

УДК 004.5
Код ГРНТИ 20-01.07

doi 10.54708/19926502_2026_30211213

Проблемы полисистемного моделирования

С.Г. Маслов*, А.П. Бельтюков

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

Аннотация. Уточняется понятие полисистемного моделирования для построения моделей физико-антропо-технических систем (систем «природа-человек-техника»). Такая полисистема строит материально-информационные потоки, включая биологические, и управляет ими. Основная роль в построении такой системы и управлении ею принадлежит человеку, в процессе деятельности которого может быть использована интеллектуальная и физическая поддержка со стороны самой полисистемы. Производится критический анализ возможностей такого моделирования, призванных улучшить качество процессов и решения жизненно важных задач. Анализируется опыт, накопленный в других областях (геоинформационные, лингвистические, психологические, биологические, математические и другие системы), который говорит об отсутствии сквозной интегрированной технологии такого моделирования, учитывающей все компоненты, вовлеченные в процесс движения от идеи до ее реализации и использования. Предлагается подход к построению такой технологии, который обеспечивает непрерывность процессов решения задачи и компактность ее описания. Предполагается, что процесс решения задачи имеет расслоенный характер. По отношению к этим слоям процесс содержит вертикальный (межслоевой) и горизонтальный (внутрислоевой) компьютеринг. Подход включает использование управления степенями свобод, присущих рассматриваемым моделям. Рассматриваются разрезы и проекции общетеоретических моделей для получения компактных инженерных решений для конкретных задач. Классифицируются и описываются проблемы полисистемного моделирования и некоторые концептуальные их решения, а также некоторые иллюстрирующие примеры. Новизна подхода заключается в предлагаемой архитектуре инструментальной среды, предназначенной для полисистемного моделирования. Это позволяет строить в рамках физико-антропо-технической системы индивидуальную и коллективную деятельность, привести к разумно целостному виду интеллектуальную и физическую активность человека с учетом пространства, ресурсов и процессов жизнедеятельности. Работа имеет целью активизацию исследований в рассмотренном направлении.

Ключевые слова: полисистемное моделирование, расслоенное описание, степени свободы, компьютеринговые модели, конструктивная логика, тензорное моделирование, жизненно важные задачи.

*msh.sci@mail.ru

Введение

В современной жизни возрастает потребность в более адекватных системах, которые создаются для решения сложных жизненных проблем на междисциплинарной основе с существенным дефицитом разнообразных ресурсов и другими противоречивыми факторами, неопределенностью, глобальными изменениями технологических и экономических процессов. В этой ситуации повышается роль фундаментальных и прикладных исследований, создающих основу развития систем знаний и моделирования, технологий систем поддержки когнитивной и конструктивной деятельности человека, которые коренным образом меняют жизненный уклад и качество жизни человека, стремятся к разумному использованию ресурсов.

Здесь существенная роль отводится полисистемному анализу и моделированию (часто используются термины «система систем», «полиструктура», «полимодельные комплексы», ...), которые успешно развиваются в решении многих проблем.

В этом контексте рассматриваемая тема актуальна. Работа имеет целью активизацию исследований в рассмотренном направлении. Полисистемное моделирование активно расширяет свои границы и области применения. Следует также отметить, что полисистемное моделирование при построении сложных систем опирается на междисциплинарное знание. Кроме того, здесь требуется развитие вычислительного мышления и компьютеринговой среды.

Компьютерная среда реализует вычисления, которые могут быть классифицированы по различным основаниям: численные и нечисленные, структурные и бесструктурные, точные и приближенные, символьные и бессимвольные. Она также опирается на мультимодальные формы представления знаний, что важно для человека также, как использование нетрадиционных вычислительных сред.

Новизна подхода заключается в предлагаемой архитектуре инструментальной среды, предназначенной для полисистемного моделирования. Это позволяет строить в рамках физико-антропо-технической системы индивидуальную и коллективную деятельность, привести к разумно целостному виду интеллектуальную и физическую активность человека с учетом пространства, ресурсов и процессов жизнедеятельности.

Современные работы по рассматриваемой тематике относятся к решению следующих проблем: геоинформационных [1–4], лингвистических и культурологических [5–7], психологических [8–11], биологических [12–15], системной инженерии [16–20], теории управления [21, 22] и др.

О полисистемах

Полисистема — это сложная система, которая состоит из взаимодействующих систем (т.е. взаимодействующих систем, имеющих общую цель), обеспечивающих решение важной проблемы жизнедеятельности.

Таблица 1. Определения понятий «система» и «полисистема» с разными авторами.

Система	Полисистема
Дж. Клир: формально система объекта (система на объекте) – это $O = (\{a_i, A_i\} i \in N_n\}, \{b_j, B_j\} j \in N_m\}$, где $N_n = \{1, 2, \dots, n\}$, а $N_m = \{1, 2, \dots, m\}$ (N с положительным целым индексом – множество значений целых положительных чисел от 1 до значения этого индекса); через a_i и A_i обозначены соответственно свойство и множество его проявлений; b_j и B_j – база и множество ее элементов, а O – система объекта.[23] В. Смолянинов: система S образуется парой множеств – множеством элементов E и множеством связей R: $\{E, R\} = S$ {элементы, связи} система.[24] В. Вольфенгаген: совокупность формальных высказываний, относительно параметров которых указывается, что они имеют некоторые свойства или между которыми фиксируются некоторые отношения.[25]	И. Эвен-Зохар: это множественная система, система различных систем, которые пересекаются друг с другом и частично перекрываются, используя одновременно разные варианты, но функционируя как одно структурированное целое, члены которого взаимозависимы это разнородный и иерархически упорядоченный конгломерат систем, взаимодействие которых порождает непрерывный процесс их развития в рамках полисистемы в целом. [6] А. Черкашин: это сложная, целостная система, которая может быть подвергнута процедуре расслоения (дифференциации) на множество непересекающихся системных слоев, или моносистем. Эти моносистемы изучаются независимо друг от друга с помощью специальных методов и теорий, применимых к каждому конкретному слою.[3]

Материал анализа понятий «система систем» для системной инженерии имеется в работах [26–29].

Можно выделить следующий ряд ее структур, свойств и связанных с ней процессов:

- процесс движения от идеи до ее реализации и использования, полисистема состоит из разных слоев, которые связаны с разными предметными областями и уровнями формализации;
- в полисистеме реализуются различные системы компьютерного моделирования, ключевая роль принадлежит человеку, который формирует задачи, выбирает стратегию моделирования и производит оценку результатов;

- согласуются различные потоки, взаимодействующие по правилам и законам природы: информационные, физические, биологические и другие;
- корректируется «дрейф целей», с использованием генерации степеней свобод, модификации архитектуры полисистемы и взаимодействующих потоков;
- масштабируемость, которая вызывает изменение структур данных и процессов вычислений;
- либернетическое построение и управление [24, 30];
- способность к рефлексивной деятельности для поддержки процессов редукции и воссоздания целостности (комбинация редукционизма и холизма [13, 14]).

