



ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М.В. Белов

	<p>Белов Михаил Валентинович Кандидат технических наук. В настоящее время — заместитель генерального директора компании ИБС. Автор более 40 научных работ по системотехнике, теории систем, исследованию операций, организации и управлению, экономике и финансам. E-mail: mbelov59@mail.ru</p>
	<p>Новиков Дмитрий Александрович Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН. В настоящее время — директор Института проблем управления Российской академии наук, заведующий кафедрой интегрированных киберсистем Московского физико-технического института. Автор более 500 научных работ по теории управления системами междисциплинарной природы, в том числе по методологии, системному анализу, теории игр, принятию решений и механизмам управления социально-экономическими системами. E-mail: novikov@ipu.ru</p>

Предложены алгоритмические модели (разделы 3 и 4) и задачи (раздел 6) управления компонентами технологии комплексной деятельности организационно-технических систем.

Ключевые слова: деятельность, технология, организационно-техническая система, организация, управление, кривая научения.

1. Введение

Проблемы, вынесенные в заголовок статьи, являются подмножеством и конкретизируют проблемы управления организационно-техническими системами (ОТС) и их комплексной деятельностью, рассмотренные в [1] и [2], в то время

как сама *комплексная деятельность* (КД) подробно рассмотрена в монографии [3].

Важный результат [2] заключается в фиксации перечня средств управления ОТС, основным среди которых является управление компонентами технологий комплексной деятельности, осуществляемой ОТС. *Технология* определяется [2, 3] как система условий, критериев, форм, методов и средств последовательного достижения поставленной цели. Под управлением компонентами технологии КД понимается деятельность по созданию компонентов технологии в виде информационных моделей и поддержании их в состоянии, адекватном условиям внешней среды. Поэтому настоящая работа сфокусирована именно на проблемах создания и управления компонентами технологий и, являясь самостоятельной, логически продолжает и развивает тематику [1, 2] и [3].

Используемое в [1, 2] понятие *организационно-технической системы* (сложной системы, включающей людей, и, быть может, технические и природные элементы) расширяет определения технических, организационных [4], эргатических и социотехнических систем, и в определённом смысле соответствует распространённому в англоязычной литературе термину предприятие (enterprise) [5]. В контексте данной работы термин предприятие звучит более естественно, поэтому понятия ОТС и предприятие будут использоваться как эквивалентные.

Необходимо отметить, что предприятия сами по себе не приносят пользы: важна их деятельность, формирующая результат, представляющий ценность. Поэтому, рассматривая предприятия, следует анализировать, в первую очередь, осуществляемую ими комплексную деятельность, для чего целесообразно использовать подходы и результаты *методологии комплексной деятельности* [3].

Монография [3] закладывает теоретические основания исследований, в ней излагается методология комплексной деятельности, развивающая общую методологию на случай любой сложной (имеющей нетривиальную многоуровневую внутреннюю структуру) человеческой деятельности. Вводится базовый элемент моделирования и анализа КД - *структурный элемент деятельности* (СЭД), конструктивно описываются логическая, причинно-следственная и процессная структуры комплексной деятельности. Значительное внимание уделяется орга-

низации и управлению, неопределённости, а также жизненным циклам КД, её субъектов, предметов, ресурсов, знаний и технологий.

В [1] более конкретно рассматриваются такие виды деятельности как управление и организация, описываются компоненты организации: анализ, синтез и конкретизация, а также компоненты управления: организация, регулирование и оценивание. Показывается, что объектом организации и управления применительно к КД является совокупность собственно комплексной деятельности и осуществляющего её субъекта - ОТС.

Общие проблемы управления ОТС проанализированы в работе [2] в контексте согласования взаимосвязанных жизненных циклов соответствующих структурных элементов деятельности. Показано, что *управление ОТС* осуществляется в форме согласованного управления совокупностью взаимосвязанных ЖЦ структурных элементов КД, реализуемой этой ОТС. Определены средства решения проблемы управления ОТС в виде компонентов управления: *синтеза* (управления компонентами технологии в виде информационных моделей; управления пулами вещественных ресурсов) и *конкретизации* (календарно-сетевого планирования и назначения ресурсов; согласования интересов субъектов). Выявлено, что проблема управления ОТС должна решаться с учётом необходимости устранения измеримой *неопределённости* - включением в рассмотрение сценариев реакции на измеримую неопределённость, а также допускать возможность многократного последовательного решения из-за наступления событий истинной неопределённости в течение жизненных циклов элементов КД.

На основе результатов [1, 2, 3] в данной статье формализована проблема управления технологиями КД ОТС.

Для этого в разделе 2 проанализированы наиболее важные особенности КД современных адаптивных расширенных предприятий, в разделах 3 и 4 предложены формальные модели их КД и управления компонентами технологии КД в виде информационных моделей, в разделе 6 сформулированы задачи управления компонентами технологии КД.

2. Технологическая адаптивность, цикличность и регулярность деятельности современных предприятий

Современный этап развития мировой экономики отличается несколькими трендами, формирующими определённые особенности фирм, правительственных агентств и других субъектов международной хозяйственной системы и их деятельности. Рассмотрим эти тренды и следующие из них особенности современных предприятий и их комплексной деятельности.

Цифровизация общества и развитие новых подходов организации и управления экономикой (сетевые, расширенные и виртуальные предприятия, глобальное производство и производство как сервис, Internet of Things; обзор новых технологий управления представлен, например, в [6]) привели к глубокой интеграции, как различных предприятий, так и их деятельности – недостаточно связать датчики, исполнительные механизмы и контроллеры обрабатывающих центров или автоматических складских комплексов, интегрировать системы автоматического управления с системами управления цехового уровня и уровня предприятия. Интеграция стала глобальной, особенное развитие получила такая форма организации, как *расширенные предприятия* – совокупности предприятий и фирм, объединённые едиными технологическими процессами и связями без юридического и финансового объединения. В расширенных предприятиях основными являются технологические связи, а не форма собственности, организационная структура или акционерный капитал.

В сфере управления всё более популярными становятся идеи смены организационных парадигм, замены жёстких управленческих оргструктур платформами и «функциональными домами» [7] (пулами однородных ресурсов), роста значения гибкости и скорости реагирования на изменяющиеся условия [8]. Всё это означает перенос управленческих связей из жёстких организационных структур в оперативные *технологические связи*.

