

УДК 007.52:519.6:539.3:681.3

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА КАК ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Н. Д. ПАНКРАТОВА

Проанализированы причины и факторы, определившие становление и тенденции развития системного анализа как прикладной научной дисциплины. Введено 4 этапа развития: формирования теоретического базиса системного мышления; эмпирического формирования системной методологии; синхронного развития теории системного анализа и практики системных исследований; глобализации системной проблематики. С позиции оценивания прагматической роли системного анализа выявлены особенности реальных системных задач в различных сферах практической деятельности в условиях каждого этапа. Приведены основные научные и технические достижения этих этапов. Установлено место прикладного системного анализа в современной классификации наук.

Выдающиеся достижения 20-го века — создание космической отрасли и освоение космоса, создание и массовое внедрение вычислительной техники и информационных технологий, создание и развитие атомной энергетики, стремительное развитие и широкое использование авиации, ряд других практически важных достижений научно-технического прогресса — вошли в историю цивилизации как триумфальный итог согласованной деятельности современной науки и промышленности. В эти достижения внесли свой весомый вклад многие науки разных областей знаний и различных времен. Действовали науки, история которых начиналась в Древнем мире, и науки, формирование которых только началось в 20-м веке. К последней категории, наряду с другими новейшими направлениями науки 20-го века — кибернетика, исследование операций, общая теория систем, системотехника, теория принятия решений, теория оптимизации, относится и системный анализ.

Цель настоящей работы — проанализировать причины и факторы, которые определили возможность становления и тенденции развития системного анализа как прикладной научной дисциплины, выявить его роль и место в решении реальных задач в различных сферах практической деятельности в динамике развития цивилизации.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБЛЕМАТИКИ

Прежде всего, отметим, что на различных этапах развития цивилизации появление принципиально новых идей и направлений в теории или новых подходов и методов исследования реальных сложных проблем в различных сферах практической деятельности достаточно часто трактовалось как дань

© Н.Д. Панкратова

Системні дослідження та інформаційні технології, 2002, 1

65

моды. Часто ставилась под сомнение вообще возможность существования таких новшеств, и тем более их самостоятельного, независимого существования как научных дисциплин. И поэтому неслучайно вопросы о необходимости, возможности и целесообразности самостоятельного существования системного анализа и о независимости его от моды неоднократно дебатировались в научных работах, начиная с момента первых публикаций.

Приведем мнение по этому поводу одного из основоположников идей системности Л.фон Бергаланфи [1]: «Если мы хотим верно представить и оценить современный системный подход, то саму идею системности имеет смысл рассматривать не как порождение преходящей моды, а как явление, развитие которого вплетено в историю человеческой мысли». Однако данная фраза оставляет открытыми два очень важных вопроса. Во-первых, какие обстоятельства наводят на размышления о «преходящей моде»? Во-вторых, что связывает «идею системности» и «историю человеческой мысли»?

Ответ на первый вопрос достаточно прост. Периодически происходившим дискуссиям способствовала ситуация в науке, которая сложилась во второй половине 20 века. С одной стороны, на переднем крае научных исследований оказались работы, объединяемые общим названием «системный анализ» [2]. С другой стороны, в повседневной жизни проявилась интересная особенность, которая представлена следующим образом [3]: «Каждый, кто захотел бы проанализировать наиболее употребительные современные понятия и ходячие выражения, обнаружил бы в самом начале списка слово «система». Это понятие распространялось во всех сферах науки и проникло в обыденное мышление, в жаргон и в средства массовых коммуникаций». Результатом такого процесса стало не только несметное множество публикаций, конференций, симпозиумов, но и великое разнообразие понимания и толкования таких основополагающих понятий как система, системность, системный подход, системный анализ, системное мышление, что невольно наводит на мысль об аналогии с модой [4].

Подобная ситуация сохраняется во многих проявлениях и в начале 21 века. По-прежнему обнаруживаются существенные разночтения и разногласия в трактовке многих практически важных понятий и определений, что характерно даже для тех специалистов, которые непосредственно участвуют в теоретических и прикладных системных исследованиях или являются сторонниками системной методологии. Отсутствует общепринятое понимание многих ключевых понятий проблематики и методологии системного анализа, в т.ч. понятий, которые отражают специфику проблематики и инструментария системного анализа, особенности и свойства объектов системных исследований, условия и особенности формализации и решения системных задач. Однако, как справедливо отмечено в работе [4], на фоне очевидных теоретических несовершенств особенно поражает факт чрезвычайно широкого и быстрого распространения системных исследований в самых разнообразных областях науки и практики. Это подтверждают высокие количественные и качественные показатели динамики системных исследований на протяжении более 50 лет [5–10]. Тенденция расширения проблематики сохранилась и в

21 веке. Идеи и возможности системной методологии привлекли внимание специалистов из слабо структурированных предметных областей: медицина, экология, социология, финансы, другие практически важные области.

Ответ на второй вопрос не столь очевиден и поэтому необходимы определенные пояснения. Прежде всего, следует обратить внимание, что идея системности в цитируемой фразе рассматривается не как ординарное событие в жизни общества, а как явление, которое вошло в историю человеческой мысли. Поэтому следует выявить причины и факторы, которые определяют столь высокую значимость идеи системности. Далее необходимо определить сущность и новизну системного мышления, ее практическое значение как своеобразного вклада идей системности в развитие человеческой мысли. Известна оценка мировоззренческой роли системного мышления как антитезы классическому рационализму и механицизму, и рассмотрены обусловленные этим достижения в развитии человеческой мысли [7]. Однако в достижении успеха при решении реальных системных задач определяющее значение имеет иная, прагматическая роль системного мышления. Поэтому представляется практически важным выполнять далее анализ на основе такого подхода.

Анализ развития науки свидетельствует, что результативность каждой научной дисциплины определяется следующими группами свойств:

- актуальностью, научной и практической значимостью проблематики;
- научным уровнем и практическими возможностями теоретического и методологического инструментария исследования;
- способностью исследователя освоить соответствующую теорию и методологию, его умением рационально использовать и совершенствовать возможности инструментария исследования.

В динамике становления и развития науки компоненты этих групп непрерывно изменяются, уточняются, совершенствуются на основе взаимного стимулирования и рационального согласования потребностей практики и возможностей науки. Развитие осуществляется в режиме своеобразного тандема: новые задачи практики стимулируют развитие науки, а новые достижения науки создают возможность решения новых проблем, расширения сферы исследований, разработки новых изделий и технологий. Следовательно, теоретическая значимость и практическая полезность научной дисциплины определяется как уровнем возможности каждой группы свойств, так и уровнем взаимного согласования возможностей групп. Опыт показывает, что реализация новых идей и технических решений зависит от возможностей науки и способностей специалиста формализовать и решать соответствующие задачи проектирования; от возможностей промышленных технологий реализовывать проект и создавать изделие с требуемыми показателями качества. Необходимо отметить особую значимость процедуры формализации задач при реализации инновационных идей и технических решений, при проектировании изделий новой техники, которые принципиально не имеют аналогов и прототипов. Такие задачи отличаются концептуальной неопределенностью. Концептуальная неопределенность понимается как единая система неизвестности, которая включает: неоднозначность и противоречивость требований к изделию; противоречивость целей и неоднозначность условий применения изделия; неопределенность и непредсказуемость возможных действий конкурентов;

неограниченность и непрогнозируемость множества ситуаций риска на различных стадиях жизненного цикла изделия. Раскрытие концептуальной неопределенности является системной задачей [11], поскольку раскрытие всех видов неопределенности должно выполняться на основе единых принципов, критериев, целей. Однако в отличие от типовых задач многоцелевой оптимизации, в которых принято полагать целевые функции заданными, в задаче проектирования изделий новой техники системный исследователь должен сформулировать цели создания изделия и сформировать целевые функции на основе разнородной эмпирической информации. При формировании целевых функций требуется решить следующие взаимосвязанные задачи [11]:

- приведение исходной информации к некоторому стандартному виду, который обеспечивает возможность формирования целей разработки изделия;
- выбор класса и структуры приближающих функций при формализации целей;
- выбор критериев оценивания и методов построения приближающих функций;
- нахождение приближающих функций в принятом классе, обеспечивающих наилучшее приближение целевых функций по выбранным критериям.

Первые три задачи являются неформализуемыми, две из них являются задачами выбора в условиях неопределенности. Такие задачи относятся к категории самых распространенных и в то же время самых трудных задач, постоянно встречающихся на практике [8]. Сложность задач и трудности их решения обусловлены неопределенностью множества альтернатив и критериев выбора [9]. Поэтому результаты их решения полностью зависят от способностей и умения исследователя устранить этот недостаток. Отсюда следуют важнейшие требования к способностям системного исследователя:

- требования самооценивания и самоадаптации — он должен знать, как использовать то, что знает; понимать, что необходимо дополнительно знать, чего он не знает; как и где узнать то, чего он не знает;
- требования оценивания и формирования аппарата исследования — он должен знать, как использовать для достижения целей исследования то, что может выполнить имеющийся инструментарий; понимать, что необходимо дополнительно сделать, чего имеющийся инструментарий не может реализовать; определить, какие дополнительные инструментальные средства могут выполнить то, что не может реализовать имеющийся инструментарий;
- требования оценивания и формализации задачи — он должен знать, как использовать для формализации задачи то, что априорно известно; оценить то, насколько для формализации задачи необходимо, возможно и целесообразно раскрытие имеющейся неопределенности; выявить то, что необходимо обязательно сделать, чтобы стало возможным раскрытие неопределенности при формализации и решении задачи.

Для успешного выполнения этих требований исследователю недостаточно только формального овладения системной методологией и достижения необходимого уровня умения ее рационально использовать на практике. От

него требуется не только принципиально иное отношение к деятельности, но принципиальное изменение стиля мышления, а именно, овладение системным мышлением.

В настоящее время, несмотря на широкий диапазон применения системного анализа, отсутствуют общепризнанные, развернутые определения основных понятий: системное мышление, система, системный анализ и др. Введем понятие «системное мышление», в которое будем вкладывать смысл с позиции оценивания прагматической роли мышления и представления роли специалиста как конструктора и исследователя системной проблемы.

