

Научная статья
УДК 621.3.016.23
URL: <https://vestnikmai.ru/publications.php?ID=184450>
EDN: <https://www.elibrary.ru/OEGTLN>



Транспортная модификация вертолета Ми-26Т2 для перевозки крупногабаритных грузов

Борис Лейзерович Артамонов^{1✉}, Аркадий Эдуардович Синяев²

^{1, 2} Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация

¹ ABL-6124554@yandex.ru✉

² sinyayev86@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются особенности формирования облика транспортной модификации вертолета одновинтовой схемы, предназначенной для перевозки крупногабаритных грузов. Приведена номенклатура перевозимых грузов, и описаны математические модели весового и аэродинамического проектирования предлагаемой модификации вертолета, ориентированные на выполнение двухэтапной транспортной операции.

Ключевые слова: вертолет одновинтовой схемы, крупногабаритные грузы, двухэтапная транспортная операция, математическая модель весового и аэродинамического расчета, компоновка вертолета

Для цитирования: Артамонов Б.Л., Синяев А.Э. Транспортная модификация вертолета Ми-26Т2 для перевозки крупногабаритных грузов // Вестник Московского авиационного института. 2025. Т. 32. № 1. С. 67–81. URL: <https://vestnikmai.ru/publications.php?ID=184450>

Original article

The Mi-26T2 Helicopter Transport Modification for Large-Sized Loads Transportation

Boris L. Artamonov^{1✉}, Arkadii E. Sinyayev²

^{1, 2} Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation

¹ ABL-6124554@yandex.ru✉

² sinyayev86@mail.ru

Abstract

Analysis of the domestic armed forces reforming concept has revealed a significant increase in the wheeled vehicles nomenclature. The wheeled armored vehicles cease to be just a tool for delivering rifleman to the battlefield. Modern wheeled combat platforms represent a universal set of tools at the brigade-division level. However, the size and weight of wheeled vehicles exceed the similar parameters of tracked vehicles. This fact hinders it quick redeployment by the existing park of transport helicopters.

The main transport helicopter employed by the Armed Forces of Russian Federation for the equipment transportation is the Mi-26 and its modification Mi-26T2. It represents a single-rotor helicopter with the eight-blade main rotor

and five-blade steering propeller, designed for transportation of cargoes weighing up to 20000 kg in the cargo cabin and on the external suspension, or 60–70 passengers. The Mi-26T2 helicopter is distinguished by the high weight perfection ($k_{wp} = 0.53$), reliability and powerful D-136-2 engines ($N_{takeoff} = 2 \times 11400$ hp). It can perform flights at any time of day both according to the regulations of instrument flight and visual flight regulations, as well as operate in various climatic zones and complicated weather conditions at temperatures from -40°C to $+50^{\circ}\text{C}$.

The article deals with the layout forming a new transport modification of the Mi-26T2 helicopter, designed for transportation of the large-size cargoes. The authors propose to develop a new option of the fuselage which central part represents an open cargo platform for transportation of the large-size nomenclature of wheeled and tracked vehicles or containers. The front part of the platform is attached to the nose part of the fuselage, and the rear part is attached to the main landing gear struts of truss construction, which are fixed to the fuselage. The carrier system, power plant and transmission of the Mi-26T2 helicopter in the new modification remain unchanged. The fuel tanks are inside the fuselage.

The authors proposed a technique for the of fuselage harmful resistance estimation of the new helicopter modification, based on the analysis of statistical data of the Zhukovsky Central Aeronautical Research Institute on the fuselages resistance of helicopters of various weight-lift abilities and rotor hubs of different schemes. It is demonstrated that drag of the proposed modification of Mi-26T2 helicopter should not exceed $\Sigma C_x S \approx 12,9 \text{ m}^2$.

The article describes the mathematical model of the single-rotor scheme helicopter appearance forming oriented on its performing the two-stage transport operation. Verification of algorithms of weight and aerodynamic modules of the program was performed by comparing the results of hourly and kilometer fuel consumption computing with flight test data of the Mi-26T2 helicopter.

The authors analyzed nomenclature of the eight typical large-size military oriented cargoes. It is demonstrated that operational transportation by the new helicopter modification of large-size cargoes with the mass up to 10000 kg can be ensured within 290 km, and with the mass up to 19000 kg within 245 km at the same helicopter loading in both directions.

Keywords: single-rotor helicopter, large-sized cargo, two-stage transport operation, mathematical model of weight and aerodynamic computation, helicopter layout

For citation: Artamonov B.L., Sinyayev A.E. The Mi-26T2 Helicopter Transport Modification for Large-Sized Loads Transportation. *Aerospace MAI Journal*. 2025;32(1):67–81. (In Russ.). URL: <https://vestnikmai.ru/publications.php?ID=184450>

