

*На правах рукописи*



Пай Со

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ  
ПОДДЕРЖКИ АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ  
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

2.3.1 – Системный анализ, управления и обработка информации, статистика

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН».

Научный руководитель: **Волкова Галина Дмитриевна**  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий и вычислительных систем ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва

Официальные оппоненты: **Головин Сергей Анатольевич**  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математического обеспечения и стандартизации информационных технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет», г. Москва

**Манцеров Сергей Александрович**  
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации машиностроения ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск

Защита состоится «8» октября 2024 года в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.332.02 при ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» по адресу: 127994, г. Москва, Вадковский пер., д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», [www.stankin.ru](http://www.stankin.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
24.2.332.02  
д.ф.-м.н., доцент



Елисеева Юлия Витальевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Республика Союз Мьянма проводит индустриализацию экономики с целью уменьшения зависимости от зарубежных поставщиков техники, которая необходима стране в различных отраслях. Развитие этих отраслей и областей деятельности невозможно без использования современных информационных технологий. Нехватка квалифицированных специалистов, которые могут проектировать сложные технические системы и создавать новые конкурентоспособные технические продукты, является серьезным препятствием для промышленного развития страны. Особую роль при создании, приобретении и внедрении технических систем (ТС) играет процесс анализа и моделирования производственных систем/процессов.

Существующие методы анализа и моделирования процессов жизненного цикла ТС ориентированы, в основном, на неформальное их описание. Это обуславливает большую трудоемкость и затраты при реализации процессов жизненного цикла ТС. Для рациональной организации жизненного цикла ТС требуется не только моделирование всех его процессов, но и учет всевозможных связей и ограничений, существующих между этими процессами. В промышленности Мьянмы пока недостаточно развиты исследования, связанные с изучением всего жизненного цикла ТС. Это, в свою очередь, затрудняет саморазвитие страны в условиях рыночной экономики.

Современные предприятия постоянно стремятся к улучшению своей деятельности. Для этого необходимо использовать новые технологии ведения бизнеса, средства повышения качества конечных результатов деятельности и, конечно, методы организации деятельности предприятий. Республика Союз Мьянма может использовать накопленный в этой области опыт зарубежных стран. Для решения проблем становления и развития промышленности Республики, актуальным является исследование процессов жизненного цикла, анализ их структуры и составляющих, критериев их эффективности и надежности и др.

**Степень разработанности темы.** В. Хубка впервые предложил теорию ТС, систематизировал и обобщил информацию по ТС. Исследованиями в области моделирования ЖЦ ТС занимались отечественные специалисты: Судов Е.В., Шустов С.А., Колчин А.Ф., Соломенцев Ю.М., Яблочников Е.И., Романовская В.Е., Гурьев А.Т., Каменнова М.С., Калянов Г.Н. и др., так и зарубежные: Mikel A., Fei T., Шерр А.-В. и др.

Изучение существующих подходов к моделированию процессов ЖЦ ТС выявило наличие проблем, связанных с отсутствием описания взаимосвязей этих процессов.

Выявленные проблемы, связанные с особенностями описания процессов ЖЦ ТС, определили необходимость разработки метода моделирования рассматриваемых процессов с целью повышения их эффективности. Это позволило сформулировать цель работы и поставить научную задачу.

**Целью** настоящей работы является повышение эффективности производственных и проектных процессов технических систем за счет

разработки метода анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем, обеспечивающего эффективную организацию этих процессов и подготовку кадров для промышленности.

Для достижения поставленной цели в работе была поставлена и решена **научная задача**, включающая:

- исследование особенностей и проблематики становления промышленности в Республике Союз Мьянма;
- анализ существующих методов и инструментальных средств поддержки анализа и моделирования процессов ЖЦ ТС;
- разработку метода анализа и моделирования процессов в рамках ЖЦ ТС, позволяющего формально описывать эти процессы на основе системного подхода;
- разработку формального описания моделей проектных решений с учетом уровней абстракции технических систем по российской и немецкой практикам;
- разработку концептуального представления задач проектной деятельности по немецкой и российской практикам;
- разработку инструментальных средств поддержки процессов анализа и моделирования технических систем.

**Объектом исследования** являются процессы жизненного цикла технических систем.

**Предметом исследования** является моделирование и описание процессов в жизненном цикле технических систем и их взаимосвязи.

**Научная новизна** заключается в следующем:

- установлены взаимосвязи между характеристиками процессов жизненного цикла технических систем;
- разработан метод анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем как обобщение российской и немецкой практик на основе системного подхода;
- разработаны формальные описания взаимосвязей процессов жизненного цикла на основе проектных решений с учетом уровней абстракции технических систем;
- разработаны концептуальные представления задач проектной деятельности по российской и немецкой практике.

**Теоретическая значимость.** Разработанный метод может быть использован для дальнейшего развития теоретических основ моделирования производственных, проектных и управленческих процессов технических систем.

**Практическая значимость.** Разработано методическое обеспечение моделирования процессов ЖЦ ТС, а также разработаны инструментальные средства поддержки анализа и моделирования технических систем.

Инструментальные средства поддержки анализа и моделирования технических систем были использованы в учебном процессе в рамках подготовки специалистов по направлению «Информатика и вычислительная техника» (при выполнении лабораторных работ по дисциплине

«Концептуальное проектирование техники и технологии» у студентов 4-го курса).

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач в работе использован аппарат теории множеств, теории систем, теории баз данных, методологических основ проектной деятельности, законов и закономерностей техники.

**Соответствие паспорту специальности.** Указанная область исследования соответствует паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (технические науки), а именно: п. 5 – «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»; п. 8 – «Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем»; п. 10 – «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах».

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся:

1. Результаты исследования методов и инструментальных средств поддержки анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем.

2. Метод анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем.

3. Разработанные концептуальные представления задач проектной деятельности по российской и немецкой практикам.

