

УДК (UDC) 625.1/5:629.369

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЕРТОЛЕТОВ
ДЛЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ НА БАЗЕ
АЭРОМОБИЛЬНЫХ КАНАТНЫХ УСТАНОВОКANALYSIS OF THE TECHNICAL AND ORGANIZATIONAL CAPABILITIES OF
HELICOPTERS FOR THE DEPLOYMENT OF MOBILE ROPEWAYS BASED ON
AIRMOBILE ROPE UNITSШатунова Е.А.¹, Лагереv И.А.²
Shatunova E.A.¹, Lagerev I.A.²¹ - ООО «Промбезопасность» (Брянск, Россия)² – Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)¹ - LLC Prombezopasnost (Bryansk, Russian Federation)² – Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. Мобильные канатные дороги на базе аэромобильных канатных установок являются новой конструктивной разновидностью грузовых и грузо-пассажирских канатных дорог для оперативного развертывания транспортно-перезрузочных мероприятий в труднодоступных районах и высокогорных территориях. В статье выполнен подробный анализ технико-организационных возможностей ключевого для указанных мобильных дорог способа доставки необходимого основного и вспомогательного технологического оборудования к месту эксплуатации – транспортировки грузов с помощью транспортных и многоцелевых вертолетов. Рассмотрены возможные модификации российских вертолетов и на основании анализа их технических характеристик (размеров грузовых отсеков, грузоподъемности, практической дальности) сделаны рекомендации по их использованию, исходя из требуемых габаритных размеров и веса аэромобильных канатных установок. Показана необходимость использования способа транспортировки оборудования преимущественно с помощью системы внешней подвески, рассмотрены условия использования транспортировки в грузовом отсеке вертолета. Предложены и проанализированы четыре возможных технологических способа использования вертолета для проведения операции по доставке аэромобильных канатных установок и сопутствующего оборудования к месту предполагаемого развертывания мобильной канатной дороги в зависимости от допустимого расстояния между пунктами загрузки и монтажа оборудования.

Ключевые слова: аэромобильная канатная установка, вертолет, вариант использования вертолета.

Дата получения статьи: 25.06.2023
Дата принятия к публикации: 09.09.2023
Дата публикации: 25.09.2023

Abstract. Mobile ropeways based on airmobile rope units are a new constructive type of cargo and cargo-passenger ropeways for the rapid deployment of transport and overloading activities in hard-to-reach areas and high-altitude territories. The article provides a detailed analysis of the technical and organizational capabilities of the key method for delivering the necessary main and auxiliary technological equipment to the place of operation for these mobile ropeways - cargo transportation using transport and multi-purpose helicopters. Possible modifications of Russian helicopters are considered and based on the analysis of their technical characteristics (dimensions of cargo compartments, carrying capacity, practical range), recommendations for their use are made based on the required overall dimensions and weight of airmobile rope units. The necessity of using a method of transporting equipment mainly using an external load sling system is shown, the conditions for using transportation in the helicopter cargo hold are considered. Four possible technological variants of using a helicopter to carry out an operation for the delivery of airmobile rope units and related equipment to the place of the proposed deployment of a mobile ropeway, depending on the permissible distance between the points of loading and mantling of equipment, are proposed and analyzed.

Keywords: airmobile rope unit, helicopter, helicopter use variant.

Date of manuscript reception: 25.06.2023
Date of acceptance for publication: 09.09.2023
Date of publication: 25.09.2023

Сведения об авторах:

Шатунова Елена Александровна – ведущий инженер-исследователь, ООО «Промбезопасность»,
e-mail: shatea@yandex.ru.

ORCID: 0000-0001-5938-2937

Лагереv Игорь Александрович – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831

Authors' information:

Elena A. Shatunova - leading research engineer at LLC Prombezopasnost, *e-mail: shatea@yandex.ru.*
ORCID: 0000-0001-5938-2937

Igor A. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Leading Researcher at Bryansk State University, *e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.*
ORCID: 0000-0002-0921-6831

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-29-00798)

Acknowledgements

The study was supported by the grant of Russian science Foundation (project No. 22-29-00798)

1. Введение

Мобильные канатные дороги в настоящее время рассматриваются как один из перспективных видов грузового или грузопассажирского транспорта [1]. Несмотря на значительное естественное сходство, которое имеют между собой мобильные и уже хорошо зарекомендовавшие стационарные канатные дороги [2], тем не менее реализация функции мобильности требует не только внедрения новых специфических конструкций аналогичных механизмов и узлов, но также разработки и использования при проектировании новых специфических математических моделей и вычислительных алгоритмов [3].

Как показывают исследования [4], грузопро пространственные характеристики мобильных канатных дорог могут быть существенно ниже, чем у стационарных канатных дорог вследствие ограниченности длины трассы и веса допускаемого для транспортирования груза из-за преимущественно однопролетного исполнения. Также оказываются ниже показатели производительности вследствие преимущественно маятникового характера движения транспортируемого груза [5]. Однако все эти естественные конструктивно-функциональные недостатки перестают играть принципиальную роль, если возникает задача обеспечения быстрого развертывания комплекса транспортно-перегрузочных операций в процессе проведения спасательно-восстановительных работ в зонах природных или техногенных аварий, на труднодоступных, заранее не обустроенных

или экологически уязвимых территориях, в горной местности и т.п. Решение указанной задачи – это и есть область наиболее рационального использования мобильных канатных дорог.