List of Figures

- Fig. 1. Helicopter Mi-26T2
- Fig. 2. Dimensions of cargo transported in the cargo cabin of the Mi-26 helicopter
- Fig. 3. Permissible loads on the floor of the cargo cabin and ramp during loading and transportation of tracked vehicles
- Fig. 4. Permissible loads on one wheel during loading and transportation of wheeled vehicles
- Fig. 5. General view of the Mi-26T2 proposed helicopter modification
- Fig. 6. Layout of the Mi-26T2 proposed helicopter modification
- Fig. 7. Helicopter Mi-26TM
- Fig. 8. Dependence of hourly fuel consumption on flight speed
- Fig. 9. Dependence of kilometer fuel consumption on flight speed
- Fig. 10. Parameters of a single-stage transport operation
- Fig. 11. Calculation results of a single-stage transport operation
- Fig. 12. Characteristics of a two-stage transport operation
- Fig. 13. Stages of the transport operation
- Fig. 14. Required power for various stages of a transport operation
- Fig. 15. Time of execution of stages of the transport operation
- Fig. 16. Masses of fuel consumed at various stages of the transport operation
- Fig. 17. “Load-range” diagram of the Mi-26T2 helicopter modification

List of Tables

- Table 1. Nomenclature of equipment in service with the Russian Army
- Table 2. Loads created by tracked vehicles
- Table 3. Loads generated by machinery on wheels
- Table 4. Technical requirements for modification of the Mi-26T2 helicopter
- Table 5. An enlarged weight summary of the Mi-26T2 helicopter and the proposed modification
- Table 6. Methods and algorithms for selecting helicopter design parameters
- Table 7. Helicopter parameters used in the analysis of typical transport operations
- Table 8. Typical transport operations for the transportation of large-sized cargo

Введение

Анализ вооруженных конфликтов за последние 30 лет показал, что большинство современных армий находятся в процессе перехода на новую боевую технику в колесном варианте исполнения [1]. Сложился определенный набор требований, которым такая техника должна отвечать.

Концепция локальных «войн будущего» предполагает, что боевые операции проводятся одновременно в нескольких средах с высокой интенсивностью и степенью взаимодействия между подразделениями. Это позволяет получить преимущества перед равным или близким к равному противником. Для реализации подобных действий требуются маневренные механизированные соединения, вооруженные боевой техникой, отвечающей определенным требованиям.

В конце 90-х годов XX века в США началась разработка программы FCS (Future Combat Systems) [2], которая предполагает перевооружение и реорганизацию армии, оснащение ее новейшей боевой техникой и транспортом, включая беспилотные и робототехнические средства.

Основной боевой единицей в программе модернизации является бригада. В список тактических задач бригады входят: контроль над определенной территорией; решительные действия на сложной местности; наступательные прикрывающие действия (рейд, огневой рейд, глубокая атака, силовая разведка); оборонительные прикрывающие действия (сдерживание или оборона на широком фронте) и обеспечение выхода основных сил на театр военных действий. Похожая тактика применяется и в армии Российской Федерации [3].

Так, в начале специальной военной операции (СВО) основной боевой единицей армии РФ была батальонная тактическая группа (БТГ). Ряд уникальных особенностей БТГ и опыт предыдущих вооруженных конфликтов позволили закрепить ее как основную структуру для ведения маневренных боевых действий. Начало СВО показало, что БТГ способна совершать стремительные маневры, вести как наступательные, так и оборонительные боевые действия, что соответствует современной концепции проведения боевых операций. Однако опыт проведения СВО показал, что бригадный принцип организации ВС РФ не является в полной мере оптимальным и с течением времени будет подвергнут корректировке [4, 5].

Современная концепция ведения боевых действий определила требования к новым боевым машинам: мобильность; наличие мощного бронирования (пассивные и активные средства защиты, повышенная противоминная стойкость); унификация и модульность; автономность боевого при-

менения; эргономичность; наличие средств связи (мобильная, космическая, спутниковая связи и др.).

Многочисленные кадры с полей СВО подтверждают переход пехотных подразделений на технику с колесным ходом, так как она позволяет реализовать главное требование к ведению боевых действий — высокую мобильность подразделений. К колесной технике предъявляются требования по наличию мощного бронирования (обычно в нескольких вариантах), оснащению пассивными и активными средствами защиты и повышенной противоминной стойкости.

Техника должна быть максимально унифицированной и модульной: от комплектов дополнительного бронирования до замены боевых и функциональных модулей. Так на базе одной платформы можно получить технику, которая будет выполнять определенную задачу.

Автономность техники позволяет бригадам действовать в отрыве от основных сил и линий снабжения. По причине автономности боевой техники растет значение эргономики размещения боевого отделения (кабины экипажа). Разработчики бронетехники исходят из того, что для конфликтов будущего будут характерны высокие темпы, большая продолжительность и возрастающая физическая и информационная нагрузка на солдата.

Подавляющее большинство современной колесной техники, появившейся в армиях с начала 2000-х, соответствует набору перечисленных требований или стремится к этому. Колесная бронетехника перестает быть просто инструментом доставки стрелков на поле боя. Современные колесные боевые платформы — это универсальный набор инструментов на уровне бригады-дивизии.

Основным транспортным вертолетом, используемым в ВС РФ для перевозки техники, является Ми-26 и его модификация Ми-26Т2 (рис. 1).



