наука, 1965. С. 106-109.