Методы проектирования ключевых конструктивных элементов и систем основного технологического оборудования мобильных канатных дорог [6], методы моделирования протекания рабочих процессов при его эксплуатации [7, 8], а также методы прогнозирования кинетики количественных показателей надежности [9, 10] и формирования оптимальных стратегий технического обслуживания [11] наиболее полно разработаны применительно к мобильным канатным дорогам, формируемым с помощью сопряженных единой несущей канатной системой двух концевых станций – автономных мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексах на базе специальных колесных шасси высокой проходимости и грузоподъемности [12]. Эти исследования позволили сформировать общий подход к разработке цифрового двойника однопролетной мобильной канатной дороги маятникового типа [13] и реализовать его применительно к названной выше конструкции мобильной канатной дороги.

В последнее время наблюдается развитие научных исследований применительно к новому виду мобильных канатных дорог, формирующихся на основе сопряженных единой несущей канатной системой двух концевых станций – автономных аэромобильных канатных установок. По сравнению с мобильными канатными дорогами на основе мо-

бильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов конструктивное исполнение грузовых и грузо-пассажирских канатных дорог на основе аэромобильных канатных установок позволяет не только повысить оперативность развертывания транспортно-перегрузочных мероприятий, но и в большей степени обеспечить их эффективное проведение в труднодоступных отдаленных районах российской Арктики или Дальнего Востока или на высокогорных территориях [14].

2. Постановка задачи исследования

Исходя из установленной в [14] целесообразности выполнения компоновки основного технологического оборудования аэромобильных канатных установок в габаритах универсальных транспортных контейнеров, представляет практический интерес проведение анализа возможности их транспортировки на дальние расстояния с помощью современных транспортных средств доставки высокой грузоподъемности – воздушной транспортировки с помощью грузовых и многоцелевых вертолетов.

Следует отметить, что в настоящее время для транспортировки грузов воздушным транспортом используются универсальные авиационные контейнеры. Они предназначены для размещения внутри грузовых отсеков транспортных (военно-транспортных) самолетов: для самолетов отечественного производства (Ил-76, Ил-112В, Ил-276, Ан-26, Ан-12, Ту-204) – контейнеры типа УАК [15], для самолетов зарубежного производства (Airbus, Boeing, McDonnell Douglas, Embraier, Kawasaki, ХАС и др.) – контейнеры на основе паллет типа АМА, FLA, PGA/PGF, РСМ, PZA [16, 17].

Для транспортировки грузов в смешанном сообщении железнодорожным, водным и автомобильным транспортом используются универсальные грузовые транспортные контейнеры ИСО серии 1 [18, 19]. Массогабаритные характеристики указанных контейнеров приведены в табл. 1. Как видно из анализа данных табл. 1, ориентация на габаритные размеры и максимальную грузоподъемность указанных контейнеров при проек-

тировании аэромобильных канатных установок и компоновке их основного технологического оборудования в транспортном состоянии позволяет разрабатывать оборудование для достаточно протяженных мобильных канатных дорог, так как определяющая характеристика [4, 12] – длина концевой опоры – может быть получена до 11 м при односекционной конструкции концевой опоры и до 23 м – при двухсекционной [20].

Использование универсальных грузовых транспортных контейнеров ИСО серии 1 для транспортировки грузов воздушным транспортом не предусмотрено. Однако это связано с тем, что по своим габаритным размерам большинство из них не может быть размещено в грузовых отсеках современных транспортных самолетов средней и большой грузоподъемности. Кроме того, зачастую требуемые весовые характеристики аэромобильных канатных установок превышают максимально допустимый вес загрузки универсальных авиационных контейнеров. В то же время, современные модификации транспортных и многоцелевых вертолетов имеют техническую возможность транспортировки крупногабаритных тяжелых грузов не в грузовом отсеке внутри фюзеляжа, а на внешней подвеске, что устраняет ограничения на их габаритные размеры.

Поэтому анализ технико-организационных возможностей использования вертолетов для развертывания мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок целесообразно проводить как отношении ориентации на габаритные размеры универсальных авиационных контейнеров, так и универсальных грузовых транспортных контейнеров ИСО серии 1.

3. Анализ и обсуждение его результатов

В настоящее время вертолеты являются достаточно распространенным видом пассажирского, грузового и грузопассажирского транспорта практически во всех странах мира. В число стран-производителей вертолетной техники входят такие, как Российская Федерация (холдинг «Вертолеты России»), США (Boeing Rotorcraft Systems, Sikorsky

Таблица 1

Массогабаритные характеристики универсальных грузовых транспортных контейнеров ИСО серии 1 [18, 19]

| Тип контейнера | Габаритные размеры, мм | | | Масса брутто, кг | Максимальная загрузка, кг |
|-----------------------|------------------------|--------|--------|------------------|---------------------------|
| | длина | ширина | высота | | |
| 45-футовые контейнеры | | | | | |
| 1EEE | 13716 | 2438 | 2896 | 30480 | 26580 |
| 1EE | | | 2591 | | |
| 40-футовые контейнеры | | | | | |
| 1AAA | 12192 | 2438 | 2896 | 30480 | 26580 |
| 1AA | | | 2591 | | |
| 1A | | | 2438 | | |
| 1AX | | | < 2438 | | |
| 1BBB | 9125 | 2438 | 2896 | 30480 | 26580 |
| 1BB | | | 2591 | | |
| 1B | | | 2438 | | |
| 1BX | | | < 2438 | | |
| 20-футовые контейнеры | | | | | |
| 1CC | 6058 | 2438 | 2591 | 30480 | 27530 |
| 1C | | | 2438 | | |
| 1CX | | | < 2438 | | |
| 1DD | 2991 | 2438 | 2591 | 24000 | 21920 |
| 1D | | | 2438 | 10160 | |
| 1DX | | | < 2438 | | |

Aircraft, Bell Helicopters), Западная Европа (консорциум Eurocopter в составе французской Eurocopter France и германской Eurocopter Deutschland, консорциум AgustaWestland в составе итальянской Agusta и английской Westland Aircraft), Бельгия (Dynali Helicopter Company), Италия (Agusta).