Системное мышление — это такая высшая форма человеческого познания, в которой процессы отображения, анализа, исследования объективной реальности с позиции достижения поставленных целей базируются на умении из разрозненных, разнесенных в пространственно-временной среде материальных объектов, ситуаций, событий и процессов формировать целостное представление объекта исследования и на умении в условиях концептуальной неопределенности формализовывать и решать задачу его системного исследования на основе системного использования возможностей математического и методологического инструментария и знаний, опыта, интеллекта, интуиции, предвидения исследователя.

Здесь роль конструктора системной проблемы принимаем в трактовке, предложенной в [12, с. 452], а понятие интеллекта — в трактовке, предложенной в [16, с. 97–98], а именно, как способность ставить и формализовывать цели, устанавливая причинные связи между событиями и процессами, совершать открытия в теории, методологии, технологии, изобретения в технике и т.п.

Специалист работает в основном с двумя категориями предметов исследования: модели и реальные объекты. Поэтому введем определение системы, рассматривая ее как объект системного исследования. Понятия «модель» и «элемент» принимаем в трактовке [25]. Систему как модель реального объекта системного исследования будем характеризовать следующими понятиями.

Система — упорядоченное множество структурно взаимосвязанных и функционально взаимодействующих однотипных элементов любой природы, объединенных в целостный объект, состав и границы которого определяются целями системного исследования.

Сложная система — упорядоченное множество структурно взаимосвязанных и функционально взаимодействующих разнотипных систем, которые объединены структурно в целостный объект функционально разнородными взаимосвязями в интересах достижения заданных целей в определенных условиях.

Большая система — упорядоченное множество структурно взаимосвязанных и функционально взаимодействующих разнотипных сложных систем, которые объединены структурно в целостный объект функционально разнородными связями для достижения заданных целей в определенных условиях.

Аналогично определяются следующие более сложные системы: сверхбольшая система, глобальная система, глобальная суперсистема.

Практическое значение системного мышления при исследовании системных проблем и разработке новой техники характеризуется следующими возможностями и факторами [10]. Овладение системным мышлением дает каждому отдельному сотруднику, с одной стороны, понимание общих целей и задач исследования, ясное ощущение необходимости коллективной, согласованной работы и потребность постоянного совершенствования средств и методов исследования. С другой стороны, обеспечивает сотруднику четкое определение своего места и роли в совместной деятельности коллектива, понимание как целей и задач лично выполняемой работы, так и четкое представление о важности и практической значимости лично получаемых результатов в достижении общего успеха. Одним из важных свойств системного мышления является возможность создания интеллектуально дисциплинированного коллектива, возможность системной согласованности дисциплины мышления отдельной личности и дисциплины мышления и действий коллектива. В таком коллективе становится обязательным требованием, нормой профессионального поведения то, что обычно в других коллективах так или иначе понимается, но не выполняется. Появляется возможность конструктивных обсуждений проблем по ходу исследования, выяснения объективных причин разногласия мнений. Такой подход позволяет на основе знаний, опыта, интуиции и предвидения коллектива выявить причины и получить системную, многокритериальную оценку значимости факторов, которые приводят к различному пониманию некоторых аспектов проблемы и путей достижения поставленных целей. В ходе дискуссии формируется рациональный компромисс и принимается соответствующее решение. И поэтому неслучайно один из ведущих специалистов по системному анализу дал своему выступлению перед сенатом США название [13]: «Системный анализ: основные правила конструктивных дебатов».

Следует также отметить, что системное мышление становится важнейшим фактором в достижении успеха в различных сферах практической деятельности [14,15].

Таким образом, проведенный краткий анализ показывает, что в условиях непрерывного расширения системной проблематики для достижения успеха при формализации и решении реальных системных задач определяющее значение имеют уровень развития системного мышления и возможности системного инструментария. Поэтому анализ этапов развития системного анализа будем выполнять в пределах следующих основных направлений:

- становление и развитие идей системности как основы системного мышления;
- становление и развитие системного представления об объектах исследования;
- становление и развитие инструментария решения системных задач.

2. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Принято отсчитывать [1, 7] историю системного анализа с постулата Аристотеля: «целое больше суммы своих частей», который в современном понимании отражает сущность супераддитивного закона сложных систем.

Не углубляясь в многовековую историю, кратко рассмотрим становление и развитие идей системности и системного мышления в ближайшем прошлом. В первую очередь, отметим фундаментальные научные открытия, которые сформировали предпосылки системного мышления. В истории науки последних столетий, следуя подходу Н.Н. Моисеева [16], можно выделить три фундаментальные ступени познания окружающего мира.

Первая ступень — это создание основ современной физики. Они формировались эпохальными открытиями И. Ньютона, Г. Галлилея, М.В. Ломоносова, А. Пуанкаре. Обобщение и превращение идей движения, возникших в Древней Греции, в стройную математическую теорию ньютоновской механики заложило фундамент методологии анализа динамики эволюционных физических процессов и явлений, стало началом нового этапа в развитии естественных наук. Дальнейшему развитию теории и расширению сферы исследований способствовали более поздние фундаментальные открытия многих ученых, список которых достаточно велик и не ограничивается нобелевскими лауреатами. Основным результатом этих исследований стало создание теоретической базы современной техносферы как глобальной системы, оказывающей прямое воздействие на динамику развития цивилизации.

Вторая ступень — это создание теории дарвинизма, фундаментальные идеи которого принадлежат Ч.Р. Дарвину. На основе развития идей движения, разностороннего анализа непрерывной изменчивости в область живой материи были выявлены качественно новые процессы, а именно, процессы развития. Важнейшей особенностью этих процессов является качественное изменение во времени свойств развивающихся объектов, что принципиально отличает процессы развития от всех других динамических процессов. Главные ключевые достижения в понимании эволюции и ее основных процессов и свойств: наследственность, изменчивость, отбор создали основу современного представления о природе развития живого, определили исходные позиции для методологии биохимических и физиологических исследований, заложили фундамент многофакторного анализа состояния и эволюционных процессов современной биосферы.

Третья ступень — это формирование основ теории ноосферы. Первые фундаментальные открытия в данном научном направлении на границе 19 и 20 веков сделал В.И. Вернадский. В этот период формировались основы его учения о ноосфере. В.И. Вернадский выявил единство всех эволюционных процессов, происходящих на Земле: химических и физических, развития живой природы и человеческого общества. Он обнаружил системность взаимодействия различных эволюционных процессов в масштабах нашей планеты, их системную взаимосвязь и взаимозависимость от процессов Вселенной. Уже в 20-х годах его система взглядов превратилась в стройное учение о ноосфере. Согласно его учению, все происходящее на Земле процессы являются лишь составляющей единого процесса космической эволюции и неотделимы от процессов Вселенной.

Выводы учения В.И. Вернадского имеют четко выраженную практическую направленность. Так, главным выводом в этом учении является утверждение о том, что на определенной ступени развития цивилизации возможно такое состояние взаимодействия человечества с Природой, при котором потребности человечества в ресурсах превысят ресурсные возможности

Природы. Для разрешения такого противоречия необходимо, по мнению В.И.Вернадского, чтобы человечество сумело осознать практическую необходимость принять на себя ответственность за дальнейшую эволюцию планеты, ибо в противном случае у человечества не будет будущего. К концу 20 века потребности человечества в ряде ресурсов стали превышать ресурсные возможности Природы, и этими фактами практика подтвердила главный вывод учения В.И. Вернадского.

Таким образом, указанные фундаментальные достижения в познании Природы можно рассматривать как начальные основополагающие ступени формирования системного мышления и понимания практической необходимости системного восприятия мира. Первые две ступени подготовили фундамент для третьей ступени — системного понимания процессов на планете как составной части глобальных процессов Вселенной. Основные утверждения и выводы учения о ноосфере В.И. Вернадского впервые отразили системность процессов Вселенной, впервые показали практическую потребность в системном осмыслении динамики развития цивилизации и эволюции планеты Земля и определили практические системные проблемы глобального масштаба [16]. Поэтому с полным основанием можно считать В.И Вернадского основоположником прикладного системного мышления.

Далее ограничимся рассмотрением тех процессов 20 века, которые оказали непосредственное воздействие на состояние и тенденции развития системной проблематики и методологии. Выделим четыре этапа формирования системного анализа как прикладной научной дисциплины.

Первый этап становления системного анализа относится к первой половине 20 века и является периодом появления и формирования основных идей системного мышления. Рассмотрим основные исторические источники современного системного мышления. Принимаем за основу перечень трудов, который предложен в [7], но полагаем необходимым дополнить его трудами В.И. Вернадского, важная роль и практическое значение которых для становления и развития системного анализа показаны выше. Учение о ноосфере В.И. Вернадского, на наш взгляд, должно занимать первое место в списке совершенно обоснованно не только по хронологии, но и по практической значимости. В итоге получаем следующий перечень основополагающих монографий (в скобках указаны годы работ по тематике и даты первых авторских публикаций): «Учение о биосфере и ее постепенном переходе в ноосферу» [17] В.И. Вернадского (1893—1918); «Всеобщая организационная наука, или тектология» [18] А.А. Богданова (1913–1929); «Общая теория систем» [19] Л. фон Бергаланфи (1934– 1949); «Кибернетика или управление и связь в животном и машине» [20] Н. Винера (1948); «Праксеология» [21] Т. Котарбинского (1930– 1940).

Роль, место и значение трудов А. А. Богданова, Л. фон Бергаланфи, Н. Винера, Т.Котарбинского в становлении и развитии идей системности и системного мышления достаточно детально проанализированы в работе [7]. Поэтому отметим лишь наиболее важные детали анализа и сделаем выводы. Установлено, что монография А.А. Богданова отличается глубоким системным содержанием, ее идеи и понятия основаны на постулате: неотъемлемое и наиболее существенное свойство всеобщей организационной науки является ее системность. А.А. Богданова по праву можно считать

основоположником системного мышления в части формирования такого представления об объектах системного исследования, которое позднее было принято в общей теории систем. Праксеология Т. Котарбинского была задумана и реализована как общая теория рациональной деятельности. И хотя системная ориентация работы не вызывает никаких сомнений, но доказательств и подтверждений ее воздействия на формирование системного мышления не обнаружено. Отсутствуют также явные доказательства взаимной исторической зависимости системных парадигм тектологии, кибернетики, общей теории систем и праксеологии. Однако данные факты не означают, что идеи А.А. Богданова и Т. Котарбинского вообще забыты и не нашли практического приложения в системном анализе. Их монографии были переизданы во второй половине 20 века и основные их идеи нашли применение при решении системных проблем организационного управления и в других областях.

