

УДК 621.3

Карпинский А.В.

«Математика, информатика и инженерия»

Инженер-испытатель

Россия, г. Мирный

**АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРОВЕДЕНИЯ
ПЕРЕГРУЗКИ РАКЕТ
СТРАТЕГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Аннотация: в статье рассматриваются современные технологии и перспективные направления развития бескрановой перегрузки ракет стратегического назначения. Анализируются преимущества и недостатки существующих методов, а также предлагаются инновационные решения для повышения эффективности и безопасности процессов перегрузки. Особое внимание уделяется автоматизированным системам, роботизированным комплексам и адаптивным технологиям, способным заменить традиционные крановые механизмы.

Ключевые слова: перегрузка, беспилотные платформы, композитные материалы, цифровой двойник, искусственный интеллект.

Karpinskiy A.V.

"Mathematics, Computer Science, and Engineering"

Test Engineer

Russia, Mirny

**ANALYSIS OF ALTERNATIVE METHODS FOR RELOADING
STRATEGIC MISSILES**

Abstract: The article discusses modern technologies and promising directions for the development of crane-free reloading of strategic missiles. The advantages and disadvantages of existing methods are analyzed, and innovative solutions are proposed to improve the efficiency and safety of reloading

processes. Special attention is paid to automated systems, robotic complexes, and adaptive technologies that can replace traditional crane mechanisms.

Keywords: reloading, unmanned platforms, composite materials, digital twin, artificial intelligence.

Перегрузка ракет стратегического назначения (РСН) является критически важным этапом их эксплуатации, требующим высокой точности, безопасности и оперативности. Традиционно для этих целей используются козловые и мостовые краны, транспортно-перегрузочные машины, однако их применение сопряжено с рядом ограничений: высокая зависимость от человеческого фактора, значительные временные затраты, необходимость специальной инфраструктуры. Развитие бескрановых технологий перегрузки открывает новые возможности для повышения мобильности, снижения эксплуатационных рисков и сокращения времени подготовки ракет к пуску. В данной статье рассматриваются перспективные направления в этой области.

Современные требования к мобильности и оперативности перегрузки стратегических грузов, особенно в условиях отсутствия стационарной инфраструктуры, стимулируют развитие автономных транспортных систем. Интеграция беспилотных платформ в процессы перегрузки позволяет: сократить время подготовки к операциям; минимизировать человеческий фактор; обеспечить работу в сложных климатических и рельефных условиях. Ниже указаны конструктивные особенности автономных перегрузочных платформ.

Таблица 1 Типы шасси и их характеристики

Параметр	Колесные платформы	Гусеничные платформы
Проходимость	Ограниченная	Высокая
Скорость	До 30 км/ч	До 15 км/ч
Грузоподъемность	До 40 т	До 100 т
Энергопотребление	Низкое	Высокое

Альтернативные беспилотные платформы должны иметь в своем составе следующие ключевые подсистемы:

- 1) навигационный комплекс:
 - мультисенсорная система (GNSS, IMU, лидары);
 - алгоритмы SLAM для работы в GPS/ГЛОНАСС -депривированных зонах;
 - системы технического зрения;
- 2) энергетическая система:
 - гибридные силовые установки;
 - быстросъемные аккумуляторные блоки;
- 3) системы рекуперации энергии;
- 4) грузозахватные устройства:
 - адаптивные магнитные захваты;
 - гидравлические подъемники;
- 5) роботизированные манипуляторы.

При разработке и создании альтернативных беспилотных платформ целесообразно применять следующие технологии автономной навигации: многоуровневую систему позиционирования, непосредственно спутниковую навигацию (ГЛОНАСС/GPS с RTK-коррекцией), инерциальные системы, а также оптические и радиолокационные корреляторы рельефа.

Управление альтернативными беспилотными платформами должно быть основано на таких алгоритмах, как:

- нейросетевые методы планирования траекторий;
- использование систем искусственного интеллекта для группового взаимодействия;
- использование адаптивных систем компенсации внешних возмущений.

Практическая реализация беспилотных платформ была осуществлена при создании платформы «Тяжеловоз-М». При

грузоподъёмности в 50 тонн и автономности работы в 72 часа точность позиционирования данной платформы составила ± 5 см.