О полисистемном моделировании

Основой прогресса являются знания и адекватные методы и формы их использования в жизненной среде, когда реализуется непрерывный, адекватный и эффективный процесс трансформации объектов и процессов: *идеальный (образ будущего) – абстрактный – конкретный – материальный*. Следует заметить, что здесь возникает два встречных потока развития: революционный от образа будущего и эволюционный от возможного прототипа. Именно направленность этих потоков навстречу друг другу дает надежду на адекватное решение возникающих жизненно важных проблем в противовес тупикам, которые возникают в условиях, когда эти процессы протекают независимо. Современное представление о процессах моделирования характеризуется большим разнообразием точек зрения и аспектов рассмотрения [31–35]:

GNR – генетические, нано-технологии и робототехника [36];

GRIN – генетические, робототехнические, информационные и нано процессы;

GRAIN – генетические, робототехнические, нано- технологии и искусственный интеллект;

BANG – биты, атомы, нейроны, гены;

NBICS – нано-, био-, информационные, когнитивные и социальные технологии;

STEKS – конвергентные технологии для европейского общества знаний;

Пирамида наук и технологий Society 5.0 [37];

Технологии SKW-матриц – «Smart Key Words» – обозначение качества: конкретные (Specific), измеримые (Measurable), достижимые (Achievable), реалистичные (Realistic), с обозначенным сроком (Time-bound) (С.В. Кибальников – [38]);

LT-система, язык, метод и технология (Р.Л. Бартини, П.Г. Кузнецов, О.Л. Кузнецов Б.Е. Большаков – [39, 40]);

ДНК-генеалогии – синтез антропологии, лингвистики и археологии (А.А. Клёсов – [41]);

Системология – в частности, классификация систем (двумерная наука) структурным свойствам или по свойствам отношений (Дж. Клир – [23]);

Полисистемная методология – расслоение описаний для сложного объекта (А.К. Черкашин – [1–4]);

Синтез науки, инженерии и искусства – Г. Гессе «Игра в бисер» и работы А.Т. Фоменко [11].

Процессы моделирования часто протекают параллельно в разных сообществах исследователей с чрезмерной и неэффективной реализацией их интеллектуального потенциала. Существующая система оценки научной полезности и качества работ искажается финансовыми оценками, способствует продвижению мейнстримовых направлений исследования, перемалывая ростки нового и перспективного. Она противопоставляется еще слабому сотрудничеству направлений. Вместо этого необходима не просто конкуренция, а гармонизация индивидуальной и коллективной деятельности, которая на ранних этапах использует конкуренцию, в которой победитель, синтезируя конкурирующие решения, оставляет конкурентам средства на выявление новых перспективных направлений.

Полисистемное моделирование многогранно и использует различные концептуальные, математические, алгоритмические и программные средства, но нас интересует в первую очередь их дескриптивно-конструктивный характер. Общая схема используемых дескриптивно-

конструктивных описаний представлена на Рис. 1–3. Эти описания позволяют создавать среду, для формирования структур взаимодействующих объектов и систем, образующих целостность с управлением, развитием и адаптацией к изменяющимся условиям. В рамках такой среды возникают постановки задач и их решения. Объекты в этой среде могут быть действующими: проявлять активность и воздействовать на другие объекты и на среду в целом. Далее приведем схемные описания пространства дескриптивно-конструктивных знаний и построения полисистемной модели.



Рисунок 1. Взаимодействие человека с компьютеринговой средой.

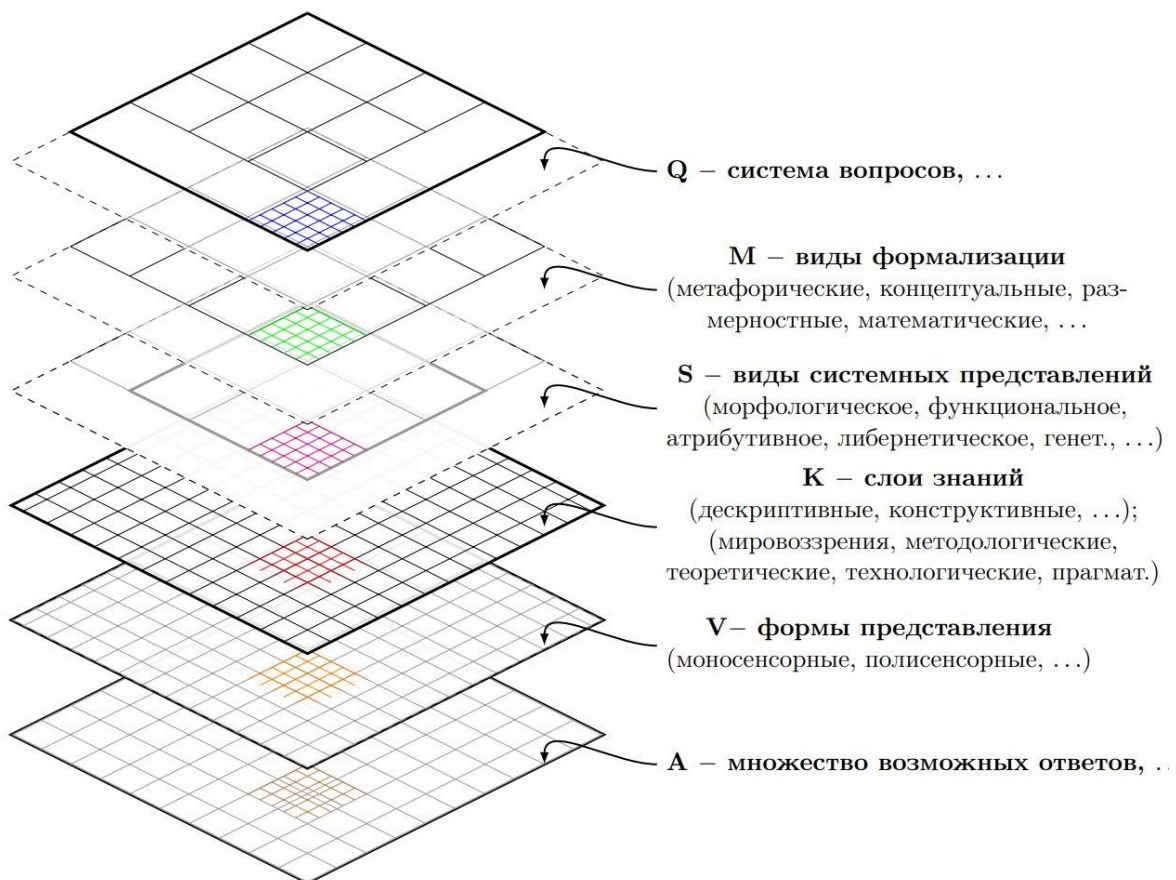


Рисунок 2. Слои пространства дескриптивно-конструктивных знаний полисистемной модели.



Рисунок. 3. Минимальный процесс построения полисистемных моделей.

Эти схемы работают только при описании реальной предметной области (например, человека, технической, природной системы и т.п.).

Для успешного выполнения полисистемного моделирования необходима классификация задач по следующим основаниям:

- проблема и противоречия;
- цель, можно рассматривать следующие разновидности целей:
 - человек, проявляющий мыслительную, эмоциональную и двигательную активность;
 - искусственная система, помогающая человеку;
 - естественная (природная) система, взаимодействующая с этими системами и помогающая человеку в достижении его целей;
- допустимые средства преобразования цели и процессов ее достижения, например:
 - средства самого человека;
 - технические средства;
 - природные средства;
- среда жизнедеятельности для которой решается задача, например:
 - коллектив, общество;
 - искусственная среда;
 - природная среда;
- процессы оценки качественных и количественных показателей, выполненные на основе ЛТ-системы [42, 43];
- процессы принятия решений для обычных и кризисных ситуаций, учитывающие эмоциональное состояние субъекта, его веру и ответственность.