Применительно к рассматриваемой проблеме перебазирования и проведения монтажных и демонтажных работ при эксплуатации аэромобильных канатных установок целесообразность использования вертолетов как эффективного вида воздушного транспорта связана, в первую очередь, со способностью вертолетов совершать вертикальный взлет и вертикальную посадку, т.е. взлетать или приземляться практически на любой местности – там, где имеется ровная и твердая площадка размером не менее полутора диаметров несущего винта [21].

Важное значение для задач по перебазированию аэромобильных канатных установок также имеет высокая маневренность вертоле-

тов, выражающаяся в его способности зависать в воздухе над требуемой точкой на поверхности земли, что важно для удобства проведения монтажных и демонтажных работ при эксплуатации канатной установки.

Кроме того, вертолеты могут перевозить транспортируемый груз не только внутри фюзеляжа, но и на внешней подвеске, что является обязательным условием при перебазировании аэромобильных канатных установок, спроектированных в габаритах универсальных транспортных контейнерах ИСО серии 1. 45- и 40-футовых контейнеров, реже – 20-футовых контейнеров ИСО серии 1 (табл. 1).

В числе основных недостатков при использовании вертолетов для перебазирования аэромобильных канатных установок следует отметить меньшую максимальную скорость полета, большую длительность транспортной операции и повышенный удельный расход топлива по сравнению с использованием самолетов, что обуславливает более высокую стоимость полета в расчёте на единицу массы перевозимого груза

[21]. Однако эти недостатки не являются определяющими при выборе варианта технологии перебазирования мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок вследствие их преимущественного использования в необорудованных условиях на труднодоступных или отдаленных территориях. Вертолет в большинстве случаев будет являться практически единственным транспортным средством для доставки аэромобильной канатной установки к месту развешивания в пределах «последней мили».

Для осуществления транспортных перевозок целесообразно использовать многоцелевые или транспортные вертолеты 1-3 клас-

сов, относящиеся исходя из взлетного веса к легким (от 1 до 5 т поднимаемого груза), средним (от 5 до 15 т), тяжелым (свыше 15 т) и сверхтяжелым типам [22].

Ведущей вертолетостроительной фирмой Российской Федерации является АО «Национальный центр вертолетостроения имени М.Л. Миля и Н.И. Камова» [23]. Основные технические характеристики отечественных многоцелевых и транспортных вертолетов, определяющие их возможности по транспортировке аэромобильных канатных установок, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики многоцелевых и транспортных вертолетов

| Техническая характеристика | Значение характеристики для модификации вертолета | | | | | | | |
|---|---|--------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | Ми-6 | Ми-10К | Ми-8АМТ | Ми-38 | Ми-26 | Ми-26К | Ка-62 | Ка-32 |
| Экипаж, чел. | 5 | 3 | 3 | 2 | 5 | 5 | 2 | 2 |
| Взлетная масса, т | | | | | | | | |
| - нормальная | 39,7 | 38,0 | | 14,2 | 49,5 | 49,5 | | |
| - максимальная | 41,7 | 43,6 | 12,0 | 15,6 | 56,0 | 56,0 | 6,5 | 11,0 |
| Скорость, км/ч | | | | | | | | |
| - максимальная | 250 | 235 | 250 | 300 | 295 | 295 | 310 | 260 |
| - крейсерская | 200 | 220 | 225 | 280 | 255 | 255 | 290 | 240 |
| Практическая дальность, км | 500 | 250 | 610 | 820 | 490 | 490 | 720 | 800 |
| Практический потолок, м | 4500 | 3000 | 3900 | 5250 | 2900 | 2900 | 6100 | 3500 |
| Полезная нагрузка, т | | | | | | | | |
| - нормальная | 12,0 | 12,0 | | | 15,0 | 15,0 | | |
| - максимальная | | 15,0 | | | 20,0 | 20,0 | | |
| - в кабине | 6,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | | | 2,2 | 3,7 |
| - на внешней подвеске | 8,0 | 8,0 | 4,0 | 5,0 | 20,0 | 25,0 | 2,5 | 5,0 |
| Размеры грузового отсека, м | | | | | | | | |
| - длина | 12,00 | 15,95 | 5,34 | 8,70 | 12,00 | 12,00 | 3,30 | 4,52 |
| - ширина | 2,65 | | 2,30 | 2,34 | 3,20 | 3,20 | 1,75 | 1,30 |
| - высота | 2,50 | | 1,80 | 1,82 | 3,10 | 3,10 | 1,30 | 1,32 |
| Максимальный объем грузового отсека, м ³ | 80 | 60 | 23 | 37 | 110 | 110 | 7,5 | 7,8 |

Транспортные и многоцелевые вертолеты позволяют осуществлять перемещение аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии и сопутствующего технологического оборудования мобильных канатных дорог как внутри фюзеляжа, так и на внешней подвеске.

