

УДК 629.7.08+004.94

Цифровой двойник процессов предстартовой подготовки перспективных ракет космического назначения: архитектура и практическая реализация

Осико Софья Михайловна^(*)osikosm@yandex.ru
SPIN-код: 6174-6684

Чугунков Владимир Васильевич

chvbmstu@bmstu.ru
SPIN-код: 9506-2100

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема повышения эффективности предстартовой подготовки перспективных ракет космического назначения. Предложена архитектура цифрового двойника на основе многоуровневой структуры и центральной платформы интеграции. Установлено, что реализация цифрового двойника обеспечит переход к предиктивному управлению, сокращение времени и стоимости испытаний за счет виртуальной отработки процессов. Разработанный подход демонстрирует практическую значимость для повышения надежности пусков и оптимизации процессов подготовки ракет космического назначения.

Ключевые слова: цифровой двойник, автоматизация, цифровизация, ракетные комплексы, ракетно-космическая техника

Введение. Предстартовая подготовка ракет космического назначения (РКН) является критически важным и сложным процессом, где ошибка может привести к значительным финансовым и репутационным потерям, угрозе безопасности персонала и оборудования [1]. Современные тенденции в ракетостроении диктуют необходимость внедрения передовых IT-технологий. Одной из таких технологий является цифровой двойник (ЦД) — виртуальная динамическая копия физического объекта или процесса, которая синхронизирована с ним в режиме реального времени и позволяет проводить симуляцию, анализ, мониторинг и прогнозирование его поведения [2]. Целью данной работы является исследование вариантов архитектуры и возможностей практической реализации ЦД для процессов предстартовой подготовки перспективных РКН, что позволит значительно повысить надежность и эффективность запусков.

Методы и материалы; результаты. Для разработки архитектуры ЦД процессов предстартовой подготовки был применен комплекс методов исследования. Для изучения предметной области — процессов предстартовой подготовки РКН — как сложной системы взаимосвязанных технологического, информационного и человеческого факторов был применен метод системного анализа. Также был проведен сравнительный анализ для оценки существующих решений и платформ для построения ЦД с целью выявления оптимальных практик. Были применены методы математического и имитационного модели-

рования для создания виртуальных моделей систем РКН и алгоритмов их работы, позволяющих прогнозировать поведение при различных сценариях. В качестве материалов исследования выступили научные публикации и патенты в области ЦД, аналитические обзоры и примеры внедрения ЦД в ракетно-космической отрасли, существующие технологические платформы и стандарты.

Вследствие применения указанных методов и изученных материалов предложена архитектура ЦД, основанная на многоуровневой структуре (физический, промежуточный, программный слои) и центральной платформе в качестве «цифровой нити» для интеграции всех компонентов в единую систему [3]. Практическая реализация данной архитектуры, как показал анализ существующих ЦД, позволит достичь перехода к предиктивному обслуживанию за счет выявления отклонений путем сравнения данных телеметрии с прогнозами имитационной модели; сокращения времени и стоимости испытаний благодаря переносу большей части отработки в виртуальную среду; повышения надежности пусков благодаря возможности моделирования «что, если» и тренировок боевого расчета с отработкой нештатных ситуаций.

Заключение. Внедрение ЦД процессов предстартовой подготовки перспективных РКН является не просто технологическим трендом, а необходимым шагом для обеспечения конкурентоспособности и надежности космических пусков. Практическая реализация ЦД позволит перейти от реактивного к предиктивному управлению предстартовой подготовкой РКН и обеспечит значительное сокращение сроков и стоимости испытаний, а также повышение надежности пуска за счет прогнозной аналитики и виртуального моделирования.

Список источников

- [1] Осико С.М., Чугунков В.В. Состояние и тенденции совершенствования разработки автоматизированных систем управления предпусковой подготовкой и пуском ракет космического назначения. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2025, № 4 (160), с. 1–14. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2025-4-2440>
- [2] Королев Д.В. Цифровые двойники в ракетно-космической промышленности: проблемы и перспективы внедрения. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 4 (45), с. 1–16. <https://doi.org/10.18698/2541-8009-2020-4-594>
- [3] Денисов С.Г. Цифровые нити в основе обновления технологии цифровых двойников. *БИТ*, 2024, № 1 (29), с. 15–18.