

Г. А. Сапожников¹✉

Математическое моделирование и цифровые двойники

¹Сибирское отделение Российской академии наук, г. Новосибирск,
Российская Федерация

*e-mail: g.sapozhnikov@sb-ras.ru

Аннотация. В работе представлен анализ применения цифровых технологий в образовании и практической сфере деятельности с акцентом на математическое моделирование и цифровые двойники. Кроме научно-технологической деятельности цифровые технологии получили широкое применение во многих направлениях повседневной жизни: социальная сфера, быт, клиентское обслуживание, системы управления, включая госуправление, образование, культура, бизнес и др. В сфере математического моделирования, цифровизации, искусственного интеллекта и создания цифровых двойников при подготовке специалистов с высшим образованием важно продумать соответствующие тематические, в том числе междисциплинарные, учебные модули и их последовательность при формировании образовательных программ. Важен уровень их вовлеченности в процессы технологического обновления, включая применение цифровизации, робототехники и ИИ. В этом направлении имеется положительный опыт Новосибирского государственного университета по созданию и деятельности Передовой Инженерной Школы «Когнитивная инженерия». Она готовит специалистов нового типа для высокотехнологичных отраслей, объединяя фундаментальную науку, предпринимательские компетенции и проектную деятельность. Основные направления включают ИИ, биоинженерию, новые материалы и фотонику.

Ключевые слова: цифровизация, математическая модель, передовые инженерные школы

G. A. Sapozhnikov¹✉

Mathematical modeling and digital twins

¹Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: g.sapozhnikov@sb-ras.ru

Abstract. This paper presents an analysis of the application of digital technologies in education and practical applications, with a focus on mathematical modeling and digital twins. Beyond scientific and technological activities, digital technologies have found widespread application in many areas of everyday life: social services, everyday life, customer service, management systems (including public administration), education, culture, business, and more. In the fields of mathematical modeling, digitalization, artificial intelligence, and digital twin creation, it is important to consider relevant subject-specific, including interdisciplinary, training modules and their sequence when developing educational programs for higher education specialists. The level of their engagement in technological innovation processes, including the application of digitalization, robotics, and AI, is crucial. Novosibirsk State University has successfully established and implemented the Advanced Engineering School «Cognitive Engineering» in this area. It trains a new type of specialist for high-tech industries, combining fundamental science, entrepreneurial competencies, and project-based work. Key areas include AI, bioengineering, new materials, and photonics.

Keywords: Digitalization, mathematical model, advanced engineering schools

Создание образцов современной новой техники, работающих при динамических нагрузках, практически сложно без математического моделирования их конструкционных и материаловедческих свойств в условиях испытаний и эксплуатации. В последние десятилетия получили широкое применение методы численного (математического) моделирования процессов на ЭВМ, позволяющих, в том числе, определять оптимальные условия использования образцов новой техники, а также живых систем. Математическое моделирование – это процесс создания, исследования и применения математических моделей реальных систем, процессов или явлений для их изучения, прогнозирования, эксплуатации и оптимизации. Здесь используется язык математики (уравнения, функции, алгоритмы), заменяя сложный объект упрощенной структурой, что позволяет проводить виртуальные эксперименты без существенных материальных затрат. Это особенно важно при исследовании нелинейных процессов и явлений с особенностями (например, с ударными и детонационными волнами, со свободными границами, с фазовыми и структурными переходами, др. [1]).

Математическая модель каждого объекта системы содержит его статические и динамические свойства, сценарии поведения во времени, последствия взаимодействия с другими объектами системы. Здесь ВАЖНО правильно выбрать уровень детализации модели под конкретную задачу (объект исследования), отбросив несущественные свойства объектов и процессов, но оставив те, которые влияют на изучаемое явление. Важно также выбрать наиболее подходящие принципы эволюции системы во времени с учетом нелинейных эффектов. Для значительной части задач больше подходит модель эволюция с некоторым шагом по времени (динамические системы). Все это реализуется в виде математической модели, алгоритма и программного кода, что позволяет моделировать на компьютере практически любое количество вариантов развития событий, варьируя начальные параметры системы и внешние (краевые) условия.

В настоящее время для подобных процессов авторы [1] и пользователи нередко применяют понятие «цифровой двойник» [2]. Цифровой двойник – это цифровая (фактически, виртуальная) модель любых объектов, систем, процессов или живых организмов. Он достаточно точно воспроизводит форму, структуру, действия оригинала и позволяет смоделировать его поведение при определенных условиях, что помогает сэкономить время и средства, избежать, например, вреда для людей и окружающей среды. Впервые концепцию цифрового двойника описал в 2002 году проф. Мичиганского университета М. Гривс [3]. В своей книге «Происхождение цифровых двойников» он выделил в них три основные части:

1. Физический продукт в реальном пространстве.
2. Виртуальный продукт в виртуальном пространстве.
3. Данные и информация, которые объединяют виртуальный и физический продукт.

