

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Салов И.В.¹, Щербатов И.А.²

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

Ключевые слова: цифровой двойник, туннельная печь, лабораторный стенд, 3D-модель, математическая модель, автоматизация.

Аннотация. В настоящее время активно ведутся разработки на базе технологии цифровых двойников. Данная статья посвящена вопросам разработки цифровых двойников, в частности составу цифрового двойника типа «двойник-экземпляр». Приводится возможный подход к разработке цифровых двойников на примере создания цифрового двойника лабораторной установки для определения оксидов азота при сжигании газообразного топлива на базе туннельной печи.

DEVELOPMENT OF A THERMAL POWER EQUIPMENT DIGITAL TWIN

Salov I. V.¹, Shcherbatov I. A.²

National Research University MPEI, Moscow

Keywords: digital twin, tunnel oven, laboratory bench, 3D model, mathematical model, automation.

Abstract. Currently, developments based on digital twin technology are being actively carried out. This article is devoted to the development of digital twins, in particular, to the composition of a digital twin of the "digital twin instance" type. A possible approach to the development of digital twins is given on the example of creating a digital twin of a laboratory facility for the determination of nitrogen oxides during the combustion of gaseous fuels based on a tunnel furnace.

Ускоренное развитие технологий хранения, передачи и обработки данных совместно с развитием сети Интернет, влияет на изменение практических всех сфер жизни человека. В энергетике одной из применяемых в рамках происходящей цифровой трансформации технологий являются цифровые двойники.

Цифровой двойник – это виртуальная модель объекта и происходящих в нем процессов, которая взаимодействует с реальным объектом для сбора информации. В сфере теплоэнергетики цифровые двойники могут применяться для решения множества задач [1]:

- анализ и риск-ориентированное управление состоянием оборудования;
- проектирование и ввод в производство нового оборудования;
- поддержка работы оператора;
- оптимизация эффективности бизнес-операций;
- обучение персонала.

Для многих объектов наиболее подходящим типом цифрового двойника является «двойник экземпляр», который содержит в себе информацию по описанию элемента (оборудования), то есть данные о материалах, комплектующих, информацию от системы мониторинга оборудования [2]. Этот тип чаще всего основан на математической модели системы.

На рисунке 1 представлена схема структуры «двойника-экземпляра». Основными составляющими такого цифрового двойника являются трехмерная и математическая модель исходного агрегата, а также алгоритмы обработки данных и оценки технического состояния оборудования. 3D-модель служит для визуализации и наглядности работы с двойником. Используемые алгоритмы выполняют расчеты для анализа состояния оборудования и происходящих в нем процессов, основываясь на математической модели.

В зависимости от целей использования цифрового двойника, для функционирования математической модели могут потребоваться следующие данные:

- геометрические параметры оборудования и его деталей;
- параметры материалов, используемых в оборудовании;
- данные статистики по работе аналогичного оборудования;
- результаты аналитических и экспериментальных работ по созданию математической модели, под чем подразумеваются полученные выражения и коэффициенты;
- базы знаний экспертов, добавленные в модель посредством нечеткой логики;
- данные с физического объекта.

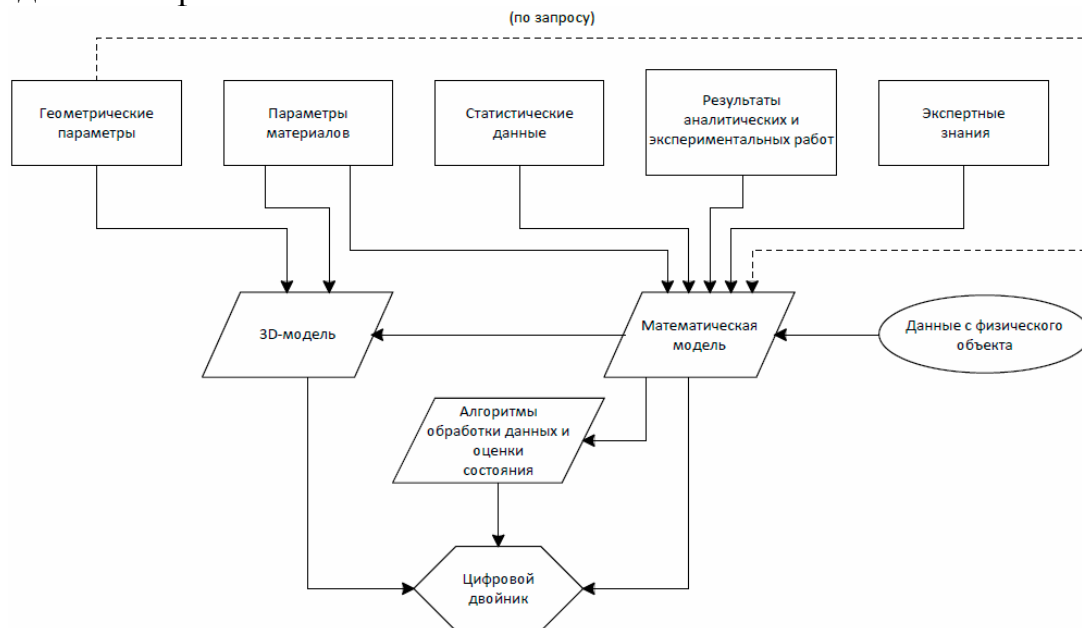


Рис. 1. Схема структуры цифрового двойника типа «двойник-экземпляр»