Размеры грузовых отсеков отечественных транспортных и многоцелевых вертолетов приведены в табл. 2. Сравнительный анализ

габаритных размеров грузовых отсеков отечественных вертолетов и универсальных транспортных контейнеров ИСО серии 1, результаты которого приведены в табл. 3, позволяет сделать вывод о том, что возможности размещения аэромобильных канатных установок внутри фюзеляжа весьма ограничены. Оказывается невозможным размещение аэромобильных канатных установок, ориентированных на использование всех ти-

пов 45-футовых контейнеров и 40-фунтовых контейнеров типов 1AAA, 1AA, 1A и 1AX, длина которых (13716 и 12292 мм) превышает максимальную возможную длину грузового отсека (12000 мм) вертолетов Ми-6, Ми-26 и Ми-26К. Оказываются полностью непригодными для перевозки аэромобильных канатных установок внутри фюзеляжа вертолеты Ми-8 АМТ, Ми-38, Ка-62 и Ка-32. Возможность перевозки внутри фюзеляжа ограниченного числа типов универсальных контейнеров имеют только вертолеты Ми-6, Ми-26 и Ми-26К.

Таблица 3
Возможности размещения аэромобильных канатных установок в транспортном состоянии внутри фюзеляжа отечественных транспортных вертолетов

| Модификация вертолета | Типы контейнеров для размещения в грузовом отсеке |
|-----------------------|---|
| Ми-6 | 1B, 1BX; 1C, 1CX; 1D, 1DX |
| Ми-8АМТ | - |
| Ми-38 | - |
| Ми-26 | 1BBB, 1BB, 1B, 1BX; 1CC, 1C, 1CX; 1DD, 1D, 1DX |
| Ми-26К | 1BBB, 1BB, 1B, 1BX; 1CC, 1C, 1CX; 1DD, 1D, 1DX |
| Ка-62 | - |
| Ка-32 | - |

Учитывая возможные габаритные размеры транспортных контейнеров (табл. 1) и вес аэромобильных канатных установок, наиболее вероятным способом их транспортирования вертолетом будет являться транспортировка на внешней подвеске. Внешняя подвеска вертолётa представляется собой комплекс технических средств, установленных на вертолете, который предназначен для перевозки грузов вне фюзеляжа, их подъема с грунта или специально обустроенных площадок и опускания на грунт, а также для выполнения строительно-монтажных работ [24]. Конструкции внешних подвесок различаются для разных моделей вертолётov, Тем не менее, в целом они содержат такие основные узлы, как:

- узел крепления внешней подвески к фюзеляжу;
- центральный замок внешней подвески;

- центральный канат;
- грузовой замок;
- грузозахват;
- лебедку для подъема центрального каната;
- систему рабочей и аварийной отцепки.

Ко всем конструктивным элементам внешней подвески и такелажной оснастки вертолета предъявляются повышенные требования как с точки зрения безопасности перемещения транспортируемого груза к месту назначения, так и с точки зрения безопасного ведения монтажно-строительных работ в месте назначения [25]. Грузовые крюки, оснащенные электрическим приводом, имеют электрическое устройство безопасности, предотвращающее несанкционированное срабатывание привода и открытие грузового крюка. Основной крюк включает в себя быстроразъемное устройство, которое дает пилоту вертолета возможность оперативно избавиться от транспортируемого груза в условиях полета. Также предусматривается возможность механического управления грузовыми крюками с целью аварийного высвобождения транспортируемого груза. При этом основной грузовой крюк должен располагаться как можно ближе к фюзеляжу вертолета, что обусловлено необходимостью исключения случайного зацепления крюка и такелажного оборудования за внешние неподвижные металлоконструкции вертолета.

Дополнительно к основному устройству управления работой грузовых крюков предусматривается устройство аварийного отключения, которое может иметь привод, основанный на различных принципах - механический, электрический, гидравлический, пневматический, взрывной, комбинированный. Указанный привод независим от источника питания основной системы управления раскрытия грузовых крюков. Как правило, механизм автоматического раскрытия крюка используется только при проведении погрузочно-разгрузочных технологических операций, которые не предусматривают участие наземного обслуживающего персонала.

Такелажное оборудование и оснастка, используемые для крепления транспорти-

руемого груза на внешней подвески вертолета, как правило, включают:

- грузоподъемную траверсу, выполненную из тонкостенных металлических элементов с открытым или коробчатым поперечным сечением;

- стальные или текстильные стропы для непосредственного крепления к грузу с помощью специально предусмотренных крепежных элементов;

- вертолетные грузоподъемные текстильные сети из полиамидного или полипропиленового каната для обхватывания транспортируемого груза [26].

Конфигурация траверсы и, ее габаритные конструктивные размеры определяются внешней формой и габаритными размерами транспортируемого груза, а размеры поперечных сечений металлических элементов – весом транспортируемого груза с дополнительным учетом различных видов возможного силового воздействия на груз при полете и во время проведения погрузочно-разгрузочных работ [27], исходя из обеспечения прочности и надежности конструкции.