Рис. 1. Вертолет Ми-26Т2

Ми-26Т2 — вертолет одновинтовой схемы с восьмилопастным несущим и пятилопастным рулевым винтом, предназначенный для перевозки грузов массой до 20 000 кг в грузовой кабине и на внешней подвеске или 60–70 пассажиров. Вертолет Ми-26Т2 отличается высоким весом совершенства ($k_{\text{вс}} = 0,53$), надежностью и мощными двигателями Д-136-2 ($N_{\text{взл}} = 2 \times 11400$ л.с.). Благодаря интегрированному комплексу БРЭО типа НПК90-2В и системам автоматического управления, вертолет может совершать полеты в любое время суток — как по правилам полета по приборам, так и по правилам визуального полета, эксплуатироваться в разных климатических зонах и в сложных метеоусловиях при температурах от -40°C до $+50^\circ\text{C}$ [7, 17].

Требования, предъявляемые к грузам, транспортируемым вертолетом

Современная концепция ведения боевых действий предполагает жесткие требования к военной технике. Анализ боевой техники разных стран мира, в том числе и России, показывает частичный переход от техники на гусеничном ходу к технике

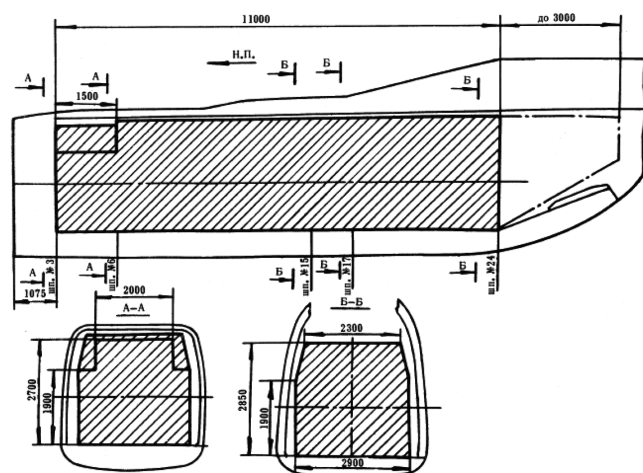


Рис. 2. Габариты груза, перевозимого в грузовой кабине вертолета Ми-26

на колесном ходу, которая имеет преимущество в современной концепции ведения боевых действий — мобильность. Однако такая техника обладает большими габаритами, которые не позволяют ее перевозить в грузовой кабине вертолета Ми-26. На рис. 2 представлены требования [7], предъявляемые к габаритам грузов, транспортируемых вертолетом Ми-26 внутри грузовой кабины.

При загрузке (выгрузке) всех видов техники и грузов и их размещении в грузовой кабине зазор между грузом и элементами конструкций вертолета должен быть не менее 150 мм. В районе 5–6-го шпангоута зазор между грузом и конструкцией вертолета по потолку допускается 65 мм. Расстояния от передней стенки кабины до груза должны быть не менее 600 мм и достаточными для прохода членов экипажа.

При размещении груза дополнительно учитывают допустимую нагрузку на грузовой пол, т.к. это влияет на условия транспортировки перевозимого груза. Допустимые нагрузки на грузовой пол и трап при погрузке гусеничной и колесной техники представлены на рис. 3–4.

При погрузке и транспортировке моногрузов, размещенных на продольных или поперечных жестких металлических полозьях, необходимо соблюдать следующие условия [8]. Если продольные полозья располагаются в зоне силовой части пола, то допустимая нагрузка на полозья определяется в соответствии со схемой транспортировки и погрузки гусеничной техники. Если продольные полозья расположены в несиловой части пола (ширина несиловой части 1200 мм), то под опоры подкладываются доски толщиной 30 мм и шириной 250 мм, при этом нагрузка на шпангоут с нечетной нумерацией (в грузовом полу все силовые шпангоуты имеют нечетную нумерацию) не должна превышать 1000 кг. Для грузового трапа удельные нагрузки, указанные на схеме рис. 3, действительны только при погрузке.

При погрузке и транспортировке колесной техники необходимо соблюдать следующие условия [8]. Под колеса-непневматики необходимо

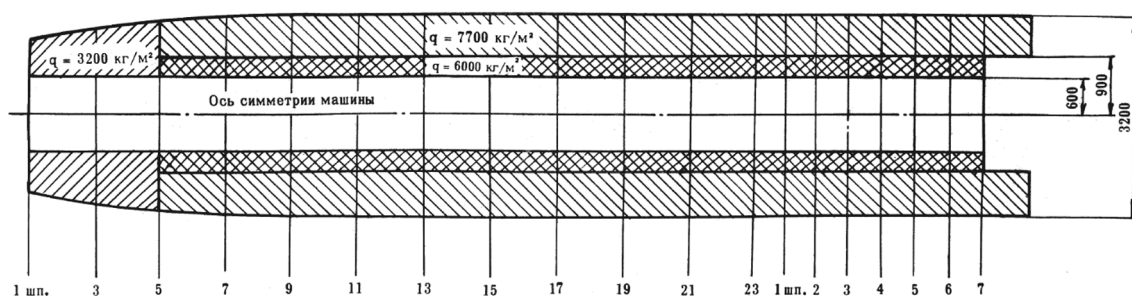


Рис. 3. Допустимые нагрузки на пол грузовой кабины и трапа при погрузке и транспортировке гусеничной техники