4. Разработанные методические и инструментальные средства поддержки анализа и моделирования технических систем.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность научных результатов диссертационной работы обеспечена обстоятельным сравнительным анализом предшествующих научных разработок по исследуемой проблематике и преемственностью основных положений, сформулированных автором. Эффективность результатов исследования подтверждена её практическим применением в учебном процессе кафедры «Информационные технологии и вычислительные системы» МГТУ «СТАНКИН» при подготовке специалистов по направлению «Информатика и вычислительная техника» по дисциплине «Концептуальное проектирование техники и технологии».

**Апробация работы.** Результаты работы докладывались на международной научно-практической конференции «Научные аспекты современных исследований», Новосибирск, 2017; на международной научно-практической конференции «Современная наука: инновации, проекты, инвестиции», Уфа, 2017; на 37-й международной научно-практической конференции «World science: Problems and Innovations», Пенза, 2019; на 26-й международной научно-практической телеконференции «Российская наука в современном мире»; на научно-техническом журнале «Информационные технологии в проектировании и производстве», Москва, 2022 и обсуждались на заседаниях кафедры «Информационные технологии и вычислительные системы» ФГБОУ ВО

МГТУ «СТАНКИН». Результаты использованы в рамках выполнения проекта № 17-29-07056 «Разработка моделей и методов представления и обработки проблемно-ориентированных знаний, извлекаемых из научно-технических текстов и конструкторско-технологической документации» по гранту РФФИ (2018–2020 гг.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 статей, из них 2 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК для публикации результатов работ на соискание ученой степени, 2 статьи в международных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (109 наименований) и 3 приложений. Работа содержит 211 страниц сквозной нумерации, включая 116 рисунков, 20 таблиц и 12 страниц приложений.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность работы, формулируются основные задачи и основные положения, выносимые автором на защиту. Приводится структура и общее содержание диссертации по главам.

**В первой главе** рассмотрены особенности становления промышленности в Республике Союз Мьянма, проведен анализ существующих методов анализа и моделирования процессов ЖЦ ТС, проведено исследование методов проектирования технических систем, проведен анализ инструментальных средств поддержки анализа и моделирования процессов ЖЦ ТС.

Проделанные исследования позволили выделить следующие проблематики становления промышленности в Республике Союз Мьянма:

- нехватка квалифицированных инженерно-технических и рабочих кадров, обеспечивающих разработку, производство, эксплуатацию и утилизацию промышленной продукции различного назначения;
- нехватка электроэнергии для становления промышленности различного рода;
- отсутствие научно-методических основ формирования образовательных траекторий, учебных планов и программ;
- отсутствие единой системы стандартизации конструкторской и технологической документации в промышленном производстве;
- недостаток научно обоснованных рекомендаций по анализу, исследованию и моделированию производственных процессов в различных отраслях промышленности для подготовки предприятий и организаций к автоматизации и информатизации проектных, производственных и управленческих процессов, к широкому внедрению автоматизированных систем различного назначения.

В работе исследовались распространенные методологии моделирования процессов жизненного цикла технических систем: SADT-методология, разработанная в рамках структурного подхода; методология ARIS; методология

автоматизации интеллектуального труда (МАИТ), основанная на когнитивном подходе.

Анализ методов и методологий проводился в соответствии со следующими критериями: название, моделируемые виды деятельности, аспекты моделирования процессов, наличие формального описания, формы представления, сложность освоения метода.

В сравнении с другими методологиями МАИТ обладает рядом теоретических и методических особенностей и преимуществ: обеспечивает промышленный способ создания ПАС; позволяет формировать модельные представления предметных задач на трех уровнях абстрагирования на разных этапах создания ПАС; определяет взаимоувязанный набор компонентов модели на любом уровне абстрагирования и на любом этапе создания; имеет теоретическую базу и возможность ее развития, что обеспечивает ее практическую реализацию и развитие в виде методического и программного инструментария.

Проведено исследование методов проектирования технических систем: системная методология проектной деятельности; методология концептуального проектирования сложных технических систем; методология проектирования с помощью каталогов; методология проектирования Половинкина А. И.; методология проектирования по Альтшуллеру Г. С. Исследование проводилось по следующим аспектам: охват уровней абстракции; наглядность представления процесса; удобство применения; простота в освоении; сопряжение модельных представлений различных уровней; наглядность представления результатов; универсальность; разнообразие модельных представлений.

В сравнении с другими методологиями методология проектирования с помощью каталогов соответствует почти всем критериям анализа и является наиболее предпочтительной для анализа. В то же время она является обобщающей методологией проектной деятельности по немецкой практике.

Проведено исследование существующих инструментальных средств поддержки анализа и моделирования процессов ЖЦ ТС: ARIS Express, IDEF-средства, IS2 (МАИТ). Исследование проводилось по следующим критериям: система хранения данных модели; ограничение на размер базы данных; возможность групповой работы; ограничение на количество объектов на диаграмме; возможность декомпозиции; формы представления моделей; удобство работы по созданию моделей; возможность анализа стоимости процессов; генерация отчетов; сложность разработки нестандартных отчетов; экспорт отчетов; связь с моделью данных; описание сопутствующей документации.

ARIS Toolset и IDEF-средства можно сравнивать только по определенным задачам. При моделировании управляющих воздействий в eEPC ARIS, в отличие от нотации IDEF0 системы BPwin, отсутствуют четкие соглашения. Но моделирование при помощи eEPC ARIS адекватнее, чем при помощи IDEF0 или IDEF3 BPwin. Достоинство моделирования в IS2 заключается в том, что есть информационные связи между составляющими моделями. Моделирование

в IS2 ориентировано на автоматизацию предметных задач. Поэтому IS2 целесообразно использовать для процессов, подлежащих автоматизации.

Выполненные исследования позволили сформулировать требования к моделированию процессов ЖЦ ТС. К наиболее существенным требованиям можно отнести: использование системного подхода к разработке метода моделирования процессов ЖЦ ТС; выделение процесса проектирования ТС как содержательной основы для описания связей процессов ЖЦ ТС; наличие образного/графического представления моделей процессов ЖЦ ТС.

