

**София Ройтман, Ирина Игонина**

**Sofia Roitman, Irina Igonina**

**ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ – СЛЕДУЮЩИЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ АСУТП?**

**DIGITAL TWINS – THE NEXT STAGE IN THE DEVELOPMENT OF  
AUTOMATED CONTROL SYSTEMS?**

Российский химико-технологический университет имени Дмитрия Ивановича Менделеева

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow

В настоящей статье рассматривается как технология цифровых двойников может повлиять на развитие систем управления технологическими процессам. Описываются преимущества и особенности использования теории управления на примере сравнения АСУТП и цифрового двойника.

This article discusses how digital twin technology can influence the development of process control systems. The advantages and features of using control theory are described using the example of a comparison of process control systems and a digital twin.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, АСУТП, автоматизация управления технологическим процессом технологические процессы, модель

**Keywords:** digital twin, APCS, process control automation, technological processes, model

Развитие темы цифровых двойников является актуальным в современном мире, где цифровые технологии становятся нормой во всех сферах жизни. Концепция «цифрового двойника» является частью четвёртой промышленной революции и призвана помочь предприятиям быстрее обнаруживать физические проблемы, точнее предсказывать их результаты и производить более качественные продукты.

До второй половины 2010-х годов невозможно было создать компьютеризированные системы, которые бы могли отражать характеристики физических объектов в режиме реального времени, из-за технических ограничений. Однако, значительный прогресс в развитии цифровых технологий позволил увеличить вычислительные мощности и снизить стоимость их использования. Благодаря этому ведущие компании смогли реализовать идею

---

Ройтман С. – студент магистратуры  
Игонина И.Н. – кандидат технических наук, доцент

объединения информационных технологий с операционными процессами, с целью создания цифровых двойников предприятий.

Фундаментально цифровой двойник - это непрерывно изменяющийся цифровой профиль, который содержит исторические и актуальные данные о физическом объекте или процессе. Это позволяет оптимизировать эффективность бизнеса. Цифровой двойник основан на большом объеме накопленных данных, полученных в результате измерений различных параметров объекта в реальном мире. Анализ этих данных позволяет получить точную информацию о производительности системы и определить необходимость внесения изменений как в производимый продукт, так и в сам процесс производства.

И так, определим, как технология цифровых двойников может влиять на развитие систем управления технологическими процессами.

Сначала кратко опишем определения АСУТП и цифрового двойника.

#### 1. АСУТП

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) — группа решений технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим процессом.

АСУТП подразумевает необходимость участия человека в отдельных операциях, как в целях сохранения контроля над процессом, так и в связи со сложностью или нецелесообразностью автоматизации отдельных операций.

Как правило, АСУТП имеет единую систему операторского управления технологическим процессом в виде одного центрального пульта управления (ЦПУ) или нескольких пультов управления, средства обработки и архивирования информации о ходе процесса, типовые элементы автоматики: датчики, устройства управления, исполнительные устройства. Главной особенностью АСУТП является периодическое либо регулярное участие человека-оператора в её работе. Роль оператора состоит в периодическом либо регулярном контроле за системой операторского управления.

В развитии АСУТП наблюдалось последовательное усложнение задач, стоящих перед системами управления от управления отдельными установками и параметрами, к автоматизации процессом в целом, автоматизации систем управления. Использование современных АСУТП позволяет не только эффективно осуществлять управление и контроль в производственной сфере, но и частично исключить влияние человеческого фактора в управлении, что позволяет избежать ошибок. В настоящее время актуальными являются вопросы повышения автономности АСУТП, перераспределения функций в направлении увеличения нагрузки в принятии решений на АСУ, а также вопросы развития

интеллектуальной составляющей АСУТП в направлении создания алгоритмов реагирования в режиме реального времени на возникающие критические ситуации.

Большинство управляющих воздействий выполняется автоматически устройствами связи с объектом (УСО) или промышленными контроллерами (ПК). Непосредственное управление процессом обычно обеспечивается УСО или ПК. Сбор данных начинается в УСО или на уровне ПК и включает показания измерительных приборов. Далее данные собираются и форматируются таким способом, чтобы оператор диспетчерской, используя человеко-машинный интерфейс, мог принять контролирующие решения — корректировать или прервать стандартное управление средствами УСО/ПК. Данные также могут быть записаны в архив для построения трендов и другой аналитической обработки накопленных данных.