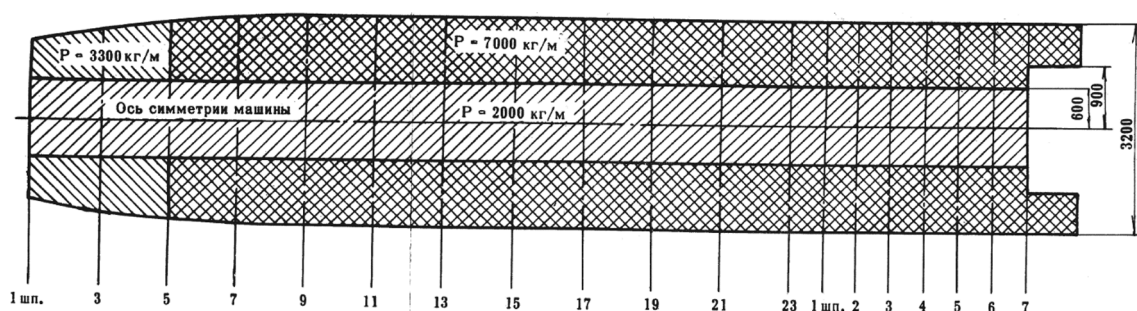


Рис. 4. Допустимые нагрузки на одно колесо при погрузке и транспортировке колесной техники

подкладывать доски-распределители шириной, равной удвоенной ширине колеса, длиной не менее 0,5 от диаметра колеса-непневматика, толщиной не менее 30 мм. При большей удельной нагрузке на колесо-пневматик необходимо подкладывать доски-распределители, ширина которых должна обеспечивать величину удельной нагрузки, указан-

ной на рис. 4. Длина доски-распределителя должна быть не менее 0,8 от диаметра колеса-пневматика перевозимой техники, толщина не менее 30 мм.

Перечисленные требования к грузу по габаритным размерам и допустимым нагрузкам ограничивают номенклатуру грузов, перевозимых в грузовой кабине вертолета Ми-26Т2. В табл. 1, по данным

Таблица 1. Номенклатура техники, стоящей на вооружении армии РФ

Наименование	Масса, кг	Габариты Г × Ш × В, мм	Экипаж, чел
Бронетранспортер БТР-82А	16 000	7500 × 2900 × 3000	3
Самоходная артиллерийско-минометная установка «Вена»	19 000	6800 × 3300 × 2400	4
Плавающее самоходное артиллерийское орудие «Лотос»	18 000	7085 × 3184 × 3000	4
Боевая машина пехоты БМП-3	18 700	7200 × 3300 × 2300	3
Бронированный автомобиль «Тигр-ба»	7 100	5416 × 2500 × 2100	2
Бронированный автомобиль «Волк ВПК-3927»	7 500	5416 × 2500 × 2100	2
Бронированный автомобиль «СПМ-3 Медведь»	12 800	5900 × 2500 × 2600	2
Бронированный автомобиль «ВПК-Урал»	14 500	6500 × 2550 × 2800	2
Робототехнический комплекс «Уран-14»	14 000	3800 × 2180 × 2000	—
Изделие «СБРМ»	6 900	5700 × 2330 × 2400	4
АСН-233115	6 900	5600 × 2400 × 2500	4
Бронированный автомобиль КАМАЗ-53949	13 700	6400 × 2500 × 3300	2
Бронированный автомобиль «Атлет»	9 300	5700 × 2550 × 2550	2
Бронированный автомобиль «Buran»	10 000	5580 × 2270 × 2450	2
Бронеавтомобиль 2С41 Дрок	14 500	6000 × 2544 × 2900	4
К-4386 «Тайфун-ВДВ»	15 000	6000 × 2544 × 2900	4
Боевая машина пехоты БМП-2М	14 500	6735 × 3150 × 2250	3
Боевая машина пехоты БМП-1АМ	14 300	6735 × 2940 × 2068	3
Боевая машина десанта БМД-2	8 200	5400 × 2630 × 1965	2
Боевая машина десанта БМД-3	12 900	6360 × 3134 × 2450	2
Боевая машина десанта БМД-4М	13 600	6780 × 3256 × 2227	3
Новейшее орудие наземной артиллерии 2С9	8 760	6020 × 2630 × 2300	4
Многоцелевой транспортер — легкий бронированный МТЛБ	9 700	6454 × 2850 × 1865	2
Новейшее орудие наземной артиллерии 2С23	14 500	7400 × 2500 × 2900	4

— нагрузка, создаваемая техникой на грузовой пол, превышает допустимые нагрузки по ТУ
 — габаритные размеры техники превышают допустимые габаритные размеры груза по ТУ
 — масса техники слишком большая для перевозки на стандартной грузовой платформе

[6], представлена техника, стоящая на вооружении армии Российской Федерации и приведены ее массо-габаритные характеристики.

Анализ показывает, что часть техники невозможно перевозить в грузовой кабине вертолета Ми-26Т2, так как будут нарушены требования технических условий или техника физически не помещается. Часть техники превышает допустимые нагрузки на пол грузовой кабины и трапа при погрузке и транспортировке, что требует подкладывания грузораспределителей и влечет за собой увеличение высоты груза, которое приведет к нарушению требований к габаритам перевозимого груза.