Технические характеристики вертолетных грузоподъемных текстильных сетей, выпускаемые в настоящее время отечественной промышленностью, приведены в [26]. Их грузоподъемность составляет 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 5500, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000, 16000 и 20000 кг, а размеры – 3000×3000, 4000×4000, 5000×5000, 6000×6000, 7000×7000, 8000×8000, 9000×9000 и 10000×10000 мм при размере ячеек 50, 100, 150, 200, 250 и 300 мм. Однако возможно изготовление вертолетных сетей и других необходимых размеров. Таким образом, по своим габаритным размерам и грузоподъемности некоторые марки вертолетных сетей могут быть использованы для транспортирования аэромобильных канатных установок, у которых габаритные размеры соответствуют 20-футовым транспортным контейнерам ИСО серии 1 (табл. 1).

При принятии решения о начале эксплуатации или перебазировании аэромобильной канатной установки необходимо определить модификацию и количество подходящих грузовых или многоцелевых вертолетов, со-

гласовав их технические характеристики по грузоподъемности в кабине или на внешней подвески с весом и габаритными размерами в транспортном состоянии аэромобильной установки и другого вспомогательного оборудования, обеспечивающего работу мобильной канатной дороги в целом. Возможно, при этом потребуется использование вертолетов различной модификации, так как ориентация на модификацию вертолета с максимальной грузоподъемностью может не быть оправдана по экономическим соображениям, так как вертолеты с большей грузоподъемностью имеют более высокие эксплуатационные расходы. Поэтому использование вертолета повышенной грузоподъемности для транспортировки тех грузов, которые мог бы доставить вертолет меньшей грузоподъемности, может оказаться существенно неэкономичным мероприятием. Так как в процессе развертывания мобильной дороги на базе аэромобильных канатных установок требуется переброска по воздуху не только самих этих установок, но и дополнительного канатного оборудования [7, 12, 28], то сочетание вертолетов различной модификации по грузоподъемности может оказаться более выгодным, чем использование вертолета одной модификации. Естественно, правильное решение этого вопроса требует проведения соответствующего технико-экономического обоснования.

Важной технической характеристикой вертолета является практическая дальность полета, которая определяет время пребывания его в воздухе в процессе доставки аэромобильной канатной установки к месту эксплуатации мобильной канатной дороги и в процессе возвращения на базовый аэродром или аэродром дозаправки. Присущее вертолетам уникальное свойство вертикальных взлета и посадки и зависания над заданной точкой поверхности обуславливает отсутствие необходимости в специальных посадочных средствах и наличие открытого пространства с относительно ровной поверхностью, что позволяет вертолету выполнить необходимые работы по разгрузке транспортируемого груза с внешней подвески без приземления. Это актуально для доставки аэромобильных канат-

ных установок, так как для них характерен минимальный объем участия вертолета в общем объеме монтажных/демонтажных работ: требуется лишь опускание установки, находящейся в транспортном состоянии, на заранее подготовленную поверхность и ее отсоединение от крепежных элементов внешней подвески вертолета.

Таким образом, удаленность места развешивания мобильной канатной дороги на базе аэромобильных канатных установок от базового аэродрома L_{dis} , которая должна учитываться при выборе требуемой модификации вертолета, является функцией нескольких слагаемых:

$$L_{dis} = f(\tau_b + \tau_c + \tau_{nc} + \tau_{mon} + \tau_r),$$

где τ_b - продолжительность полета вертолета без груза между базовым аэродромом и пунктом забора/возврата транспортируемого груза; τ_c - продолжительность полета вертолета с транспортируемым грузом между пунктом забора/возврата груза и местом развешивания мобильной канатной дороги; τ_{nc} - продолжительность возвратного полета вертолета между местом развешивания и базовым аэродромом или аэродромом дозаправки; τ_{mon} - продолжительность нахождения вертолета в воздухе в месте развешивания мобильной канатной дороги; τ_r - продолжительность нахождения вертолета в воздухе в пункте забора/возврата груза.

В зависимости от вида средства предварительной доставки оборудования в качестве пункта забора транспортируемого груза вертолетом могут выступать железнодорожная станция, автомобильный терминал, аэропорт или морской/речной порт. При оценке удаленности места развешивания мобильной канатной дороги от базового аэродрома L_{dis} следует рассмотреть возможные технологические варианты использования вертолета. Применительно к задаче развешивания мобильной канатной дороги на новом месте ее эксплуатации эти технологические варианты графически иллюстрируются схемами на рис. 1.

Технологический вариант 1 предусматривает один цикл вылета вертолета с базового аэродрома, перелет за полетное время τ_b и

взятие транспортируемого груза за полетное время τ_r из пункта забора груза, его доставку к месту развешивания мобильной канатной дороги за полетное время τ_c , разгрузку аэромобильной канатной установки или дополнительного оборудования на предварительно подготовленную площадку за полетное время τ_{mon} и возвращение на базовый аэродром за полетное время τ_{nc} . Для этого варианта удаленность места развешивания мобильной канатной дороги от базового аэродрома L_{dis} составляет

$$L_{dis} < 0,5L_{pd},$$

где L_{pd} - практическая дальность вертолета.

Технологический вариант 2 предусматривает два цикла полета вертолета:

- 1-й цикл: вылет с базового аэродрома, перелет за полетное время τ_b и взятие транспортируемого груза за полетное время τ_r из пункта забора груза, его доставка к месту развешивания мобильной канатной дороги за полетное время τ_c , разгрузка аэромобильной канатной установки или дополнительного оборудования на предварительно подготовленную площадку за полетное время τ_{mon} , приземление и дозаправка в полном объеме на вертолетной площадке в месте развешивания мобильной канатной дороги;

- 2-й цикл: перелет с вертолетной площадки в месте развешивания мобильной канатной дороги на базовый аэродром за полетное время τ_{nc} .