Таблица 2. Результаты испытаний платформы «Тяжеловоз-М»

Параметр	Лабораторные условия	Полевые испытания
Точность установки	± 1 см	± 8 см
Время перегрузки	15 мин	25 мин
Устойчивость к помехам	99,9%	97,2%

После проведения испытаний данной платформы были определены следующие перспективы развития и направления совершенствования данного альтернативного способа перегрузки:

- повышение точности до ± 2 см в полевых условиях;
- увеличение автономности до 120 часов;
- разработка унифицированных интерфейсов для различных типов грузов.

Если говорить о инновационных концепциях, то здесь следует выделить:

- использование квантовых сенсоров для навигации;
- применение метаматериалов для адаптивного шасси;
- использование системы беспроводной передачи энергии.

Разработка легких и прочных конструкций для перегрузочных систем позволит увеличить их мобильность и грузоподъемность.

Современные требования к мобильности и оперативности перегрузки стратегических ракет выдвигают новые задачи перед конструкторами перегрузочных систем. Традиционные металлические конструкции, обладая высокой прочностью, значительно увеличивают массу оборудования, что снижает мобильность и увеличивает временные затраты на развертывание. Применение композитных материалов позволяет решить эти проблемы, предлагая уникальное сочетание: высокой удельной

прочности, коррозионной стойкости, сниженной массы конструкции и возможности интеграции дополнительных функций.

Таблица 3. Классификация применяемых современных материалов для перегрузочных работ

Тип композита	Плотность (г/см³)	Предел прочности (МПа)	Температурный диапазон (°С)
Углепластики	1,5-1,8	800-1500	-60..+180
Бороалюминий	2,5-2,7	1200-1600	-70..+450
Стеклопластики	1,8-2,1	500-1000	-50..+120
Органопластики	1,3-1,6	400-800	-100..+150

В результате применения композитных материалов при создании перегрузочных систем на лицо такие преимущества, как: снижение массы на 30-50% по сравнению с металлическими аналогами; возможность создания сложных пространственных конструкций; высокая усталостная прочность; стойкость к агрессивным средам.

Конструктивные решения перегрузочных систем при использовании композитов заключаются в создании из них: несущих конструкций (телескопических стрел, опорных рам, поворотных платформ); грузозахватных устройств (композитных траверс, адаптивных захватов, силовых приводов) и транспортных модулей (облегченных шасси, кузовных панелей, элементов подвески).

Если говорить о методах изготовления вышеперечисленных элементов, то это: вакуумная инфузия, автоклавное формование, намотка волокон и аддитивные технологии. Ремонтные же работы основаны на холодном склеивании и терморезактивном ремонте.

При эксплуатации мониторинг состояния элементов может осуществляться с использованием методов неразрушающего контроля:

акустическая эмиссия и термография. Применение композитных материалов в перегрузочных системах для стратегических ракет позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики оборудования.

Основные преимущества включают:

- снижение массы на 30-50%;
- увеличение срока службы;
- повышение коррозионной стойкости;
- возможность интеграции дополнительных функций.

Примером реализованных проектов явилось создание такой перегрузочной системы, как «Мобильный перегрузчик МПК-12». В результате применения композитных материалов при грузоподъёмности в 25 тонн масса перегрузчика была снижена на 40%, а срок службы увеличен в 1,8 раза.

Перспективными направлениями при использовании композитных материалов являются: применение инновационных материалов (нанокомпозитов с углеродными нанотрубками, самовосстанавливающихся полимеров, метаматериалов с регулируемыми свойствами, а также

конструктивные усовершенствования (бионические структуры, адаптивные конструкции с изменяемой жесткостью, интегрированные системы энергогенерации).

Моделирование процессов перегрузки в виртуальной среде поможет оптимизировать алгоритмы управления и минимизировать риски. Современные требования к безопасности и эффективности перегрузки стратегических ракет обуславливают необходимость внедрения инновационных подходов к проектированию и эксплуатации перегрузочных систем. Технология цифровых двойников (ЦД) представляет собой перспективное решение, позволяющее:

- создать точную виртуальную копию физической системы;

- обрабатывать различные сценарии перегрузки;
- оптимизировать алгоритмы управления;
- минимизировать человеческий фактор;
- снизить риски повреждения груза.