Основываясь на полученных выводах, было принято решение о необходимости разработки метода анализа и моделирования процессов ЖЦ ТС. Это позволило сформулировать цель работы и поставить научную задачу для её достижения.

**Во второй главе** изложен разработанный метод анализа и моделирования процессов ЖЦ ТС, позволяющий формально описывать как комплексы моделей процессов ЖЦ ТС и их увязку, так и управление этими процессами; выполнены формальные описания процессов ЖЦ ТС по российской и немецкой практике; разработаны формальные описания проектной деятельности по российской и немецкой практике с учетом уровней абстракций ТС; фиксированы взаимосвязи процессов ЖЦ ТС.

Метод анализа и моделирования процессов ЖЦ ТС заключается в разработке системы правил, увязывающих процессные и компонентные модели ЖЦ ТС с учетом различных практик. В системном подходе предполагается рассмотрение системы как целостного комплекса взаимоувязанных элементов. В общем виде формальное описание системы представляется:

$$S_1 = \langle Y, X, q(Y), q(X), R_1 \rangle,$$

где  $Y$  – это структура любого процесса ЖЦ ТС;  $X$  – множество входных/выходных объектов процесса;  $q(Y)$  – множество разнородных свойств, описывающих элементы структуры процесса ЖЦ;  $q(X)$  – множество разнородных свойств, описывающих множество объектов  $X$ ;  $R_1$  – совокупность связей между компонентами системы  $S_1$ .

Процесс выявления системы заключается в разделении предметной области на две части. Первая часть – это объект анализа, то есть рассматриваемая система, а вторая часть – это среда, то есть набор существующих в пространстве и во времени объектов, которые, как предполагается, воздействуют на систему. Формальное описание системы с учетом среды принимает следующий вид:

$$S_2 = \langle S_1, Z, R_2 \rangle,$$

где  $Z = \langle SR, q(SR), R_Z \rangle$  – это структура, описывающая множество элементов среды  $SR$ , множество свойств элементов среды  $q(SR)$  и  $R_Z$  – множество связей между компонентами этой структуры;  $R_2$  – множество связей между компонентами системы  $S_2$ . Множество элементов среды есть совокупность множеств объектов, характеризующих ресурсы среды: кадры, оборудование, документы.



Графически структуру жизненного цикла технических систем можно представить следующим в виде (рис. 1):

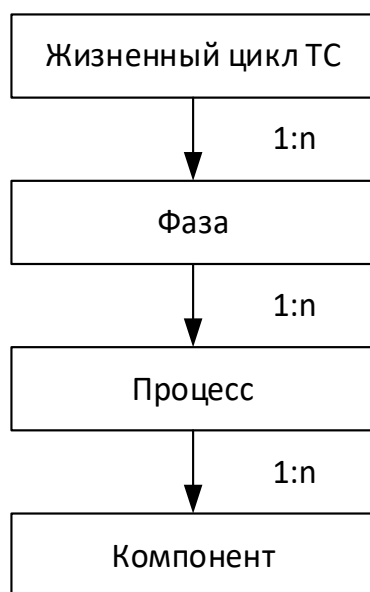


Рис. 1. Структура жизненного цикла технических систем

Формальное описание жизненного цикла ТС как системы можно представить:

$$S_{LC} = \langle Y_{LC}, q(Y_{LC}), R_{LC} \rangle,$$

где  $Y_{LC}$  – структура процесса, выполняемого системой;  $q(Y_{LC})$  – множество разнородных свойств, описывающих элементы структуры процесса;  $R_{LC}$  – совокупность связей между компонентами системы  $S_{LC}$ .

Для уточнения формальных описаний процессов по рассматриваемым практикам была введена идентификация компонентов:  $n$  – отражает немецкую практику, и  $r$  – отражает российскую практику. В рамках российской практики в качестве базовых процессов или фаз жизненного цикла (ЖЦ) ТС рассматривают следующие обобщенные процессы: маркетинг или изучение потребности в ТС; исследование; проектирование; подготовка производства; изготовление; эксплуатация; утилизация.

Таким образом, формальное описание процессов ЖЦ ТС по российской практике в общем виде имеет вид:

$$LCr = \langle MI, IS, DK, DT, MN, EX, LQ, R_r^{LC} \rangle,$$

где  $MI$  – модель фазы маркетинговых исследований,  $IS$  – модель фазы исследований,  $DK$  – модель фазы проектирования,  $DT$  – модель фазы технологического проектирования или подготовки производства,  $MN$  – модель фазы изготовления,  $EX$  – модель фазы эксплуатации,  $LQ$  – модель фазы утилизации,  $R_r^{LC}$  – увязка моделей в рамках жизненного цикла технических систем в соответствии с российской практикой.

В рамках немецкой практики в качестве базовых фаз ЖЦ ТС рассматривают следующие обобщенные процессы: производство, которое включает процессы проектирования, подготовку производства, изготовление деталей, сборку изделия; распределение, включающее транспортировку,

хранение и сбыт; применение включает рабочее состояние, техобслуживание и ремонт; возобновление, включающее завершение ЖЦ и рециклинг.

Формальное описание процессов ЖЦ ТС с позиции системного подхода по немецкой практике в общем виде имеет вид:

$$LCn = \langle PRn, DS, EXn, LQn, R_n^{LC} \rangle,$$

где  $PRn$  – модель фазы производства,  $DS$  – модель фазы распределения,  $EXn$  – модель фазы эксплуатации,  $LQn$  – модель фазы возобновления,  $R_n^{LC}$  – увязка моделей в рамках жизненного цикла технических систем в соответствии с немецкой практикой.