Схематично функционирование АСУТП можно представить следующим образом (рис.1).



Рисунок 1- Схема функционирования АСУТП

## 2. Цифровые двойники ТП

Цифровой двойник — это цифровая модель теоретического или реально существующего физического продукта, системы или процесса, который служит его практически неотличимым цифровым аналогом для практических целей, таких как

моделирование, управление, интеграция, тестирование, мониторинг и техническое обслуживание. Ожидается, что цифровой двойник станет основополагающим фактором для управления жизненным циклом продукта или процесса, присутствуя на протяжении всего существования физического объекта или процесса, который он представляет. В силу высокой детализации информации, представление цифрового двойника формируется в зависимости от конкретных вариантов использования, основанных на ценности, которую он должен обеспечить. Цифровой двойник может существовать и часто существует до физического объекта. Применение цифрового двойника на этапе разработки позволяет моделировать весь предполагаемый жизненный цикл объекта. Цифровой двойник уже существующего объекта может быть использован в режиме реального времени и регулярно синхронизирован с соответствующей физической системой.

Также цифрового двойника можно определить как "интегрированную мультифизическую, многомасштабную, вероятностную симуляцию готовой системы, поддерживаемую цифровым потоком, которая использует наилучшие доступные модели, информацию датчиков и входные данные для отражения и прогнозирования действий / производительности в течение срока службы соответствующего физического двойника".

Концепция цифрового двойника включает в себя три отдельные части: физического объекта или процесса и его физического окружения, цифрового представления объекта или процесса и канала связи между физическим и виртуальным представлениями. Физическая и цифровая версия связаны между собой информационными потоками и данными, которые в свою очередь состоят из физических датчиков между физическими и виртуальными объектами и средами. Подобное коммуникационное соединение называется цифровым потоком.

3. Сравнение АСУТП и цифрового двойника с использованием теории управления

Теория управления – это наука о принципах и методах управления различными системами, процессами и объектами, это развивающаяся теория, особенно начиная с последних десятилетий XX века, когда её принципы оказались полезны при решении задач компьютерного моделирования различных систем, процессов и объектов, позволяющего существенно увеличить возможности автоматизации человеческого труда

Суть теории управления состоит в построении на основе анализа данной системы, процесса или объекта такой абстрактной модели, которая позволит получить алгоритм управления ими в динамике, — для достижения системой, процессом или объектом состояния, которое требуется целями управления.

Математическая модель — математическое представление реальности, один из вариантов модели как системы, исследование которой позволяет получать информацию о некоторой другой системе. Математическая модель представляет собой идеальный вариант реального объекта и используется для прогнозирования его поведения.

В основе всех естественных и общественных наук, где используется математический аппарат, лежит математическое моделирование. Это подразумевает замену исследуемого объекта его математической моделью, которая потом изучается. Обычно, с помощью математических методов, описывается идеализированный объект или процесс, который был разработан на этапе формирования модели. По способу представления объекта модели классифицируются:

- Структурно-параметрические и функциональные модели

Структурно-параметрические модели представляют объект как систему со своим устройством и механизмом функционирования.

Функциональные модели не используют таких представлений и отражают только внешне воспринимаемое поведение (функционирование) объекта. В их предельном выражении они называются также моделями «чёрного ящика».

Возможны также комбинированные типы моделей, которые иногда называют моделями «серого ящика».

Чёрный ящик — термин, используемый для обозначения системы, внутреннее устройство и механизм работы которой очень сложны, неизвестны или неважны в рамках данной задачи. «Метод чёрного ящика» — метод исследования таких систем, когда вместо свойств и взаимосвязей составных частей системы, изучается реакция системы, как целого, на изменяющиеся условия (рис.2).



Рисунок 2 – Метод исследования «черный ящик»

Представление технологического процесса в виде функциональной модели черного ящика лежит в основе создания систем АСУТП. Когда поведение объекта управления оценивается по сигналам датчиков и на основании их вырабатываются управляющие

воздействия на исполнительные механизмы, связанные с объектом и передается информация оператору.