Имеются также различные методы комбинации, синтеза и самоорганизации этих оснований. В рамках получающегося пространства знаний, задавая различные параметры, мы

можем получить проекции и разрезы, отражающие реальные инженерные решения. Учитывая динамику эволюции и текущее состояние, мы можем адекватно реагировать на дрейф целей и на изменение внутренней и внешней среды жизнедеятельности полисистемы.

Кроме наукоемких решений целесообразно учесть современные тенденции научно-технологического развития. В частности, по мнению Государственного совета КНР в рамках искусственного интеллекта «...следует ускорить разработку более эффективных методов обучения и вывода моделей, активно продвигать синергию теоретических, технологических и инженерных инноваций. Необходимо исследовать новые формы применения моделей, повышать способность к решению сложных задач, оптимизировать интерактивный опыт» [44]. Отмечается потребность в создании новой картины симбиоза человека и машины в социальном управлении.

Следует учесть опыт в создании и развитии реальных систем, например:

- многодоменное моделирование (Wolfram SystemModeler, реализующий решения алгебраических уравнений, уравнений с параметрами, трансцендентных, функциональных, дифференциальных и другие виды уравнений);
- аппликативные вычислительные системы (системы исчислений объектов, основанные на комбинаторной логике и λ -исчислении) [25];
- тензорное моделирование систем (сетевые модели процессов и структуры систем, вычисления по частям, компактные формы описания с операциями свертки развертки, методология инвариантов) [16, 17];
- конструктивные логики – формы представления и согласования знаний о задачах и их решениях (реализационная семантика Клини, диалектическая семантика Гёделя, ресурсные аффинная и линейная логики, логика Жирара);
- методы системной и синтетической биологии (проектирование и создание биологических систем с заданными свойствами и функциями, которые могут и не иметь аналогов в природе) [13–15].

Поскольку информационные технологии кроме информационных потоков отображают и материальные потоки, то фактически они являются единой основой объединения материального и идеального в рамках полисистемного моделирования.

Обеспечение высокого качества жизни современного человека ставит перед ним все более сложные задачи. Решать их приходится часто в рамках ограниченных ресурсов, что, в свою очередь, требует разработки принципиально новых прорывных технологий создания, использования и организации жизненных потоков и процессов. В этой ситуации современный человек вынужден организовать эффективное взаимодействие с естественной и искусственной средой своего обитания на основе интеллектуальных и физических усилителей своих возможностей, то есть активно использовать сферу информационных технологий. Ключевыми моментами здесь становятся вопросы выявления проблем, формирование и уточнение постановок задач, процессы системного моделирования, синтез алгоритмов и программ на основе стратифицированного описания компьютерной обстановки, принципов синергии компьютерных форм, правил и законов, адекватного отражения семантики и прагматики возникающих проблем. Также следует обратить внимание на принципы эмоционального управления и мотивации деятельности человека.

Современный этап развития моделирования и сферы информационных технологий характеризуется беспрецедентным расширением областей применения, возникновением новых точек зрения и усложнением информационно-технологических процессов и систем.

Современные подходы построения сферы информационных технологий сталкиваются с рядом барьеров и парадоксов:

- *парадокс Гобсека* – преобладание непрерывного и лавинообразного накопления сверхбольших объемов данных, которые существенно не улучшают жизненные процессы, а приводят к созданию виртуальных и мнимых ресурсоемких информационных процессов;
- *парадокс «окаменелости»* – несмотря на развитие форм представления информации, конструирование и проектирование информационных систем и технологий в основном опирается

на лингвистические и технотейросетевые формы описания, более удобные для внешней компьютерной среды, чем для человека или его внутренней системы знаний – требуется же взаимодействие вычислительного мышления человека (и животных) и внешнего компьютеринга;

– *барьер формализации* – четко не осознаны границы применимости традиционной классической и конструктивной математики, а также самого цифрового вычислительного подхода;

– *барьер фрагментации* – преобладание конкурентного «феодализма» над социальным (коллективным) творчеством, мнимое превосходство законов права (правил) и человеческого волюнтаризма над законами природы;

– *парадокс действий*, опережающих мысли – преобладание процессов решения задач (деятельности) над постановками задач (целями);

– *парадокс самоуничтожения интеллекта человека* – развитие средств машинного обучения и искусственного интеллекта зачастую разрушает мотивацию мыслительной и предметной деятельности человека.

Необходим поиск и описание путей преодоления выделенных барьеров и парадоксов.

Современные научно-технические средства обеспечивают коллективное владение информационными технологиями безотносительно обрабатываемых с их помощью знаний. Это распределенные решения, сервисно-ориентированные архитектуры (облачные вычисления), технологии корпоративных и социальных сетей, ноосорсинговые системы, системы машинного обучения и искусственного интеллекта. Бурное развитие интерфейсов, позволяющих более естественно включить человека в единый технологический процесс, создает иллюзию «всемогущества». Однако при этом существует масса технологических разрывов, нарушение целостности систем знаний, несогласованность процессов формализации и деформализации, перекосы в объективной и субъективной адекватности средств решения проблем.

Сложившаяся ситуация настоятельно требует переосмысления базиса и методов построения (декомпозиции и композиции) информационно-технологических решений. Даже в частных случаях наблюдается разобщенность и несогласованность. Так, традиционные классификации программного обеспечения и направлений информационных технологий отражают структурные особенности, а не конструктивные, что делает их неэффективными для организации технологических процессов. Кроме того, имеющаяся практика базируется на материальной экономике. Необходим подход с позиции экономики знаний, то есть с позиции анализа способности субъекта решить профессиональную задачу при взаимодействии с внешней компьютерной средой и профессиональным сообществом на основе фундаментальных знаний об информационно-технологических потоках и процессах естественной и искусственной среды. Постановка проблемы охватывает не только технологические аспекты человеческой деятельности, но и перестройку всех жизненных процессов профессиональной, культурной и общественной жизни. Здесь необходимо развивать коллективный интеллектуальный потенциал для решения сложных инфраструктурных проблем, направленных на устойчивое развитие качества жизни, обеспечивающих симбиоз человека со средой обитания (на идеальном и материальном уровне). Высокий динамизм расслоения и изменения информационно-технологической среды, которая становится основным метаорганизменным фактором формирования жизненных процессов, порождает хаотичность ее развития, высокую ресурсоемкость и часто приводит к потере стратегического направления развития. Поэтому необходим новый базис и уровень интеграции и согласованности решений в развитии информационных технологий. Ситуация созрела и требует своего решения.

Основные проблемы и подходы к их решению

Можно выделить некоторые актуальные проблемы, возникающие при моделировании полисистем, которые поддерживают, сохраняют и развивают жизненное пространство.

Проблема больших данных: традиционно большие данные собираются для слишком большого класса задач, что приводит к неэффективному использованию ресурсов при решении конкретных задач.

Проблема «дрейфа целей» (непредусмотренного изменения целей в процессе решения): для предотвращения этого можно использовать порождение дополнительных степеней свобод, модификацию архитектуры полисистемы и взаимодействующих потоков.