В общем виде формальное описание процесса как сложной системы из компонентов представляется:

$$S_p^1 = \langle Y_p^1, X_p^1, q(Y_p^1), q(X_p^1), R_p^1 \rangle,$$

где  $Y_p^1$  – структура процесса, выполняемого системой;  $X_p^1$  – множество входных/выходных объектов процесса;  $q(Y_p^1)$  – множество разнородных свойств, описывающих элементы структуры процесса;  $q(X_p^1)$  – множество разнородных свойств, описывающих множество объектов  $X_p^1$ ;  $R_p^1$  – совокупность связей между компонентами системы  $S_p^1$ .

Основываясь на теории систем, систему  $S_p^1$ , описывающую процесс ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду процесса. Формальное описание процесса как системы, с учетом среды с точки зрения системного подхода, принимает вид:

$$S_p^2 = \langle S_p^1, Z_p, R_p^2 \rangle,$$

где  $Z_p = \langle U_p, q(U_p), R_z \rangle$  – среда, включающая множество элементов  $U_p$ , множество свойств элементов  $q(U_p)$  и множество связей между компонентами этой среды  $R_z$ ;  $R_p^2$  – множество связей между компонентами системы  $S_p^2$ .

Разработаны формальные описания процессов ЖЦ ТС по российской и немецкой практикам, что позволило выделить как общие процессы, так и различие в подходах.

Разработано формальное описание проектных решений, основанных на немецкой и российской практиках. Уровни абстракции технических систем были учтены при создании этого описания. Это позволило связать процессы жизненных циклов технических систем, поскольку проектная деятельность является самым сложным интеллектуальным процессом, в котором увязываются знания обо всех этапах жизненного цикла технической системы.

Формальное описание проектных решений с учетом уровней абстракции ТС позволило увязать процессы жизненного цикла ТС каждой рассматриваемой практики. Графические представления этих связей для немецкой и российской практик приведены на рис. 2–3.

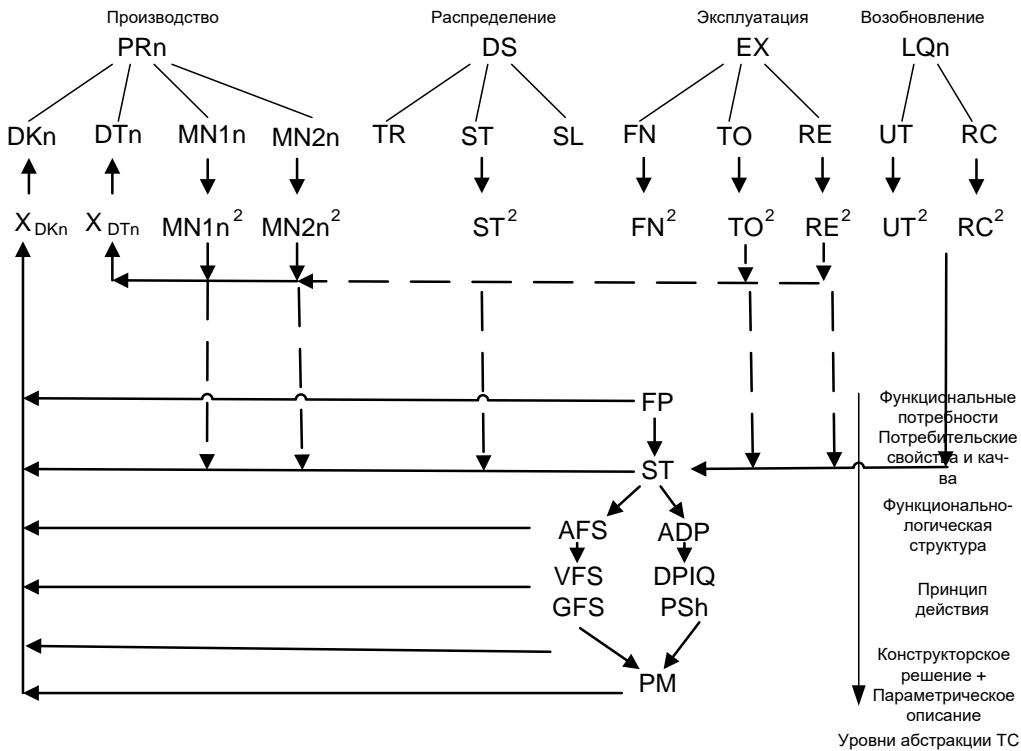


Рис. 2. Связи составляющих процессов ЖЦ ТС в соответствии с немецкой практикой

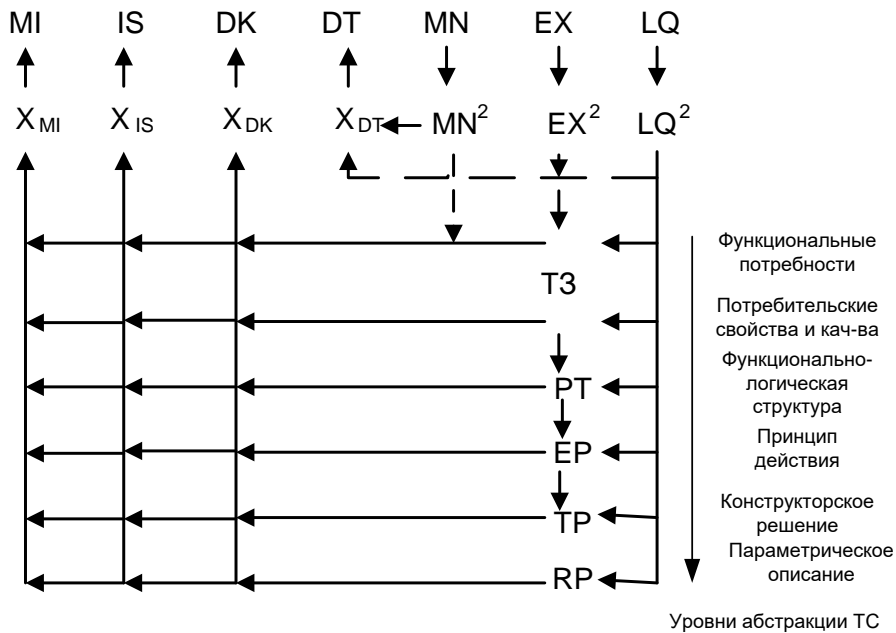


Рис. 3. Связи составляющих процессов ЖЦ ТС в соответствии с российской практикой

Полученные формальные описания процессов ЖЦ ТС по рассматриваемым практикам и взаимосвязи этих процессов позволяют научно обосновать организацию (состав и структуру) рассматриваемых процессов.