В зависимости от задач, для решения которых создается цифровой двойник, процесс его разработки должен быть разным. Для некоторых объектов в том числе и в теплоэнергетике подходящим может являться подход, реализованный авторами при разработке основы для создания цифрового двойника лабораторной установки для определения оксидов азота при кинетическом и диффузионном режимах сжигания газообразного топлива на базе туннельной печи.

В начале работы была создана 3D-модель существующего лабораторного стенда. В качестве математической модели решено было использовать переходную характеристику включающей стенд системы. Для этого были проведены эксперименты по снятию кривых разгона, на основе которых

получены переходные характеристики объекта в различных режимах работы для двух параметров (температуры в определенной точке печи и содержания кислорода в уходящих газах) [3]. Затем были рассчитаны подходящие настройки ПИД-регуляторов в составе многомерной автоматической системы регулирования. Дополнительно, с помощью SCADA-системы TRACE MODE были созданы экраны оператора для управления стендом и подпрограммы, реализующие работы системы регулирования. Некоторые результаты проделанной работы приведены на рисунке 2.

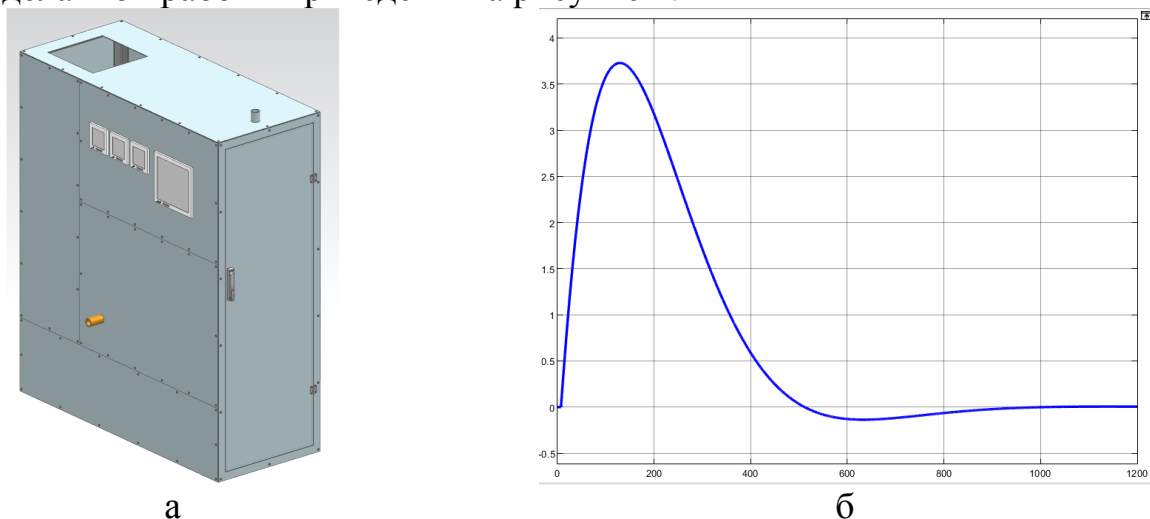


Рис. 2. Результаты работы по разработке основы для создания цифрового двойника лабораторной установки: а – 3D-модель лабораторного стенда; б – график одного из переходных процессов системы

Таким образом, разработав специальные алгоритмы, связывающие полученные трехмерную и математические модели, а также реализующие интеграцию данных с реального стенда в режиме реального времени, можно получить цифровой двойник лабораторного стенда, подходящий, например, для проведения обучающих занятий.

Список литературы

1. Салов И.В. Применение цифровых двойников и киберфизических систем на объектах генерации тепловой и электрической энергии / И.В. Салов, И.А. Щербатов, Ю.А. Салова // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 57-62.
2. Массель Л.В. Эволюция технологий исследований энергетики и применения их результатов: от математических моделей и компьютерных программ к цифровым двойникам и цифровым образам / Л.В. Массель, А.Г. Массель, А.Н. Копайгородский // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2019. – №4(16). – С. 5-19. – DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-01.
3. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 400 с.

Сведения об авторах:

Салов Игорь Васильевич – аспирант;

Щербатов Иван Анатольевич – к.т.н., доцент, директор Института энергоэффективности и водородных технологий.