Есть техника, которая имеет большую массу (около 20 000 кг), ее следует перевозить на внешней

подвеске, так как грузовая стандартная платформа, рассчитанная на транспортировку такой массы, будет тяжелой. Вертолет в конфигурации с грузовой платформой и тяжелой техникой может превысить максимально допустимый взлетный вес. В табл. 2, 3 приведены нагрузки, создаваемые техникой.

Концепция предлагаемой транспортной модификации вертолета

Учитывая вышеизложенное, представляется целесообразным создание модификации вертолета Ми-26Т2, предназначенной для перевозки крупногабаритных грузов и удовлетворяющей следующим требованиям:

- перевозка груза как на специальной грузовой платформе, так и на внешней подвеске;

Таблица 2. Нагрузки, создаваемые техникой на гусеничном ходу

Наименование	Создаваемая нагрузка, кг/м ²
Самоходная артиллерийско-минометная установка «Вена»	5995
Плавающее самоходное артиллерийское орудие «Лотос»	5680
Боевая машина пехоты БМП-3	6060
Робототехнический комплекс «Уран-14»	7369
Боевая машина пехоты БМП-2М	6985
Боевая машина пехоты БМП-1АМ	6888
Боевая машина десанта БМД-2	2658
Боевая машина десанта БМД-3	4181
Боевая машина десанта БМД-4М	4408
Новейшее орудие наземной артиллерии 2С9	5424
Многоцелевой транспортер – легкий бронированный МТЛБ	3208
— не удовлетворяет требованиям ТУ по допустимым нагрузкам	

Таблица 3. Нагрузки, создаваемые техникой на колесном ходу

Наименование	Создаваемая нагрузка, кг/м ²
Бронетранспортер БТР-82А	5000
Бронированный автомобиль «Тигр-6А»	5074
Бронированный автомобиль «Волк ВПК-3927»	5515
Бронированный автомобиль «СПМ-3 Медведь»	8000
Бронированный автомобиль «ВПК-Урал»	9063
Изделие «СБРМ»	5074
АСН-233115	5074
Бронированный автомобиль КАМАЗ-53949	8563
Бронированный автомобиль «Атлет»	6839
Бронированный автомобиль «Buran»	7354
Бронеавтомобиль 2С41 Дрок	9063
К-4386 «Тайфун-ВДВ»	9375
— не удовлетворяет требованиям ТУ по допустимым нагрузкам	

- сохранение несущей системы, силовой установки и трансмиссии вертолета Ми-26Т2;
- унификация большинства агрегатов с вертолетом Ми-26Т2;
- внутреннее расположение топливных баков (в базовом варианте);
- перевозка не менее пяти пассажиров, сопровождающих груз;
- обеспечение максимально возможной дальности полета при выполнении типовой двухэтапной транспортной операции.

Технические требования, предъявляемые к предлагаемой модификации вертолета Ми-26Т2, приведены в табл. 4. На рис. 5 показан общий вид предлагаемой модификации вертолета, а на рис. 6 – рекомендуемая компоновка.

Принципиальными отличиями предлагаемой модификации от вертолета Ми-26Т2 являются: замена грузовой кабины специальной платформой (по аналогии с вертолетами Ми-10 [18] и S-64 [19]), переход к балочной схеме шасси, а также размещение топлива во внутренних баках. Это привело к существенному изменению весовой сводки вертолета, элементы которой, отличающиеся от прототипа, приведены в табл. 5. Предварительные расчеты показали, что масса пустого вертолета по сравнению с базовым вариантом Ми-26Т2 может быть снижена до 25 745 кг.

Похожие изменения конструкции фюзеляжа вертолета Ми-26 были применены на крановой модификации Ми-26ТМ, созданной на АО «Роствертол» в 1992–1993 гг., но предназначенной ис-

Таблица 4. Технические требования к модификации вертолета Ми-26Т2*

Масса целевой нагрузки, кг	20 000	Статический потолок, м	1500
Радиус действия, не менее, км	250	Аэронавигационный запас топлива, мин	30
* Отдельные требования к максимальной и крейсерской скорости полета и динамическому потолку не предъявляются			