Примером расширенного предприятия является компания Boeing Civil Aviation, выпускающая, в частности, гражданское воздушное судно Boeing-787 [9], 60 % компонентов которого производится примерно 20 тысячами субпод-

рядчиков по всему миру (Япония, Италия и др.), работающими в единой технологической цепочке, задаваемой головной компанией.

В различных сферах практической деятельности – производстве, управлении организационно-техническими системами (фирмами, организациями, проектами) к настоящему моменту стала популярной концепция жизненных циклов (ЖЦ). Под *жизненным циклом* будем понимать (беря за основу определение [10]) процесс эволюции системы, продукта, сервиса, проекта или иного объекта, начиная от концепции (или появления) и заканчивая утилизацией (или прекращением существования).

Жизненный цикл обычно рассматривается как совокупность *стадий* (возможно параллельных и перекрывающихся друг с другом по времени); в [10] выделяются наиболее общие стадии ЖЦ сложной искусственной системы: концепция, проектирование, производство/создание, применение, поддержка и утилизация. Концепция ЖЦ широко применяется также и к организациям, бизнесам, проектным программам, сотрудникам, производственным активам, технологиям, знаниям.

Совершенно естественными являются циклы, связанные, например, с многократным повторением:

- одной типовой операции;
- изготовления детали или изделия, или оказанием определённой услуги;
- рабочей смены или рабочего дня;
- отчётного/календарного периода (например, налогового).

Данные примеры позволяют отметить существование циклов КД и их различную длительность, одни циклы являются частями других, образуя сложные иерархии. В работе [2] предложена общая схема цикличности реализации КД, которую имеет смысл воспроизвести (рис. 1).

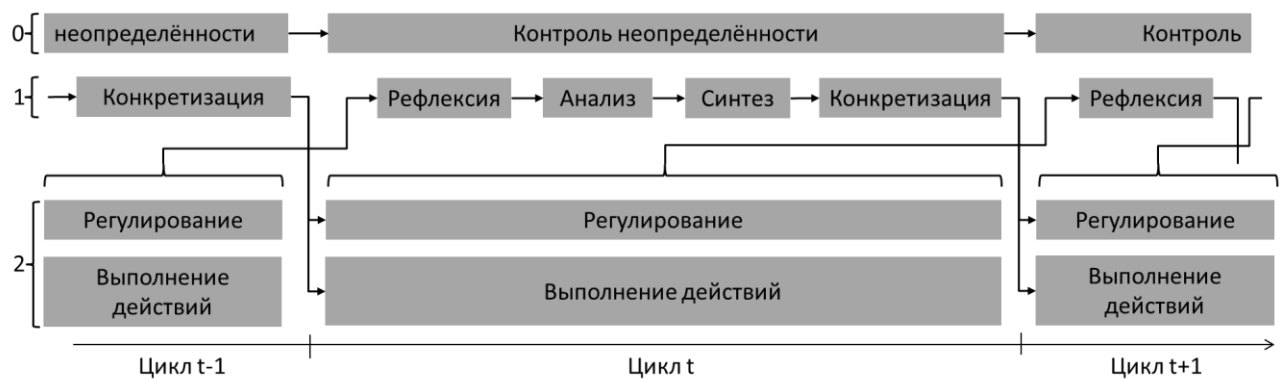


Рис. 1. Цикличность активностей субъекта комплексной деятельности

Важным является тренд ([8]) объявления ряда национальных программ (например, Industry 4.0 в Германии или Smart Manufacturing в США), направленных на создание у производственных предприятий способности совмещать

- высокую эффективность, характерную для массового производства, с индивидуализацией продукции, свойственной позаказному или даже ремесленному производству;
- возможность быстро и эффективно создавать/модернизировать технологию с регулярным, регламентированным, автоматизированным, цифровизированным, роботизированным производством.

Имеет смысл также отметить динамичность меняющейся политической, экономической, социальной, технологической среды, в которой функционируют предприятия, а также динамику спроса на соответствующие продукты и услуги.

Итак, современная мировая хозяйственная система представляет собой совокупность разномасштабных предприятий, которые создаются, реализуют жизненный цикл своей комплексной деятельности и заканчивают существование, сложным образом взаимодействуют друг с другом, формируют новые комплексные образования, становясь их элементами. Будем определять такие предприятия термином *адаптивные расширенные предприятия* (АРП) понимая их как расширенные предприятия (частный случай организационно-технических систем), функционирующие в условиях динамичной неопределённости и обладающие высоким уровнем адаптивности деятельности на уровне создания и изменений технологий (сочетающие возможность быстро и эффективно создавать

или модернизировать технологию с регулярной, регламентированной, автоматизированной, цифровизированной, роботизированной операционной деятельностью). Будем условно называть это специфическое свойство АРП «технологической адаптивностью».

Отдельного рассмотрения заслуживает тема повышения эффективности современных предприятий и их деятельности.

Эффективность КД определяется в существенной степени технологией и зависит также от реализующейся неопределённости ([3]). Поэтому основными направлениями повышения эффективности современных предприятий являются совершенствование технологий и снижение влияния неопределённости, осуществляющиеся в виде максимально возможного упорядочения и регламентации деятельности. Широкое распространение получили подходы реинжиниринга бизнес-процессов, управления качеством на основе системы стандартов ISO9000, методы Lean и другие аналогичные им (см., например, обзор в [6]). Совершенствованию и регламентации подвергаются не только технологические карты основных производственных процессов, но также и логистики, содержания инфраструктуры, финансов, кадров и другие. Общепринятым является детальное планирование на основе информационных систем класса ERP, сейчас ни в России, ни в мире практически нет предприятий, не использующих ERP-системы. В терминах [3] эти тренды означают, что большинство элементов штатной деятельности современных предприятий являются «регулярными», то есть происходит практически тотальная регуляризация деятельности АРП.