Проблема организации разных форм расслоенного компьютеринга: выбор разных форм представления: вертикальной (между слоями) и горизонтальной (в слое) организации компьютеринга; символьной формы в обычной и индексной записи. Организация размерностных отношений для упрощения постановки и решения задач. Это необходимо для компактной формализации, более быстрого восприятия человеком описания моделей.

Проблема определения границы между управлением и построением: рабочая гипотеза имеет кардинальный характер – все зависит от мощности пространства решений и соотношении ее с ресурсной мерой.

Проблема управления внутренними, внешними и взаимодействующими потоками: информационными, физическими, химическими, биологическими с целью реализации эффективного, надежного и безопасного жизненного процесса (или жизнедеятельности).

Проблема разделения творческой и рутинной деятельности, реализуемых человеком и искусственными системами, а также природными процессами, вовлеченными в решение задач. Преодоление тупиков и ограничений, а также генерация свежих идей. Использование творческих методов, вычислительного мышления и либернетического подхода.

Проблема организации филогенеза (эволюции) и онтогенеза (индивидуального развития) системы для достижения требуемых свойств. Это один из подходов подражания живой природе в деле создания систем, содержащих и неживые объекты (искусственные или естественные). В этом случае важно выявление новых явлений и законов природы для создания природоподобных элементов систем, а также включение животных и растений в единый процесс решения, что иногда бывает более эффективно, чем стремление все перевести в искусственные системы.

Проблема поддержки идентичности человека и оптимальной коммуникации с коллегами при распределении функций и ответственности за результаты деятельности.

Проблема выборов способов понимания «слоев» знаний и их распределения в полисистеме.

Проблема форм постановки задачи и способов и форм ее решения, а также форм представления результатов.

Проблема ограничений (ресурсов, возможных взаимодействий, динамики изменений и пр.) и управления методами решения в зависимости от масштабов задачи, сложности описания и анализа взаимодействия между множеством взаимосвязанных подсистем, а также трудности с выбором адекватной модели, сочетания правил и законов природы, формального и неформального их представления.

Проблема декомпозиции описаний живых и косных систем, которая приводит к новым параметрам и функциям (степеням свобод), их композициям, обладающим новыми эмерджентными свойствами.

В рамках физико-антропо-технического подхода для эффективного решения описанных проблем необходимо устойчивое развитие и улучшение качества жизни. «Важно изучать и продвигать высокоуровневых интеллектуальных помощников по вопросам здоровья, доступных для всех граждан, постепенно внедрять ИИ в таких сферах, как вспомогательная диагностика и лечение, управление здоровьем, медицинское страхование, что позволит существенно повысить эффективность и качество медицинских услуг на первичном уровне» [44].

Так на основе полисистемного моделирования возможно создание промежуточного слоя между человеком и средой его деятельности (сенсорные системы, исполнительные и компьютеринговые системы – «умная ткань»). Этот слой предназначен для управления волновым

процессом жизнедеятельности человека (его концентрации и релаксации). Он не только собирает информацию и моделирует процессы, но и формирует оптимальные конативные, когнитивные и конструктивные процессы, а также процессы взаимодействия между человеком и его коллегами, искусственными и естественными системами.

Процесс управления в рамках полисистемного моделирования закрепляется не просто за человеком, а за коллективом людей. Тем не менее, решение должен принимать один человек – лидер в понимании решаемой проблемы, поскольку его решение основано на общем знании коллектива.

Следует отметить, что в этом случае за каждым членом коллектива закрепляется ответственность за результаты в определенной части работы. В этом случае с большей гарантией мы будем получать баланс надежных, эффективных и безопасных результатов для их использования.

Рассуждения о декомпозиции

Декомпозиция объектов и процессов для полисистемного моделирования может осуществляться с позиции аппликативно-логического механизма изоморфизма Карри-Ховарда.

Например, в простейшем случае функцию

$$F = \lambda f: (B \Rightarrow H) \lambda x: B (fx)$$

можно уточнить как

$$F' = \lambda g: ((C \& D) \Rightarrow H) \lambda y: C \lambda z: D ((gy)z),$$

где $B = (C \& D)$.

Общие положения логико-дедуктивной декомпозиции задач следующие:

1. После первоначального исследования задачи формулируем ее в наиболее абстрактном виде (в наиболее общей форме), в котором это удастся сделать. Задача ставится в конструктивно-логической форме, с тем чтобы решение можно было получить в виде реализации в аппликативно-вычислительной форме.

2. Запускаем аппарат построения конструктивного логического вывода разрешимости этой задачи и автоматически извлекаем решение абстрактной задачи из этого вывода.

3. Далее осуществляем конкретизационную декомпозицию входящих в постановку задачи понятий. Это приводит к замене абстрактных понятий в задаче на более конкретные структурированные объекты. При этом абстрактное решение используется как готовый модуль в конкретном решении. Декомпозированные объекты подставляются в это абстрактное решение в качестве параметров.

4. Шаг 3 может повторяться несколько раз, чтобы получить решение нужной конкретности.

Примеры декомпозиции из области оптической навигации

Пример простейшей декомпозиции типов.

Пусть I – кадры, сделанные камерой БПЛА,

$S(i:I)$ – положение камеры, связанное с кадром i (линейные и угловые координаты),

$R(i,j:I)$ – сертификат того, что кадр i сделан вслед за кадром j .

Пусть решена абстрактная задача локализации, формулируемая в виде следующей спецификации:

$$loc: (S: Pred(I), st: (i,j:I, S(j), R(i,j) \Rightarrow S(i)), sp: (i:I \Rightarrow S(i) \mid j:I, R(i,j)), n: I \Rightarrow S(n)).$$

Пусть K – индексы координат,

$C(i:I, k:K)$ – значение координаты k для кадра i .

Пусть решены задачи:

$$sta: (i,j:I, (k:K \Rightarrow C(j,k)), R(i,j) \Rightarrow (k:K \Rightarrow C(i,k))),$$

$$spa: (i:I \Rightarrow (k:K \Rightarrow C(i,k)) \mid j:I, R(i,j)).$$

Задачу loc можно конкретизовать следующим образом:

*loc*а:

(*loc*: (*S*:Pred(*I*), *st*:(*i*,*j*:*I*,*S*(*j*), *R*(*i*,*j*) $\Rightarrow$ *S*(*i*)), *sp*:(*i*:*I* $\Rightarrow$ *S*(*i*) | *j*:*I*,*R*(*i*,*j*)), *n*:*I* $\Rightarrow$ *S*(*n*)),
sta:(*i*,*j*:*I*,(*k*:*K* $\Rightarrow$ *C*(*j*,*k*)), *R*(*i*,*j*) $\Rightarrow$ (*k*:*K* $\Rightarrow$ *C*(*j*,*k*))),
spa:(*i*:*I* $\Rightarrow$ (*k*:*K* $\Rightarrow$ *C*(*i*,*k*)) | *j*:*I*,*R*(*i*,*j*)),
na:*I*
 $\Rightarrow$ (*k*:*K* $\Rightarrow$ *C*(*n*,*k*))
)

Решение:

*loc*а =

{*loc*: (*S*:Pred(*I*), *st*:(*i*,*j*:*I*,*S*(*j*), *R*(*i*,*j*) $\Rightarrow$ *S*(*i*)), *sp*:(*i*:*I* $\Rightarrow$ *S*(*i*) | *j*:*I*,*R*(*i*,*j*)), *n*:*I* $\Rightarrow$ *S*(*n*)),
sta:(*i*,*j*:*I*,(*k*:*K* $\Rightarrow$ *C*(*j*,*k*)), *R*(*i*,*j*) $\Rightarrow$ (*k*:*K* $\Rightarrow$ *C*(*j*,*k*))),
spa:(*i*:*I* $\Rightarrow$ (*k*:*K* $\Rightarrow$ *C*(*i*,*k*)) | *j*:*I*,*R*(*i*,*j*)),
na:*I*,
o:((*k*:*K* $\Rightarrow$ *C*(*n*,*k*)));
loc([*i*:*I* $\Rightarrow$ (*k*:*K* $\Rightarrow$ *C*(*i*,*k*))], *sta*,*spa*,*na*) = *f*: (*k*:*K* $\Rightarrow$ *C*(*n*,*k*));
o(*f*)
 }.