В случае цифровых двойников мы имеем дело с построением структурно-параметрических моделей как технологического процесса, так и самой системы управления, включая датчики, исполнительные механизмы и пр.

Под структурно-параметрической моделью понимается математическая модель структуры системы описывающая состав системы и взаимосвязи между объектами системы и связи с окружающей средой, и позволяющая установить количественную связь между функциональными и вспомогательными параметрами системы,

Такая модель подразумевает высокую степень подробности описания всей системы.

Тогда схема функционирования такой системы может выглядеть следующим образом (рис. 3):

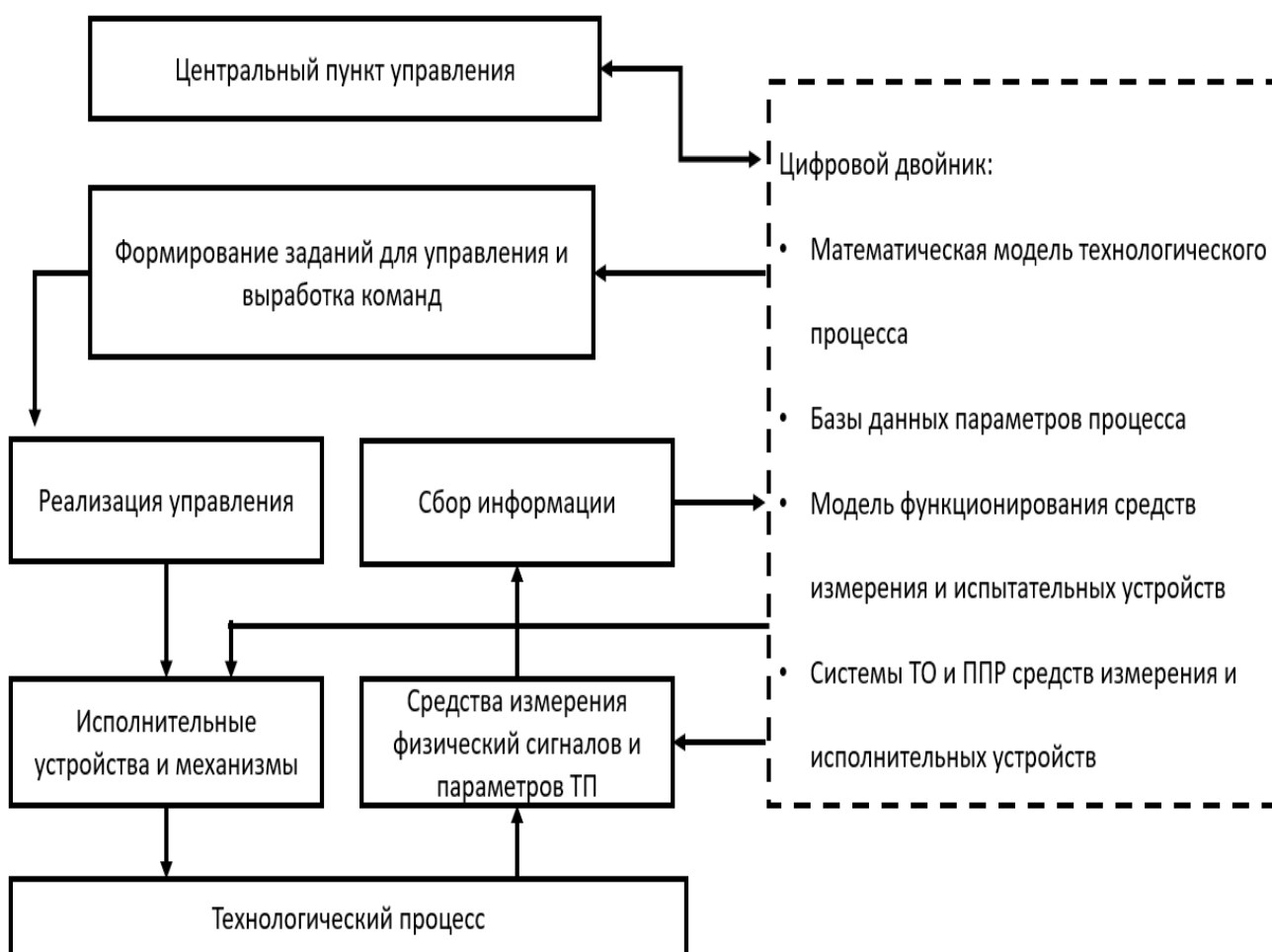


Рисунок 3- Схема функционирования структурно-параметрической модели

Важно отметить, что особую роль играет пункт «Системы ТО и ППР средств измерения и исполнительных устройств», где ТО – это техническое обслуживание, а ППР – планово-предупредительный ремонт. Так как организация профилактики сбоев и поломок является решающим фактором в планировании успешного производства.

