

**ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК МАКСИМАЛЬНО ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ
МОДЕЛИ В ИЗМЕРЕНИЯХ****Н.П. Ординарцева**Пензенский государственный университет, np_ordinartseva@mail.ru

Аннотация. Показана значимость моделирования в задачах измерений. Сделан краткий экскурс в историю появления цифровых двойников. Показаны новые открывающиеся возможности повышения точности измерений измерительных систем внедрением цифровых двойников.

Ключевые слова: модели, уровни моделирования, цифровые двойники, формализация, дистанционные измерения, поправка к результату измерения.

Измерения и метрология (наука о точности измерений) как никакая другая отрасль научной и практической деятельности тесно связаны с моделированием: всегда мы измеряем не объект, а параметры принятой нами модели объекта измерения. Например, при простейшем измерении длины будет ли наша модель учитывать волнистость поверхности объекта измерения, его шероховатость, выпуклость, вогнутость или упрощаемся до измерения расстояния от левой до правой крайних точек объекта? Более того, само понятие измеряемой величины вводится на определенной модели объекта измерения, которая строится для решения конкретной практической задачи и отражает существенные для ее решения особенности объекта при некоторой идеализации его свойств [1, с. 18].

При моделировании принято различать три уровня моделирования:

- концептуальный (анализ предметной области, мысленный образ, речь, текст),
- физический (физический механизм действия объекта, научный текст),
- математический (текст на языке математики, понятный машине).

В свою очередь математическая модель проходит углубленную детализацию в виде разработки:

- информационной модели,
- алгоритмической модели,
- командной модели,
- и, наконец, цифрового двойника.

Согласно ГОСТ Р 57700.37-2021 [2, п. 3.24], цифровой двойник – это «система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями».

Сделаем краткий экскурс в историю появления цифровых двойников. Официально термин «цифровой двойник» впервые упоминается в отчете NASA о моделировании и симуляции за 2010 год. Появление цифровых двойников (Digital Twins) было предвосхищено книгой Дэвида Гелернтера (David Gelernter) «Зеркальные миры» («Mirror Worlds»), опубликованной в 1991 году. Концепцию же цифровых двойников впервые в 2002 году представил профессор Майкл Гривс (Michael Grieves) на курсах PLM («Product Lifecycle Management») для руководителей в Мичиганском университете, где эту концептуальную модель называли «моделью зеркальных пространств» («Mirrored Spaces Model»). Именно так на нее ссылались в журнальной статье 2005 года в основополагающей книге по PLM «Управление жизненным циклом продукта: развитие бережливого мышления следующего поколения», концептуальная модель была названа «моделью отражения информации» («Information Mirroring Model») [3]. Концепция была значительно расширена в издании «Virtually Perfect: Создание инновационных и бережливых продуктов с помощью управления жизненным циклом продукта» (2011 г.), где эта концепция по-прежнему называлась «моделью отражения информации». Однако именно в этой работе был применен термин "цифровые двойники" со ссылкой на соавтора описания этой модели Дж. Викерса (John Vickers); учитывая описательно-разъяснительный характер словосочетания "цифровой двойник", т.е., по сути, его определение, с этого момента и начинается использование термина «цифровой двойник».

Массовое использование IT-технологий, масштабное внедрение искусственного интеллекта, реализация программы «Индустрия – 4.0» и связанная с ней цифровизация обусловили широкое применение цифровых технологий измерений [4]. Разрабатываемые и эксплуатируемые в настоя-

щее время измерительные системы характеризуются в своем составе большим количеством измерительных каналов, исчисляемых в единицах тысяч, а иногда и в десятках тысяч, часто рассредоточенных территориально. И количество измерительных каналов измерительных систем неуклонно растет.