Для этого варианта удаленность места развешивания мобильной канатной дороги от базового аэродрома L_{dis} составляет

$$L_{dis} < L_{pd}$$

при условии наличия запаса топлива для полной заправки вертолета.

Технологический вариант 3 также предусматривает два цикла полета вертолета:

- 1-й цикл: вылет с базового аэродрома, перелет за полетное время τ_b и взятие транспортируемого груза за полетное время τ_r из пункта забора груза, его доставка к месту развешивания мобильной канатной

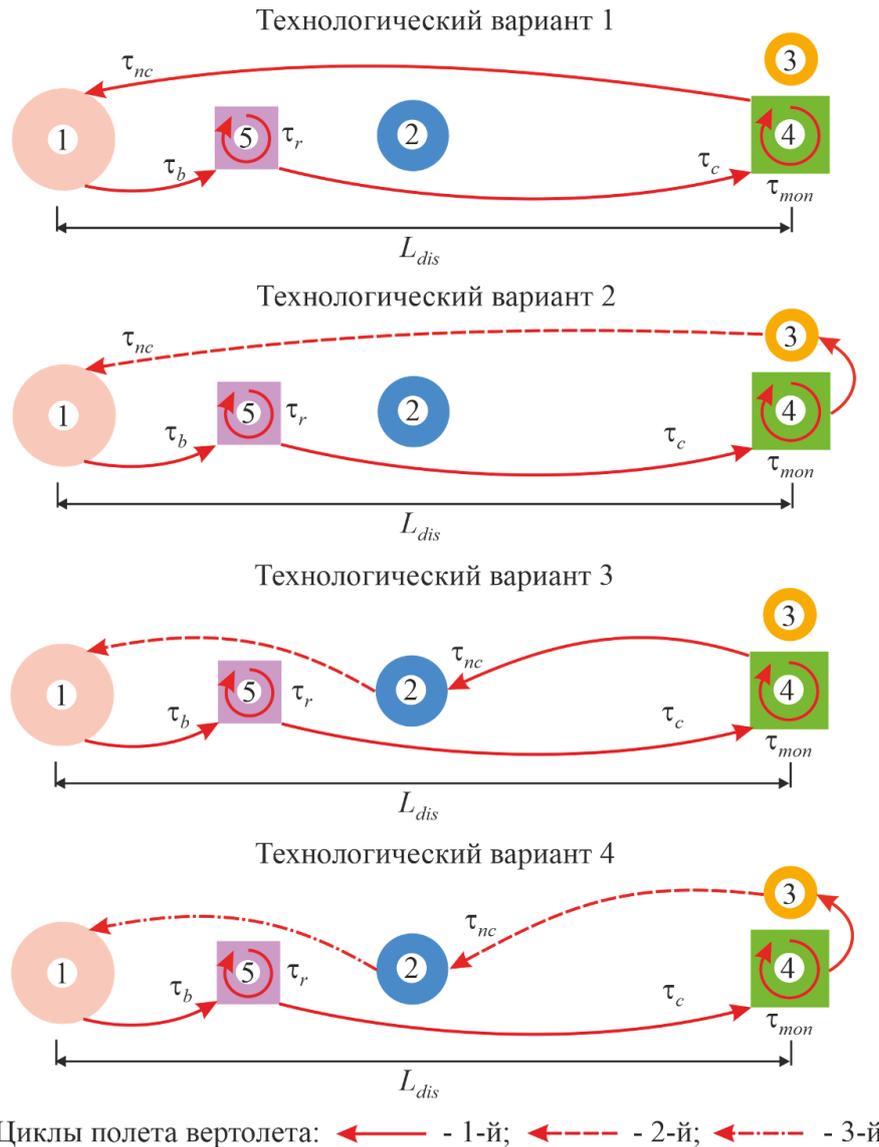


Рис. 1. Технологические варианты использования вертолетов при разворачивании мобильной канатной дороги: 1 – базовый аэродром; 2 – промежуточный аэродром дозаправки; 3 – вертолетная площадка в месте разворачивания мобильной канатной дороги; 4 – место разворачивания мобильной канатной дороги; 5 – пункт забора транспортируемого груза

дороги за полетное время τ_c , разгрузка аэромобильной канатной установки или дополнительного оборудования на предварительно подготовленную площадку за полетное время τ_{mon} , перелет на вспомогательный аэродром за полетное время τ_{nc} , приземление и дозаправка вертолета в частичном объеме;

- 2-й цикл: перелет вертолета со вспомогательного аэродрома на базовый аэродром.

Для этого варианта удаленность места разворачивания мобильной канатной дороги от базового аэродрома L_{dis} составляет

$$0,5L_{pd} < L_{dis} \ll L_{pd}.$$

Технологический вариант 4 предусматривает три цикла полета вертолета:

- 1-й цикл: вылет с базового аэродрома, перелет за полетное время τ_b и взятие транспортируемого груза за полетное время τ_r из пункта забора груза, его доставка к месту разворачивания мобильной канатной дороги за полетное время τ_c , разгрузка аэромобильной канатной установки или дополнительного оборудования на предварительно подготовленную площадку за полетное время τ_{mon} , приземле-

ние и дозаправка в частичном объеме на вертолетной площадке в месте разворачивания мобильной канатной дороги;

- 2-й цикл: перелет с вертолетной площадки в месте разворачивания мобильной канатной дороги на вспомогательный аэродром за полетное время τ_{nc} , приземление и повторная дозаправка вертолета в частичном объеме;

- 3-й цикл: перелет вертолета со вспомогательного аэродрома на базовый аэродром.

