

КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Макаров В.В.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
makfone@mail.ru,*

Фролов Е.Б., Паршина И.С.

*Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Россия, г. Москва, Вадковский пер., д.3а
fobos.mes@gmail.com, skyla95@rambler.ru,*

Ушакова М.В.

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 4
UshakovaMV@misis.ru*

Аннотация: Рассмотрена концепция цифрового двойника. Раскрыто понятие цифрового двойника и его уровни. Предложена методология разработки, содержащая три шага: разработка диаграмм на языке SysML, применение AnyLogic в качестве инструмента для имитационного моделирования и использование MES для связи с производственными системами.

Ключевые слова: цифровой двойник, имитационное моделирование, SysML, цифровой прототип, AnyLogic, MES.

Введение

Цифровой двойник - это виртуальная модель системы, процесса или услуги, что означает возможность наличия цифровых двойников как у продукта или фабрики, так и у бизнес-услуги.

Цифровой двойник позволяет осуществлять мониторинг систем и процессов в режиме реального времени и своевременно анализировать данные для предотвращения проблем до их возникновения, составлять график профилактического обслуживания, сокращать/предотвращать простои, открывать новые возможности для бизнеса и планировать будущие обновления и новые разработки. В то время как виртуальные модели, как правило, являются общими представлениями системы, части или семейства частей, цифровой двойник представляет собой экземпляр. Технология цифровых двойников предоставляет возможности для снижения затрат на проверку и тестирование системы, обеспечивая при этом своевременную оценку поведения системы [1].

1 Уровни создания цифрового двойника

1.1 «Доцифровой» двойник

«Доцифровой» двойник – это классический виртуальный прототип, который создается во время предварительной разработки. Его основной задачей является уменьшение технических рисков и выявление проблем при начальном проектировании.

Виртуальный прототип в основном используется для проверки определенных ключевых решений о системе и снижения конкретных технических рисков на ранних стадиях процесса проектирования.

1.2 Цифровой двойник

Цифровой двойник – это модель виртуальной системы, которая способна включать в себя данные о производительности, работоспособности и обслуживании физического двойника. У физического двойника есть возможность использовать знания от цифровых двойников для улучшения своих характеристик во время работы в режиме реального времени.

На данном этапе цифровой двойник подвергается всевозможным испытаниям для определения поведения физического двойника в различных сценариях «что, если». Любые недостатки, выявленные при испытаниях на цифровом двойнике, используются для проведения корректировочных мероприятий на физическом двойнике.

1.3 Адаптивный цифровой двойник

Адаптивный цифровой двойник предлагает адаптивный пользовательский интерфейс для физических и цифровых двойников. Ключевым преимуществом данного цифрового двойника является его способность изучать предпочтения и приоритеты людей-операторов в разных контекстах.

Этот цифровой двойник может поддерживать планирование в режиме реального времени и принятие решений во время операций, технического обслуживания и поддержки.

1.4 «Умный» цифровой двойник

«Умный» цифровой двойник обладает всеми характеристиками адаптивного цифрового двойника. Кроме того, он обладает возможностью самостоятельного машинного обучения в качестве распознавания объектов и шаблонов, встречающихся в операционной среде, а также данный он настроен на особое изучение системы и состояний среды в условиях неопределенности и неполного наблюдения.

2 Разработка цифровых двойников

2.1 SysML как основа для создания цифровых двойников

SysML является графическим языком моделирования общего назначения, который поддерживает анализ, спецификацию, дизайн, верификацию и валидацию сложных систем.

В состав SysML входит 9 диаграмм: диаграмма пакетов, диаграмма требований, диаграмма действий, диаграмма последовательности, диаграмма состояний, диаграмма прецедентов, диаграмма, внутренняя блок-схема, параметрическая диаграмма [2].

Язык SysML может быть использован на каждом уровне детализации системы и помогает инженерам сосредоточиться на дизайне, а не на традиционной иерархической сложности документов и чертежей [3].

2.2 Имитация как основа технологии цифровых двойников

Имитационное моделирование – это численный метод исследования сложных систем, элементы которых описаны разнородным математическим аппаратом и объединены некой связующей моделью, которую иногда называют информационной.

Когда заходит речь о применении имитационного моделирования для создания цифровых двойников появляется необходимость рассмотрения нескольких параллельных задач.

Первая из них связана с получением данных, которые снимаются с реального объекта и необходимы для проведения виртуального моделирования на реальных объектах.

Второй задачей является принятие решения по рациональности использования универсального программного средства для построения имитационных моделей, так как в некоторых случаях наиболее правильным решением может быть индивидуальная разработка имитационной модели.

Третья задача возникает из практических наблюдений, которые показывают, что наиболее эффективными являются те цифровые двойники, которые используются теми областями, которые могут быть описаны формализованными методами, а именно через математические модели и термины, однако технология цифровых двойников создавалась для использования во всех областях [4].

Одним из признанных инструментов для реализации имитационной модели в рамках создания цифрового двойника является AnyLogic, которая является мощной и гибкой средой моделирования.

