

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА РАБОТНИКА ПРЕДПРИЯТИЯ

Е. В. Орлова

Уфимский университет науки и технологий, Россия

E-mail: ekorl@mail.ru

Рассматривается проблема разработки цифрового двойника работника, целью которого является минимизация рисков непредсказуемого нежелательного поведения, профессионального выгорания, снижения вовлеченности в рабочие процессы, снижения производительности, а также возникновения деструктивных конфликтов. Прототип цифрового двойника работника основан на гибридной модели, объединяющей математические (структурные) модели, и модели, основанные на данных, включающие методы интеллектуального анализа данных и машинного обучения с подкреплением, и позволяющие обнаружить в данных ранее неизвестные, но практически полезные закономерности, необходимые для принятия решений. Такой умный цифровой двойник работника с интеллектуальным управлением совмещает оба класса моделей, усиливая преимущества каждого из них. Цифровой двойник работника связан с концепцией индивидуального человеческого капитала, то есть совокупностью его профессиональных, интеллектуальных и социальных ресурсов, которые определяют производительность работника и могут стать источником его дохода.

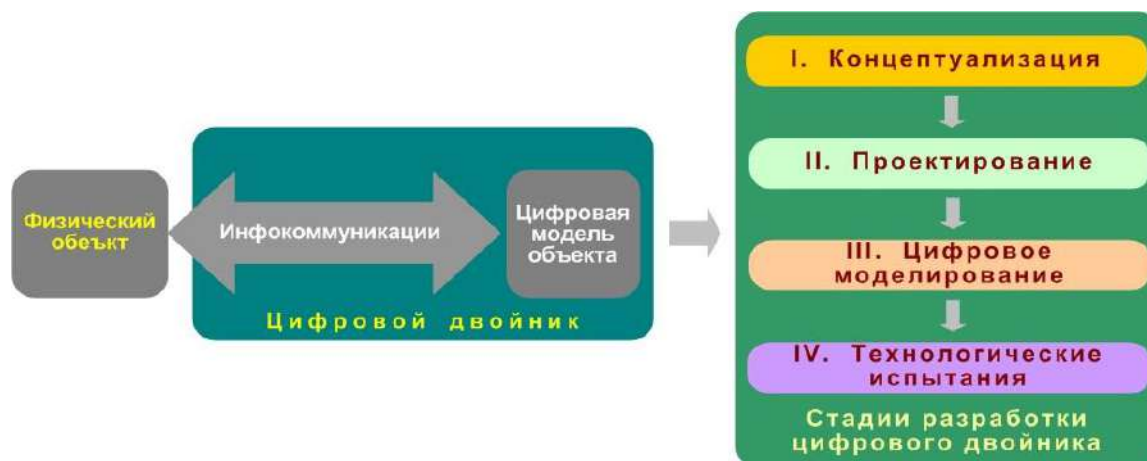
A CONCEPTUAL APPROACH TO DIGITAL TWIN DESIGN OF AN ENTERPRISE EMPLOYEE

E. V. Orlova

This article examines the development of a digital twin of an employee, the purpose is to minimize the risks of unpredictable, undesirable behavior, professional burnout, decreased engagement in work processes, reduced productivity, and the emergence of destructive conflicts. The digital twin prototype is based on a hybrid model combining mathematical (structural) models and data-driven models, incorporating data mining and reinforcement learning methods, enabling the discovery of previously unknown but practically useful patterns in data necessary for decision-making. This intelligent digital twin of an employee, with intelligent control, combines both classes of models, enhancing the advantages of each. The digital twin of an employee is connected with the concept of individual human capital, that is, the combination of professional, intellectual, and social resources that determine an employee's productivity and can become a source of income.

Целью является разработка подхода к проектированию цифрового двойника (ЦД) физического объекта (работника предприятия), который позволит минимизировать нежелательное непредсказуемое поведение. Это позволит смягчить или устранить негативные последствия таких рисков. Рассматриваются следующие типы рисков – риск профессионального выгорания, риск снижения вовлеченности в рабочие процессы, риск возникновения между работниками неконструктивных конфликтов, риск снижения производительности работника.

Процесс построения ЦД является многостадийным и состоит из следующих стадий: концептуализация, проектирование, цифровое моделирование и технологические испытания, рис.



Цифровой двойник и стадии его разработки

ЦД определяется как система, состоящая из цифровой модели физического объекта и двусторонних информационных связей с физическим объектом или его компонентами. В основе ЦД лежит цифровая модель в виде математических и компьютерных моделей, а также документов, описывающих структуру, функциональные возможности и поведение объекта на разных этапах его жизненного цикла [1-3]. По результатам цифровых или иных испытаний, проводится оценка соответствия готовой модели определенным требованиям. Цифровая модель описывает структуру, функции и поведение разрабатываемого физического объекта. Содержание и функциональность цифровой модели зависят от стадии жизненного цикла физического объекта. Оценка соответствия цифровой модели физического объекта включает процедуры проверки и валидации математических и компьютерных моделей.