Цифровые технологии получили широкое применение во многих направлениях повседневной жизни: социальная сфера, быт, клиентское обслуживание,

производство, системы управления, включая госуправление, образование, культура, бизнес и др. И здесь для повсеместного применения цифровых технологий в различных сферах жизни и производства, как правило, применяется понятие «цифровизация». При этом цифровизация включает в себя и цифровые двойники объектов. Например, Правительство РФ утвердило стратегическое направление цифровой трансформации ТЭК до 2030 года [4], нацеленное на новый технологический уровень через использование отечественного программного обеспечения (ПО). Основным приоритетом определено достижение 80 % использования российского ПО в ключевых процессах, обеспечение кибербезопасности и внедрение искусственного интеллекта (ИИ) к 2030 году. Понятие «искусственный интеллект» также широко применяется населением, при этом достаточно большой процент людей слабо владеют основополагающими принципами создания и деятельности ИИ. Напомним, что в январе 2025 года вступил в силу национальный стандарт [5], утверждённый приказом Росстандарта от 28.10.2024 г. В стандарте ИИ определяется как «область науки и техники, рассматривающая технические системы, которые порождают такие результаты, как контент, прогнозы, рекомендации или решения для заданного набора поставленных человеком задач». В феврале 2026 года Президент России В.В. Путин подписал указ об образовании Комиссии при Президенте Российской Федерации по вопросам развития технологий искусственного интеллекта [6]. При этом следует помнить о ряде ключевых вопросов в общественных отношениях с участием ИИ, понимая, что он может имитировать когнитивные функции человека и получать результаты сопоставимые с его интеллектуальной деятельностью. В дальнейшем, несомненно, потребуется системная работа по развитию законодательства, регулирующего деятельность ИИ в общественном пространстве (например, вопросы этики).

Обозначенные выше направления, связанные с применением компьютеров и соответствующих технических средств, требуют системной многоплановой образовательной работы, включая междисциплинарные направления. Например, авторы монографии [1], фактически, с единых позиций математического моделирования (вычислительных технологий) последовательно от физических и математических моделей изучаемых процессов и сред, численных методов и решения конкретных практических задач представили основные аспекты, позволившие изучать сложные нелинейные процессы высокоскоростного взаимодействия тел (соударение, взрыв, разрушение, фазовые и структурные превращения, др.). Как правило подобные проблемы успешно решаются командой ученых и специалистов, принадлежащих научным школам во главе с учеными-лидерами. В данном примере, у большинства авторов таким лидером был Герой Социалистического труда, академик Н. Н. Яненко.

Но, что касается образовательных программ в сфере математического моделирования, цифровизации и создания цифровых двойников при подготовке специалистов с высшим образованием важно продумать соответствующие тематические, в том числе междисциплинарные, учебные модули и их

последовательность при формировании образовательных программ, востребованность планируемых результатов (сотрудничество с работодателями, профессиональным сообществом и бизнесом), организацию тематических семинаров и дискуссий, развитие мотивации обучающихся, начиная со школы, к изучению математических и естественно-научных дисциплин. Важно здесь обратить особое внимание на подготовку (переподготовку) инженеров, которые бы кроме базовых знаний владели основами ИИ, иностранных языков, экономики и юриспруденции. Важен уровень их вовлеченности в процессы технологического обновления, включая применение цифровизации, робототехники и ИИ. Кстати, развитию этого направления способствует решение Правительства РФ [7] по развитию передовых инженерных школ (ПИШ). Они дополняют образовательную модель подготовки кадров нового типа – инженеров-лидеров, способных к созданию сложных технологических платформ и генерации линейки продуктов, востребованных рынком. Приятно отметить, что имеется положительный опыт Новосибирского государственного университета по созданию и деятельности ПИШ «Когнитивная инженерия». Она создана в 2022 году и готовит специалистов нового типа для высокотехнологичных отраслей, объединяя фундаментальную науку, предпринимательские компетенции и проектную деятельность. Основные направления включают ИИ, биоинженерию, новые материалы, фотонику, создание малых космических аппаратов, а с 2025 года ПИШ НГУ организовала мероприятия повышения квалификации в рамках национального проекта «Новые материалы и химия».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.М. Фомин, А.И. Гулидов, Г.А. Сапожников. Высокоскоростное взаимодействие тел. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 1999. – 600с.
2. М. Цвюд. Цифровые двойники: полный обзор технологии. Product Owner Beinf.ai by Colobridge, 2026.
3. Grives M. Origins of the Digital Twin Concept, (In Engl.), 2016.
4. Распоряжение Правительства РФ от 12.03.2024 N 581-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса до 2030 года».
5. Национальный стандарт ГОСТ Р 71476-2024 (ИСО/МЭК 22989:2022) «Искусственный интеллект. Концепции и терминология искусственного интеллекта».
6. Указ Президента Российской Федерации от 26.02.2026 № 116 «О Комиссии при Президенте Российской Федерации по вопросам развития технологий искусственного интеллекта».
7. Постановление Правительства РФ от 8.04.2022 N 619 «О мерах государственной поддержки программ развития передовых инженерных школ».

© Г. А. Сапожников, 2026