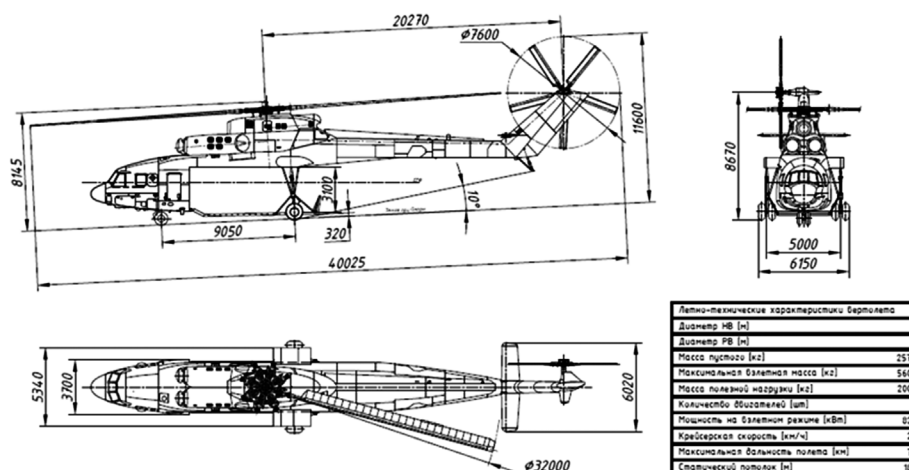


Рис. 5. Общий вид предлагаемой модификации вертолета Ми-26Т2

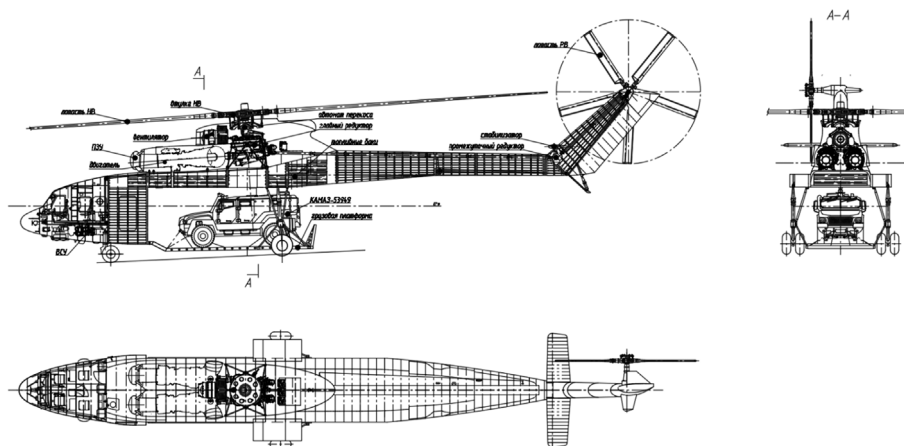


Рис. 6. Компоновка вид предлагаемой модификации вертолета Ми-26Т2

Таблица 5. Элементы весовой сводки предлагаемой модификации вертолета Ми-26Т2, отличающиеся от прототипа

Агрегат или система	Масса элемента конструкции, кг	
	Ми-26Т2	Модификация
Центральная часть фюзеляжа	2488	1490
Шасси	1225	1165
Грузовая платформа	—	1300
Оборудование	1626	982
Масса пустого вертолета	29 003	25 745

ключительно для выполнения краново-монтажных работ (рис. 7) [18].

Поскольку при сохранении параметров несущей системы и силовой установки ограничения по максимальной взлетной массе вертолета остаются в силе, при каждом варианте загрузки подлежат уточнению масса топлива, необходимого для выполнения транспортной операции, результирующая взлетная масса и зависящая от нее масса шасси. Это предопределяет использование алгоритма формирования облика вертолета, основанного на применении весовой сводки, состоящей как из фиксированных, так и из вычисляемых элементов.

Алгоритм формирования облика модификации вертолета Ми-26Т2 и верификация математических моделей

В отечественной литературе [9–13] описаны различные методы решения задачи по выбору параметров и формированию облика вертолетов одновинтовой схемы, которые отличаются использованными моделями весового и аэродинамического расчетов, принятой целевой функцией и алгоритмом поиска оптимального решения (табл. 6). В большинстве из них [9, 10, 12, 13] используется весовая модель А.В. Некрасова, построенная на основе обработки статистических данных по вертолетам одновинтовой схемы, причем в методе М.Н. Тищенко [13] предусмотрена возможность изме-

нять значения коэффициентов весовых формул с учетом выбранного типа конструкции агрегата или системы. В принятой методике формирования облика модификации вертолета Ми-26Т2, основы которой изложены в статьях [9, 14, 20], возможен вариант учета реальной весовой сводки вертолета-прототипа, что целесообразно при разработке проектов различных модификаций базового вертолета.

Вторым принципиальным отличием используемой методики является расчет летно-технических характеристик вертолета на основе аэродинамических характеристик винтов с произвольной геометрической и аэродинамической компоновкой лопастей и аэродинамических характеристик корпуса, полученных продувкой модели прототипа в аэродинамической трубе, а также учет высотных, температурных и дроссельных характеристик реального двигателя

Третьим отличием используемой методики является возможность анализа двухэтапной транспортной операции — полет вертолета из точки *A* в точку *C* с промежуточной посадкой в точке *B* без дозаправки топливом. К таким операциям относятся большинство операций, выполняемых как гражданскими, так и военными вертолетами при перевозке крупногабаритных грузов. Взлетная масса вертолета в начальной точке маршрута находится на основе массы конструкции, вычисленной с учетом принятых параметров, с добавлением массы перевозимой целевой нагрузки и массы топлива, необходимого для выполнения полета.

Для корректного учета при расчете ЛТХ проектируемой модификации вертолета аэродинамических характеристик несущего винта и ненесущих частей корпуса проведем валидацию программы формирования облика [10], воспользовавшись результатами летных испытаний вертолета Ми-26Т2, которые были проведены 31 марта 2011 г. в ЛИЦ НЦВ «Миль и Камов» на мерной базе длиной $L = 1530$ м с замером километрового и часового расходов топлива на разных скоростях полета.