Организационно-методическое обеспечение процесса разработки и использования ЦД является не до конца проработанным с точки зрения согласования задач по описанию объекта моделирования и управления (физического объекта), в том числе структурного, функционального, информационного, а также формирования работ в рамках методологии управления проектами (в том числе гибких методологий Agile, Scrum и др.). Для восполнения этого пробела предлагается сформировать план работ по этапам в виде триады: задача этапа – содержание этапа – результаты этапа. Для организации такой работы требуется применение системного подхода и проектирование всех этапов жизненного цикла объекта [4].

Разработана технология, табл., которая обеспечивает организационно-методическую поддержку процесса разработки и эксплуатации ЦД объекта, объединяет этапы проектирования, методы и модели, и обеспечивает ускоренный инжиниринг ЦД. Принципиально важно, что предлагаемая методология учитывает специфику объекта – работника предприятия как сложной системы.

Технология инжиниринга цифрового двойника

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 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	Основные тренды и факторы влияния
		2.1.3. Функциональная, структурная, информационная декомпозиция объекта, декомпозиция по жизненному циклу	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	Ранжирование факторов по степени важности
		2.2.2. Определение возможных перспектив развития объекта	Прогнозные оценки результатов, сроков и мероприятий поддержки внедрения новых разработок Выбор важнейших направлений исследований
		2.2.3. Построение событийных карт	Определение возможных событий, которые могут кардинально изменить вероятный ход событий
		2.2.4. Выявление участников внутренней и внешней среды объекта и построение дорожной карты	Матрицы участников, дорожная карта для среднесрочного 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 <i>SWOT</i> анализа	Альтернативы решения проблем
		2.3.2. Определение альтернативных путей достижения целей на основе сценарного анализа	Описание представления системы (объекта) в будущем
	3. Цифровое моделирование	3.1. Выбор средств математического и компьютерного моделирования и защиты данных	3.1.1. Обоснование выбора математических методов и моделей 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
	3.4. Построение системы поддержки принятия решений	3.4.1. Бесшовная интеграция блока управления в цифровую модель цифрового двойника	Система поддержки принятия решений
4. Технологические испытания	4.1. Проведение тестовых экспериментов	4.1.1. Формирование тестовой выборки	Организация проведения эксперимента
		4.1.2. Проведение экспериментов	Количественные и качественные характеристики объекта в результате экспериментов

Особенностями объекта моделирования являются:

- 1) самостоятельное целеполагание, целенаправленность поведения в результате чего может возникнуть сознательное искажение информации, невыполнение требуемых обязательств;
- 2) рефлексия и прогнозирование поведения субъекта управления;
- 3) ограниченная рациональность, в результате чего обеспечивается принятие решений в условиях неопределенности и ограничений на объем обрабатываемой информации.

Предложенный подход позволит, во-первых, осуществлять системный анализ объекта моделирования и управления с учетом неопределенности внешней среды на базе разнородных инструментальных средств качественного и количественного анализа. Во-вторых, он представляет возможность сформировать адекватную математическую модель объекта с учетом результатов этапа концептуализации и выработать компьютерную модель и осуществить ее испытания. В-третьих, этот подход является основанием для построения ЦД объекта и формирования системы поддержки принятия решений.

При рассмотрении физического объекта на стадии его жизненного цикла «разработка», необходим прототип цифрового двойника, содержащий необходимые компоненты для описания и создания физической версии объекта. На этом этапе задача состоит в том, чтобы предвидеть возможные состояния объекта и разработать систему поддержки принятия решений для нейтрализации последствий непредвиденных и нежелательных событий [5,6].

В отличие от традиционных подходов, сводящихся к проверке и подтверждению требований к разрабатываемому объекту, а также устранению проблем и сбоев для прогнозируемых состояний объекта, прототип цифрового двойника может помочь выявлению и устранению непредвиденных нежелательных состояний. Эта задача решается на основе изменения параметров моделирования в возможных пределах и исследования множества различных ситуаций и разнообразных поведенческих паттернов, которые могут привести к серьезным катастрофическим проблемам. Такое моделирование позволит спроектировать физический объект в виртуальном пространстве с набором новых возможностей и значительно уменьшить риски нежелательного и непредсказуемого поведения объекта, а также устранить негативные последствия таких рисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прохоров А., Лысачев М., Боровков А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М. : ООО «АльянсПринт», 2020. 401с.
2. *Martínez-García A. N.* Artificial Intelligence for Sustainable Complex Socio-Technical-Economic Ecosystems // *Computation* 2022. Vol. 10.
3. *Kim D., Jo D.* Effects on Co-Presence of a Virtual Human: A Comparison of Display and Interaction Types. // *Electronics*. 2022. Vol. 11.
4. Орлова Е. В. Проектирование цифрового двойника работника предприятия // *Онтология проектирования*. 2025. Т. 15. №4 (58). С. 471-485.
5. Орлова Е. В. Системный инжиниринг цифровых двойников организационно-технических систем с использованием методов интеллектуального анализа // *Программная инженерия*. 2022. Т. 13. № 9. С. 425-440.
6. Орлова Е. В. Модель управления человеческим капиталом предприятия на основе методов «машинного обучения с подкреплением» // *Экономика и математические методы*. 2025. Т. 61. № 1. С. 70-84.