Важная роль и практическое значение фундаментальных работ Л. фон Берталанфи [19] и Н. Винера [20] как системных первоисточников в становлении и развитии системного мышления являются общепризнанными. Особо необходимо отметить, что в данных работах независимо предложена новая идея, сущность которой состоит в переходе к исследованию общих свойств, которые характерны для различных типов объектов. Следует обратить внимание на различие позиций, с которых Л. фон Берталанфи и Н. Винер определяют необходимость исследования общих свойств различных типов объектов. Л. фон Берталанфи рассматривает вопрос с позиции общности принципов построения и структурных свойств различных типов систем, а Н. Винер — с позиции общности принципов и свойств управления различными типами сложных объектов, в т.ч. субъектов живого мира и объектов техники различного назначения. И эти подходы достаточно долго развивались независимо. Вместе с тем, оба подхода имеют непосредственное отношение к системным исследованиям. Например, при разработке сложных технических систем одинаково важно создать рациональную многоуровневую иерархическую структуру изделия и обеспечить системно согласованное управление как на стадиях проектирования, производства, испытания изделия, так и рациональное управление созданной системой в динамике эксплуатации. При этом задачу формирования структуры и облика изделия и задачу обоснования целей и функций управления требуется рассматривать в такой системной постановке, которая учитывает взаимосвязь, взаимозависимость и взаимодействие в замкнутой структуре целостного объекта исследования: (человек) \Leftrightarrow (изделие) \Leftrightarrow (внешняя среда) \Leftrightarrow (человек). Необходимость формирования такой структуры обусловлена тем, что внешняя среда определяет условия эксплуатации изделия, а человек является разработчиком, производителем и/или пользователем изделия. Отсюда следует практическая необходимость системного согласования решений соответствующих системных задач на стадии концептуального проектирования изделия. Системная согласованность по целям, ресурсам, срокам и ожидаемым результатам должна обеспечиваться на основе взаимного, рационального компромисса противоречивых целей разработки изделия. Такое целостное представление объекта системного исследования полностью соответствует идеи В.И. Вернадского о системности

взаимодействия, взаимосвязей и взаимозависимости разнородных процессов на планеты.

Выполненные независимо труды В.И. Вернадского, Л. фон Берталанфи и Н. Винера создали единую идейную базу для формирования принципиально новой фундаментальной парадигмы в науке, концептуальная новизна которой заключается:

- в переходе от исследования конкретных свойств объектов определенного типа (физические, химические, биологические, экономические и т.д.) к исследованию общих свойств, которые характерны для различных типов объектов;
- в переходе от исследования свойств и особенностей процессов определенного вида к исследованию структуры, свойств, и особенностей взаимосвязей, взаимозависимости и взаимодействия разнородных процессов;
- в переходе от исследования свойств отдельных объектов определенного типа к исследованию свойств и структуры взаимосвязей, взаимозависимости и взаимодействия разнотипных объектов.

Эти признаки новизны в определенной степени позднее реализованы в форме основных принципов теории системного анализа, и поэтому приведенную парадигму можно характеризовать как «теоретическая парадигма системной методологии».

Второй этап становления системного анализа формировался в период чрезвычайных условий нарастающей военной угрозы 30-х годов и почти глобального театра боевых действий второй мировой войны в 40-е годы 20 века. Тогда во многих странах появилась реальная необходимость оперативного решения сложнейших междисциплинарных задач обороноспособности. Этот этап характеризуется качественно новыми свойствами решаемых задач и принципиально важными особенностями условий, в которых осуществлялось их решение. К их числу относятся: концептуальная неопределенность, неструктурируемость, *NP*-сложность и стратегическая важность реальных задач; высокая цена ошибочного или недостаточно обоснованного решения, которая соответствует катастрофическим последствиям стратегического уровня; наличие неустраняемого, априорно неизвестного порогового ограничения времени на цикл формирования и реализацию стратегических решений, нарушение которого может иметь катастрофические последствия государственного масштаба. Особо следует отметить значимость концептуальной неопределенности в проблемных ситуациях разработки и серийного производства новой техники при наличии порогового ограничения времени на цикл формирования и реализации решений. Подобные ситуации были характерны для начального периода войны, и о них со знанием дела изложено, в частности, в записках выдающегося советского авиаконструктора А.С. Яковлева [22]. В этих условиях понятие концептуальной неопределенности дополняется следующим важнейшим компонентом: неопределенность и непредсказуемость возможных видов, объемов, сроков и результативности активного противодействия противника. Исключительно важным фактором проблемной ситуации является пороговое ограничение времени на формирование и реализацию решений, что обусловлено стремлением каждой из противоборствующих

сторон обеспечить превосходство в стратегически важном виде техники. Как известно, превосходство достигается реализацией лучшего качества и большего количества соответствующей техники на определенный момент времени. Данные факторы создали следующие принципиально важные особенности и условия решения реальных задач:

- определили необходимость обеспечения системной согласованности по целям, срокам и ожидаемым результатам процедур формализации и процедур решения междисциплинарных задач всех стадий жизненного цикла изделия при наличии множества взаимосвязей, взаимозависимостей и взаимодействий разнотипных факторов из качественно различных областей практической деятельности;

- обострили противоречия между необходимостью исследования большего количества факторов и требованием сокращения времени на формирование и реализацию решений на всех стадиях жизненного цикла изделия;

- повысили резко степень и уровень риска, обусловленного принятием недостаточно обоснованных или ошибочных решений на различных стадиях жизненного цикла изделия.

В результате сложившихся условий появилась практическая потребность формирования системного инструментария, который обеспечит возможность решения реальных системных задач в практически допустимые сроки с практически приемлемой погрешностью в условиях концептуальной неопределенности. Для реализации указанной возможности инструментарий должен формироваться на основе системы взаимно согласованных по целям, срокам и ожидаемым результатам следующих множеств методологических средств:

- множества предположений, допущений, условий, подходов, приемов и других средств формализации задач;

- множества показателей, критериев, приемов и других средств оценивания качества и эффективности решения задач;

- множества подходов, методов, методик, алгоритмов, программ и других средств решения задач.

Необходимость разработки такого инструментария следовала из сложившейся на тот период ситуации: подходы, приемы и методы решения различных задач при разработке новой техники, сложившиеся в коллективах разработчиков, и разработанные к тому времени приемы, модели, методы исследования операций не соответствовали новым требованиям и условиям из-за свойственных им ограничений. Потребовались новые подходы, приемы и методы, которые обеспечивали возможность: анализировать с позиции поставленных целей как единый, целостный объект всю совокупность требований, условий и возможностей разработки заданного изделия новой техники; на основе результатов анализа требований формировать концепцию, замысел, структуру и облик разрабатываемого изделия; на основе концепции выполнять формализацию и решение системно согласованной совокупности реальных системных задач разработки изделия в практически допустимые сроки с практически приемлемой погрешностью.

Условия рассматриваемого периода исключали возможность разработки необходимого инструментария на основе предварительного теоретического обоснования. Эти условия диктовали свои, более жесткие требования как к новой технике, так и к организации деятельности разработчиков, испытателей и производителей. На практике, как показано в [22], на главного конструктора определенного типа военной техники возлагалась не только вся ответственность за разработку, испытания, серийное производство нового образца техники и за устранение дефектов и недостатков, выявленных в процессе боевой работы, но и за организацию совместной деятельности коллективов разработчиков, испытателей, производителей, в т.ч. кооперации предприятий от производителей готовых изделий до производителей материалов и комплектующих изделий. Деятельность коллективов системно согласовывалась по целям, задачам, срокам и ожидаемым результатам. Каждый коллектив оказывался перед необходимостью оперативно формировать собственную методологию решения реальных междисциплинарных задач с учетом их специфики. Формирование осуществлялось эмпирически на основе опыта, знаний, интуиции и предвидения сотрудников соответствующего коллектива с использованием коллективного системного мышления и метода индивидуальной генерации идей и технических решений, который позднее получил наименование «метод мозгового штурма». Главным результатом деятельности кооперации планировалось достижение превосходства в стратегически важном виде военной техники. В таком режиме работал военно-промышленный комплекс СССР в рассматриваемый период. Результаты его работы характеризуют, в частности, следующие данные [22]. Так, несмотря на эвакуацию авиазаводов во втором полугодии 1941 г. в условиях войны из европейской части страны в Сибирь и восстановление их в условиях суровой сибирской зимы и поздней весны 1942 г., в среднем ежемесячно в 1942 г. на фронт поступало 2260 боевых самолетов. Для сравнения, в целом за первое довоенное полугодие 1941 г. авиапромышленность выпустила 906 истребителей и штурмовиков. Аналогичные условия, темпы и результаты в 1942 г. характеризовали выпуск танков и артиллерии. В результате к весне 1943 г. было достигнуто качественное и количественное превосходство над противником по основным видам вооружения [22].

Очевидно, что рекордные темпы и уникальное качество изделий могли быть получены только при системно согласованной, планомерной деятельности кооперации коллективов ученых, разработчиков, испытателей, производителей определенного вида техники, что требовало системно согласованного решения множества реальных многоцелевых, междисциплинарных организационных и технических задач. В достижение такого успеха внесли весомый вклад специалисты разных профессий, в т.ч. математики, инженеры, ученые, которых много позднее стали именовать системными аналитиками. В результате в отраслях военно-промышленного комплекса накапливался опыт системно согласованного решения реальных, сложнейших, междисциплинарных задач в режиме жесткого лимита времени. Этот опыт в авиапромышленности был обобщен и в 1940 г. выпущено пособие «Руководство для конструкторов» [22]. К сожалению, разработанные и апробированные на практике методологические средства решения

сложнейших организационных и технических системных задач были известны только узкому кругу специалистов. Практический опыт системных аналитиков в решении реальных системных задач концептуальной неопределенности в условиях жесткого лимита времени не стал достоянием широких масс специалистов и ученых различных отраслей науки и техники. Условия военного времени исключали возможность открытых публикаций оригинальных теоретических результатов и научно-технических достижений. Вместе с тем, определенный опыт системных аналитиков и основные идеи и принципы апробированных эмпирических средств в дальнейшем были обобщены в единый метод, позднее названный «методом программно-целевого планирования». Метод использовался в СССР в годы войны при разработке целевых программ выпуска военной техники, а затем — при разработке государственных пятилетних планов и всех государственных и ведомственных целевых программ.