Рис. 7. Вертолет Ми-26ТМ

Таблица 6. Методики и алгоритмы выбора проектных параметров вертолета

Авторы	Тип операции	Весовая модель	Аэродинамическая модель	Критерий оптимальности
Богданов Ю.С. Завалов О.А. Скулков Д.Д. [9]	Одноэтапная	Весовые формулы на базе статистики вертолетов одновинтовой схемы	Приближенные формулы на основе вихревой теории Л.С. Вильдгрубе	Коэффициент весовой отдачи
Некрасов А.В. Радин А.С. [12]	Одноэтапная	Весовые формулы на базе статистики вертолетов одновинтовой схемы	Методика А.С. Бравермана	Максимум полезной нагрузки. Минимум относительной себестоимости тонно-километра
Лосев Л.И. Рябков В.И. [11]	Одноэтапная	Весовые формулы на базе статистики вертолетов одновинтовой схемы	Приближенные формулы на основе вихревой теории Л.С. Вильдгрубе	Минимум взлетной массы
Тищенко М.Н. [13]	Одноэтапная	Параметрические весовые формулы на базе статистики	Поляры винта с типовой аэродинамической компоновкой лопастей	Комплексный критерий из шести составляющих
Артамонов Б.Л. Журавлев В.Н. [10]	Двухэтапная или одноэтапная	Весовая сводка прототипа. Идентифицируемые весовые формулы	Дисковая вихревая теория В.И. Шайдакова. Аэродинамические характеристики винта с произвольной геометрической и аэродинамической компоновкой лопастей	Произвольный
Тарасов А.Л. Прозоров М.А. [16]	Одноэтапная	Весовые формулы на базе статистики вертолетов одновинтовой схемы	Приближенные формулы на основе вихревой теории Л.С. Вильдгрубе	Не используется

Условия полета: $P_H = 753,2$ мм рт. ст., $t = +1^\circ\text{C}$.

Взлетная масса вертолета: $M = 49\,500$ кг; $\Sigma C_x S = 8,1$ м².

Для измерения расхода топлива при выполнении полета в топливные системы питания двигателей были врезаны датчики расхода топлива ТПР-12-1. Измерения проводились на площадках скоростей продолжительностью 16 минут в диапазоне от 100 до 270 км/ч. Результаты расчетов, выполненных с учетом выгорания топлива, и обработки измерений расходов топлива приведены на рис. 8 и 9.

Анализ показывает, что минимальный часовой расход топлива $Q_{\min} \approx 2600$ кг/ч получен на скорости $V_{\text{приб}} = 160$ км/ч. Минимальный километровый расход топлива $q_{\min} \approx 13,3$ кг/км получен в диапазоне скоростей $V_{\text{приб}} = 240 \dots 260$ км/ч. Сравнение результатов расчета с данными летных испытаний свидетельствует о достоверности использованных математических моделей.

Проведем сравнение результатов расчета по выполнению вертолетом Ми-26Т2 одноэтапной транспортной операции с данными летных испы-

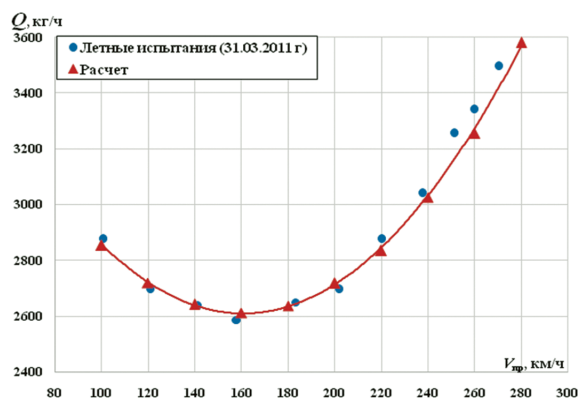


Рис. 8. Зависимость часового расхода топлива от скорости полета

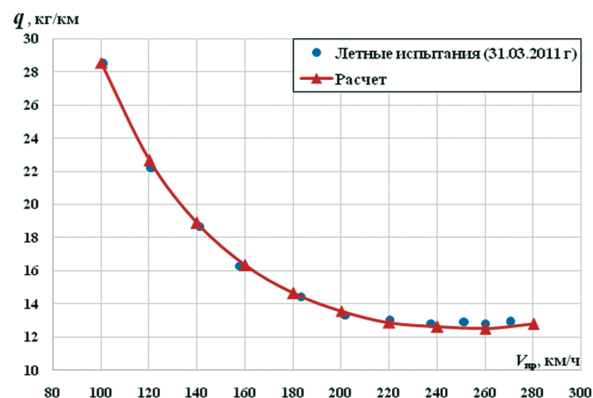


Рис. 9. Зависимость километрового расхода топлива от скорости полета

таний. При проведении испытаний выполнялся полет по маршруту на дальность с нормальной взлетной массой $M_{\text{пол}} = 49600$ кг и полной заправкой топливных баков вертолета $M_{\text{топ}} = 9550$ кг. Полет выполнен при температуре воздуха $0...+1^{\circ}\text{C}$, $H_{\text{пол}} = 500$ м с включенными СКВ, ПОС НВ, РВ и воздухозаборников двигателей. В связи с тем, что в РЛЭ вертолета Ми-26Т2 установлена максимальная скорость полета $V_{\text{пр}} = 240$ км/ч и предполагалось длительное нахождение вертолета на этой скорости, полет по маршруту выполнялся на скорости $V_{\text{пр}} \approx 235$ км/ч, при которой величина километрового расхода топлива практически совпадает с его минимальным значением.