2.3 Связь MES-систем и цифровых двойников

MES-система предназначена для моделирования и управления внутрицеховыми материальными потоками в диспетчерском контуре управления. Современная MES предназначена для работы как с современными интерфейсами IoT, так и для подключения к устаревшему оборудованию, что позволяет ей насыщать огромный объем данных смыслом и согласованностью. В данном случае MES-система работает как промежуточный слой-переводчик, который превращает поток данных в ценную информацию пригодную для принятия стратегических решений.

Для оценки эффективности цифрового производственного процесса используют два численных показателя: коэффициент ОЕЕ (Overall Equipment Effectiveness), коэффициент МСЕ (Manufacturing Cycle Effectiveness).

Анализ поведения «цифровой модели» производственной системы производится через коэффициент ОЕЕ, а именно происходит измерение доли планируемого производственного времени, которое необходимо для изготовления детали без учета незавершенного производства.

Формула для расчета коэффициента ОЕЕ (1):

$$(1) \quad OEE = K_{вр} * K_{пр} * K_{кач} = \frac{\sum_j [\Phi_{врj} - Пр_j]}{\sum_j [\Phi_{врj}]} * \frac{\sum_i [T_i * Выр_i]}{\sum_j [\Phi_{врj} - Пр_j]} * \frac{\sum_i [T_i * (Выр_i - Б_i)]}{\sum_i [T_i * Выр_i]}$$

Здесь $K_{вр}$ – коэффициент времени (доступность), $K_{пр}$ – коэффициент производительности (эффективность работы), $K_{кач}$ – коэффициент качества (уровень качества), j – количество единиц оборудования, $\Phi_{врj}$ – фонд времени работы j -ой единицы оборудования (время рабочей смены), $Пр_j$ – простой j -ой единицы оборудования, в том числе плановые (ППР, наладка и пр.), i – количество

продуктов, производимых на данной единице оборудования, T_i – такт выпуска i -ого продукта, $Выр_i$ – количество изготовленного i -ого продукта в течение $\Phi_{вр}$, $Б_i$ – количество брака i -ого продукта изготовленного в течение $\Phi_{вр}$, $\sum_j [\Phi_{врj} - Пр_j]$ – время, имеющееся для выпуска продукции на j -ой единице оборудования, $\sum_i [T_i * Выр_i]$ – количество времени, потраченного на производство продукции, $\sum_i [T_i * (Выр_i - Б_i)]$ – количество времени, потраченного на производство годной продукции.

Второй показатель, который описывает цифровую модель производства – это коэффициент МСЕ, который является отношением трудоемкости технологических операций, которые выполняются при обработке изделий, к времени пребывания этих изделий в соответствующих производственных подразделениях.

Расчет коэффициента МСЕ по формуле (2):

$$(2) \quad МСЕ_{ik} = \frac{T_{ik} * Выр_{ik}}{\sum_j \Phi_{врj}}$$

Здесь $Выр_{ik}$ – выработка k -ого производственного участка по деталям, входящим в i -й продукт, T_{ik} – такт выпуска i -ой продукции на участке k , $\Phi_{врj}$ – фонд времени работы j -ой единицы оборудования.

Из этого следует, что коэффициент ОЕЕ характеризует плотность загрузки оборудования, которое моделируется в цифре, а коэффициент МСЕ является характеристикой динамики материального потока в цифровом двойнике производственной системы [5].

Заключение

Применение цифровых двойников для оптимизации деятельности на предприятиях позволит им повысить свою эффективность через снижение затрат на ремонт, сокращение времени работы с информацией, снижение числа дефектов и т.д. В рамках данного доклада предлагается рассмотрение цифровых двойников через их разделение на 4 уровня (4 стадии создания), каждый из которых отличается друг от друга точностью модели и функциональными возможностями.

В качестве методики разработки предлагается использование языка SysML как графического языка моделирования для описания цифрового двойника, в зависимости от выбора сложности реализации. Вторым этапом возможно использование AnyLogic для разработки имитационной модели. А связующим звеном между разработанным цифровым двойником и остальными системами предприятия предлагается использовать MES-систему, так как она обладает требуемыми техническими возможностями и позволяет рассчитывать требуемые экономические показатели.

Литература

1. Azad M. Madni, Carla C. Madni and Scott D. Lucero Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering // Systems 2019, 7, 7, DOI:10.3390/systems7010007
2. Friedenthal S., Moore A., Steiner R. A Practical Guide to SysML The Systems Modeling Language 2-d ed / Sanford Friedenthal, Alan Moore, Rick Steiner, 2012 Elsevier Inc
3. FORGING THE DIGITAL TWIN IN DISCRETE MANUFACTURING. A Vision for Unity in the Virtual and Real Worlds // LNS Research. 2018 4.
URL: <https://ifwe.3ds.com/sites/default/files/Forging%20the%20Digital%20Twin%20in%20Discrete%20Manufacturing.pdf> (режим доступа 28.05.2019)
5. Петров А.В. Имитационное моделирование как основа технологии цифровых двойников // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 10. С. 56–66. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-10-56-66
6. Фролов Е.Б., Паршина И.С., Зайцев А.С., Климов А.С. Индустрия 4.0: «Цифровой двойник» как средство повышения эффективности производственной системы / Фролов Е.Б., Паршина И.С., Зайцев А.С., Климов А.С. // Научные технологии в машиностроении, - 2019. - № 2 (92). – с. 42-48