Установлено, что содержательной основой управления процессами ЖЦ ТС являются характеристики процессов ЖЦ ТС, определяющие наличие требуемых ресурсов (временных, кадровых, программно-технических и т. д.). Повышение эффективности создаваемой технической системы во многом зависит от качества среды реализации процессов ее ЖЦ.

Разработанный метод моделирования процессов ЖЦ ТС, формальное описание проектных решений и связи между составляющими процессами позволяют перейти к разработке моделей предметных знаний проектной деятельности в виде концептуальных моделей по методологии автоматизации интеллектуального труда для каждой практики.

**В третьей главе** представлены разработанные концептуальные модели проектной деятельности по методологии проектирования с помощью каталогов (немецкая практика) и проектной деятельности по российской практике.

Разработанные модели предметных знаний могут применяться при обучении будущих специалистов проектной деятельности в Республике Союз Мьянма и при дальнейшем создании автоматизированных систем как в проектной деятельности, так и в других видах деятельности жизненного цикла ТС, что повышает эффективность процессов ЖЦ ТС.

По методологии проектирования с помощью каталогов проектная деятельность разделена на 4 фазы. На фазе формулировки задачи формируются модельные представления по следующим пяти этапам: постановка задачи; описание функциональных положений; формирование списков требований с 3-х точек зрения (как черный ящик, в ситуации и с учетом жизненного цикла).

На функциональной фазе формируются модельные представления изделия по двум методикам: элементной и потоковой. При элементной методике формируются модельные представления изделия на трех этапах: формирование абстрактной функциональной структуры; формирование векторной функциональной структуры; формирование геометрической функциональной структуры. При потоковой методике формируются модельные представления по следующим этапам: формирование абстрактной диаграммы потоков; формирование диаграммы потоков с интенсивностно-количественными величинами; формирование принципиальной схемы. Таким образом, в немецкой практике ведется проектная деятельность по формированию модельных представлений по фазам и этапам.

В российской практике в соответствии с регламентами любое изделие имеет структуру, которая формируется исходя из единого представления: изделие, комплекс, комплект, сборочная единица и деталь. В зависимости от сложности изделия его членение на составляющие определяется иерархической организацией входимости сборочных единиц или комплексов друг в друга.

На каждом уровне иерархии составляющих конструкций изделия выполняется однотипный набор проектных действий: расчет основных характеристик сложной составляющей; проектирование всех компонентов этой составляющей; увязка компонентов в составляющей; документирование сложной составляющей; согласование проектного решения по сложной составляющей; утверждение проектного решения по сложной составляющей.

При техническом проектировании сложной технической системы этот набор проектных действий повторяется для всех составляющих каждого уровня иерархии.

При технорабочем проектировании решаются задачи по проектированию как узлов и сборок, так и проработка составляющих до деталей. Для учета

замечаний при согласовании проектных решений вводится понятие версий для каждой простой и сложной составляющей проектируемого изделия.

Разработка концептуальных моделей проектной деятельности выполнялась в соответствии с методом концептуального моделирования в рамках МАИТ. При разработке концептуальных моделей выполняется: формирование систем предметных зависимостей 1-го рода (СПЗ-1), формирование основных концептуальных структур (ОКС) и формирование концептуальной модели в целом.

При разработке динамической структуры модели в виде системы предметных зависимостей 1-го рода (СПЗ-1) формируются диаграммы СПЗ-1 по базовым и типовым конструкциям. После того как были сформированы все отдельные конструкции, была разработана диаграмма системы предметных зависимостей 1-го рода в целом для задач проектной деятельности по методологии Рота и по российской практике. Как пример, динамическая структура «Формирование МПИ на всех фазах проектирования по методологии Рота» представлена на рис. 4.