Примеры более подробных конкретизаций

Декомпозиция базового типа

Рассмотрим абстрактную задачу оптической локализации беспилотного летательного аппарата:

Пусть *S*(*i*) – положение аппарата, связанное с кадром *i*,

B(*i*) – абстрактная задача цикла,

R(*i*,*j*) – следование кадра *i* за кадром *j*.

Формальная постановка задачи:

loc:

(*S*:Pred(*I*),
for: (*B*:Pred(*I*), *n*:*I*,*do*:(*i*:*I*,*m*:(*j*:*I*,*R*(*i*,*j*) $\Rightarrow$ *B*(*j*)) $\Rightarrow$ *B*(*i*) $\Rightarrow$ *B*(*n*)),
st:(*i*,*j*:*I*,*S*(*j*),*R*(*i*,*j*) $\Rightarrow$ *S*(*i*)),
sp:(*i*:*I* $\Rightarrow$ *S*(*i*) | *j*:*I*,*R*(*i*,*j*)),
n:*I* $\Rightarrow$ *S*(*n*)
).

Пусть требуется раскрыть структуру типа *I*.

Для этого сначала заменим (*i*:*I*) на (*x*:*U*,*L*(*x*)).

Здесь *x* - имя кадра, *L*(*x*) - содержимое кадра с именем *x*.

Задача изменится:

lock:

(*I*,*S*:Pred(*U*),
for: (*B*:Pred(*U*),*n*:*U*,*L*(*n*),*do*:(*i*:*U*,*L*(*i*),*m*:(*j*:*U*,*L*(*j*),*R*(*i*,*j*) $\Rightarrow$ *B*(*j*)) $\Rightarrow$ *B*(*i*) $\Rightarrow$ *B*(*n*)),
st:(*i*,*j*:*U*,*L*(*i*),*L*(*j*),*S*(*j*),*R*(*i*,*j*) $\Rightarrow$ *S*(*i*)),

$sp:(i:U, L(i) \Rightarrow S(i) \mid j:U, L(j), R(i,j)),$
 $n:U, L(n)$
 $\Rightarrow S(n)$
 $).$

Решение:

$Lock =$

$\{for: (B:Pred(U), n:U, L(n), do:(i:U, L(i), m:(j:U, L(j), R(i,j) \Rightarrow B(j)) \Rightarrow B(i)) \Rightarrow B(n)),$
 $I, S:Pred(U),$
 $st:(i,j:U, L(i), L(j), S(j), R(i,j) \Rightarrow S(i)),$
 $sp:(i:U, L(i) \Rightarrow S(i) \mid j:U, L(j), R(i,j)),$
 $n:U, ln:L(n), osn:(S(n));$
 for
 $(S, n, ln, do:$
 $\{i:U, li:L(i), m:(j:U, L(j), R(i,j) \Rightarrow S(j)), osi:S(i);$
 $sp(i, li)\{si:S(i); osi(si)\}$
 $j:U, lj:I(j), rij:R(i,j);$
 $m(j, lj, rij)sj:S(j);$
 $st:(i, j, li, ij, sj, rij)si:S(i);$
 $osi(si)$
 $\}\}\}.$

Рассмотрим следующую декомпозицию $I(x:U)$:

$$L(x) \Leftrightarrow (q:Q \Rightarrow J(x,q)),$$

где Q – координаты в кадре,

$J(x,q)$ – содержимое точки с координатами q в кадре x ,

Вынося for за скобки, имеем решенной следующую задачу:

$locm:$

$(L, S:Pred(U), st:(i,j:U, L(i), L(j), S(j), R(i,j) \Rightarrow S(i)), sp:(i:U, L(i) \Rightarrow S(i) \mid j:U, L(j), R(i,j)), n:U, L(n) \Rightarrow S(n)).$

После декомпозиции получаем задачу $lokma$:

$(locm:$

$(I, S:Pred(U), st:(i,j:U, L(i), L(j), S(j), R(i,j) \Rightarrow S(i)), sp:(i:U, L(i) \Rightarrow S(i) \mid j:U, L(j), R(i,j)), n:U, L(n) \Rightarrow S(n)),$
 $sta:(i,j:U, (q:Q \Rightarrow J(i,q)), (q:Q \Rightarrow J(j,q)), S(j), R(i,j) \Rightarrow S(i)),$
 $sp:(i:U, (q:Q \Rightarrow J(i,q)) \Rightarrow S(i) \mid j:U, (q:Q \Rightarrow J(j,q)), R(i,j)), n:U, (q:Q \Rightarrow J(n,q)) \Rightarrow S(n)$
 $).$

Решение этой задачи:

$locma =$

$\{locm:$
 $(L, S:Pred(U),$
 $st:(i,j:U, L(i), L(j), S(j), R(i,j) \Rightarrow S(i)),$
 $sp:(i:U, L(i) \Rightarrow S(i) \mid j:U, L(j), R(i,j)),$
 $n:U, L(n) \Rightarrow S(n)$
 $),$

$sta: (i,j:U,(q:Q \Rightarrow J(i,q)),(q:Q \Rightarrow J(j,q)),S(j),R(i,j) \Rightarrow S(i)),$
 $spa:(i:U,(q:Q \Rightarrow J(i,q)) \Rightarrow S(i) \mid j:U,(q:Q \Rightarrow J(j,q)),R(i,j)),$
 $n:U,f:(q:Q \Rightarrow J(n,q)); o:(S(n));$
 $locm([i:U \rightarrow (q:Q \Rightarrow J(n,q))], S,sta,spa,n,f) \text{ } sn:S(n);$
 $o(sn)$
 $\}.$

Выявление и преодоление тупиков мыслительного и реализационного процесса

Полное описание задачи в системе природа – человек – техника для выявления возникающих противоречий и тупиков можно представить в следующем виде:

$$F : (m : (g : G \rightarrow \{L, I\} \rightarrow C(g)) : e = \{L', I'\} \rightarrow S(m,e)) : R,$$

где

I – исполнитель человек (Homo Sapiens); L – профессиональный язык и «язык природы»; m – метод решения или выявления противоречия в задаче; e – среда, в рамках которой ищется решение задачи; L' – языки либернетики, ресурсов, правил и законов их интерпретации; I' – человеко-машинная система, осуществляющая либернетический переход (приведение степеней свободы в соответствие с задачей); F – запись на языке либернетики (в терминах степеней свобод); G – цель задачи (инвариант); C – противоречие (разные виды); R – ресурсы, используемые при решении; S – решение проблемы (баланс степеней свобод).

