



5. А.В. Пантелеев, А.С. Якимова. Теория функций комплексного переменного и операционное исчисление в примерах и задачах. Учебное пособие. – М. Высшая школа. 2001. – 445 с.

6. Ю.М. Заболотнов, В.В. Любимов. Нелинейные резонансные эволюционные эффекты при движении твердого тела вокруг неподвижной точки. Прикладная математика и механика. М: 2002. Т.66. № 3. – С.410-417.

7. В.В. Любимов. Внешняя устойчивость резонансов при движении асимметричного твердого тела с сильным магнитом в геомагнитном поле. Известия РАН. Механика твердого тела. М: 2010. №1. – С. 13-27.

8. V.V. Lyubimov. Direct and inverse secondary resonance effects in the spherical motion of an asymmetric rigid body with moving masses. Acta Mechanica. Springer-Verlag. 2020. Vol.231. № 12. – pp. 4933-4946.

Е.В. Орлова

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

Аннотация. Определяются функции и задачи цифровых двойников объектов и процессов. Сформирована технология системного анализа объекта и системного синтеза его цифрового двойника. Технология содержит стадии, этапы, их содержание и результаты, и обеспечивает организационно-методическую поддержку процесса разработки и эксплуатации цифрового двойника объекта.

Ключевые слова: математические модели, цифровые модели, цифровые двойники, технология системного моделирования цифрового двойника

Драйвером инновационного развития высокотехнологичных предприятий в контексте четвертой промышленной революции становится передовая технология «цифровой двойник» как виртуальный прототип реальных производственных процессов, изделий, готовых продуктов. В России впервые в мире разработана нормативно-техническая документация, регламентирующая процессы разработки и применения цифровых двойников. В 2021 году принят национальный стандарт «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» [1], определяющий общие положения построения и эксплуатации цифровых двойников изделий.

Согласно этому стандарту под цифровым двойником понимается «система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием и (или) его составными частями». Следуя стандарту в основе цифрового двойника лежит цифровая модель изделия в виде «системы математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающих структуру, функциональность и поведение вновь



разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям». При этом цифровая модель создается с использованием программного обеспечения компьютерного моделирования и описывает структуру, функции и поведение разрабатываемого изделия. Наполнение и функциональность цифровой модели зависит от стадии жизненного цикла изделия. Оценка соответствия цифровой модели изделия в общем случае включает в себя процедуры верификации и валидации математических и компьютерных моделей. Компьютерная (электронная) модель реализуется в вычислительной среде и представляет собой совокупность данных и программного кода, необходимого для работы с данными. В основе компьютерной модели лежит математическая модель, то есть модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в формализованном (математическом) виде.

К требованиям по организации совместной работы по созданию цифрового двойника изделия относится применение программно-технологической платформы цифровых двойников, которая должна включать: «а) средства управления программным обеспечением компьютерного моделирования; б) средства управления проектами; в) средства сбора, обработки, анализа, визуализации, каталогизации, хранения, передачи компьютерных моделей и результатов компьютерного моделирования; г) средства отслеживания всех изменений конструкторских, технологических решений и модификации компьютерных моделей и вариантов инженерных расчетов; д) средства оформления результатов; е) средства защиты данных и организации совместной работы участников проекта в соответствии с правами доступа; ж) средства компьютерного моделирования для планирования применения изделия по назначению; з) поддержки его технического обслуживания и ремонта».

Отметим, что цифровые двойники и более общо технологии компьютерного проектирования и моделирования предназначены для решения ответа на большой вызов – создание сложных инженерных конструкций и технических систем, оптимальных с точки зрения множества противоречивых критериев эффективности [2]. Использование цифровых двойников способствуют рост конкурентоспособности производимых изделий за счет повышения скорости вывода на рынок этих изделий. Применение цифровых двойников обеспечивает обоснование решений за счет быстрой проверки изменений, вносимых в конструкцию изделия и его составных частей, в ходе цифровых (виртуальных) испытаний, и анализировать влияние изменений показателей одних составных частей на другие.

Цифровой аналог реального объекта (производственного процесса) воспроизводит его функционирование в условиях помех и изменяющейся внешней среды. Цифровой двойник использует информацию с датчиков реального объекта и на основании сопоставления информации виртуальных датчиков с датчиками реального объекта, можно выявить причины их отклонений.



Однако, процесс организационно-методического обеспечения процесса разработки и использования цифровых двойников остается не до конца проработанным с точки зрения согласования задач по описанию объекта моделирования и управления, в том числе структурного, функционального, информационного, а также формирования работ в рамках методологии управления проектами (в том числе гибкой методологии Agile, Scrum подхода и др.). Для восполнения этого пробела предлагается сформировать план работ по этапам в виде триады: задача этапа – содержание этапа – результаты этапа. Автором разработана следующая технология, обеспечивающая организационно-методическую поддержку процесса разработки и эксплуатации цифрового двойника объекта (процесса) и представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Технология разработки цифрового двойника объекта (процесса)