Ещё одной общераспространённой особенностью деятельности современных предприятий являются постоянные улучшения: широкое распространение получили такие подходы как TQM, «метод Тойота», «6 сигм», 7S Framework McKinsey (например, обзор в [6]). Основные идеи этих подходов заключаются, во-первых, в вовлечении всего персонала в совершенствование процессов деятельности, во-вторых, в непрерывных улучшениях в ходе штатного функционирования предприятий. То есть в ходе рефлексивной фазы жизненного цикла КД осуществляется глубокий анализ эффективности, а на фазе проектирования деятельности в технологию вносятся улучшающие изменения, используемые уже на

следующем цикле, и всё это выполняется на фоне штатного функционирования АРП. Важно заметить, что при этом технология остаётся неизменной непосредственно в ходе каждой фазы реализации, то есть реализуется «регулярная» деятельность.

Таким образом, необходимо отметить важную особенность деятельности АРП: сочетание частых изменений/улучшений технологии, выполняемой на фазе проектирования деятельности, с регулярностью и неизменностью технологии непосредственно в ходе фазы реализации. Рис. 1 иллюстрирует эту особенность и подчёркивает одновременность управленческих активностей субъекта КД: изменения/улучшения технологии (уровень «1» на рис. 1), происходят параллельно реализации КД (уровень «2»), и вместе со всем этим осуществляется контроль наступления событий неопределённости и формирование реакции на них (уровень «0»). Напомним, что источником этой особенности является сочетание трендов постоянного совершенствования эффективности и «технологической адаптивности».

3. Модель комплексной деятельности адаптивных расширенных предприятий

Формализуем представление жизненного цикла деятельности адаптивного расширенного предприятия с учётом отмеченных выше особенностей. Используем в качестве основы процессную модель СЭДа - модель жизненного цикла КД, которая предложена в [3] в виде трёх фаз: проектирования КД, реализации КД и рефлексии. Будем учитывать также детализацию управленческих активностей субъекта в течение всего ЖЦ КД [2] (рис. 2).

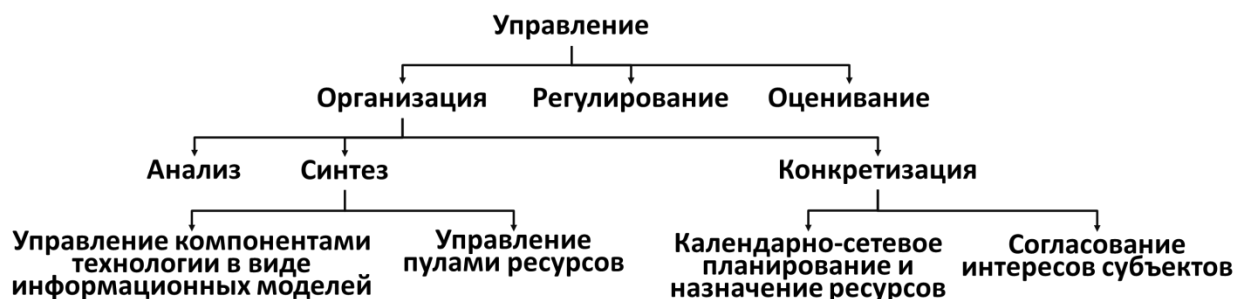


Рис. 2. Детализированная структура компонентов управления

Рассмотрим модель жизненного цикла КД АРП - процессную модель, представим её в BPMN¹-нотации [11] (рис. 3).

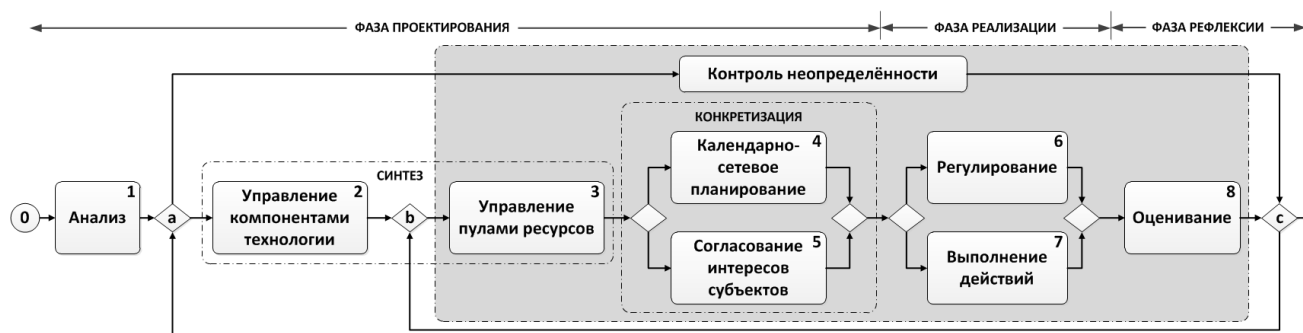


Рис. 3. Модель жизненного цикла КД АРП

В течение *фазы проектирования* создаётся технология и собственно АРП, активностями субъекта согласно [3] на данной фазе являются компоненты организации:

- *анализ* (1 - фиксация спроса, анализ возможностей, внешних условий и предшествующей деятельности);
- *синтез* (2 - управление компонентами технологии в виде информационных моделей: создание и дальнейшее поддержание в актуальном состоянии логической, причинно-следственной и процессной моделей, а также технологий нижестоящих элементов. 3 - управление пулами ресурсов: формирование/модернизация ресурсов.);
- *конкретизация* (4 - календарно-сетевое планирование и назначение ресурсов, 5 - согласование интересов субъектов).

После того, как технология создана, она используется для выполнения КД в ходе *фазы реализации*, субъект при этом осуществляет регулирование (6) и вы-

¹ В BPMN-нотации прямоугольники с закруглёнными углами означают операции/действия. Стрелками показаны потоки управления – последовательность переходов от одних действий к другим. Круги отражают события: круг с обычной границей – начальное событие, с жирной границей – терминальное событие, с двойной границей – событие неопределённости, возникающие в ходе соответствующего действия. Ромбы означают разветвления и слияния потоков управления, в том числе начало параллельного выполнения и проверки условий.

полняет действия (7). Завершает жизненный цикл *фаза рефлексии* – оценивание результатов КД (8).

Из свойства цикличности деятельности АРП следует, что однократно зафиксировав спрос в ходе анализа (1) и создав компоненты технологии (2), субъект многократно выполняет деятельность в течение фазы реализации в некотором цикле, который будем называть *продуктивным*, а активности, представляющие его – продуктивными активностями (на рис. 3 группа активностей 3-8, выделенная затемнением).