В настоящее время уже эксплуатируются сложные технические системы пятого поколения их эволюционного развития [5, с. 24]. Эти системы обладают искусственным интеллектом, что в сочетании с постоянно открывающимися новыми возможностями средств коммуникации, облачных технологий, интернета вещей и больших данных ставят перед разработчиками новые задачи, такие как выделение измерительных систем в составе более сложных технических систем с измерительными функциями. Метрологическое обслуживание измерительных систем пятого поколения традиционными методами часто становится затруднительным, ставя перед проектантами систем новые задачи. И одним из перспективных направлений совершенствования метрологического обеспечения измерительных систем пятого поколения, в том числе и виртуальных, является создание цифровых двойников [5, с. 26].

Первичные измерительные преобразователи – датчики – измерительных каналов измерительных систем зачастую находятся в условиях, затрудняющих или вовсе делающих недоступным проведение калибровки на месте эксплуатации канала, например, в условиях агрессивных технологических сред, высоких температур, повышенного радиоактивного фона и т.д. Декомпозиция канала измерительной системы для поэлементной калибровки в калибровочной лаборатории по тем или иным причинам также может быть невозможной. И вот тогда на помощь в повышении точности измерений, выполняемых измерительными каналами в рабочих условиях эксплуатации измерительных систем, приходят цифровые двойники.

Цифровые технологии, внедряемые в измерительную технику и метрологию, являются революционными, открывающими новые возможности. Так, цифровой двойник датчика – иными словами максимально формализованная цифровая модель датчика – может храниться в вычислительном компоненте измерительной системы (ЭВМ), расположенном в нормальных условиях лаборатории. Наличие двусторонних информационных связей между цифровым двойником и находящимся в рабочих условиях датчиком измерительного канала системы, сопоставление приходящей по каналам информации позволит получить поправку к результату измерения с учетом действия совокупности влияющих величин, уникально сложившейся на момент измерения. Интероперабельный формат цифрового двойника позволяет ЭВМ вычислительного компонента системы совершать «выполняемое системой действие», открывая новые приложения искусственному интеллекту, особенно в случае дистанционных измерений.

Потребность в цифровых двойниках ставит перед наукой много новых задач, требующих скорейшего решения. Это задачи аналитических и численных методов идентификации – детерминистской и стохастической – физических явлений, процессов, динамических систем.

Цифровая трансформация науки об измерениях способна обеспечить запросы новой цифровой экономики. Разработка МБМВ (Международным бюро мер и весов) Цифровой платформы SI (SI Digital Framework), в основе которой лежит базовое представление (ядро) Международной системы единиц (SI), обеспечит цифровую основу для всех пользователей данных по измерениям и позволит выдавать заслуживающие доверие цифровые сертификаты соответствия на продукцию, что, в свою очередь, окажет благотворное воздействие на инновационное развитие и темпы продвижения продукции на рынок.

Список использованных источников

1. Ординарцева, Н.П. Моделирование в предметной области измерений / Н.П. Ординарцева // Инжиниринг: теория и практика : материалы III международной научно–практической конференции, Пинск, 28 апреля 2023 г. / Министерство образования Республики Беларусь [и др.] ; редкол.: В.И. Дунай [и др.]. – Пинск : ПолесГУ, 2023. – С. 18-21. / <https://rep.polesu.by/handle/123456789/29135> (дата обращения 28.08.2024).

2. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 10 с.

3. Grieves, M. Origins of the Digital Twin Concept. Florida Institute of Technology / NASA. – 2016.

4. ВНИИМ им. Д. И. Менделеева о метрологической тактике и стратегии при развитии ИИ / Главный форум метрологов // https://news.metrologu.ru/novosti_kompaniy/vniim_o_metrologicheskoi_taktike_i_strategii_pri_razvitii_i.html (дата обращения 28.08.2024).

5. Данилов А. А. Направления совершенствования измерительных систем и их метрологического обеспечения // Измерительная техника. 2023. № 8. С. 24–29. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2023-8-24-29> (дата обращения 28.08.2024).