Использование вспомогательного аэродрома для второй дозаправки вертолета может оказаться необходимым, если на вертолетной площадке в месте разворачивания мобильной канатной дороги имеется дефицит авиационного топлива. Такая ситуация является наиболее вероятной, так как создание запаса авиационного топлива в полном объеме требует его предварительной доставки к месту разворачивания мобильной канатной дороги, что создает дополнительные логистические проблемы. Для этого варианта удаленность места разворачивания мобильной канатной дороги от базового аэродрома L_{dis} составляет

$$0,5L_{pd} < L_{dis} < L_{pd}.$$

Анализ возможных технологических операций использования вертолета при разворачивании мобильной канатной дороги на базе аэромобильных канатных установок позволяет сделать вывод о том, что наибольшая удаленность места разворачивания мобильной канатной дороги от базового аэродрома может быть реализована при использовании технологических вариантов 2 и 4.

Использование вертолетов, особенно на начальном этапе перебазирования аэромобильных канатных установок сопряжено с очевидными рисками при проведении монтажных/демонтажных работ на месте эксплуатации указанных установок. Это требует качественной проработки проекта производства работ, строгого контроля его исполнения со стороны экипажа вертолета, привлекаемых специалистов-монтажников и штатного обслуживающего персонала, а также тщательного соблюдения мер безопасного ведения работ на площадке [29]. Любая не-

штатная ситуация, как правило, может иметь более значительные последствия и вести к более значительному увеличению продолжительности монтажных работ, чем в обычных ситуациях вследствие более сложных климатических и географических условий эксплуатации аэромобильных канатных установок. Поэтому специфической особенностью проведения монтажных работ с использованием вертолета является требование ориентации всех технологических операций, исходя из функциональных возможностей вертолета [29]. При использовании других типов монтажного оборудования, как правило, его выбор и использование диктуются содержанием требуемых технологических операций.

4. Заключение

Проведенный анализ технико-организационных возможностей современных транспортных и многоцелевых вертолетов для решения задач разворачивания и перебазирования на новое место мобильных канатных дорог на базе аэромобильных канатных установок показал, что по своим тактико-техническим характеристикам они вполне способны выполнить указанную логистическую задачу.

Наиболее широкие возможности имеет транспортировка аэромобильных канатных установок и сопутствующего технологического оборудования мобильных канатных дорог на внешней подвеске вертолета. Максимально приемлемыми для этой цели являются российские вертолеты Ми-26 и Ми-26К, способные доставлять грузы весом до 20...25 т, а также вертолеты Ми-6 и Ми-10К, способные доставлять грузы весом до 8 т. Возможности перевозки транспортируемого оборудования внутри фюзеляжа оказываются весьма ограниченными – для этого можно использовать лишь тяжелые вертолеты Ми-26 и Ми-26К.

Предложенные в статье альтернативные варианты использования вертолетов позволяют достаточно гибко подойти к решению вопроса о выборе возможной для использования модификации вертолета, исходя из его практической дальности полета и требуемой

величиной плеча транспортирования от места загрузки оборудования до места эксплуатации мобильной канатной дороги.

Присущее вертолетам уникальное свойство вертикальных взлета и посадки и зависания над заданной точкой поверхности обуславливает отсутствие необходимости в специальных посадочных средствах и наличие открытого пространства с относительно ровной поверхностью, что позволяет вертолету выполнить необходимые работы по разгрузке транспортируемого груза с внешней под-

вески без приземления. Как следствие, вертолет в большинстве случаев может служить практически единственным транспортным средством для доставки аэромобильной канатной установки к месту развертывания в пределах «последней мили», что имеет исключительное значение для развертывания мобильных канатных дорог в труднодоступных высокогорных условиях или на отдаленных территориях, в частности, в районах арктического побережья, Приморья и Дальнего Востока России.

Список литературы

1. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2019 году в сфере транспортно-логистических технологий и машин для урбанизированной среды // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 1. С. 120-135. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-120-135

2. Дукельский А.И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. М.-Л.: Машиностроение, 1966. 484 с.

3. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2021 году в сфере проектирования и моделирования рабочих процессов в мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексах // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 1. С. 7-26. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-07-26

4. Лагереv А.В., Лагереv И.А., Таричко В.И. Надежность и безопасность эксплуатации мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2022. 207 с.

5. Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Производительность грузовых мобильных канатных дорог на базе сопряженных мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 4. С. 310-321. DOI: 10.22281/2413-9920-

References

1. Stepchenko T.A., Babich O.V. The results of scientific research of the Bryansk State University in 2019 in the field of transport and logistics technologies and machines for the urban environment. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.1, pp. 120-135. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-120-135. (In Russian)

2. Dukelskiy A.I. *Podvesnye kanatnye dorogi i kabelnye kраны* [Overhead cableways and cable cranes]. Moscow-Leningrad, Mashinostroenie, 1966. 484 p. (In Russian)

3. Stepchenko T.A., Babich O.V. The results of scientific research of Bryansk State University in 2021 in the field of design and modeling of work processes in mobile transport and overloading rope complexes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.1, pp. 7-26. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-07-26. (In Russian)

4. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Nadezhnost i bezopasnost ekspluatatsii mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Reliability and safety of operation of mobile transport and overloading rope complexes]. Bryansk, RISO BGU, 2022. 207 p. (In Russian)

5. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Productivity of cargo mobile ropeways based on coupled mobile transport and overloading rope complexes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.4, pp. 310-321. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-310-321 (In Russian)

6. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A.