Подобные задачи решались и в других странах. Так, командование ВВС США вскоре после начала второй мировой войны предложило Гарвардским курсам деловой администрации найти в течение года вариант решения задачи увеличения состава ВВС с 4 тыс. боевых самолетов и 300 тыс. человек личного состава до 80 тыс. самолетов и 2,5 млн. человек личного состава при условии, что затраты не превысят 10 млрд дол. США [10]. Это был в послевоенный период один из первых примеров публикации в открытой печати реальных данных разработки и применения системного подхода для решения задачи развития вооруженных сил государства.

Данная задача относится к классу задач выбора, однако является системной и существенно более сложной вследствие наличия концептуальной неопределенности. Кратко проанализируем ее специфику. Решение задачи выполнялось в начале второй мировой войны, поэтому в условиях неполноты, неопределенности, противоречивости исходной информации о возможных театрах боевых действий, и, как следствие, неопределенности степени возможного участия в боевых действиях ВВС США. Поэтому в задаче априорно не известны: показатели и критерии рационального распределения заданного количества боевой техники и численности личного состава между различными видами авиации и многие другие условия. Отсюда понятно, насколько высокими были уровни неопределенности задачи, и насколько велика сложность ее формализации и решения. И вместе с тем, задача была решена своевременно [10].

Принято считать [10], что при решении рассмотренной задачи впервые были сформированы определенные приемы, подходы и методики, которые стали основой «метода системного анализа». Заслуга развития этого метода в методологию системного анализа, его разностороннее применение и широкая популяризация в США принадлежит корпорации РЭНД, которая была создана в 1947 г. В тот же год начался процесс централизации руководства обороной страны созданием Объединенного комитета начальников штабов. Начиная с 1948 г., в различных ведомствах США начали внедряться принципы и методы системного руководства, была создана система планирования и финансирования вооружения (PPBS) [10]. В 1964 г. в Министерстве обороны были выпущены руководства и инструкции, определяющие порядок выполнения процедур системного анализа.

Третий этап становления и развития системного анализа формировался в послевоенных условиях с середины 40-х до конца 70-х годов 20 века. Этот период принципиально отличается от предыдущих периодов качественно новыми задачами, принципиальными социально-политическими изменениями в мире после окончания Второй мировой войны, уникальными научно-техническими достижениями.

В течение первого десятилетия послевоенного периода для многих стран мира главной целью было оперативное решение сложнейших междисциплинарных задач ликвидации тяжелых последствий войны и коренной перестройки экономики военного времени на решение сложнейших задач мирного времени. Системность и сложность этих задач в СССР определялись многими факторами: принципиальным отличием целей и задач промышленного производства в условиях войны, в переходный послевоенный период и в условиях мирного развития; наличием функциональной взаимозависимости различных отраслей экономики и необходимостью согласованного планирования их деятельности по целям, срокам, ресурсам, ожидаемым результатам; необходимостью согласования процессов восстановления разрушенных предприятий и процессов создания социальных условий для строителей и работников предприятий; ограниченностью материальных, финансовых и других ресурсов и дефицитом квалифицированных кадров, другими факторами и условиями.

Среди важнейших социально-политических изменений в мире особо необходимо выделить создание международных организаций ООН (1945 г.) и ЮНЕСКО (1946 г.), что открыло принципиально новые возможности международного сотрудничества стран мира в сфере образования, науки и культуры. В частности, эти даты можно полагать началом консолидации науки отдельных стран в единую мировую науку. Особая важность и практическая значимость данного процесса были по достоинству оценены значительно позже. Такой момент наступил, когда мировая наука доказала [16], что угроза глобальной экологической катастрофы на Земле может быть реальностью даже в результате продолжения ядерных испытаний, и тем более в результате ядерной войны. Доказательство было строго обосновано на основе системного анализа и моделирования на ЭВМ результатов испытаний ядерного оружия. И тогда было принято первое политическое решение — Московский договор о частичном запрещении ядерных испытаний (1963 г.).

Данный период был насыщен уникальными научно-техническими достижениями. Отметим только три таких достижения, которые в наибольшей степени способствовали развитию системного анализа. Так, год окончания мировой войны стал первым годом использования нового вида энергии — атомной (или ядерной) энергии, уникальные возможности которой были продемонстрированы США в принципиально новом виде оружия — ядерных бомбах, сброшенных в августе 1945 г. на города Хиросима и Нагасаки. Начало мирного использования ядерной энергии и рождение атомной энергетики датируется 27 июня 1954 г. пуском в СССР (г. Обнинск) первой в мире АЭС мощностью 5 МВт. Это событие стимулировало интенсивное строительство АЭС в развитых странах и ряде развивающихся стран. К началу 1976 г. в мире эксплуатировалось свыше 100 АЭС, общая мощность которых составляла около 80 тыс. МВт. В 1959 г.

в СССР создан ледокол «Ленин» — первое в мире гражданское судно с ядерной силовой установкой. В настоящее время подобные силовые установки используются в надводных и подводных боевых кораблях и в других объектах. Высочайший уровень сложности, неопределенности, системности были основными свойствами множества задач, решаемых учеными и специалистами разных областей науки и техники при создании уникальных объектов и изделий различного назначения, которые используют ядерную энергию.

Следующим важнейшим достижением, хронологически более поздним по сравнению с ядерной энергетикой, но первым в истории по уровню неизвестности, непрогнозируемости, непредвиденности проблемных ситуаций следует считать освоение космоса. Начало космонавтики положено навсегда вошедшими в историю цивилизации неповторимыми научно-техническими достижениями СССР как первооткрывателя космоса — запуск 4 октября 1957 г. первого в мире искусственного спутника Земли и первый в мире полет в космос человека — Ю.А. Гагарина 12 апреля 1961 г. Первые успехи оказались мощным катализатором развития космонавтики. К концу 70-х годов в мире было запущено свыше 2500 космических летательных аппаратов, совершено более 60 пилотируемых полетов. Были созданы космические спутниковые системы: радиосвязи и ретрансляции, метеорологических наблюдений, дистанционного зондирования для исследования природных ресурсов. Начато исследование автоматическими станциями солнечной системы: Луна, Солнце, планет Марс, Венера, Юпитер, Сатурн, Меркурий и другие. Основные результаты в освоении космоса принадлежат двум государствам — СССР (н.в. Россия) и США. В развитие космонавтики СССР существенный вклад внесли ученые и специалисты Украины. Так, на предприятиях Украины было создано 67 типов космических аппаратов, 12 космических комплексов, 4 ракетно-космических комплекса. СССР и США имеют единственные, никем неповторенные достижения. К их числу следует отнести первую высадку человека на Луну, которую совершили астронавты США Н. Армстронг и Э. Олдрин 21 июля 1969 г. Хронологически следующим уникальным, практически важным достижением является создание в СССР и эксплуатация в 1971–77 годы серии орбитальных, обитаемых космических станций «Салют», которые обеспечивали экипажу возможность непрерывного проведения различных технических и биологических экспериментов в условиях микрогравитации и микровакуума продолжительностью более 140 суток, а также проведения непрерывного исследования космоса, дистанционного зондирования Земли и наблюдения Мирового океана. Дальнейшим развитием этой серии и расширением ее возможностей был орбитальный, обитаемый космический комплекс «Мир», который непрерывно эксплуатировался более 15 лет. Затем в 2001 г. в течение нескольких месяцев был выполнен управляемый с Земли, планомерный сход его с орбиты и затопление в заранее определенном, безлюдном районе Тихого океана. Третье уникальное достижение в космосе принадлежит одновременно СССР и США. Таким достижением является совместный экспериментальный полет в июле 1975 г. космических кораблей двух стран — «Аполлон» США и «Союз» СССР. Эти корабли имели принципиальные отличия по многим аспектам, в т.ч. в системах

жизнеобеспечения. И вместе с тем, экипажи «Союза» А.А. Леонов и В.Н. Кубасов, «Аполлона» Т. Стаффорд, Д. Слейтон, В. Бранд за 8 суток полета полностью выполнили программу: дважды осуществлена стыковка, совершены неоднократные взаимные переходы экипажей, проведены совместные научные исследования и технические эксперименты. Хронологически четвертым достижением является создание космических кораблей многоразового использования серии «Спейс шатл» и на протяжении более 20 лет их периодическое применение для решения различных задач в космосе. Это практически важное достижение в освоении космоса принадлежит США. Необходимо отметить, что при освоении космоса потребовалось решение задач, равных которым по многообразию, сложности, неопределенности, системности взаимосвязей факторов и условий не было в истории. Использовались достижения и возможности практически всех наук от А до Я, от астрономии до ядерной физики.