Попытка достичь цели G в среде e методом m часто приводит не к решению, а к противоречию C . В этом случае необходимо исследовать пространство степеней свобод F в рамках заданных ресурсов R , чтобы получить решение S . Решение и в этом случае может быть не найдено, но эффективность этого конечного конструктивного процесса строится как на едином основании анализа и синтеза степеней свобод, так и на возможности формирования и управления стратегиями поиска решения на различных уровнях и слоях.

В случаях «слабых» противоречий решения часто строятся методами поиска компромисса (в частности, методами оптимизации) или методами простых рекомбинаций. В случаях «сильных» противоречий необходимы творческие методы разрешения противоречий, разнообразные стратегии поиска решений. Эффективность при этом следует из изучения и установления закономерностей, которые потом закладываются в механизмы организаторов либернетического построения систем. Очень важно как можно раньше понять, что выделенных ресурсов недостаточно или что план нужно перестроить.

Ситуация недостаточности степеней свобод может быть разрешена процессами их порождения по следующим направлениям:

- пересмотра оснований для описания систем;
- устранением, пересмотром, добавлением связей или отдельных объектов;
- поиском дополнительных аналогов для сложившейся ситуации;
- прояснением ситуации о бесперспективности решения проблемы и прекращением процесса решения с обоснованием этого.

Естественно, выбор конкретного направления зависит от имеющихся ресурсов.

Заключение

Сложность, нелинейность, разнородность процессов и объектов полисистемного моделирования требуют более глубокого анализа и всестороннего синтеза нестандартных подходов и решений.

В рамках выполненной работы:

- раскрыты понятия «полисистема» и «полисистемное моделирование» в рамках исследования физико-антропо-технических систем, построения и управления информационными, физическими, биологическими потоками;

- описаны основные проблемы полисистемного моделирования и подходы к их решению;
- рассмотрены вертикальные (межслоевые) и горизонтальные (внутрислоевые) процессы формализации и реализации компьютеринга;
- раскрыта роль человека, технических и природных объектов в полисистеме, которые, взаимодействуя, создают новую среду устойчивого развития жизни;
- приведены иллюстрирующие примеры процессов декомпозиции из области оптической навигации и разрешения противоречий на основе построения и управления степенями свобод.

Успешное решение сложных проблем в предлагаемом подходе в рамках физико-антропо-технических систем позволяет достигать баланса эффективности, надежности и безопасности построения и функционирования сложных полисистем на основе взаимодействия человека с компьютеринговой средой в мультимодальном виде.

Литература:

1. Черкашин А.К. Полисистемный анализ и синтез. Приложение в географии / Отв. ред. В.С. Михеев. Новосибирск: Наука, 1997. 499 с. [Cherkashin A.K. Polysystem analysis and synthesis. The applications in geography / Ed. by V.S. Mikheev. Novosibirsk: Nauka Publ., 1997. 499 p. (in Russian)].
2. Коломыц Э.Г., Черкашин А.К. Полисистемный анализ зональных геопространств средней полосы русской равнины // География и природные ресурсы, 2023 № 1. С. 111–121. [Kolomyts E.G., Cherkashin A.K. Polysystem analysis of zonal geospaces for the middle zone of the Russian plain // Geography and Natural Resources. 2023 No. 1. P. 111–121 (in Russian)].
3. Черкашин А.К. Полисистемное моделирование. Новосибирск: Наука, 2005. 280 с. [Cherkashin A.K. Polysystem modeling. Novosibirsk: Nauka Publ., 2005. 280 p. (in Russian)].
4. Черкашин А.К. Инновационная математика: поиск оснований и ограничений моделирования реальности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 2(14). С. 69–87. [Cherkashin A.K. Innovative mathematics: A search of the bases and limits of modelling reality // Information and mathematical technologies in science and management. 2019. No. 2(14). P. 69–87 (in Russian)].
5. Фещенко В.В., Бочавер С.Ю., Постовалова В.И. и др. Лингвистика и семиотика культурных трансферов: методы, принципы, технологии: коллективная монография / Отв. ред. В.В. Фещенко. Москва: Культурная революция, 2016. 500 с. [Feshchenko V.V., Bochaver S.Yu., Postovalova V.I., et al. Linguistics and semiotics of cultural transfers: methods, principles, technologies: a collective monograph / Ed. by V.V. Feshchenko. Moscow: Cultural Revolution, 2016. 500 p. (in Russian)].
6. Even-Zohar I. Polysystem theory // Poetics today: Special Issue “Polysystem Studies”. 1990. Vol. 11. P. 9–26.
7. Сухарев М.В. Идеоматериальные полисистемы и национальная безопасность: системноисторический подход // Национальная безопасность / Nota Bene. 2019. № 3. С. 23–37. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=30031 (дата обращения 30.01.2026). [Sukharev M.V. Ideomaterial polysystems and national security: A system-historical approach // National Security / Nota Bene. 2019. No. 3. P. 23–37 (in Russian)].
8. Вяткин Б.А., Щукин М.Р., Хотинец В.Ю. и др. Полисистемное исследование индивидуальности человека: монография / под ред. Б.А. Вяткина. Москва: Пер СЭ, Ай Пи Ар Медиа, 2024. 384 с. [Vyatkin B.A., Shchukin M.R., Khotinets V.Yu., et al. Polysystem research of human individuality: monograph / ed. by B.A. Vyatkin. Moscow: Per Se, Ai Pi Ar Media, 2024. 384 p. (in Russian)].
9. Левенчук А.И. Системное мышление. Бостон-Ульдинген-Киев: Проект «Баловство», Толиман, 2022. 794 с. [Levenchuk A.I. System thinking. Boston-Uldingen-Kiev: “Balovstvo” Project, Toliman, 2022. 794 p. (in Russian)].

