

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, Россия*

***Аннотация.** В данной статье рассматривается опыт применения современной технологии «цифровой двойник» при обучении студентов. В качестве примера рассматривается реализация дисциплины магистратуры «Локальные информационно-измерительные систем», в которой применяются методы моделирования элементом измерительного канала.*

**Ключевые слова:** цифровой двойник; измерительный канал; информационно-измерительная система; IT-технологии в образовании

В современном обществе все большее значение приобретает роль фундаментальных и прикладных знаний при решении проблем различного рода. Все чаще именно выпускники магистратуры проявляют комплексный подход к достижению поставленной цели, поскольку участвуют в непрерывном, зачастую преемственном, образовании. Методики и знания, полученные в магистратуре [1], являются надстройкой, основанной на получении фундаментальных знаний и навыков, освоенных ещё в бакалавриате. При обучении магистрантов основной акцент делается на углубленной практической и теоритической специализации. Именно магистратура имеет важнейшее значение для профессиональной карьеры и научной работы будущего выпускника.

В последнее время нередким является смена траектории развития студента и после получения степени бакалавра, выпускник поступает в магистратуру по другому, иногда кардинально отличающемуся, направлению. Иногда это способствует расширению научного кругозора и практических навыков будущего выпускника, но нередко приводит и к обратному эффекту. Отсутствие фундамента

знаний по ключевым направлениям будущей специальности приводит к «пробуксовке» даже при решении несложных задач связанных с профессиональной деятельностью.

В учебной программе «Локальные измерительно-вычислительные системы» студенты изучают принципы построения средств измерений (СИ) с использованием цифровых моделей различного уровня. При изучении материала студенты применяют знания, освоенные за время изучения дисциплин бакалавриата по направлению «Приборостроение», а именно: элементная база электроники, проектный менеджмент, вероятностно-статистические методы в информационно-измерительной технике, методы анализа и обработки сигналов, конструирование и технология средств приборостроения, цифровые измерительные устройства, преобразование измерительных сигналов, надежность и качество средств измерений, измерительные преобразователи, теоретические основы информационно-измерительной техники, математические модели в измерительной технике и пр.

Современные информационно-измерительные и управляющие системы (ИИУС) широко используют IT-технологии для увеличения точности измерений, надежности работы, решения задач управления в реальном времени и др. Перечисленные задачи увеличивают качество работы системы. Это обеспечивается применением сложных цифровых моделей – эталонов, которые получили название «Цифровой двойник».

Цифровой двойник – определяется, как комплекс программных моделей, всесторонне описывающий характеристики объекта. Использование технологии ЦД позволяет быстро и наглядно восполнить пробелы в знаниях студента, изучить отдельные элементы будущей системы или заменить важные ее части моделью.

Использование технологии ЦД в обучении зачастую не требует дополнительного оборудования, может применяться одновременно большим количеством людей, как в очном, так и в дистанционном формате [3].

На рисунке 1 представлена структура ЦД ИИУС.



Рис. 1 – Структура цифрового двойника ИИУС

ЦД включает цифровые модели разного уровня:

- опорная цифровая модель СИ (ОЦМСИ);
- рабочая цифровая модель СИ (РЦМСИ);
- текущая цифровая модель СИ (ТЦМСИ).

При освоении курса «Локальные измерительно-вычислительные системы» студенты в качестве курсового проекта разрабатывают измерительный канал для измерения температуры на основе термодпары (для измерения высоких температур) или терморезистора (для измерения низких температур) в зависимости от варианта задания.

Примеры задания:

Задание 1. Необходимо разработать измерительный канал для измерения температуры с диапазоном изменения от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ , погрешность измерения не должна превышать  $\Delta T = 0.5^{\circ}\text{C}$ , в качестве датчика использовать терморезистор 100П.

Задание 2. Необходимо разработать измерительный канал для измерения температуры с диапазоном изменени от +300°C до +1800°C, погрешность измерения не должна превышать  $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ , в качестве датчика использовать термопару типа ТПР.