2022-08-04-310-321

6. Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А. Компоновка технологического оборудования на базовом шасси мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 3. С. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403

7. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И. Моделирование рабочих процессов мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2021. 204 с. DOI: 10.5281/zenodo.6044972.

8. Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А. Моделирование режимов работы гидроприводов с частотно-дрессельным регулированием мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №4. С. 462-480. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-04-462-480

9. Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А. Вероятностно-временной анализ кинетики показателей надежности на стадии проектирования канатной системы мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №2. С. 256-275. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-256-275.

10. Лагерев А.В., Лагерев Е.А. Оптимальное проектирование гидравлических механизмов поворота поршневого типа крано-манипуляторных установок многоцелевых транспортно-технологических машин // Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. №1. С. 37-45. DOI: 10.12737/23372

11. Лагерев И.А., Таричко В.И., Лагерев А.В. Формирование стратегии восстановления канатной системы мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса в процессе эксплуатации // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №2. С. 276-293. DOI: 10.22281/2413-9920-

† Placement of technological equipment on the basic chassis of the mobile transportation and reloading rope complex. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.3, pp. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403 (In Russian)

† 7. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Modelirovanie rabochikh protsessov mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Modeling of working processes of mobile transporting and overloading rope facilities]. Bryansk, RISO BGU, 2021. 204 p. DOI: 10.5281/zenodo.6044972. (In Russian)

† 8. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Modeling operation modes of hydraulic drives with frequency-throttle regulation of mobile transport and overloading ropes complexes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.4, pp. 462-480. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-04-462-480 (In Russian)

† 9. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Probability-temporal analysis of reliability indicators kinetics at the stage of designing a rope system of a mobile transport and reloading ropeway. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 256-275. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-256-275 (In Russian)

† 10. Lagerev A.V., Lagereva E.A. Optimal design of hydraulic turning mechanisms of the pistoning type of crane facilities of multipurpose hoisting machines. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.1, pp. 37-45. DOI: 10.12737/23372 (In Russian)

† 11. Lagerev I.A., Tarichko V.I., Lagerev A.V. Formation of the strategy for restoring the rope system of the mobile transport and reloading rope complex during operation. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 276-293. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-276-293 (In Russian)

† 12. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Konstruktsii i osnovy proektirovaniya mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Structures and design fundamentals of mobile transporting and overloading rope facilities]

Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Вертолёт> (дата обращения 12.05.2023).

22. Дудник В.В. Конструкция вертолетов. Ростов н/Д: Издательский дом ИУИ АП, 2005. 158 с.

23. Вертолёты России - Национальный центр вертолетостроения имени М.Л. Миля и Н.И. Камова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rhc.aero/structure/nhc> (дата обращения 12.05.2023).

24. Козловский В.Б., Паршенцев С.А., Ефимов В.В. Вертолет с грузом на внешней подвеске. М.: Машиностроение, 2008. 304 с.

25. Балашов М.М. Подъемно-спусковые работы на вертолете. Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2011. 51 с.

26. ГОСТ Р 51876-2008. Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний. Часть 1. Контейнеры общего назначения. Введ. 2008-09-03. М.: Стандартинформ, 2011. 54 с.

27. Лагереv А.В. Нагруженность подъемно-транспортной техники. Брянск: БГТУ, 2010. 180 с.

28. Лагереv И.А., Лагереv А.В., Таричко В.И. Варианты компоновки основного технологического оборудования на базовых шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов и их сравнительный анализ // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 3. С. 236-250. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250

29. MacDonald J.A., Rossnagel W.E., Higgins L.R. Handbook of Rigging. Lifting, Hoisting, and Scaffolding for Construction and Industrial Operations. New York: McGraw Hill, 2009. 759 p.

24. Kozlovskiy V.B., Parshentsev S.A., Efimov V.V. *Vertolet s gruzom na vneshney podveske* [Helicopter with cargo on an external load]. Moscow, Mashinostroenie, 2008. 304 p. (In Russian)

25. Balashov M.M. *Podemno-spuskovyye raboty na vertolete* [Lifting and lowering operations by helicopter]. Ulyanovsk, UVAU GA(I), 2011. 51 p. (In Russian)

26. GOST R 51876-2008 *Series 1 freight containers - Specification and testing - Part 1: General cargo containers for general purposes*. Moscow, Standartinform, 2011. 54 p. (In Russian)

27. Lagerev A.V. *Nagruzhennost podmno-transportnoy tekhniki* [Load lifting and transport equipment]. Bryansk, BGTU, 2010. 180 p. DOI: 10.5281/zenodo.1306614 (In Russian)

28. Lagerev I.A., Lagerev A.V., Tarichko V.I. Variants of the layout of the main technological equipment on the base chassis of mobile transport and reloading rope complexes and their comparative analysis. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.3, pp. 236-250. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250 (In Russian)

29. MacDonald J.A., Rossnagel W.E., Higgins L.R. Handbook of Rigging. Lifting, Hoisting, and Scaffolding for Construction and Industrial Operations. New York, McGraw Hill, 2009. 759 p.