Из свойства технологической адаптивности АРП следует, что технология КД АРП периодически изменяется, модернизируется (2), очевидно, что модернизации (2) предшествует оценивание предыдущей деятельности (8).

Из свойства непрерывного функционирования АРП (циклического и непрерывного выполнения КД) следует, что контроль неопределённости, рефлексия и модернизация технологии производится параллельно реализации КД, как показано на рис. 1: в течение определённого продуктивного цикла осуществляется рефлексия КД, выполненной на предыдущем цикле, и модернизируется технология, которая будет применена на следующем продуктивном цикле.

Из свойства регулярности деятельности АРП следует, что технология элементов КД не меняется в ходе того продуктивного цикла, в котором они реализуются, изменение / модернизация их технологии может производиться только в одном из предшествующих циклов: технологии продуктивных активностей 3...8 неизменны в ходе их выполнения.

Из свойства неопределённости КД АРП следует, что в ходе реализации жизненных циклов могут происходить события измеримой и истинной неопределённости. В [2] было определено, что возможность наступления событий измеримой неопределённости должна быть учтена при разработке компонентов технологии, следовательно, такие события не нарушают реализацию ЖЦ КД, что соответствует многократному выполнению продуктивных активностей (3...8 от точки b до точки c). Напротив, события истинной неопределённости создают

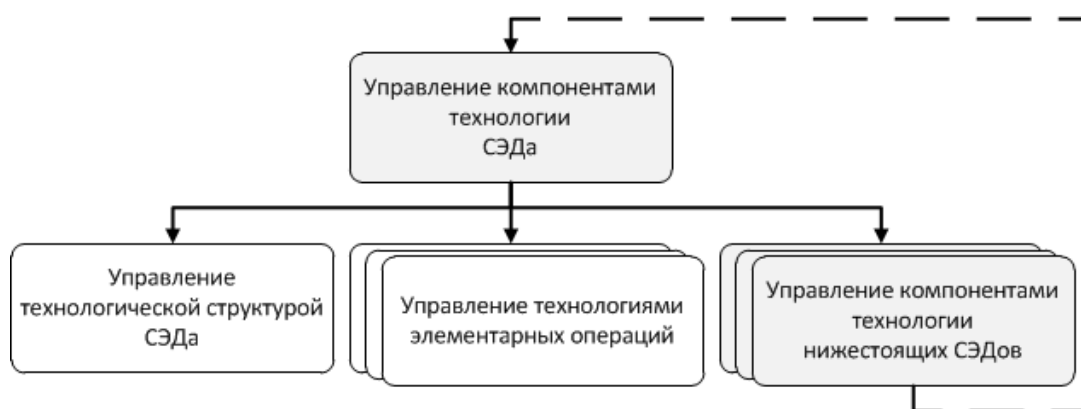
условия, при которых технология становится неадекватной, что вызывает необходимость её модернизации – переход к точке «а» и выполнение активности (2) - управления компонентами технологии.

4. Модель управления компонентами технологии в виде информационных моделей

Перечень компонентов технологии КД следует из состава системы моделей, предложенных в [3] для описания комплексной деятельности, и фактически фиксируется «утверждением о составе технологии комплексной деятельности» [3] - компонентами технологии каждого СЭДа являются:

- логическая, причинно-следственная и процессная модели;
- технологии нижестоящих элементов²:
 - технологии СЭДов
 - технологии элементарных операций.

Так как компонентами технологии СЭДа являются технологии (нижестоящих по логической структуре) СЭДов, технология фрактальна, как и комплексная деятельность. Соответственно деятельность по управлению компонентами технологии также фрактальна - реализуется через рекуррентное обращение «к самой себе» (рис. 4).



² Частными случаями нижестоящих элементов КД являются управленческие активности – управление пулами ресурсов, календарно-сетевое планирование и назначение ресурсов, согласование интересов субъектов, регулирование, оценивание.

*Рис. 4 Логическая структура деятельности
по управлению компонентами технологии*

Технологической структурой СЭДа назовём логическую, причинно-следственную и процессную модели, а также зависимости и последовательности создания технологий нижестоящих элементов. Управление технологической структурой будет означать создание и поддержание её в адекватном внешним условиям состоянии.

Элементы «Управление компонентами технологии» декомпозируются в элементы нижестоящего уровня и образуют фрактальную иерархию. Элементы «Управление технологической структурой» и «Управление технологией элементарных операций» зависят от специфики предметной области и конкретных особенностей рассматриваемой деятельности. На системном уровне они не требуют дальнейшей детализации на системном уровне. Технологии элементарных операций и технологическую структуру можно объединить по этому основанию и назвать *недетализируемыми компонентами технологии* (НДКТ), остальные компоненты технологии будем называть *комплексными компонентами технологии* (ККТ).

Рассмотрим модель деятельности по управлению НДКТ, начиная с создания НДКТ. Создание НДКТ **эвристично**, и в общем случае не поддаётся детализации или формализации (если это действительно создание новой технологии, а не использование в качестве шаблона частично или полностью известной технологии). Поэтому может быть представлено только одним элементом – элементарной операцией (структурирование эвристики не имеет основания, следовательно, бессмысленно). Однако жизненный цикл любой деятельности включает фазу рефлексии, существует она и при создании НДКТ и заключается в оценивании адекватности синтезированного НДКТ различным состояниям внешней среды.

Также эвристике предшествует принятие субъектом решения о выполнении деятельности.

Тогда ЖЦ деятельности по созданию технологии НДКТ можно представить процессной моделью, приведённой на рис. 5, в составе основных фаз:

1. Фаза анализа. Субъект принимает решение реализовывать деятельность.
2. Фаза эвристики. Субъект генерирует эвристику – вариант НДКТ.
3. Фаза рефлексии. Субъект проверяет вариант НДКТ на соответствие цели-требованиям-спросу. В случае отрицательного результата возвращается к фазе 2 и повторяет до тех пор, пока не будет получен адекватный вариант.