И так, если рассматривать достоинства применения технологии цифровых двойников в АСУ ТП, то первоначально стоит выделить помощь в выборе оптимальных решений в условиях сложных многопараметрических процессов.

Цифровой двойник нужен там, где есть потенциал для повышения эффективности процесса за счет разработки технологической модели. Потенциал может быть в сокращении человеческого фактора управления производством, в получении дополнительных данных для принятия решений, в проверке гипотез по повышению эффективности производства и т. д.

Второй критерий: экономический эффект от внедрения цифрового двойника должен быть выше, чем затраты на его разработку.

Основной вывод заключается в том, что связь АСУ ТП и цифровых двойников может быть использована для оптимизации работы производства и улучшения эффективности процессов управления. Это сможет значительно облегчить работу и минимизировать присутствие людей. Однако не стоит забывать о том, что полностью убрать человека из производства не получится. Всегда будут существовать ситуации, в которых будет требоваться участие сотрудников КИП (контрольно-измерительные приборы), инженеров и технологов. Поэтому, если у вас произошел сбой в настройках регулятора, цифровой двойник справиться с этим сам, а вот заменить неисправную термопару у него уже не получится.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Клаус Шваб, Николас Дэвис. Технологии четвертой промышленной революции = *Shaping The Fourth Industrial Revolution*. — Эксмо, 2018. — 320 с. — ISBN 978-5-04-095565-7.

2. Гривз, Майкл; Викерс, Джон (17 августа 2016). "Цифровой двойник: смягчение непредсказуемого, нежелательного возникающего поведения в сложных системах". *Трансдисциплинарные перспективы сложных систем*. Стр. 85-113. doi:10.1007/978-3-319-38756-7\_4, ISBN 978-3-319-38754-3..

3. Лопатников Л. И. Чёрный ящик // *Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки*. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Дело, 2003. — 520 с.

4. Корниенко Е. В., Шиндина Л. Д. Введение // *Теория управления: Учебное пособие*. — Таганрог: Издатель С. А. Ступин, 2015. — С. 5—7. — 170 с..

5. Зыкин С. А., Катаева М. И. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом на предприятии // Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь). — 2018. — Т. 1. — С. 139—140.

**Анна Марциохо<sup>1</sup>, Мария Солопчук<sup>1</sup>, Хадия Невмятуллина<sup>1,2</sup>**

**Anna Martsiokho, Maria Solopchuk, Khadia Nevmyatullina**

**СТАНДАРТИЗАЦИЯ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА  
МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

**STANDARDIZATION IN THE PRODUCTION  
OF MULTILAYER PRINTED CIRCUIT BOARDS**

<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, г. Москва

<sup>2</sup>Всероссийский институт научной и технической информации РАН, г. Москва

<sup>1</sup>Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow

<sup>2</sup>All-Russian Institute for Scientific and Technical Information of Russian Academy of Sciences

Современное производство электроники и технологических устройств неразрывно связано с эффективностью процессов производства многослойных печатных плат. В течение последних нескольких лет в данной области наблюдается тенденция к активному развитию, что сопровождается ужесточением требований к качеству готовой продукции. В свою очередь, это приводит к быстрому устареванию действующих стандартов.

Государственные стандарты на процесс изготовления и оценку качества печатных плат не менялись в течение последних сорока лет, вследствие чего печатные платы, изготовленные в соответствии с требованиями этих стандартов, существенно уступают по качеству зарубежным аналогам.

В настоящей работе рассматривается проблема морального устаревания действующих стандартов и влияния этого на развитие технологической базы страны.

---

Марциохо А. – студент магистратуры

Солопчук М. – аспирант

Невмятуллина Х.А. – кандидат технических наук, доцент