Стадия	Этап и задача этапа	Содержание этапа	Результаты этапа
1. Концептуализация	1.1. Выявление противоречий	1.1.1. Мониторинг и анализ противоречий между текущим и желаемым состоянием объекта	Противоречия, проблемы
	1.2. Определение целей и выбор критериев	1.1.2. Формулировка целей развития объекта	Цели, критерии эффективности результатов функционирования объекта
2. Проектирование	2.1. Декомпозиция (сканирование) объекта	2.1.1. Сбор исходной информации об объекте моделирования	Статистическая информация. Обзор литературы
		2.1.2. Статистический анализ состояния и динамики развития объекта моделирования на основе причинного и факторного анализа	Основные тренды и факторы влияния
		2.1.3. Функциональная, структурная, информационная декомпозиция объекта, декомпозиция по жизненному циклу (на основе SADT, ARIS, BPMN методологии)	Функциональная модель Организационная модель Информационная модель Модель жизненного цикла
	2.2. Анализ окружения объекта	2.2.1. Анализ факторов внешней и внутренней среды, оказывающих влияние на функционирование объекта, на основе STEP и SWOT анализа	Ранжирование факторов по степени важности
		2.2.2. Определение возможных перспектив развития объекта на основе Delphi-анализа	Прогнозные оценки результатов, сроков, положения научных результатов и мероприятий поддержки внедрения новых разработок Выбор важнейших направлений исследований
		2.2.3. Построение Wild-карт	Определение возможных событий, которые могут кардинально изменить вероятный ход событий
		2.2.4. Выявление стейкхолдеров и построение дорожной карты	Матрицы стейкхолдеров, дорожная карта для среднесроч-



			ного развития объекта
	2.3. Синтез альтернативных решений проблем (на качественном уровне)	2.3.1. Описание результатов проекта в терминах существующих сильных и слабых сторон и будущих возможностей и угроз на базе SWOT-анализа	Альтернативы решения проблем
		2.3.2. Определение альтернативных путей достижения целей на основе сценарного анализа	Описание представления системы (объекта) в будущем
3. Цифрового моделирования	3.1. Выбор средств математического и компьютерного моделирования и защиты данных	3.1.1. Обоснование выбора математических методов и моделей формализации объекта	Математические методы формализации объекта
		3.1.2. Обоснование выбора программного обеспечения	Программное обеспечение
	3.2. Построение математической модели (моделирование, оценка и оптимизация)	3.2.1. Построение математической модели объекта, валидация и оценка адекватности	Математическая модель объекта
		3.2.2. Решение задачи синтеза оптимальных решений. Исследование устойчивости и адекватности решений	Оптимальные решения
	3.3. Построение компьютерной модели	3.3.1. Написание исходного кода программы	Первичный программный код
		3.3.2. Отладка, тестирование, верификация кода на исходных данных	Компьютерная модель объекта
4. Технологических испытаний	4.1. Построение виртуального полигона и проведение стендовых экспериментов	4.1.1. Формирование испытательного стенда	Виртуальный полигон: система для проведения стендовых испытаний (технические средства, программное, методическое и организационное обеспечение)
		4.1.2. Проведение виртуальных экспериментов	Количественные и качественные характеристики объекта в результате экспериментов

Предложенная технология позволит, во-первых, осуществлять системный анализ объекта моделирования и управления с учетом неопределенности внешней среды на базе разнородных инструментов качественного и количественного анализа, во-вторых, сформировать адекватную математическую модель объекта с учетом результатов этапа концептуализации и выработать компьютерную модель и осуществить ее испытания, в-третьих, может явиться основанием для поддержки принятия решений на основе цифровых моделей и цифровых двойников объекта.

Литература

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения
2. Официальный сайт центра компетенций НТИ по направлению «Новые производственные технологии». URL: <https://nticenter.spbstu.ru/>



3. Орлова Е.В. Модели и механизмы согласованного управления производственно-экономической системой: дис. на соискание уч. степени д-ра техн. наук. – Уфа, 2018. – 340 с.

4. Орлова Е.В. Моделирование функции полезности с учетом иррациональных факторов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2012. – № 3. – С. 24–30.

5. Орлова Е.В. Имитационная модель управления стохастическими финансовыми потоками предприятия // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2012. – № 5. – С. 185-189.

6. Orlova E.V. Model for Operational Optimal Control of Financial Recourses Distribution in a Company // Computer Research and Modeling. – 2019. – No. 2. – P. 343-358.

Н.В. Родионов, Р.С. Загидуллин

ОПТИМИЗАЦИЯ ОФОРМЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ПРАВОВОЙ ОХРАНЫ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ МЕТОДОВ

(Самарский университет)

Научно-технический прогресс связан с созданием и использованием изобретений. При этом изобретения являются новыми техническими решениями проблем человечества и характеризуют полезность и практическую значимость. В работе «Руководство к привилегированию изобретений» [8] Петр Клементьевич Энгельмейер изложил основные понятия в области составления документации на оформление изобретений, товарных знаков, рисунков. Оформление изобретений в настоящее время является ключевым фактором обеспечения конкурентоспособности промышленных предприятий, что выражается в появлении монопольных условий реализации изобретений на промышленных предприятиях. Составление документации в части описания конструктивного состава новой техники, а также в части описания названия, принципа работы и формулы изобретения способствует получению экономической выгоды в части повышения количества лицензионных соглашений о передаче права использования исключительными правами (право пользования).

Однако существует проблема, которая характеризуется тем, что в настоящее время оформление изобретений осуществляется посредством описания изобретений второстепенными новыми признаками, что приводит к сужению области применения изобретений и вследствие чего приводит к понижению количества лицензиатов, способных использовать изобретения в собственных производственных нуждах.

Решением проблемы является описание основных принципов по оптимизации оформления изобретений.