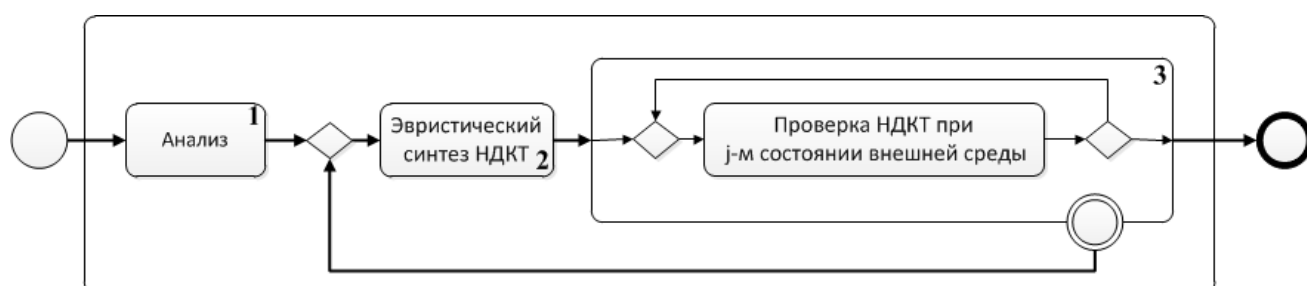


Рис. 5. Процессная модель управления НДКТ

Проверки могут выполняться в виде мысленных экспериментов; модельных экспериментов с математическими, компьютерными или физическими моделями; натурных экспериментов. В общем случае можно считать, что проверки выполняются многократно, и в ходе выполнения одного акта проверки оценивается адекватность НДКТ одному состоянию внешней среды (сложившемуся в данном цикле). Фаза рефлексии завершается, когда метрика завершенности проверок (например, доля или количество возможных состояний внешней среды, для которых проверка выполнена) достигла априори заданного значения.

Обобщим полученную процессную модель на случай управления комплексными компонентами технологии – в общем случае это технология СЭДа (рис. 6).

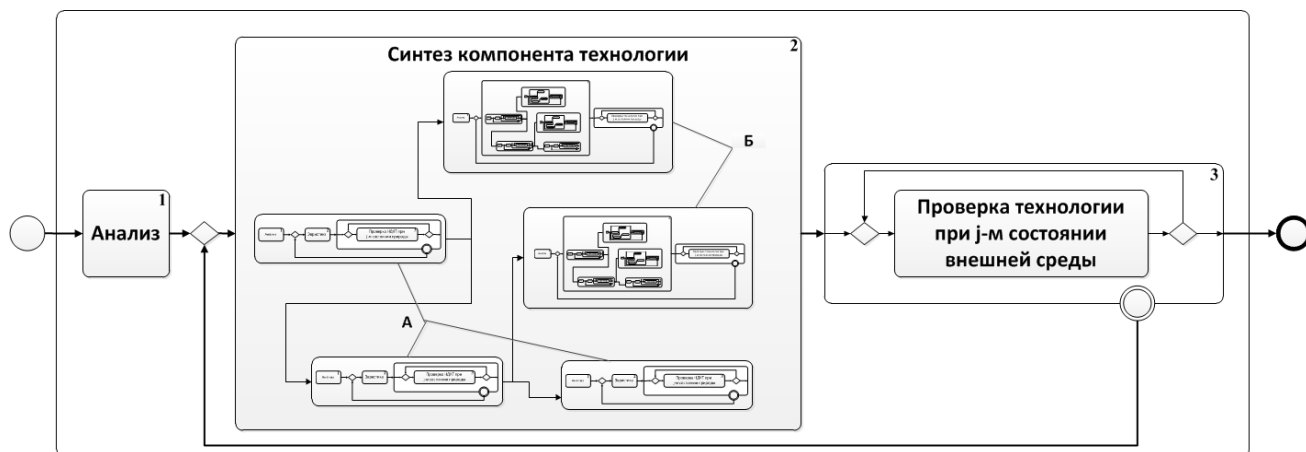


Рис. 6. Процессная модель управления компонентом технологии

Фазы анализа (1) и рефлексии (3) будут иметь ту же форму, что и в случае управления НДКТ, так как нет оснований для обратного.

Фаза эвристики (как следует из выполненного в начале данного раздела анализа состава компонентов технологии) будет представлять собой некоторую последовательно-параллельную комбинацию³ (2), узлами которой будут элементы деятельности по управлению НДКТ (а) или технологией СЭДа (б). Состав и структура комбинации зависят от специфики предметной области и на общесистемном уровне не позволяют выделить и использовать какие-либо ещё закономерности.

Таким образом, деятельность по управлению компонентами технологии в общем случае представляется процессной моделью рис. 6, а в частном случае НДКТ – моделью рис. 5.

Управление компонентами технологии включает не только создание этих компонентов, но и поддержание их в адекватном состоянии в ходе использования, поэтому для формализации проблемы управления необходима модель, представляющая как создание, так и использование технологии. Для формирова-

³ Состав и связи между узлами в структуре (2) показаны на рисунке условно.

ния такой модели (рис.7) объединим модели жизненного цикла КД АРП (рис. 3) и процессную модель управления компонентами технологии (рис. 5-6).



Рис. 7. Интегрированная модель управления компонентом технологии

Интегрированная модель иллюстрирует основную закономерность процесса управления компонентами технологии - множественную цикличность. Во-первых, в ходе создания или модернизации технологии после непосредственного синтеза (2) производится многократная проверка технологии (3). В случае неудачной проверки происходит возврат к синтезу (от d к a). При успешной завершении проверок технология многократно используется в продуктивном цикле (4, $b \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow \dots$). При изменении внешних условий (например, спроса) технология становится неадекватной им, что вызывает необходимость её модернизации – возврат от «с» к «а». И все эти циклы вместе образуют жизненный цикл соответствующего элемента комплексной деятельности.

Таким образом, проблема управления технологией комплексной деятельности заключается в управлении множественными взаимосвязанными циклами, представленными интегрированной моделью рис. 7.

5. Обзор известных моделей и методов

В предыдущих разделах показано, что процесс управления компонентами технологии формально представляет собой последовательное повторение циклов интегрированной модели (рис. 7). Такие задачи встречаются во многих отраслях знаний – испытании сложных систем, анализ и тестирование программного обеспечения и др., где получено большое количество соответствующих решений. Рассмотрим примеры известных моделей и методы описания и решения таких задач:

- испытание сложных систем и проверка их характеристик [12, 13, 14],
- тестирование программного обеспечения [14, 15, 16, 17],
- управление знаниями и извлечение/приобретение знаний [18, 19, 20, 21],
- итеративное научение в педагогике, психологии, физиологии человека и животных [22],
- тестирование знаний обучаемых в педагогике [23, 24, 25].