Вначале мы кратко рассмотрели направления практической деятельности, в которых были поставлены принципиально новые, сложнейшие системные задачи, теперь проанализируем такое направление деятельности, научно-технические достижения которого в наибольшей степени способствовали развитию инструментария системного анализа и решению реальных системных задач в различных сферах жизни и деятельности человека. Уникальные достижения были обеспечены создателями вычислительной техники. Это направление деятельности берет свое начало с первых ламповых ЭВМ, разработки которых в 40-х годах независимо проводились в ряде стран. Первая в мире ЭВМ была создана в США, первая ЭВМ в Европе — в Великобритании, первая ЭВМ в континентальной части Европы и в СССР — в Украине. Эти ЭВМ были ориентированы на широкую сферу применения и открыли принципиально новые возможности в решении сложных задач в различных сферах практической деятельности. Но одновременно появилась потребность решения качественно новых задач в различных научных направлениях. В частности, в новых условиях потребовалось определить предмет исследования, выработать терминологию, описать проблематику, разработать методологию, и в конечном итоге, создать новые науки — теорию алгоритмов, теорию программирования, теорию вычислительных систем и другие. Развитие технического базиса и теоретических основ вычислительной техники осуществлялось параллельно. Так, в ряде стран одновременно с ЭВМ общего назначения разрабатывались специальные ЭВМ. В частности, в СССР разрабатывались ЭВМ для управления объектами и технологическими процессами; для научных расчетов и моделирования процессов; для обработки измерительной и радиотехнической информации; для задач учета, статистики, планирования, моделирования в экономике и другие. В США велись разработки супер-ЭВМ. Вместе с тем, ЭВМ первого поколения не удовлетворяли многие потребности практики. Принципиальные изменения в технический базис и аппаратную часть ЭВМ позволили внести следующие научно-технические достижения. Изобретение транзистора в 1948 г. обеспечило не только создание принципиально новой элементной базы для логических схем ЭВМ, но создало возможность реализации технологии непрерывно развивающейся микроминиатюризации ее функциональных элементов. В

результате количество функциональных элементов на подложке стало удваиваться каждые полтора года на протяжении 30 лет, и практически с тем же темпом возрастали вычислительные возможности ЭВМ. Новый скачок в развитии архитектуры и улучшении технических показателей ЭВМ дало изобретение в 1969 г. микропроцессора и разработка технологии его серийного производства. Наряду с развитием технической базы рациональное использование вычислительных возможностей ЭВМ и расширение сферы практических приложений обеспечивалось непрерывным совершенствованием теоретического базиса вычислительной техники, высокими темпами развития математической среды ЭВМ, быстрым совершенствованием инструментария пользователя. В результате на определенном этапе развития вычислительной техники появилась возможность непосредственное общение пользователя с техническими средствами заменить работой с прикладными программными системами. По существу, появились условия для создания универсальных удобств общения человека с ЭВМ независимо от сферы ее применения. Такие удобства были реализованы в 1976 г. изобретением персонального компьютера (ПК). Это навсегда изменило приемы и методы, которыми человечество пользовалось в работе при вычислении и оформлении их результатов, при оформлении документов, подготовке рукописей, передаче и чтении сообщений. Создание в 1977 г. дублируемого программного обеспечения для ПК, ориентированного на массового пользователя, открыло возможность массового производства операционных систем и прикладного программного обеспечения для ПК и широкого использования ПК при решении реальных задач во всех сферах практической деятельности человечества. Данные обстоятельства открыли возможность создания компьютерных систем и сетей.

Проведенный анализ показывает, что сложившаяся в рассматриваемый период ситуация в развитии общества характеризовалась, с одной стороны, непрерывно растущей потребностью решения практически важных прикладных системных проблем многопрофильного характера, а с другой стороны, появлением качественно новых возможностей их решения, которые предоставляла вычислительная техника. Эти факторы определяли необходимость рационального использования аппаратно-программных возможностей ЭВМ и настоятельно требовали разработки математического и методологического обеспечения, адекватного появляющимся потребностям практики и имеющимся возможностям вычислительной техники. Сложившиеся условия развития науки и техники определили необходимость, возможность и целесообразность системно согласованного развития трех составляющих успеха: практики (реальные задачи), теории (модели и методы решения задачи) и ЭВМ (средства автоматизации решения). Данные обстоятельства инициировали процессы формирования и теоретического обоснования методологии системного анализа и непосредственно связанных с ним научных направлений и дисциплин: общая теория систем, системотехника, компьютерная математика, прикладная математика, имитационное моделирование систем, теория вычислительных систем, проектирование вычислительных машин, теория программирования, теория автоматической обработки цифровой информации и другие.

Важнейший вклад в разработку теории, в решение сложнейших, междисциплинарных системных технических и организационных проблем и в создание сложных и больших систем различного назначения в СССР внесли труды ведущих научных школ, основателями которых являются Н.П. Бусленко, А.А. Вавилов, В.М. Глушков, Д.М. Гвишиани, А.А. Дородницын, А.П. Ершов, М.В. Келдыш, Г.В. Кисунько, С.П. Королев, Г.И. Марчук, А.Л. Минц, Н.Н. Моисеев и другие.

Трудами этих школ создан теоретический базис, математический и методологический инструментарий формализации и автоматизации на базе ЭВМ решения реальных системных проблем; практически реализована фундаментальная теоретическая парадигма системного анализа, концептуальные идеи которой заложены В.И. Вернадским, Л. фон Бергаланфи и Н. Винером; выполнены и реализованы проекты сложных технических систем различного назначения. В частности, среди многих работ, проведенных под руководством В.М. Глушкова, можно выделить разработку и реализацию малых ЭВМ серии МИР (МИР-1, МИР-2, МИР-3) и языков высокого уровня МИР и АНАЛИТИК [23]. ЭВМ МИР (Машина инженерных расчетов) впервые в мире выполняла аналитические преобразования, в т.ч. дифференцирование и интегрирование, с получением конечного результата в виде формул, а также вычислительные операции с вещественными числами произвольной разрядности, целыми числами неограниченной разрядности, точные операции над дробными рациональными числами и другие аналогичные операции. Кроме того, программирование выполнялось непосредственно с клавиатуры в период, когда ввод программ в других типах ЭВМ выполнялся с перфоленг или перфокарт.

В создание теории системного анализа и системной методологии весомый вклад внесли ученые других стран. Особо следует выделить научные труды этого периода, авторами которых являются К. Боулдинг [24], Дж. Клир [25], М. Месарович [26], Т. Саати [27], Г. Саймон [28], А. Холл [29], У. Р. Эшби [30].

Научные и технические достижения этого периода уникальны по многим свойствам. Впервые человек смог жить и работать вне Земли и побывать на Луне; впервые человек получил принципиально новый источник энергии небывалых масштабов; впервые реализована возможность автоматизации интеллектуальной деятельности человека. Были решены сложнейшие системные проблемы и созданы качественно новые отрасли промышленности и новая техносфера. Системная методология и компьютерный инструментарий развивались синхронно с ростом запросов практики и ростом сложности задач, обеспечивался баланс потребностей и возможностей их реализации.

И вместе с тем, необходимо обратить внимание на ряд важных особенностей развития системного анализа в мире. Во-первых, в динамике развития цивилизации постоянно появляются сложные и практически важные проблемы, которые неразрешимы на основе существующего арсенала теоретических и технических средств науки, в том числе и средств системного анализа. И такое положение вполне объяснимо: если нет научного предвидения соответствующей проблемной ситуации, то невозможно заранее готовить средства для ее разрешения. В таких случаях поиск средств решения начинается только после появления

проблемы. Во-вторых, нельзя не согласиться с утверждением [31], что развитие системного анализа отнюдь не походило на «триумфальное шествие» в форме последовательного победного освоения все новых и новых системных задач. Наряду со значительными успехами явно проявились и определенные трудности в реализации системного подхода, прежде всего, в слабо структурированных предметных областях: в сфере социального управления, в экологии, исследования организаций и т.п. [31]. И к концу 70-х гг. была накоплена «критическая масса» неудачных попыток применения системного подхода и системной методологии к тем или иным проблемам. Это дало повод критикам системного анализа характеризовать его как сумму методов, имеющих узко ограниченную область приложения, и говорить о несостоятельности его претензий на статус общенаучной методологии [31]. Однако эти трудности отчасти были вызваны тем, что математические и методологические средства системного анализа, успешно применяемые при решении задач, относящихся к объектам исследования одного типа, пытались механически использовать в задачах, относящихся к объектам качественно другого типа. Другой причиной сложившейся ситуации была недоступность для широкого применения арсенала математических, методологических и вычислительных средств системного анализа, который разрабатывался и успешно использовался в оборонных отраслях, а также в космонавтике и ядерной отрасли. Вместе с тем, появились важные практические проблемы, которые были неразрешимы на основе имевшегося на тот момент открытого арсенала математических и методологических средств системного анализа. И поэтому сложившаяся ситуация в системной методологии в конце 70-х годов была признана как «методологический кризис» [31]. Особенности и динамика этого кризиса определялись многими причинами. Одной из главных причин явилось быстрое увеличение темпов роста сложности и масштабов реальных системных проблем, обусловленное глобализацией мировых процессов. Взаимосвязи, взаимозависимости, взаимодействия экономических, социальных, экологических и других глобальных и региональных процессов становились определяющими факторами мирового развития. В результате появился новый эффект развития, который французский экономист М. Годе четко и полно охарактеризовал короткой фразой: «будущее перестало походить на прошлое» [32, с. 181]. В этих условиях глобальные процессы мировой системы оказались под воздействием сложно структурированного, многоуровневого, иерархического множества почти непрогнозируемых, непрерывно изменяющихся позитивных и негативных взаимосвязей, взаимозависимостей и взаимодействий. Результатами такого воздействия становились «последствия непредвиденные и неприятные» [33, с. 14].

Четвертый этап развития системного анализа продолжается с начала 80-х годов прошлого века до настоящего времени. Этот этап принципиально отличается от предыдущих этапов глобализацией мировых процессов и угроз. С одной стороны, глобализация экономических, социальных, информационных и других процессов открывает новые возможности использования достижения научно-технического прогресса. В частности, глобализация информационных процессов и телекоммуникационных сетей создала условия для быстрого обмена информацией, появления системы дистанционного обучения, создания информационного рынка и электронной

коммерции, и ряд других новшеств [34, 35]. С другой стороны, неодинаковая доступность к информации народов развитых и развивающихся стран приводит к несовершенной конкуренции и социальному неравенству [36]. Появились проблемы [37], которые обусловлены спецификой распространения информации по Internet. Среди них проблемы защиты информации, интеллектуальной собственности, транзакционных сведений и т.п., а также проблемы компьютерных вирусов и других преднамеренных несанкционированных воздействий на компьютеры.