10. Дорфман Л. Каузальный плюрализм и холизм в концепции метаиндивидуального мира // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2016. Т.13. № 1. С. 115–153. [Dorfman L.Ya. The causal pluralism and holism in the meta-individual world theory // Psychology. Journal of the Higher School of Economics. 2016. Vol.13. No 1. P. 115–153 (in Russian)].
11. Фоменко А.Т. Математика и миф сквозь призму геометрии [эл. источник]. [Fomenko A.T. Mathematics and myth through the prism of geometry [webpage] (in Russian)]. URL: <https://dfgm.math.msu.su/files/fomenko/myth-sec7.php> (дата обращения 30.01.2026).
12. Овчинников В. Полисистемный подход в современной биологии: ключевые аспекты структуры и функций [эл. источник]. [Ovchinnikov V. Polysystem approach in modern biology: key aspects of structure and functions [webpage] (in Russian)]. URL: <https://biology-vsem.ru/polisistemniy-podkhod-v-sovremennoy-biologii-klyuchevie-aspekti-strukturi-i-funkciy> (дата обращения: 20.01.2026).
13. Говорун В.М. Путь от системной биологии к синтетической. В сб.: II Школа молодых ученых «Волжский ветерок», 12–13 сентября 2024. 37 с. [эл. ресурс]. [Govorun V.M. The path from systems biology to synthetic. In: 2nd School of Young Scientists “Volzhsky Vetrok”, September 12–13, 2024. 37 p. [webpage] (in Russian)]. URL: <http://microbe.ru:8080/Consortium/2-я%20Школа/Презентации/Доклад%20Говорун%20В.М.pdf> (дата обращения 30.01.2026).
14. Говорун В.М. Введение в системную и синтетическую биологию. «Редукционизм» и «холизм» в биологии XIX–XXI века. В сб.: Инструментальные основы системной биологии, 13–17 ноября 2023. Университет Сириус, 2023. 9 с. [эл. ресурс]. [Govorun V.M. Introduction to systemic and synthetic biology. “Reductionism” and “Holism” in biology of the 19th–21st century. In: Instrumental Foundations of Systems Biology, November 13–17, 2023. Sirius University, 2023. 9 p. [webpage] (in Russian)]. URL: <https://clck.ru/3RnAbe> (дата обращения 30.01.2026).
15. Княгинин В.Н., Липецкая М.С., Санатов Д.В. и др. Синтетическая биология / Научные редакторы: С.В. Шитяков, Е.Ю. Кириченко. Источники новых индустрий. Вып. 2. Экспертно-аналитический доклад [эл. ресурс]. Санкт-Петербург, 2022. 78 с. [Knyagin V. N., Lipetskaya M. S., Sanatov D. V., et al. Synthetic biology / Scientific Editors: S.V. Shityakov, E.Y. Kirichenko. Sources of new industries. Issue 2. Expert report [webpage]. St. Petersburg, 2022. 78 p. (in Russian)]. URL: <https://spb.energy/wp-content/uploads/2022/09/Sinteticheskaya-biologiya.pdf> (дата обращения 30.01.2026).
16. Петров А.Е. Тензорная методология моделирования сложных систем. Теоретические основы. М.: Издательский Дом МИСиС, 2022. 178 с. [Petrov A.E. Tensor methodology for modeling complex systems. Theoretical foundations. Moscow: MISiS University Publishing House, 2022. 178 p. (in Russian)].
17. Кутергин В.А. Искусственные объекты и конструктивные процессы. Ижевск: ИПМ УрО РАН, 2007. 552 с. [Kutergin V.A. Artificial objects and constructive processes. Izhevsk: Institute of Applied Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007. 552 p. (in Russian)].
18. Алексеев А.В., Соколов Б.В. Моделирование сложных систем: эволюция взглядов и концепций, полимодельные комплексы, проблемы и направления развития / Редакторы: А.М. Плотников, М.А. Долматов, Е.П. Смирнова. X всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021). Труды конференции [эл. ресурс]. Санкт-Петербург, 2021. С. 83–88. [Alekseev A.V., Sokolov B.V. Modeling of complex systems: the evolution of views and concepts, polymodel complexes, problems and directions of development / Ed. by A.M. Plotnikov, M.A. Dolmatov, E.P. Smirnova. X All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and Its Application in Science and Industry “Simulation Modeling. Theory and Practice” (IMMOD-2021). Proceedings of the conference [webpage]. Saint Petersburg, 2021. P. 83–88 (in Russian)].
19. Шведенко В.В. Полиструктурное моделирование сложных систем для их эффективного взаимодействия. В сб.: Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXVII Международной научно-практической конференции, 13–14 октября 2023 года

- (в 2 частях). Ч. 2. СПб, Политех-Пресс, 2024. С. 185–192. [Shvedenko V.V. Polystructural modeling of complex systems for their effective interaction // System analysis in design and management: proceedings of the XXVII International Scientific and Practical Conference, October 13–14, 2023 (in 2 parts). Pt. 2. St. Petersburg: Politech-Press, 2024. P. 185–192 (in Russian)].
20. Бельтюков А.П., Маслов С.Г. Спецификации физико-антропотехнических систем для решения конструктивных задач // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16. № 4. С. 75–81. [Beltiukiv A.P., Maslov S. G. Specifications of physical-human-technical systems for solving constructive problems // Intellectuel'nnye Sistemy v Proizvodstve. 2018. Vol. 16. No. 4. P. 75–81 (in Russian)].
21. Петров Н.Н. Некоторые вопросы качественной теории динамических полисистем // Дифференциальные уравнения. 1995. Т. 31. № 12. С. 2005–2012. [N.N. Petrov. Some problems on the qualitative theory of dynamical polysystems // Differential Equations. 1995. Vol. 31. No. 12. P. 2005–2012 (in Russian)].
22. Петров Н.Н. О вполне управляемых динамических полисистемах // Дифференциальные уравнения. 1992. Т. 28. № 3. С. 423–428. [N.N. Petrov. Completely controllable dynamical polysystems // Differential Equations. 1992. Vol. 28. No. 3). P. 355–360 (in Russian)].
23. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990. 544 с. [Klir J. Architecture of systems problem solving. M.: Radio and Communications, 1990. 544 p.].
24. Смолянинов В.В. Либернетика наука о свободах системной организации // Мост. 2000. № 1. С. 28–30. [Smolyaninov V.V. Libernetics: The science of freedoms of systemic organization // Most. 2000. No 1. P. 28–30 (in Russian)].
25. Вольфенгаген В.Э. Методы и средства вычислений с объектами. Аппликативные вычислительные системы. М.: JurInfoR Ltd., АО «Центр ЮрИнфоР», 2004. 789 с. [Wolfenhausen V.E. Methods and means of computing with objects. Applicative computing systems. Moscow: JurInfoR Ltd., JSC “Center JurInfoR”, 2004. 789 p. (in Russian)].
26. Dahmann, J.S. Systems of systems characterization and types [webpage]. McLean: The MITRE Corporation, 2015. URL: <https://publications.sto.nato.int/publications/STO%20Educational%20Notes/STO-EN-SCI-276/EN-SCI-276-01.pdf> (access date 30.01.2026).
27. Boardman J., Sauser B. System of Systems – the meaning of of. In: Proceedings of the 2006 IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering, Los Angeles, CA, USA, April 2006. IEEE, 2006. P.118-223.
28. Nielsen C.B., Larsen P.G., Fitzgerald J., Woodcock J., Peleska J. Systems of systems engineering basic concepts, model-based techniques, and research directions // ACM Computing Surveys. 2015. Vol. 48. No. 2. Art. no. 18.
29. Samad T., Parisini T., Systems of systems [webpage]. URL: <https://ieeecss.org/sites/ieeecss/files/2019-07/IoCT-Part3-04SystemsOfSystems.pdf> (access date 30.01.2026).
30. Маслов С.Г. Либернетические и генеративные принципы в построении сложных систем // Системная инженерия и информационные технологии. 2019. Т. 1. № 2. С. 51–62. [Maslov S.G. Libernetic and generative principles in the construction of complex systems // Systems Engineering and Information Technology. 2019. 2019. Vol. 1. No 2. P. 51–62 (in Russian)].
31. Быков Е.М. NBICS-конвергенция технологий: исторический обзор. Ч. I: 2001–2006 гг. // НБИКС: Наука. Технологии. 2017. Т. 1. № 1. С. 14–26. [Bykov E.M. NBICS convergence of technologies: a historical review. Pt. 1: 2001–2006 // NBICS: Science. Technologies. 2017. Vol. 1. No. 1. P. 14–26 (in Russian)].
32. Быков Е.М. NBIC-конвергенция технологий: исторический обзор. Ч. II: 2007–2013 гг. // НБИКС: Наука. Технологии. 2017. Т. 2. № 2. С. 24–36. [Bykov E.M. NBIC-convergence of technologies: a historical review. Pt. 2: 2007–2013 // NBICS: Science. Technologies. 2017. Vol. 2. No. 2. P. 24–36 (in Russian)].
33. Кричевский Г.Е. Введение в НБИКС-технологии // НБИКС: Наука. Технологии. 2017. Т. 1. № 1. С. 27–54. [Krichevsky G.E. Introduction to NBICS technologies // NBICS: Science. Technologies. 2017. Vol. 1. No. 1. P. 27–54 (in Russian)].