Все перечисленные задачи, как и процесс создания технологии, отличаются неопределённостью, поэтому для их описания практически во всех случаях используются вероятностные модели и/или аппарат случайных процессов.

Испытания сложных систем (в частности, авиационных комплексов) в [12] представляются в виде иерархической структуры, узлы которой описывают испытание элементов, блоков и систем. Постулируется экспоненциальная (или логистическая) зависимость эффективности компонентов изделия от продолжительности испытаний. На основании известной аппроксимации случайных функций через математические ожидания и дисперсии записывается задача оптимизации процесса испытаний. Задачи испытания изделий и математических моделей также часто ставятся как задачи проверки гипотез и планирования эксперимента, например [13].

Весьма распространённым является метод Model Checking и его вариант Statistical Model Checking [15], которые применяются для тестирования и комплексных систем, и сложного программного обеспечения [14]. Общие подходы к тестированию изложены в достаточно большом количестве ставших классическими работ – см., например, [16], а также основном профессиональном интернет-источнике программной индустрии - SWEBOOK V3 [17].

В настоящее время разработано достаточно большое количество моделей, описывающих процесс извлечения/приобретения знаний, все они в той или иной степени реализуют последовательные процессы анализа предметной области и улучшения моделей, приведём несколько примеров. В [18] предложен общий алгоритм поддержки принятия решений на основании анализа большого количества смешанных данных (непрерывных и порядковых). В статье [20] утверждается, что стохастические и детерминированные знания дополняют друг друга и улучшают друг друга, вводится стохастическая модель приобретенных знаний на основе диффузионной аппроксимации. Работа [19] посвящена оптимальному байесовскому агенту-алгоритму моделирующему процесс извлечения знаний в ходе последовательных наблюдений за стохастической средой со счётным множеством состояний, в основу алгоритма положена теория индуктивного вывода Соломонова. Объектом исследования [21] являются базы данных систем автоматизированного проектирования, а предметом - процесс извлечения знаний из таких баз данных.

Модели итеративного научения [22] в педагогике, психологии, физиологии человека и животных описывают процесс итеративного научения – многократное повторение обучаемой системой (живой или неживой – технической или кибернетической) действий, проб, попыток и т.д. для достижения фиксированной цели при постоянных внешних условиях. В обзорной работе [22] проанализированы десятки известных и распространённых моделей итеративного научения, и сформулирована общая модель, обобщающая свойства отдельных моделей. Ограничением и отдельных моделей научения и обобщающей модели является, во-первых, постулирование законов научения, во-вторых, отсутствие

обоснованных механизмов комплексирования моделей элементов в модель сложной системы, осуществляющей наущение.

В педагогических измерениях получили широкое развитие методы современной теории тестов Item Response Theory [23, 24], предназначенной для оценивания латентных (ненаблюдаемых) параметров испытуемых и заданий тестов на основе статистических моделей измерения. Модель взаимосвязи между значениями латентных переменных и наблюдаемых результатов выполнения теста в IRT определяется как условная вероятность правильного выполнения обучаемыми заданий теста. При этом условная вероятность задаётся логистической кривой или функцией вероятности нормального распределения. Наиболее распространёнными являются модели Раша [25] и Бирнбаума [24] в которых выбираются конкретные значения коэффициентов логистической функции.

Подводя итоги краткого обзора известных результатов можно сказать, что рассмотренные модели представляют те или иные элементы цикла интегрированной модели в относительно простой форме: во-первых, без учёта рекурсивности и фрактальности таких циклов; во-вторых, постулируя базовые закономерности (например, экспоненциальная или логистическая зависимость эффективности компонентов изделия от продолжительности испытаний в [12] или экспоненциальная или логистическая зависимость уровня наущения от времени в [22]), которые вообще говоря, являются следствием более сложных процессов требующих моделирования анализа. В то же время, результаты, изложенные в [1, 2, 3] позволили проанализировать особенности этого цикла и отразить их в единой общесистемной интегрированной модели (рис. 7), которая благодаря этому обобщает, детализирует и уточняет известные модели.

Основываясь на интегрированной модели (рис. 7), сформулируем задачи оптимизации процесса управления компонентами технологии КД.

6. Задачи управления компонентами технологии

Процесс создания и использования технологии при реализации ЖЦ КД (рис. 7) включает создание недетализируемых элементов технологии, а также интеграции НДКТ в комплексную технологию КД. Поэтому необходимо решить задачи управления НДКТ, а на их основе – интеграции НДКТ в комплексную технологию, ККТ, и управление ею.

6.1 Задачи управления недетализируемыми компонентами технологии

Интегрированная модель (рис. 7) описывает циклическое повторение проверок НДКТ – и в ходе предварительных проверок (блок «3» на рис. 7), и при реализации жизненного цикла (блок «4» на рис. 7), поэтому естественно рассматривать создание НДКТ как процесс с дискретным временем и считать, что на каждом шаге (одной предварительной проверки или одного ЖЦ) внешняя среда принимает одно из *множества возможных состояний внешней среды* (МВСВС). В интересах данной задачи считаем, что МВСВС может быть разделено на некоторое количество непересекающихся областей, а состояния внешней среды, принадлежащие одной области, неразличимы. Поэтому говорим, что МВСВС конечно, а состояние внешней среды принимает одно и только одно значение из МВСВС на каждом шаге дискретного времени.

Считаем, что, если состояние внешней среды на каком-то шаге впервые принимает некоторое значение, то возникает событие неопределённости, требующее затрат на создание или адаптацию НДКТ применительно к этим условиям. Когда состояние внешней среды повторно принимает это значение на одном из более поздних шагов, затрат на создание технологии не требуется.

Тогда процесс создания НДКТ будет описываться тем, сколько и какие значения из МВСВС принимало состояние внешней среды, а какие ещё нет, введём для этого показатель *уровень разработанности технологии* (аналог *уровня научения*; последовательность значений уровня научения называется *кривой научения*). Уровень разработанности определим как долю состояний внешней среды, для которых технология проверена или адаптирована, или как вероятность того, что на следующем шаге состояние внешней среды примет одно из значений, которые уже принимало ранее.

