

А. Крылов. – Режим доступа: <https://secrets.tinkoff.ru/razvitie/digital-twin/>.

3. Метрология. Основные термины и определения: РМГ 29-2013 ГСИ. – 2013.

4. Samarasinghe, S. Neural Networks for Applied Sciences and Engineering / S. Samarasinghe. – Boca Raton, FL: Auerbach Publications, 2006. – 570 p.

УДК 519.876.5

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Борисенок С.В., Тявловский А.К.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Рассмотрена сущность цифровых двойников технических изделий и устройств, предъявляемые к ним требования и современное применение цифровых двойников в промышленности. К настоящему времени сформирована необходимая база для создания цифровых двойников средств измерений, однако дальнейшая цифровизация приборостроения сдерживается необходимостью решения многофакторной задачи моделирования взаимодействия электрических, механических и тепловых процессов в приборах, что является темой дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** цифровые двойники, приборостроение, цифровизация, виртуальные модели.

## PROSPECTIVE APPLICATIONS OF DIGITAL TWINS IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

Borisenok S.V., Tyavlovsky A.K.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The essence of digital twins of technical items and devices, the requirements for them and the modern use of digital twins in industry are considered. To date, the necessary basis for creating digital twins of measuring instruments has been formed. However, further digitalization of instrumentation engineering is hampered by the need to solve the multifactor problem of modeling the interaction of electrical, mechanical and thermal processes in measuring devices, which is a topic for further research.

**Key words:** digital twins, instrumentation engineering, digitalization, virtual models.

*Адрес для переписки: Тявловский А.К., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь  
e-mail: tyavlovsky@bntu.by*

Цифровой двойник позволяет смоделировать внутренние процессы, технические характеристики и поведение физического объекта на этапе проектирования. За счет этого источники ошибок или сбоев можно выявить и устранить еще до начала реальной эксплуатации. Это также позволяет экономить время и даже самые сложные производственные маршруты рассчитывать быстро, тестировать и программировать с минимумом затрат и усилий. Более того, на протяжении всего жизненного цикла модель непрерывно генерирует данные о состоянии своего физического аналога, то есть ведет постоянный мониторинг состояния оборудования и производственных систем. Цифровой двойник должен видеть, то есть распознавать, внутренние и внешние изменения, происходящие в изделии. Он должен уметь анализировать совокупность всех факторов и предлагать готовые сценарии развития ситуации, а также управлять процессом, в том числе без вмешательства.

Области использования цифровых двойников обширны. На основании архивных документов

создаются 3D-модели утраченных памятников архитектуры. Но наибольшее распространение на данном этапе технология получила в промышленности, поскольку именно цифровые двойники позволяют кардинально оптимизировать все процессы в производственно-сбытовой цепочке.

Значимость технологии цифровых двойников осознают в горнодобывающей промышленности. Один из свежих проектов – создание цифрового двойника поведения горных пород при бурении [1]. Это не только позволяет собирать и эффективно применять данные о работе оборудования, но и создает возможности для моделирования и прогнозирования работы объектов в различных условиях и режимах. Курс на цифровизацию держит и сектор машиностроения. Ученые моделируют процесс взаимодействия химических элементов. Например тех, из которых состоят сверхкрупные шины для БЕЛАЗа, чтобы они получились прочными и долговечными.

Технология виртуальных двойников также используется для моделирования различных составляющих и деталей.

Большинство примеров внедрения цифровых двойников как в отечественной, так и в мировой промышленности – это виртуальные модели отдельных элементов производства [1]. Речь идет о деталях, оборудовании, системах, линиях и процессах. Предполагается, что в дальнейшем предприятия будут отдавать предпочтение комплексному подходу. Он предполагает использование всех данных на всех этапах производственного цикла – от проектирования цифровой модели до анализа той информации, которую она генерирует в ходе жизненного цикла. Это повысит гибкость и эффективность работы компаний, позволит им быстрее адаптироваться к многообразию глобальных рынков и добиваться роста производительности для обеспечения долгосрочной конкурентоспособности.

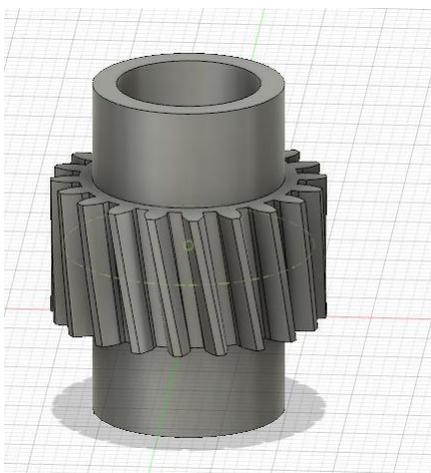


Рисунок 1 – 3D-модель (визуализация виртуального двойника) шестерни

В приборостроении использование цифровых двойников на сегодняшний день является новой и практически неисследованной технологией. Исходя из доступных литературных данных, соответствующие разработки как в Республике Беларусь, так и на мировом уровне в настоящее время отсутствуют. Это может объясняться сложностью и многофакторностью цифровых моделей средств измерений, которые должны учитывать ряд параметров, несущественных для цифровых двойников в машиностроении. Функционирование

средств измерений описывается передаточной функцией, основной и дополнительными погрешностями измерений, характеристиками чувствительности к факторам окружающей среды и параметрам питающей сети и т. д., причем все эти параметры находятся в сложных взаимных зависимостях как между собой, так и с параметрами компонентов, составляющих средство измерений. Вследствие этого наличия цифровых двойников отдельных компонентов измерительного прибора недостаточно для моделирования прибора в целом. К настоящему времени созданы достаточно эффективные системы компьютерного моделирования принципиальных электрических схем электронных устройств, в том числе позволяющие учитывать влияние параметров окружающей среды, взаимные электромагнитные наводки компонентов и др., системы моделирования конструктивных элементов и узлов, и их поведения при механических и тепловых нагрузках (моделирование методом конечных элементов). Таким образом, можно говорить о наличии необходимой базы для создания цифровых двойников средств измерений. Однако такие цифровые двойники не могут являться простым объединением разрозненных моделей электрических, механических и тепловых процессов в приборах, а должны учитывать многообразные взаимодействия этих процессов. Данная многофакторная задача требует глубоких фундаментальных исследований, а ее решение позволит создавать цифровые двойники средств измерений, обеспечивающие анализ поведения средств измерений в реальных условиях эксплуатации, определение их метрологических характеристик, диагностику и прогнозирование метрологических отказов без проведения дорогостоящей процедуры поверки, требующей сложного оборудования и высокоточных эталонов и образцовых материалов, что в конечном счете обеспечит повышение эффективности приборостроительной отрасли путем ее цифровизации.

#### Литература

1. Что такое цифровой двойник, и почему они так важны для производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/kopiya-nekhuzhe-originala-tsifrovye-dvoyniki.html>.