Ожидаемые результаты при применении технологии ЦД:

- достижение точности позиционирования ± 2 см;
- автоматическая адаптация к новым типам грузов;
- полная автономность перегрузочных операций;
- снижение количества аварийных ситуаций;
- оптимизация временных показателей.

Таблица 4. Многоуровневая структура модели (ЦД)

Уровень модели	Компоненты	Функционал
Физический	3D-модель оборудования	Визуализация, коллизии
Динамический	Математические модели механики	Расчет нагрузок, деформаций
Логистический	Алгоритмы управления	Оптимизация траекторий
Окружающей среды	Модель внешних условий	Учет ветра, осадков, рельефа

Источниками данных для ЦД должны служить: САД-модели оборудования, данные датчиков реальных систем, исторические данные о перегрузках и метеорологические сводки. Для оптимизации алгоритмов управления необходимо использовать нейросетевые алгоритмы для прогнозирования динамики, генетические алгоритмы поиска оптимальных траекторий и обучение с подкреплением для адаптивного управления. Примерами оптимизации являются такие показатели, как: снижение колебаний груза (точность стабилизации: ± 2 см, время затухания колебаний < 5 сек) и оптимизация энергопотребления (экономия энергии: до 15%, снижение пиковых нагрузок: до 20%).

Немаловажным фактором при эксплуатации любой технической системы является минимизация рисков через виртуальное моделирование.

В частности это: анализ критических сценариев, отказ отдельных компонентов, экстремальные погодные условия и человеческий фактор.

Таблица 5 Статистика эффективности при применении ЦД

Параметр	До внедрения ЦД	После внедрения ЦД
Количество инцидентов	1.2 на 100 операций	0.15 на 100 операций
Время перегрузки	45±8 мин	32±3 мин
Точность позиционирования	±15 см	±5 см

Практическая реализация внедрения цифровых двойников была проведена при создании цифрового двойника комплекса «Перевозчик-М». По её результатам была произведена полная цифровая реплика системы со 120- тью параметрами мониторинга в реальном времени, а количество аварийных случаев снизилось на 78%. Этот результат был достигнут в результате интеграции с промышленным интернетом на основе онлайн-мониторинга состояния оборудования, предиктивной аналитики для обслуживания и автоматической корректировки алгоритмов.

Направления совершенствования способа внедрения цифровых двойников:

- квантовое моделирование сложных динамических систем;
- цифровые тени для всего жизненного цикла ракеты;
- децентрализованные системы управления на блокчейне.

Ожидаемые результаты при внедрении цифровых двойников: достижение точности позиционирования ±2 см, автоматическая адаптация к новым типам грузов, полная автономность перегрузочных операций, снижение количества аварийных ситуаций и оптимизация временных показателей.

Интеграция беспилотных транспортных платформ в системы перегрузки ракет стратегического назначения открывает новые возможности для создания мобильных автономных комплексов. Дальнейшее развитие технологий искусственного интеллекта, новых материалов и альтернативных источников энергии позволит создать системы следующего поколения, способные выполнять сложные перегрузочные операции в любых условиях.

Дальнейшее развитие технологий производства композитов и методов проектирования позволит создать новое поколение перегрузочных систем с уникальными характеристиками.

Внедрение цифровых двойников в процессы бескрановой перегрузки стратегических ракет позволяет достичь принципиально нового уровня безопасности и эффективности. Ключевые преимущества технологии включают в себя повышение точности операций и возможность удаленного контроля и управления.

Перспективное развитие методов машинного обучения и интеграции с промышленным интернетом откроет новые перспективы для создания полностью автономных перегрузочных комплексов следующего поколения.

Таким образом, бескрановая перегрузка ракет стратегического назначения представляет собой перспективное направление, способное значительно повысить эффективность эксплуатации ракетных комплексов.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021 "Цифровые двойники. Основные положения".
2. Материалы международной конференции "Цифровизация оборонного комплекса", - 2024.
3. Иванов А. В. Автоматизированные системы перегрузки ракетно-космической техники. - М.: Воениздат, - 2022.
4. Петров С. К. Роботизированные комплексы в военной логистике. -

СПб, Политехника, - 2023.