В конце 70-х годов 20 века особое значение приобретают процессы глобализации экономических, социальных, экологических, техногенных угроз. Человечество вступило в такой период своего развития, когда становилось реальностью предвидение В.И. Вернадского о том, что хозяйственная деятельность человека способна поставить планету на грань глобальной экологической катастрофы [38]. Экономическое и социальное развитие общества пришло в явное противоречие с ограниченными возможностями Природы. Налицо истощение естественных ресурсов суши и океана, безвозвратная потеря различных видов растений и животных, техногенное нарушение биогеохимических круговоротов вещества, загрязнение всех составляющих природной среды, деградация экосистем. Непрерывно обостряются четыре категории угроз, связанных с изменениями в окружающей среде [38]:

- 1) непосредственные угрозы существованию человека (голод, болезни, радиация и др.);
- 2) угрозы территориям (опустынивание, подъем уровня океана, трансграничный перенос загрязнений, изъятие стока рек странами, расположенными в верхнем течении рек и др.);
- 3) угрозы системам пресной воды, лесам и др.;
- 4) угрозы экономическому развитию (дефицит природных ресурсов, неравномерность экономического положения и динамики развития стран, нестабильность финансовой системы и рынков и др.).

Общую ситуацию взаимосвязи, взаимозависимости и взаимодействия реальных проблем различных областей практической деятельности, сложившуюся в тот период в мире, описал образно и конкретно А. Печчеи, экономист, бизнесмен, общественный деятель, инициатор создания международной научной организации «Римский клуб». О его деятельности и роли в становлении глобальной проблематики подробно изложено в [39]. В своей книге [40, с.119–121] А. Печчеи доказывал следующее: «Нет больше экономических, технических или социальных проблем, существующих отдельно, независимо друг от друга, которые можно было бы обсуждать в пределах одной специальной терминологии и решать не спеша, по отдельности, одну за другой. В нашем искусственно созданном мире буквально все достигло небывалых размеров и масштабов: динамика, скорость, энергия, сложность — и наши проблемы тоже. Они теперь одновременно и психологические, и социальные, и экономические, и технические, и вдобавок еще и политические; более того тесно переплетаясь и взаимодействуя, они пускают корни и дают ростки в смежных и отдаленных областях». Затем А. Печчеи перечисляет процессы и факторы, которые являются причинами сложившейся ситуации. Среди них: неравенство и неоднородность общества; социальная несправедливость,

голод, недоедание и бедность; неграмотность, безработица, ощущение нестабильности и упадок моральных ценностей; рост преступности и насилия; деградация окружающей среды и потенциальный или уже существующий недостаток природных ресурсов; и еще достаточно длинный перечень. Далее, он приходит к выводу, что важнейшей причиной сложившейся ситуации является неосознанность взаимосвязей и взаимозависимости этих факторов, процессов и проблем, образующих сложный, запутанный клубок. Поэтому необходимо предпринять решительные меры по оцениванию и разъяснению сути проблем, пока еще не стало слишком поздно. Такие цели поставлены перед Римским клубом.

Римский клуб, официальной датой основания которого считается 1972 г., сформулировал следующие три основных принципа своей деятельности [39]:

- глобальное видение исследуемых проблем с учетом возрастающей взаимосвязи и взаимозависимости всех стран и народов мира и формирования единой мировой системы, для существования и развития которой необходимо решать общими усилиями глобальные проблемы, частные, локальные решения которых не обеспечивают достижение целей развития цивилизации;

- холистический подход при выявлении и понимании взаимосвязей между возникающими проблемами — политическими, социальными, экономическими, технологическими, экологическими, психологическими, культурными, каждая из которых соотносится с остальными так, что очевидное на первый взгляд решение может отразиться на решении других, усложняя его;

- концентрация внимания в основном на долгосрочных проблемах, которые выпадают из рассмотрения, хотя представляют со временем серьезнейшую опасность для будущего человечества.

Клуб принял парадигму органического роста и холистического развития, в т.ч. следующие ее положения [39]:

- развитие должно быть систематическим, многоаспектным и взаимозависимым, когда ни один элемент системы не может расти за счет других;

- непротиворечивость мира должна гарантироваться координацией целей;

- главный аспект сосредоточить на качестве развития, которое должно быть направлено на рост благосостояние человеческой личности.

Римский клуб за четверть века своего существования сделал многое для понимания состояния и динамики развития глобальной проблематики, возможных отрицательных последствий [39–45]. За этот период под воздействием результатов деятельности Клуба созданы также другие международные организации, в т.ч. Международный институт прикладного системного анализа, который выполнил, в частности, ряд важных программ по экологии и рискам, определенные результаты и сведения о которых отражены в [46]. И вместе с тем, продолжая исследовать современное состояние мира, в котором за последние 15 лет произошли фундаментальные изменения, Римский клуб вынужден признать, что положение в глобальной проблематике не только не улучшилось, но и

продолжает ухудшаться [39, 43–45]. Имеется много разных причин, в т.ч. политических, экономических, социальных и других, которые препятствуют разработке и реализации рациональных стратегий совместных действий всего человечества для предотвращения надвигающейся глобальной катастрофы. Отметим одну из важнейших методологических причин: современная методология системного анализа не соответствует глобальной, многоуровневой, иерархической, междисциплинарной, многофакторной структуре современной глобальной проблематике и глобальной, многоуровневой, иерархической структуре информационных компьютерных систем и сетей, которые являются потенциальным инструментарием исследования глобальной проблематики. Одним из направлений устранения недостатка можно считать последовательную разработку концепций, стратегий и программ решения наиболее важных проблем современности. К их числу, в первую очередь, следует отнести проблемы: предвидения качественных и количественных изменений в различных сферах практической деятельности [47–50], управления рисками и безопасностью сложных технических систем, техногенно и экологически опасных процессов [51–56], развития интеллектуальных информационных технологий и сетей поддержки научных исследований [57], системного анализа взаимоотношений Природы и Общества на основе глобального экологического мониторинга, оценивания тенденций и управления развитием мировой экологической обстановки [38, 58] и другие. И на этой основе требуется обеспечить формирование многоуровневой, иерархической структуры метаметодологии системного анализа глобальной проблематики.

3. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КАК ПРИКЛАДНАЯ НАУЧНАЯ ДИСЦИПЛИНА

Рассмотрим роль и место системного анализа в современной классификации наук. Современные научные дисциплины принято делить на два фундаментальных класса [25]: 1) класс научных дисциплин, изучающих определенный тип объекта; 2) класс дисциплин, изучающий определенный тип отношений между объектами. К первому классу относятся дисциплины традиционного разделения отраслей науки и техники, каждая из которых занимается определенным типом объектов — физические, химические, биологические, политические, экономические, социальные. При этом типы отношений между объектами могут быть различными. Ко второму классу относятся научные дисциплины, предметом изучения которых является определенный тип отношений между объектами, а тип объектов может быть произвольным, не фиксируется. К данному классу относятся: кибернетика, теория управления, теория принятия решений и т.д. Эти два класса в определенном смысле можно рассматривать как ортогональные [25].

Системный анализ не относится ни к одному из этих классов, поскольку его проблематика включает существенно более широкий круг задач, чем в науках указанных классов. Действительно, во многих реальных сложных проблемных ситуациях требуется на основе единых целей, принципов, критериев исследовать свойства ряда определенных типов объектов (физических, химических и т.п.); взаимодействия, взаимозависимости и другие отношения между различными объектами;

взаимосвязи, взаимодействия, взаимозависимости и другие отношения между различными процессами объектов разных классов; взаимосвязи, взаимодействия, взаимозависимости и другие отношения между различными объектами и различными процессами. Очевидно, подобные проблемные ситуации были при подготовке и выполнении первого полета человека в космос и при других мероприятиях по освоению космоса; при разработке и реализации инновационных проектов сложных технических систем различного назначения, не имеющих аналогов и прототипов; при управлении системами гидротехники, гидроэнергетики, мелиорации в условиях сезонных колебаний температур, уровней грунтовых и паводковых вод, параметров грунтовой среды; аналогичные ситуации в других сферах практической деятельности. В качестве примера решения практически важной системной задачи данного класса следует отметить теоретические результаты системного исследования свойств объектов гидротехники при одновременном воздействии взаимосвязанных процессов влагопереноса и теплопереноса [59]. Результаты этой работы позволяют получить реальные оценки состояния объекта и выполнить локальный и глобальный прогноз его поведения в перспективе.

Проведенный краткий анализ позволяет сделать вывод, что системный анализ как прикладная научная дисциплина позволяет с единой позиции заданных целей исследования изучать на основе единых принципов и критериев свойства объектов, свойства отношений между объектами, свойства отношений между процессами, свойства отношений между объектами и процессами, при этом изучить как отдельно любое из отношений, так и любое сочетание этих отношений. Следовательно, системный анализ принципиально отличается от аксиоматических научных дисциплин и подходов, которые изучают автономно, или только отдельные объекты или только процессы, или только отношения. Поэтому системный анализ в соответствии с классификацией Дж. Клира [25] следует рассматривать как многомерную научную дисциплину.

Отметим еще одно принципиальное отличие прикладного системного анализа от традиционных одномерных дисциплин. Суть этого отличия состоит в различии методологии и целей исследования. Так, в основе традиционных дисциплин лежит аксиоматическая теория, которая строится на определенной системе предположений (аксиомы, постулаты, допущения). При этом главная цель исследования — доказать, что при введенных допущениях, аксиомах и ограничениях сформулированная задача разрешима; обосновать, что методы ее решения обладают определенными свойствами (сходимость, точность, сложность, существование решения и т.д.). А вопрос о том, существует ли практическая интерпретация сформулированной теории, реализуемы ли на практике введенные теоретические ограничения и допущения не является целью исследования этих дисциплин. Ответы на эти вопросы ищут специалисты-прикладники, цель которых — найти практические интерпретации аксиоматических теорий и создать методические средства для определенного использования этих теорий на практике.