34. Дубровский Д.И. НБИКС-конвергенция: некоторые теоретические и методологические вопросы // НБИКС: Наука. Технологии. 2017. Т. 2. № 2. С. 37–45. [Dubrovsky D.I. NBICS convergence: some theoretical and methodological issues // NBICS: Science. Technologies. 2017. Vol. 2. No. 2. P. 37–45. (in Russian)].
35. Сергеев С.Ф. К проблеме техномодификации и интеграции человека в техногенном мире / под ред. Е.А. Федосова, Н.А. Кузнецова, С.Ю. Боровика. Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XX Международной конференции. Самара: Издательство «Офорт», 2018. С. 34–39. [Sergeev S.F. On the problem of technomodification and human integration in the technogenic world / Ed. by E.A. Fedosov, N.A. Kuznetsov, S.Yu. Borovik. Problems of Control and Modeling in Complex Systems. Proceedings of the XX International Conference. Samara: “Ofort” Publishing House, 2018. P. 34–39 (in Russian)].
36. GNR Guide. Genetics, Nanotechnology, Robotics Choosing the right subject for you gnrobotics Service [webpage]. URL: <https://gnrobotics.com/> (access date 30.01.2026).
37. European Commission EUR 21357 – Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies [webpage]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004. 63 p. URL: <https://clck.ru/3RoVKh> (access date 30.01.2026).
38. Кибальников С.В., Кружалин В.И. Устойчивое развитие и «операционная система» общества // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление. 2013. Т. 9. № 1(18). С. 37–50. [Kibalnikov S.V., Kruzhalin V.I. Sustainable development and the “operating system” of society // Sustainable Innovative Development: Design and Management. 2013. Vol. 9. No. 1(18). P. 37–50 (in Russian)].
39. Большаков Б.Е., Кузнецов О.Л. Устойчивое развитие и наука проектирования космического будущего в мировой системе [эл. ресурс]. [Bolshakov B.E., Kuznetsov O.L. Sustainable development and science of designing the space future in the global system [webpage] (in Russian)]. URL: <http://sfera-razuma.ru/newspapers/79-ustoichivoe-razvitie-i-nauka-proektirovaniya-kosmicheskogo-buduschego-v-mirovoi-sisteme.html> (дата обращения 30.01.2026).
40. Кузнецов О.Л., Кузнецов П.Г., Большаков Б.Е. Устойчивое развитие: синтез естественных и гуманитарных наук. Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 2001. 228 с. [Kuznetsov O.L., Kuznetsov P.G., Bolshakov B.E. Sustainable development: synthesis of natural and humanitarian sciences. Dubna: International University of Nature, Society and Man “Dubna”, 2001. 228 p. (in Russian)].
41. Клёсов А.А. Общие принципы ДНК-генеалогии (новая редакция) // Вестник Российской Академии ДНК-генеалогии. 2009. Т. 2. № 7. С. 1264–1330. [Klesov A.A. General principles of DNA genealogy (new edition) // Bulletin of the Russian Academy of DNA Genealogy. 2009. Vol. 2. No. 7. P. 1264–1330 (in Russian)].
42. Большаков Б.Е. Закон природы, или как работает Пространство-Время. М.: РАЕН, 2002. 265 с. [Bolshakov B.E. The law of nature, or How Space-Time works. M.: Russian Academy of Natural Sciences, 2002. 265 p. (in Russian)].
43. Большаков Б.Е. Алгоритм связи ЛТ-языка с другими языками естественных и гуманитарных наук // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление». 2017. Т.13. № 1(34). С. 38–59. [Bolshakov B.E. Algorithm for connecting the LT language with other languages of the natural and human sciences // Sustainable Innovative Development: Design and Management. 2017. Vol. 13. No. 1(34). P. 38–59 (in Russian)].
44. Мнения Государственного совета КНР по вопросу углубления реализации программы «Искусственный интеллект+» [эл. ресурс]. [Opinions of the State Council of the People's Republic of China on the issue of deepening the implementation of the “Artificial Intelligence+” program in China [webpage] (in Chinese)]. URL: https://www.gov.cn/zhengce/content/202508/content_7037861.htm (дата обращения: 20.01.2026).

Об авторах:

МАСЛОВ Сергей Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. вычислительных технологий и интеллектуальных систем больших данных, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», msh.sci@mail.ru.

БЕЛЬТЮКОВ Анатолий Петрович, д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. каф. вычислительных технологий и интеллектуальных систем больших данных, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», belt.udsu@mail.ru.

Metadata:

Title: Problems of polysystem modeling.

Author 1: Sergey Gennadievich Maslov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computing Technologies and Intelligent Big Data Systems, Udmurt State University, 1 Universitetskaya st., 426034 Izhevsk, Russia; msh.sci@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0902-6584>, Web of Science ResearcherID: O-1741-2017.

Author 2: Anatolii Petrovich Beltyukov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Department of Computing Technologies and Intelligent Big Data Systems, Udmurt State University, 1 Universitetskaya st., 426034 Izhevsk, Russia; belt.udsu@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3433-9067>, Web of Science ResearcherID: C-6740-2017, Scopus Author ID: 56388673100.

Abstract: The concept of polysystem modeling for building models of physical-anthropological-technical systems (“nature-man-technology” systems) is being clarified. Such a polysystem builds and manages material and information flows, including biological ones. The main role in building and managing such a system belongs to a person, in the process of whose activity intellectual and physical support from the polysystem itself can be used. A critical analysis of the possibilities of such modeling is carried out, designed to improve the quality of processes and solve vital tasks. The experience gained in other fields (geoinformation, linguistic, psychological, biological, mathematical and other systems) is analyzed, which indicates the absence of an end-to-end integrated technology for such modeling what take into account all the components involved in the process of moving from an idea to its implementation and use. An approach for the development of such technology is proposed, which ensures the continuity of the problem-solving processes and the compactness of its description. It is assumed that the problem-solving process has a layered character. In relation to these layers, the process contains vertical (interlayer) and horizontal (intralayer) computing. The approach includes the use of control of the degrees of freedom inherent in the models under consideration. Sections and projections of general theoretical models are considered to obtain compact engineering solutions for specific tasks. The problems of polysystem modeling and some conceptual solutions to them are classified and described, as well as some illustrative examples. The novelty of the approach lies in the proposed architecture of a tool environment designed for polysystem modeling. This makes it possible to build individual and collective activities within the framework of the physico-anthropological-technical system, to bring intellectual and physical activity of a person to a reasonably holistic view, taking into account space, resources, and vital processes. The aim of the work is to intensify research in this area.

Keywords: polysystem modeling, layered description, degrees of freedom, computing models, constructive logic, tensor modeling, vital tasks.