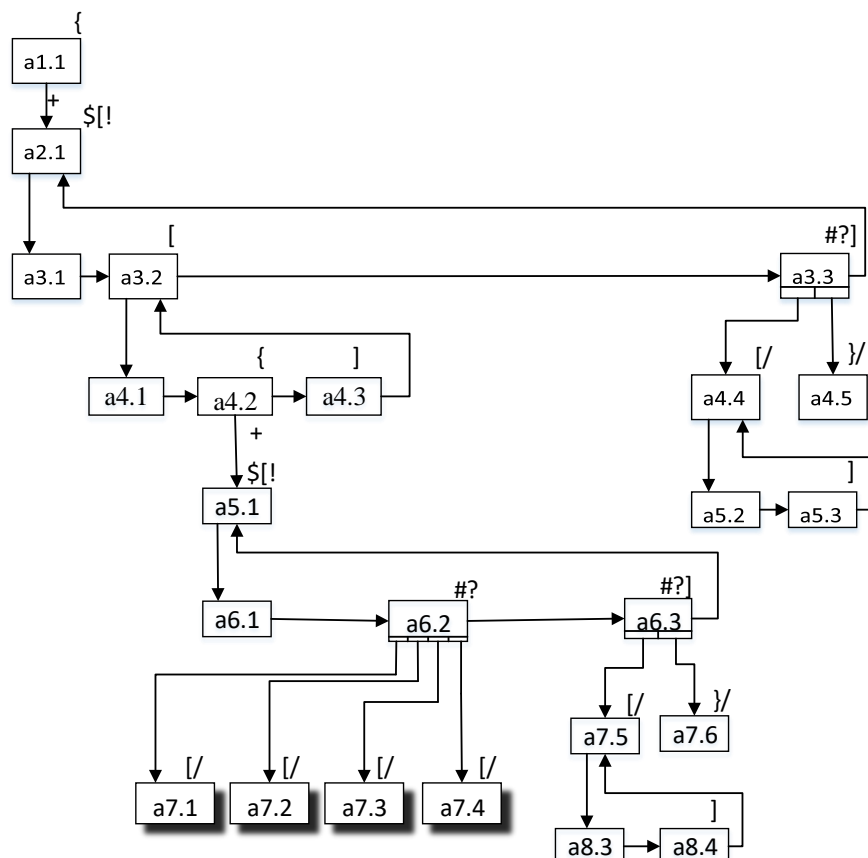


Рис. 4. Формирование МПИ на всех фазах проектирования по методологии Рота

Основные концептуальные структуры (ОКС) для задач проектной деятельности по методологии Рота и по российской практике были разработаны в виде системы бинарных связей между предметными категориями (понятиями) разных классов – от класса «Цикл» до класса «Признак». Обобщенная диаграмма ОКС задач по методологии Рота представлена на рис. 5.

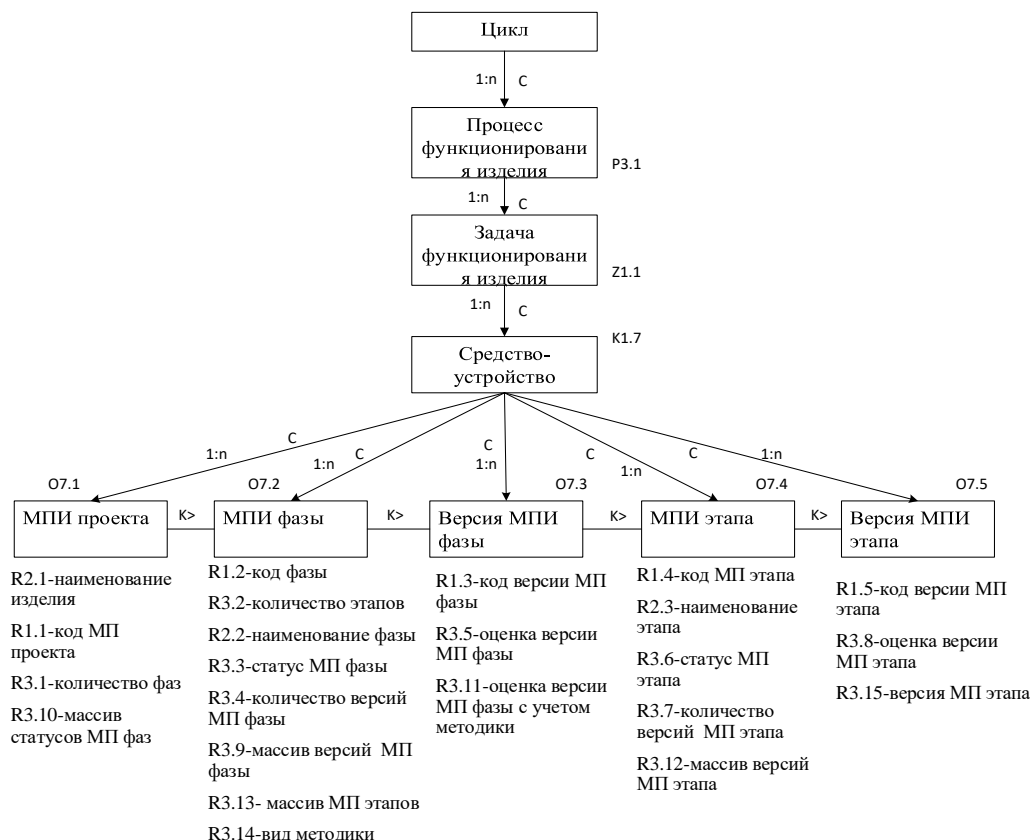


Рис. 5. Обобщенная диаграмма основной концептуальной структуры задач по методологии Рота

Полученные концептуальные конструкции позволяют перейти к разработке модели в целом в виде матричных диаграмм – локальных и обобщенной. Локальная диаграмма «КМ формирования МПИ на всех фазах проектирования по методологии Рота» представлена на рис. 6.

Основными параметрами локальной матричной диаграммы являются основные характеристики базовых и типовых конструкций, которые уточнены предметными параметрами.

Таким образом, разработанные концептуальные модели определяют структуру системы знаний процесса проектирования для каждой практики.

	СЧ	АИ	ФИ	ФЦ
Позиция ПД	Количество фаз (R3.1)	Код фазы (R1.2)	Статус МП фазы (R3.3)	Массив статусов МП фаз (R3.10)
a1.1				{
a2.1	!		\$	[
a3.1	.	*		
a3.2		.	[*	
a3.3	?			#]
a4.4	/			[
a5.2	*			
a5.3			+	*]
a4.5	/		+	*]

Рис. 6. Матричная диаграмма КМ формирования МПИ на всех фазах проектирования (по методологии Рота)

Разработанные концептуальные представления проектной деятельности позволили перейти к разработке инструментальных средств поддержки процессов анализа и моделирования ТС.

**В четвертой главе** дана характеристика разработанных инструментальных средств поддержки анализа и моделирования ТС; представлены инструкция по эксплуатации инструментальных средств и их основные возможности.

Инструментальные средства разработаны с целью повышения эффективности исполнения анализа и моделирования технических систем за счет выявления направления совершенствования ТС с помощью законов и закономерности ТС на основе достаточно полного и адекватного описания разных уровней абстракций ТС.

В качестве программно-технических средств реализации была выбрана программа Microsoft Access 2007, и для разработки графического интерфейса пользователя использовал язык программирования Visual Basic. При разработке инструментальных средств учитывались следующие требования: ограничение общего доступа к заранее определенным ресурсам программного средства; ведение информации анализируемой ТС (ввод, редактирование, хранение информации); вывод информации ТС в виде отчета.