Системный анализ является прикладной научной дисциплиной и его методология базируется не только и не столько на аксиомах, сколько на эвристических подходах, методах, алгоритмах. Системный анализ в отличие

от аксиоматических дисциплин ставит прямо противоположную цель исследования: есть реальная задача, для которой известны практические физические, технологические, экономические и другие ограничения. Требуется найти или создать систему приемов, моделей и методов, которые позволят получить ее решение с практически приемлемой точностью за практически допустимое время при приемлемых затратах ресурсов. При этом системный анализ исследует все многообразие свойств объекта с позиции достижения принятой цели исследования объекта как единого целого. В то время как аксиоматические дисциплины могут изучать отдельные определенные свойства объекта с позиции анализа только этих свойств без учета влияния на них других свойств объекта. Например, при исследовании прочностных свойств объекта не учитываются такие свойства как технологичность, технико-экономическая эффективность и др. И, наоборот, при исследовании технико-экономической эффективности не учитываются прочностные и иные конструктивные свойства.

Следующее отличие аксиоматических дисциплин и прикладного системного анализа заключается в различии исходного информационного обеспечения. В аксиоматических дисциплинах полагается заданной вся информация, которая необходима для формализованного описания объекта исследования. В частности, полагаются известными: показатели, которые характеризуют изучаемые свойства объекта; зависимость этих показателей от показателей внешних воздействий и управления; критерии, по которым можно оценивать степень достижения цели исследования; допущения и ограничения на показатели и критерии; другая дополнительная информация, которая характеризует свойства и особенности исследуемого объекта. При этом исходной информации достаточно, чтобы разработать содержательную формулировку и математическую постановку задачи исследования объекта. Более того, часто в качестве исходной информации приводится полная математическая постановка задачи с необходимыми функциональными зависимостями, критериями, ограничениями и допущениями.

Принципиально иной уровень информационного обеспечения является характерным для прикладных задач системного анализа. Прежде всего, исходная информация об объекте исследования отличается неполнотой, неточностью, нечеткостью и противоречивостью. При этом, как правило, отсутствует практически важная информация, в том числе, критерии оценивания степени достижения целей исследования. Более того, в ряде случаев, в частности, при проектировании сложных систем ставятся противоречивые цели к заданным техническим, эксплуатационным, технологическим показателям и характеристикам. Требуется найти рациональный компромисс, однако условия и критерии компромисса должны быть выбраны и обоснованы в процессе системного анализа. Данный перечень особенностей информационного обеспечения прикладных системных задач можно существенно расширить. Все они приводят в конечном итоге к тому, что в общем случае задачи системного анализа реальных объектов являются принципиально неформализуемыми, поскольку содержат принципиально неформализуемые процедуры. К таким процедурам относятся, например, выбор критериев, условий рационального компромисса и т.д. Решение реальных системных задач, например, при проектировании изделий новой техники, осуществляется на основе

рационального использования интеллектуальных возможностей человека и математической среды современных компьютерных систем и сетей, возможностей эвристических приемов и процедур, возможностей компьютерной математики.

Системный анализ — это следующий шаг в развитии современной науки, а именно, переход от одномерной науки к многомерной, в которой всесторонне исследуются не только собственно система, но и условия ее создания и функционирования, а также условия управления функционированием системы в штатных, нештатных, критических и чрезвычайных ситуациях с позиции минимизации воздействия факторов риска [55,56].

На основании изложенного, предлагается следующее определение системного анализа как прикладной научной дисциплины.

Прикладной системный анализ — это научная дисциплина, которая на основе системно организованных, структурно взаимосвязанных и функционально взаимодействующих эвристических процедур, методологических средств, математического аппарата, программного обеспечения и вычислительных возможностей компьютерных систем и сетей обеспечивает в условиях концептуальной неопределенности получение и накопление информации об исследуемом предмете для последующего формирования знаний о нем как едином, целостном объекте с позиции поставленных целей исследования и принятия рационального решения в условиях разнородных многофакторных рисков.

Теперь кратко рассмотрим роль и место системного аналитика в практической деятельности. Наиболее распространенной ролью системного аналитика является практическая деятельность при взаимодействии человек \Leftrightarrow объект \Leftrightarrow среда, где человек должен формировать цели и объект системного исследования, формализовывать и решать системные задачи в условиях неопределенности. Например, при разработке изделий новой техники конструктор должен обосновать Техническое предложение, цели и требования к качеству изделия и ограничения, которые определяются условиями эксплуатации, т.е. внешней средой, далее должен реализовать требуемое качество изделия. Требования, как правило, противоречивы, а поиск рационального компромисса — субъективная процедура. Отсюда следует, что при одних и тех же исходных данных различные ЛПР могут получать решения, которые существенно различаются между собой практически по подавляющему большинству показателей. В условиях многообразия изделий одинакового назначения или множества вариантов технических решений изделия естественно появляется необходимость оценки и сопоставления качества различных вариантов. Для решения такой задачи появляется необходимость в иной роли системного аналитика. В соответствии с принципом дополнительности К. Гёделя для оценки качества однотипных изделий необходимо перейти к более мощной системе критериев. Эту задачу решает системный аналитик, который формирует систему дополнительных критериев, например, систему критериев конкурентоспособности продукции. В результате из множества вариантов выбирается лучший по критериям конкурентоспособности. По мере перехода от задачи исследования или разработки технической системы к сложным, большим и другим системам качественно возрастает сложность

задачи и соответственно требования к уровню системного мышления, интеллекту, интуиции и предвидения системного аналитика. Наиболее ярким примером уникального предвидения можно считать предвидение С.П. Королева свойств лунного грунта при разработке Лунохода в условиях концептуальной неопределенности свойств поверхности Луны [60].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показывает, что в становлении и развитии системного анализа как прикладной научной дисциплины можно выделить следующие четыре этапа.

Первый этап становления системного анализа был периодом появления и формирования системного мышления, главные теоретические источники которого создавались независимо друг от друга. Он относится к первой половине 20 века и характеризуется независимым появлением, разнесенными во времени публикациями философских и методологических идей, принципов, подходов, которые позднее стали основой нового научного направления, получившего название «системный анализ». Важнейшим итогом первого этапа следует считать создание идейной базы для формирования новой фундаментальной парадигмы в науке. Основные идеи данной парадигмы, отражающие ее различные аспекты, независимо представлены в трудах В.И. Вернадского, Л. фон Берталанфи и Н. Винера. Труды Л. фон Берталанфи и Н. Винера были опубликованы в конце первой половины 20 века, и этим событием был завершен процесс создания главных теоретических источников системного мышления. Таким образом, первый этап является этапом формирования теоретического базиса системного мышления.

Второй этап становления системного анализа формировался в чрезвычайных условиях с начала 30-х до конца 40-х годов 20 века. Это был период появления практической необходимости оперативного решения реальных сложных системных задач государственного значения, создания различных технических систем военного назначения в условиях жесткого лимита времени. Разработка методологического аппарата выполнялась эмпирически и независимо в различных организациях разных стран. Обмен опытом был исключен условиями военного времени. В результате были созданы эмпирические предпосылки формирования парадигмы системного анализа как методологии решения реальных системных задач в практически допустимые сроки с практически приемлемой погрешностью в условиях концептуальной неопределенности. Поэтому данный этап можно считать этапом эмпирического формирования системной методологии.

Третий этап становления и развития системного анализа формировался в послевоенных условиях с середины 40-х до конца 70-х годов 20 века. Этот этап принципиально отличается от предыдущих периодов качественно новыми задачами, принципиальными социально-политическими изменениями в мире, уникальными теоретическими и практическими научно-техническими достижениями. Был создан теоретический базис математического и методологического инструментария формализации и автоматизации на базе ЭВМ процедур решения реальных

сложнейших организационных и технических системных проблем в различных сферах практической деятельности. Созданы принципиально новые отрасли — космонавтика, атомная энергетика, микроэлектроника и вычислительная техника. Разработаны, созданы и введены в эксплуатацию сложные и большие уникальные технические системы различного назначения. Теоретически обоснованы и практически реализованы в специальном математическом и программном обеспечении базовые принципы фундаментальной парадигмы системного анализа, идейная основа которой сформирована трудами В.И. Вернадского, Л. фон Берталанфи и Н. Винера. Это был этап синхронного развития теории системного анализа и практики системных исследований. Одновременно к концу периода появились глобальные системные проблемы, которые были неразрешимы на основе имевшегося на то время арсенала математических и методологических средств системного анализа.