Естественной является постановка задачи как можно более быстрого и эффективного достижения требуемого уровня разработанности технологии, оптимизируемыми и ограничивающими параметрами могут быть время и ресурсы.

В общем случае оптимизация процесса создания технологий может выполняться за счёт:

- Выбора разбиения состояний внешней среды на непересекающиеся подмножества, внутри которых все состояния внешней среды считаются эквивалентными.
- Выбора последовательности перебора состояний внешней среды при проверках.
- Перераспределения проверок между уровнем создания НДКТ (внутри блока «2» рис. 7) и уровнем СЭДа после интеграции НДКТ (блок «3»).
- Разделения ограниченных ресурсов между отдельными НДКТ без или с учетом времени начала создания НДКТ и его продолжительности.
- Определения допустимого (с точки зрения рисков) объёма привлекаемого (неограниченного) ресурса для обеспечения всех НДКТ.

Операции «эвристики» (блок «2» на рис. 7) и проверки технологий (внутри блока «3») являются специфическими и на общесистемном уровне не могут являться объектами управления и оптимизации. Поэтому в интересах данной задачи можно считать, что они характеризуются известными временами выполнения и расходуемыми ресурсами (в частном случае, случайными величинами с известными законами распределения). Также считаем, что эти операции выполняются независимо, а связи между ними реализуются через заданные причинно-следственные зависимости между процессами создания отдельных элементов технологии, фиксированными считаем перечни элементов КД, логические и причинно-следственные модели.

Знания субъекта о внешней среде и его возможности влияния на неё могут характеризоваться в зависимости от специфики КД различными сочетаниями факторов, приведённых в таблице 1 ниже.

Когда субъект знает перечень возможных состояний внешней среды и может выбирать очередное состояние (строка 1 в таблице 1 ниже), задача является тривиальной: субъект упорядочивает состояния, начиная с наиболее вероятного, по убыванию вероятностей и последовательно перебирает их до достижения требуемого уровня. Такой алгоритм минимизирует и время, и затраты на достижение требуемого уровня.

Сочетание, когда состояния внешней среды неизвестны субъекту, но он может управлять их выбором (строка 2 в таблице 1), является несовместным.

Табл. 1. Варианты постановки задачи синтеза технологии

Известны ли субъекту перечень возможных состояний внешней среды и вероятности их наступления	Может ли субъект управлять выбором состояния внешней среды	Перечень возможных состояний внешней среды и вероятности их наступления	
		Не изменяются	Могут изменяться
Известны	Может управлять	<i>Задача тривиальна</i>	
Неизвестны		<i>Сочетание несовместно</i>	
Известны	Не может управлять	<i>Задача 1</i>	<i>Задача 3</i>
Неизвестны		<i>Задача 2</i>	<i>Задача 4</i>

Остальные сочетания дают четыре варианта постановки: «задача 1» - «задача 4». Во всех них реализация очередного состояния неопределённа и не зависит от субъекта.

Если неопределённость внешней среды истинная (у субъекта нет оснований для описания внешней среды какими-либо закономерностями и/или ограничениям), то задача вырождается.

В случае измеримой неопределённости субъект может использовать стохастические, нечёткие, интервальные или какие-либо иные известные модели внешней среды и с их помощью устранять неопределённость [26].

«Задача 1» (перечень и вероятности наступления состояний внешней среды постоянны и известны субъекту) возникает всегда и является в этом смысле базовой. Первоначальный синтез технологии КД субъект всегда выполняет, ориентируясь на определённый перечень состояний внешней среды, задаваемый спросом на результаты КД, и процесс проверок (блок 3 на рис. 5-7) соответствуют «задаче 1». «Задача 1» может формулироваться как расчёт кривой уровня работанности технологии (т.н. кривая научения) и оптимизация этого уровня в зависимости от времени и ресурсов.

Аналогично «задача 4» с необходимостью возникает при сколько-нибудь продолжительном использовании технологии, что отражает естественную изменчивость внешней среды, этому случаю отвечает реализация продуктивных активностей (блок 4 рис.7). «Задачу 4» имеет смысл ставить как оптимальное принятие решений об обнаружении изменений закономерностей поведения внешней среды и необходимости адаптации/модернизации компонента технологии.

«Задачи 2 и 3» - промежуточные, они могут возникать или не возникать в зависимости от специфики предметной области, а с формальной точки зрения - являются вариациями «задачи 4».

6.2 Задачи управления комплексными компонентами технологии

Комплексные компоненты технологии формируются путём интеграции недетализируемых компонентов, поэтому рассмотрим сначала механизм комплексирования НДКТ в ККТ. Интеграция НДКТ и формирование таким образом ККТ осуществляется согласно логической и причинно-следственным структурам КД [1, 3].

Логическая структура КД определяется [3] в виде конечного ациклического графа, описывающего структуру целей элементов КД и тот факт, что каждый СЭД (и КД в целом, как частный случай) декомпозирован на конечное число нижестоящих СЭДов и элементарных операций. Кроме структуры целей логиче-

ская структура представляет также «управленческую» иерархию подчиненности и ответственности субъектов СЭДов за результаты – за достижение целей. Логическая структура каждого отдельного СЭДа является одноуровневой, отражая фактически перечень подцелей нижестоящих элементов КД. Поэтому на общесистемном уровне логические модели любых СЭДов эквивалентны: логическая модель элемента КД АРП, не обладает какими-либо общесистемными отличиями – как и логической модели любого СЭДа ей соответствует верная структура.

Причинно-следственная модель СЭДа описывает технологические связи между нижестоящими элементами КД, то есть задаёт порядок достижения целей каждого из элементов КД, она является причинно-следственной структурой, заданной на множестве целей. Структура может быть описана ориентированным графом, вершины которого отражают цели элементов КД (или сами элементы), а множество дуг - непосредственные причинно-следственные отношения между целями. Граф будет обладать рядом свойств, следующих из того, что вершинами его являются цели организованных вышестоящим СЭДом элементов КД:

- Граф содержит единственную конечную вершину, соответствующую конечной цели группы элементов КД.
- Граф является связным, так как задание подцелей, не являющихся необходимыми для достижения конечной цели, лишено смысла.
- Граф не может содержать циклы, так как декомпозиция целей на подцели предполагает однократное достижение любой из подцелей. Если какая-либо подцель должна быть достигнута конечное (декомпозиция цели на бесконечное количество подцелей не имеет смысла) число раз, это следует отражать как несколько подцелей.
- Нумерация вершин графа является правильной [27]. «Правильность» нумерации вершин графа отражает априорные представления о причинно-следственных связях результатов нижестоящих элементов деятельности.