В состав инструментальных средств входят следующие подсистемы: подсистема хранения информации, предназначенная для хранения информации ТС; подсистема управления доступом к системе, предназначенная для разграничения прав доступа к системе; подсистема управления информацией системы, предназначенная для введения и редактирования информации системы; подсистема формирования отчетов, предназначенная для извлечения, просмотра, печати необходимой информации.

Инструментальные средства включают набор вкладок, предназначенных для описания ТС с учетом уровней абстракции для анализа ТС.

Интерфейсные формы программного комплекса представлены на рис. 7 на примере выполнения анализа технической системы «воздухозаборник».

На рисунке представлены части главной формы ввода данных:

1. Форма ввода данных «Часть 1», которая включает общее описание ТС, ее принцип действия и функционально-логическую структуру, а также показатели эффективности ТС, параметры рабочего цикла и критерии прогрессивного развития ТС.

2. Форма ввода данных «Часть 2», которая включает физические основы ТС и недостатки существующей ТС, а также возможные направления ее совершенствования.

3. Форма ввода данных «Часть 3», которая включает анализ следствий законов и закономерностей развития ТС, а также описание ресурсов и аналогий ТС.

4. Форма для просмотра и печати отчетов.

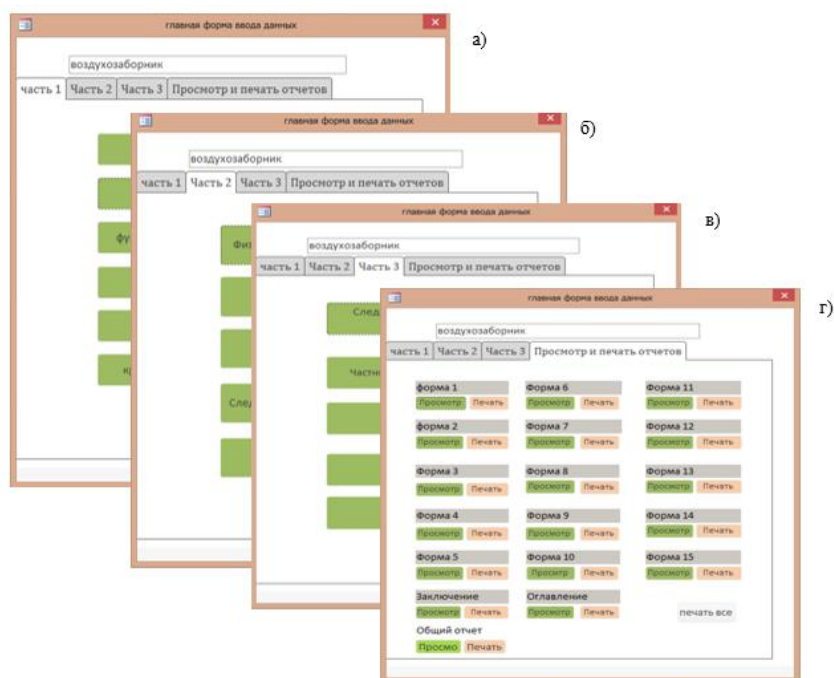


Рис. 7. Интерфейс программного комплекса: а) часть 1; б) часть 2; в) часть 3; г) просмотр и печать отчетов

Примеры отчетов показаны на рисунке 8.

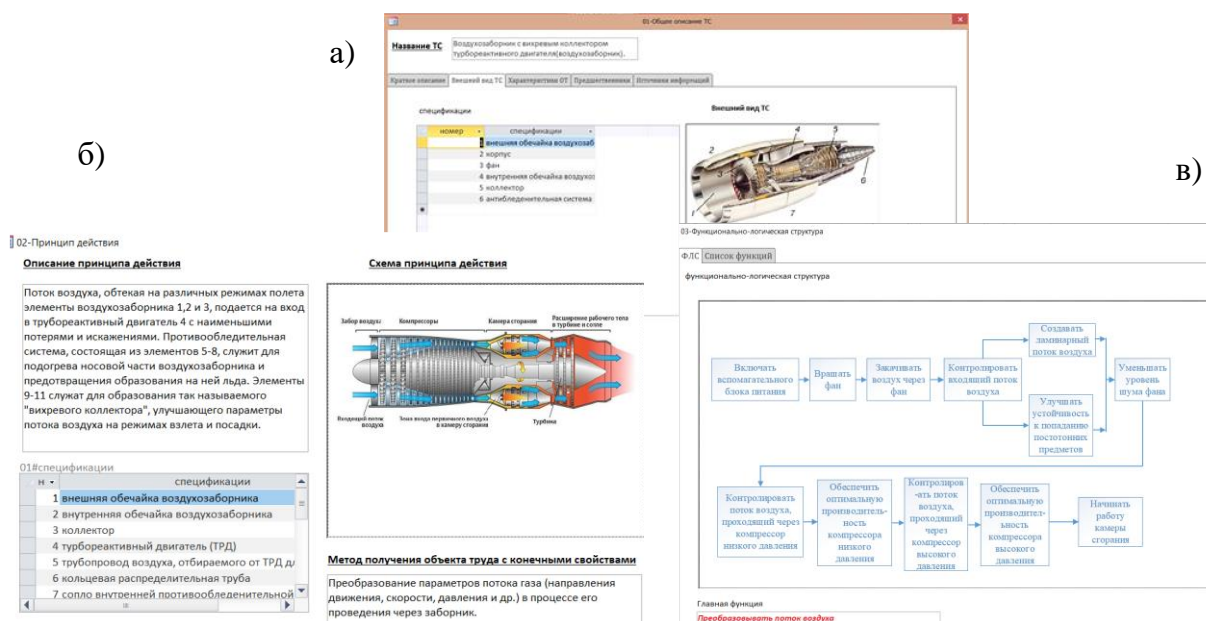


Рис. 8. Отчеты: а) общее описание ТС; б) принцип действия; в) функционально-логическая структура ТС

Таким образом, были разработаны инструментальные средства поддержки анализа и моделирования ТС. Разработанный методический и программный инструментарий позволяет описывать существующие технические решения по промышленным изделиям на разных уровнях абстракции (для внешнего и внутреннего проектирования), анализировать и сравнивать с изделиями-предшественниками, выделять пути и направления совершенствования этих изделий.