Четвертый этап развития системного анализа продолжается с начала 80-х годов прошлого века до настоящего времени и является периодом глобализации мировых процессов и угроз. Мировые процессы развития характеризуются высокими темпами глобализации и непрерывным возрастанием сложности взаимозависимости и взаимодействия. Определяющим принципом системных исследований становится глобальное видение исследуемых проблем с учетом возрастающих взаимосвязей и взаимозависимостей всех стран и народов мира. Главной целью исследований становится достижение такого системно согласованного, взаимозависимого развития всех компонентов цивилизации, при котором ни один элемент мировой системы не может расти за счет других. Для достижения этой цели необходимо сосредоточить усилия на ускорении преодоления методологического кризиса, проявившегося в конце 70-х годов прошлого столетия. Современная методология прикладного системного анализа не соответствует глобальной, многоуровневой, иерархической структуре разнородных, многофакторных, многофункциональных взаимосвязей, взаимозависимостей и взаимодействий объектов исследования современной глобальной проблематики и недостаточно использует потенциальные возможности глобальной, многоуровневой, иерархической системы информационных компьютерных сетей. Одним из перспективных направлений устранения недостатков можно считать оперативную, последовательную разработку концепций, стратегий и программ исследования наиболее важных глобальных проблем современности. И на этой основе целесообразно выполнять формирование многоуровневой, иерархической структуры метаметодологии системного анализа глобальной проблематики, обеспечив ее системное, функциональное согласование с иерархической структурой взаимосвязей, взаимозависимостей и взаимодействий объектов исследования и соответственно с иерархической структурой информационных компьютерных систем и сетей как инструментальной основы ее реализации. Таким образом, четвертый этап является этапом глобализации системной проблематики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Берталанфи Л. фон.* История и статус общей теории систем // Системные исследования. Ежегодник 1973. Ин-т ист. естествозн. и техн. — 1973. — С. 20–37.
2. *Наппельбаум Э. Л.* Системный анализ как программа научных исследований: структура и ключевые понятия // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1979. — Наука. — 1980. — С. 55–77.
3. *Берталанфи Л. фон.* Общая теория систем — обзор проблем и результатов // Системные исследования. Ежегодник. Ин-т ист. естествозн. и техн. — 1969. — С. 30–54.
4. *Юдин Б.Г.* Некоторые особенности развития системных исследований // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1980. — Наука. — 1981. — С. 7–22.
5. *Дорошенко С. И.* Наукометрические показатели массива советской литературы по системным исследованиям // Системные исследования: Ежегодник, 1978. — М.: Наука — 1978. — С. 127–135.
6. *Садовский В.Н.* Системный подход и общая теория систем: статус, основные проблемы и перспективы развития // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1979. — М.: Наука. — 1980. — С. 29–54.
7. *Садовский В.Н.* Смена парадигм системного мышления // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1992–1994. — М.: Эдиториал УРСС. — 1996. — С. 64–78.
8. *Емельянов С.В., Наппельбаум Э.Л.* Методы исследования сложных систем. 1. Логика рационального выбора // Итоги науки и техники. Техн. киб. — М.: Изд-во ВИНТИ — 1977. — 8. — С. 5–101.
9. *Емельянов С.В., Наппельбаум Э.Л.* Методы исследования сложных систем. 2. Выбор в условиях неопределенности // Итоги науки и техники. Техн. киб. — М.: Изд-во ВИНТИ — 1977. — 9. — С. 169–242.
10. *Никаноров С.П.* Системный анализ: этап развития методологии решения проблем в США. С. 7–43. В кн. *С.Л. Оптнер.* Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. — М.: Мир. — 1969. — 126 с.
11. *Панкратова Н.Д.* Формирование целевых функции в системной задаче концептуальной неопределенности // Доп. НАН України. — 2000. — №.9. — С. 67–73.
12. *Квейд Э.* (ред.) Анализ сложных систем. — М.: Сов. Радио. — 1969. — 519 с.
13. *Enthoven A.C.* System Analysis — Grand Rules for Constructive Debate. // Air Force Magazine, Jan.. — 1968. — P. 33–40.
14. *Checkland P. B.* Systems Thinking, Systems Practice. — Chichester: J. Wiley and Sons, 1986. — 402 p (first edition — 1981).
15. *Gharajedaghi Ja.* Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity. A Platform for Designing Business Architecture. — Boston: Butterworth-Heinemann, 1999. — 308 p.
16. *Мусеев Н.Н.* Алгоритмы развития. — М.: Наука, 1987. — 303 с.
17. *Вернадский В.И.* Учение о биосфере и ее постепенном переходе в ноосферу. Изд. 3-е. — М.: Наука. — 1978
18. *Богданов А.А.* Всеобщая организационная наука, или тектология. Т. 1–3 — М.: 1913–1929.
19. *Bertalanffy L. von.* General System Theory. Foundations, Development, Applications. — N.Y. Braziler 1971. (Изд. 1.-е, ФРГ, 1945). *Берталанфи Л. фон.* Общая теория систем. Изд. 2-е. — М.: — Мир, 1960. — 328 с.

20. *Wiener N*, Cybernetics. M. I. T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1948. *Винер Н.* Кибернетика или управление и связь в животном и машине. — М.: Наука, 1983. — 343 с.
21. *Kotarbinski T*. Praxiology. An Introduction to the Sciences of Efficient Action. Oxford, 1965. *Котарбинский Т.* Праксеология. — М.: Экономика. — 1983.
22. *Яковлев А.С.* Цель жизни (записки авиаконструктора). — М.: Политиздат, 1972. — 628 с.
23. *Сергиенко И.В., Капитонова Ю.В.* В.М. Глушков — пионер математической теории вычислительных систем и основатель Института кибернетики НАН Украины // Труды Международного симпозиума по истории создания первых ЭВМ и вкладе европейцев в развитие компьютерных технологий. «Компьютеры в Европе: прошлое, настоящее и будущее». Киев. 5–9 октября 1998. — С. 17–24.
24. *Boulding K*. General systems theory-solution of science // «General Systems Year Books», l. 1, Univ. of Michigan. Press, Ann Arhor, Michigan, 1956.
25. *Клир Дж.* Системология. Автоматизация решения системных задач. — М.: Радио и связь, 1990. — 540 с.
26. *Месарович М., Тахакара Я.* Общая теория систем: математические основы. — М.: Мир, — 1978. — 311 с.
27. *Саати Т., Кернс К.* Аналитическое планирование. Организация систем. — М.: Радио и связь, 1991. — 224 с.
28. *Simon H. A.* Administrative behavior. — New York: Free Press. 1957. *Саймон Г.* Наука об искусственном. — М.: Мир, 1972.
29. *Холл А.* Опыт методологии для системотехники. — М.: Сов.радио, 1975. — 448 с.
30. *Эшби У. Р.* Введение в кибернетику. — М.: ИЛ, 1959. — 432 с.
31. *Келле В.В.* Переосмысление системной методологии: версия П. Чекленда // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1995—1996. — М.: Эдиториал УРСС, 1996. — С. 376 – 389.
32. *Godet M*. Reducing the Blunders in Forecasting // Futures, 1983. — **15**. — №3. — P. 181–192.
33. *Форрестер Дж.* Мировая динамика. — М.: Наука, 1978. — 167 с.
34. *Сергиенко И.В.* Об основных направлениях развития информатики // Кибернетика и системный анализ. — 1997. — № 6. — С. 3–93.
35. *Панкратова Н.Д.* Общие тенденции и системные проблемы развития информационных технологий // Проблемы управления и информатики. — 1999. — № 1. — С. 58–68.
36. *Эроу К.* Информация и экономическое поведение // Вопросы экономики. — 1995. — №5. — С. 101
37. *Forester T*. Megatrends or Megemistrakes ? What ever happened to the information society? // Inf. Soc. —1992. — **8**, № 3. — P. 133–146.
38. *Марчук Г.И., Кондратьев К.Я.* Проблемы глобальной экологии. — М.: Наука, 1992. — 264 с..
39. *Гвишиани Д.М.* Аурелио Печчеи и становление глобальной проблематики // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1992-1994. — М.: Эдиториал УРСС, 1996. — С. 7–28.
40. *Печчеи А.* Человеческие качества. Изд.2-е.—М.: Прогресс, 1985. — 312 с.
41. *Meadows D.L.* Beyond the Limits to Growth // «Global Environment and Local Action», The Club of Rome Conference in Fukuoka, Japan, 1992 . — P. 35–46.
42. *Пестель Э.* За пределами роста. — М.: Прогресс, 1988. — 268 с.
43. *Медоуз Д.* Пределы роста. — М.: Изд-во Моск.ун-та, 1991. — 205 с.

44. *Медоуз Д.Л.* За пределами роста. //Системные исследования. Методологические проблемы. 1992–1994. — М.: Эдиториал УРСС, 1996. — С. 29–40.
45. *Сидорина Т.Ю.* Пределы роста: 20 лет спустя //Системные исследования. Методологические проблемы. 1992–1994. — М.: Эдиториал УРСС, 1996. — С. 41–46.
46. *Гвишиани Д.М.* Международный институт прикладного системного анализа: цели, основные перспективы //Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1987. — М.: Наука, 1987. — С. 7–25.
47. *Згуровський М.З.* Системна методологія передбачення. — Київ: Політехніка, 2001. — 50 с.
48. *Zgurovsky M.* Technology Foresight in Ukraine // The proceedings of the UNIDO Technology Foresight Conference for Central and Eastern Europe and Newly Independent States. — Vienna, april 4–5, 2001. — P. 140–151.
49. *Згуровський М.З.* Шляхи нашого відродження. Науково-публіцистичні нариси. — К.: Генеза, 2002. — 176 с.
50. *Moral Jesus E.A.* The Most Commonly Applied Methodologits in Technology Foresight. // The proceedings of the UNIDO Technology Foresight Conference for Central and Eastern Europe and Newly Independent States. -Vienna, april 4–5, 2001. — P. 170–178.
51. *Сергиенко И.В., Яненко В.М., Атоев К.Л.* Общая концепция управления риском экологических, техногенных и социогенных катастроф // Кибернетика и системный анализ. — 1997. — №2. — С. 65–86.
52. *Ermoliev Yu.M., Ermolieva T.Yu., MacDonald G.J., Norkin V.I., Amendola A.* A System Approach to Management of Catastrophic Risks //European Journal of Operational Research. — 2000, № 122. — P. 452–460.
53. *Pankratova N.D.* System Minimization of Multifactor Risks in Dynamics of Critical Situations //Proceedings of the Second World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization. May 26–30, 1997, Zacopane, Poland. International Society for Structural and Multidisciplinary Optimization ISSMO. — 1997. — 1.2. — P. 619–624.
54. *Pankratova N.D.* A System Analysis of Multifactor Risks in Conditions of Uncertainty. //Proceedings of the XV IFIP World Computer Congress. Vienna/Austria and Budapest/Hungary, 31 August–4 September, 1998. CD-ROM, file: /doc/000/000/665.htm
55. *Панкратова Н.Д., Курилин Б.И.* Концептуальные основы системного анализа рисков в динамике управления безопасностью сложных систем. Ч. 1. Основные утверждения и обоснования подхода. //Проблемы управления и информатики. — 2000. — № 6. — С. 110–132.
56. *Панкратова Н.Д., Курилин Б.И.* Концептуальные основы системного анализа рисков в динамике управления безопасностью сложных систем. Ч. 2. Общая задача системного анализа рисков и стратегия ее решения //Проблемы управления и информатики. — 2001. — № 2, — С. 108–126.
57. *Палагин А.В.* Концепция системной интеграции в инновационных стратегиях // Управляющие системы и машины. — 2001. — № 2. — С. 6–9.
58. *Моисеев Н. Н.* Расставание с простотой. — М.: Аграф, 1998. — 480 с.
59. *Скопецкий В.В., Марченко О.А., Лежнина Н.А.* Системный анализ объектов, находящихся под влиянием взаимодействующих процессов // Кибернетика и системный анализ. — 2001. — № 6. — С. 54–66.
60. *Академик С.П. Королев.* Ученый. Инженер. Человек. Творческий портрет по воспоминаниям современников. Сб. статей. — М.: Наука. — 1986. — 519 с.

Поступила 10.10.2001