Студенты получают в виде математической зависимости модель объекта, которая служит основой для метрологического расчета ОЦМСИ [4–6].

**Опорная цифровая модель СИ.** Структура СИ может быть описана уравнением измерений (математическая модель) вида  $x_j^*(t) = R_F^{-1} R_M R_{A-Ц} R_{НП} R_{ППП} x_j(t)$ , где  $x_j(t)$  – измеряемая физическая величина,  $x_j^*(t)$  – результат измерения,  $R_F^{-1} R_M R_{A-Ц} R_{НП} R_{ППП}$  – измерительные процедуры, реализующие функции модулей ИК: первичный измерительный преобразователь (ППП), нормирующий преобразователь (НП), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифровые масштабирующий преобразователь и преобразователь обратной функции градуировочной характеристики ИК. Математическая модель является основой для реализации СИ – ОЦМСИ.

ОЦМСИ разрабатывается с максимальной точностью, которую позволяет ПК или контроллер, управляющий работой ИС (максимальная разрядная сетка).

**Рабочая цифровая модель СИ.** Выполняя практический метрологический расчет (метрологический синтез) СИ студенты определяют требования к реализации каждой измерительной процедуры, формируя при этом рабочую цифровую модель – РЦМСИ:

$$R_{ИК}^D = R_F^{-1D} R_M^D R_{F-W}^D R_{НП}^D R_{ППП}^D.$$

При этом должны быть выполнены требования по точности. В цифровой реализации это программные модули, задающие разрядность.

В результате определяется реализация РЦМСИ, отличающаяся от опорной (эталонной), но удовлетворяющая требованиям технического задания.

**Текущая цифровая модель СИ.** ТЦМСИ формируется в результате проведения испытаний построенного СИ. Она описывает реальные характеристики, которые сформировались в процессе аппаратной и программной реализации, в процессе эксплуатации.

Применение технологии ЦД в образовании позволяет проиллюстрировать различные направления науки и техники, создавать копии ИК, ИИУС, производственных процессов или даже реальных заводов. ЦД можно использовать на всех этапах промышленного производства изделия, а в образовании применяться для сверки реального состояния с моделью и корректировки различий, происходящих на всех этапах жизненного цикла изделия.

#### **Заключение.**

Технология ЦД является крайне эффективной в современных условиях роста цифровизации, способствует быстрому получению базовых знаний во многих курсах автоматизации и программирования, увеличивает рост вовлеченности и мотивации обучающихся, увеличивает ориентацию обучения на современную практику, повышает качества результатов обучения.

#### **Список литературы:**

1. Щеглова Д. В., Гармонова А. В., Опфер Е. А. Роль магистратуры в системе подготовки академических кадров // Высшее образование в России. 2022. – Т. 31. – № 11. С. 47–62.
2. Иващенко Т.Н. Роль института магистратуры в системе российского образования // Вестник государственного и муниципального управления. 2015. – № 4 (19). С. 75–79.
3. Сосфенов Д.А. Цифровой двойник: история возникновения и перспективы // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. №4. С. 35–43.
4. Алексеев В.В., Царёва А.В. Цифровые двойники и виртуальные средства измерений. Приборы 2021 – № 11 (257). С.14–25.
5. Принципы построения цифровых двойников средств измерений В.В. Алексеев, П.Г. Журбило, П.Г. Королев, А.И. Акользин. Приборы 2022. – № 1 (259). С.38–45.

6. Виртуальные средства измерений в образовании и промышленности: монография. Алексеев В.В., Конавалова В.С., Королев П.Г., Поливанов В.В., Романцова Н.В., Царева А.В. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. – 160 с.

V. V. Alekseev, V. S. Konovalova

On the issue of using digital twins in education

*Saint Petersburg Electrotechnical University, Russia*

*Abstract. This article discusses the experience of using modern “digital twin” technology when teaching students. As an example, we consider the implementation of the master's degree discipline “Local Information Measuring Systems”, in which methods of modeling elements of the measuring channel are used.*

**Keywords: digital twin; measuring channel; information and measuring system; IT technologies in education**