Такой граф будет условно называть «бинарной» сетью, т.е. любой её элемент характеризуется своими бинарными результатом - фактом достижения или не достижения цели, условная трактовка которого: цель элемента КД достигнута и результат может быть использован другими элементами КД, или результат не пригоден для использования другими элементами КД.

Бинарная сеть также задаёт фактически предусловия выполнения элементов КД, в виде логических функций-предусловий, аргументами которых являются результаты вершин – непосредственных предшественников. Наиболее простыми примерами функций-предусловий являются конъюнкция (когда для начала выполнения элемента необходимо достижение результатов всеми его непосредственными предшественниками), и дизъюнкция (когда для начала выполнения элемента необходимо достижение результата хотя бы одним из его непосредственных предшественников).

Свойства бинарной сети позволяют говорить о необходимости и достаточности перечня задач комплексирования компонентов технологии в составе а) последовательного, б) параллельного конъюнктивного и в) параллельного дизъюнктивного комплексирования компонентов технологии. В каждом из вариантов комплексирования следует оптимизировать уровень разработанности комплексного компонента технологии в зависимости от времени и ресурсов.

7. Заключение

Итак, проблемы управления технологией комплексной деятельности организационно технических систем формализованы в виде предложенных в работе алгоритмических моделей (разделы 3 и 4) и задач (раздел 6) управления компонентами технологии.

Полученная формализация проблем может служить теоретической основой разработки математических моделей синтеза технологий комплексной деятельности сложных организационно-технических систем и современных адаптивных расширенных предприятий.

8. Литература

1. Белов М.В., Новиков Д.А. Организация и управление комплексной деятельностью // Проблемы теории и практики управления. 2018. №2. С. 21-37.
2. Белов М.В. Проблемы управления жизненными циклами организационно-технических систем // Управление большими системами. 2018. В печати.
3. Белов М.В., Новиков Д.А. Методология комплексной деятельности. М.: Лананд, 2018. 320 с.
4. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 3-е изд. М.: Физматлит, 2012. 604 с.
5. Rebovich G., White B. Enterprise Systems Engineering: Advances in the Theory and Practice. Boca Raton: CRC Press. 2011. 459 p.
6. Белов М.В. Системно-инженерные и экономические аспекты управления жизненным циклом // Управление большими системами. 2015. № 56. 2015. С. 6 - 65.
7. De Smet A., Lund S., Schaininger W. Organizing for the Future. Platform-based Talent Markets Help Put the Emphasis in Human-capital Management Back where it Belongs-on Humans. January 2016 <http://www.mckinsey.com/insights/organization/organizing-for-the-future>
8. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо. 2016. 208 с.
9. Воробьев А. «Boeing 787 сделан практически навсегда». Интервью с С.В. Кравченко. // Ведомости. 11 января 2016. С. 8
10. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and Software Engineering - System Life Cycle Processes.
11. Business Process Model and Notation (BPMN), v2.0.2. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>
12. Александровская Л.Н., Круглов В.И., Кузнецов А.Г., Шолом А.М. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем. Учебное пособие. _ М: Логос. 2003. 735 с.

13. *Кочура С.Г., Кузнецов Н.А., Носенков А. А.* О математическом моделировании электрических испытаний космических аппаратов связи // Изв. Вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 4, С. 43-47.
14. *Henriques D., Martins J.G., Zuliani P., Platzner A., Clarke E.M.* Statistical Model Checking for Markov Decision Processes // Quantitative Evaluation of Systems, International Conference on (QEST), London, United Kingdom United Kingdom, 2012, pp. 84-93. doi:10.1109/QEST.2012.19
15. *Legay A., Delahaye B., Bensalem S.* Statistical Model Checking: An Overview. In: Barringer H. et al. (eds) Runtime Verification. RV 2010. Lecture Notes in Computer Science. 2010. vol 6418. Springer, Berlin, Heidelberg
16. *Бейзер Б.* Тестирование черного ящика. Технологии функционального тестирования программного обеспечения и систем СПб. Питер. 2004. 318 с.
17. *Bourque P., Fairley R.E.* eds., Guide to the Software Engineering Body of Knowledge, Version 3.0, IEEE Computer Society, 2014; www.swebok.org
18. *Wong A., Wang Y.* Pattern Discovery: A Data Driven Approach to Decision Suppor. // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics vol. 33, no. 1, February 2003 pp. 114-124
19. *Orseau L., Lattimore T., Hutter M.* Universal Knowledge-Seeking Agents for Stochastic Environments. In: Jain S., Munos R., Stephan F., Zeugmann T. (eds) Algorithmic Learning Theory. ALT 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 8139. Springer, Berlin, Heidelberg
20. *Stoica G., Strack B.* Acquired Knowledge as a Stochastic process. Surveys in Mathematics and its Applications 12 (2017), 65 – 70 <http://www.utgjiu.ro/math/sma>
21. *Бондаренко И.Б., Иванов А.И.* Организационная модель многоагентной системы извлечения знаний из распределенных гетерогенных баз данных систем автоматизированного проектирования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2015. № 4 (36). С. 54–63.
22. *Новиков Д.А.* Закономерности итеративного научения. М.: Институт проблем управления РАН, 1998. – 96 с.

23. *van der Linden W.J., Hambleton R.H.* Handbook of Modern Item Response Theory Springer Science & Business Media, 1996 г. p.512
24. *Чельщикова М.Б.* Теория и практика конструирования педагогических тестов. Учебное пособие. М.: Логос, 2002. 432 с.
25. *Дроздов В.И., Бойцова Е.А., Новиков Ю.М.* Исследование качества тестов с использованием модели Раша. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-kachestva-testov-s-ispolzovaniem-modeli-rasha>
26. *Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П.* Введение в системный анализ. М.: Высшая школа, 1989. - 320 с.
27. *Бурков В.Н., Горгидзе И.А., Ловецкий С.Е.* Прикладные задачи теории графов. Тбилиси: ВЦ АН ГССР, 1974. – 232 с.