**В приложениях** приведены: фрагменты спецификаций для концептуальных структур проектной деятельности по методологии Рота; фрагменты спецификаций для концептуальных структур проектной деятельности по российской практике; справки об использовании результатов диссертационного исследования.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

Выполненные исследования и практическая работа позволили получить следующие выводы и результаты:

1. Диссертация представляет научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, которое заключается в повышении эффективности процессов жизненного цикла технических систем путем разработки метода анализа и моделирования этих процессов с позиции системного подхода для научного обоснования учета их взаимосвязей, имеющее существенное значение для развития системного анализа и информационных технологий.

2. Выполнены исследования проблематики становления и развития промышленности в Республике Союз Мьянма, которые позволили констатировать необходимость научно-обоснованного сопровождения процесса индустриализации республики.

3. Исследования существующих методов и инструментальных средств поддержки анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем позволили установить, что одним из серьезных недостатков имеющихся методов и подходов к моделированию процессов жизненного цикла ТС является отсутствие формализованного аппарата. Установлен ряд преимуществ методологии автоматизации интеллектуального труда по сравнению со структурными методами: наличие формализованных моделей, интеграция моделей под конкретные задачи и др., что обеспечивает ее практическую реализацию и развитие в виде методического и программного инструментария.

4. Анализ существующих методов проектной деятельности, как максимально увязывающей все процессы жизненного цикла ТС, позволил сделать вывод о том, что методология проектирования с помощью каталогов является наиболее предпочтительной для анализа и обобщающей методологией проектной деятельности по немецкой практике.

5. Разработан метод анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем как обобщение российской и немецкой практик на основе системного подхода, обеспечивающий не только формальное описание производственных процессов ЖЦ ТС по указанным практикам, но и выявление взаимосвязей между процессами жизненного цикла через соотношение компонентов этих процессов.

6. Уточнённое описание взаимосвязей между процессами жизненного цикла выполнено в виде концептуальных представлений проектной деятельности по немецкой и российской практике с помощью методологии автоматизации интеллектуального труда, что позволит стать основой для их автоматизации.

7. Разработано методическое обеспечение и программные средства поддержки анализа и моделирования технических систем.

8. Методическое обеспечение и программное средство были использованы в учебном процессе для подготовки специалистов по направлению «Информатика и вычислительная техника» в рамках выполнения лабораторных работ по дисциплине «Концептуальное проектирование техники и технологии» у студентов 4-го курса.

9. Результаты использованы в рамках выполнения по гранту РФФИ проекта № 17-29-07056 «Разработка моделей и методов представления и обработки проблемно-ориентированных знаний, извлекаемых из научно-технических текстов и конструкторско-технологической документации».

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*В изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК:*

1. Пай Со, Особенности организации информационных и интеллектуальных ресурсов на промышленных предприятиях / Г. Д. Волкова, Т. Б. Тюрбеева, Пай Со // Научно-технический журнал. – М.: СТИН, 2019. – № 7. – С. 2–4.

2. Пай Со, Особенности моделирования системы знаний об изделии по методологии проектирования с помощью каталогов / Т. Б. Тюрбеева, Г. Д. Волкова, Пай Со // Научно-технический журнал. – М.: СТИН, 2019. – № 8. – С. 2–4.

*В международных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus:*

3. So, P. Simulation of a System of Product Knowledge Based on Catalog-Assisted Design / T. B. Tyurbееva, G. D. Volkova, P. So // ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research, 2020, Vol. 40, No. 1, pp. 55–57. © Allerton Press, Inc., 2020. Russian Text © The Author(s), 2019, published in STIN, 2019, No. 8, pp. 2–4.

4. Volkova, G.D. Organization of Informational and Intellectual Resources at Industrial Enterprises / G. D. Volkova, T. B. Tyurbееva, Pai So // Russian Engineering Research, 2019, Vol. 39, No. 12, pp. 1050–1052. © Allerton Press, Inc., 2019. ISSN 1068-798X

*В других изданиях:*

5. Пай Со, Модели изделия в проектной деятельности / Пай Со, Г. Д. Волкова // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Научные аспекты современных исследований». – Новосибирск: «Научное партнерство «Апекс», 2017. – С. 72–77.

6. Пай Со, Особенности моделирования изделия на начальной фазе по методологии проектирования с помощью каталогов / Пай Со, Г. Д. Волкова // Сб. материалов международной научно-практической конференции «Современная наука: инновации, проекты, инвестиции» (г. Уфа, 9 ноября 2017). – Уфа: «Научное партнерство «Апекс», 2017. – С. 40–45.

7. Пай Со, Моделирование проблемно-ориентированных знаний, зафиксированных в научных публикациях и технической документации / Пай

Со, Г. Д. Волкова, Т. Б. Тюрбеева // Сборник статей XXXVII Международной научно-практической конференции: WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS. – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2019. – С. 38–41. ISBN 978-5-00159-158-0

8. Пай Со, Формальное описание проектно-конструкторских решений, зафиксированных в научно-технических публикациях и технической документации / Пай Со, Г. Д. Волкова, Т. Б. Тюрбеева // Сборник статей XXVI Международной научно-практической конференции «Российская наука в современном мире». – Москва: Научно-издательский центр «АКТУАЛЬНОСТЬ.РФ», 2019. – С. 92–94. ISBN 978-5-6043978-0-0

9. Волкова, Г. Д. Моделирование процессов жизненного цикла технических систем по методологии проектирования с помощью каталогов / Г. Д. Волкова, Пай Со, Т. Б. Тюрбеева // Инновационные технологии в проектировании и производстве: научно-технический журнал (№ 2 (186) 2022). – М.: Научно-технический центр оборонного комплекса «КОМПАС», 2022. – С. 12–22. ISSN 2073-2597