В результате испытаний было получено значение среднего километрового расхода топлива в зависимости от изменения полетной массы вертолета. На запуск двигателей, руление, взлет и набор высоты затрачено 450 кг топлива. Дальность полета по маршруту, определенная по приборной скорости полета, составила $L = 403$ км, при этом затрачено 5030 кг топлива. Величина среднего за полет по маршруту километрового расхода топлива составила $q_{\text{ср}} = 12,4$ кг/км.

Расчет выполнен в модуле «Одноэтапная транспортная операция» программы [10]. Исходные данные для расчета приведены на рис. 10.

В расчетах масса груза была подобрана так, чтобы обеспечить взлетную массу вертолета с полностью заправленными баками $M_{\text{топ}} = 9550$ кг. Количество оставшегося топлива задавалось таким образом, чтобы его масса с учетом АНЗ совпадала с результатами летных испытаний. Результаты расчета приведены на рис. 11.

Из сравнения видно, что на полет было израсходовано 5378 кг топлива, что отличается на 4% от результатов летных испытаний. Количество оставшегося топлива совпадает с результатами ис-

пытаний. Средний километровый расход составил $q_{\text{ср}} = 13,3$ кг/км. Анализируя полученные характеристики, можно удостовериться в корректности работы аэродинамического модуля программы.

Типовые транспортные операции и построение диаграммы «Груз — дальность»

Для построения диаграммы «Груз — дальность» проведем параметрические расчеты двухэтапных транспортных операций, выполняемых модернизированным вертолетом. Масса пустого проектируемого вертолета была принята равной $M_{\text{взл}} = 25745$ кг (см. табл. 5). Параметры вертолета, принятые при расчете типовых транспортных операций, приведены в табл. 7.

Рассмотрим следующую двухэтапную транспортную операцию: полет туда и обратно с одинаковым пройденным расстоянием $L = 210$ км. На рис. 12 приведены характеристики одного из вариантов такой операции — полет с грузом 20 000 кг на обоих ее этапах.

Результаты расчетов приведены на рис. 13–16.

Для построения дискретной диаграммы «Груз — дальность» проведем расчеты транспортных операций, выполняемых предлагаемой модификацией вертолета с 8 типовыми грузами массой от 7100 до 19000 кг, габариты которых не выходят за пределы миделевого сечения вертолета. Это позволяет считать вредное сопротивление вертолета для всех вариантов перевозимых грузов постоянным. Массу топлива ограничим величиной $M_{\text{топ}} = 9850$ кг.

Лобовое сопротивление несущих частей предлагаемой модификации вертолета оценим на основе статьи И.А. Серова [15], в которой приведен анализ лобовых сопротивлений зарубежных вертолетов разных взлетных масс и получены соотношения для определения сопротивления вертолетов и втулок несущих винтов.

	Точка А		Маршрут АВ		Точка В	
Н, м	0	Н, м	470	Н, м	0	<u>Загрузка</u>
Т, °C	1	L, км	403	Т, °C	1	
τвиз, МИН	0	M груза, кг	10450	τвиз, МИН	0	
Влияние земли	0	ΔΣCхSгр, м²	0	Влияние земли	0	
		τАНЗ, МИН	20	θтр,град.	-10	
Mвзл в т. А, кг	49502.2			Mпол в т. В, кг	44140.3	

Mпустого, кг	29000
Mтопл ост, кг	3700
Mэкипажа, кг	500

Рис. 10. Параметры одноэтапной транспортной операции

Этапы транспортной операции						Затраты на операцию	
	Висение	Набор высоты	Горизонт. полет	Снижение	Висение		
N _{потр.} , кВт	13473.8	14245.4	13014.6	7086.5	11900.9		
τ, час	0.000	0.015	1.494	0.037	0.000		
ΔM _{топ.} , кг	0.0	56.3	5235.9	86.1	0.0	τ _{полета} , час	1.55
N _{дв. расп.} , кВт	14580.0	14530.5	12965.9	14531.0	14580.0	M _{топ.} , кг	5378.4
						M _{топ.АНЗ} , кг	820.4

Рис. 11. Результаты расчета одноэтапной транспортной операции

Таблица 7. Параметры вертолета, принятые при анализе типовых транспортных операций

Параметр	Обозначение	Значение
Максимальная взлетная масса вертолета, кг	$M_{взл}$	56 000
Окружная скорость, м/с	ω_R	221
Диаметр несущего винта, м	$D_{нв}$	32
Количество лопастей НВ	$K_{л}$	8
Относительный радиус начала рабочих сечений НВ	$\bar{r}_0$	0,15
Коэффициент заполнения НВ	σ_7	0,196
Количество двигателей на вертолете	$n_{дв}$	2
Взлетная мощность одного двигателя, кВт	$N_{взл}$	8100
Потери мощности в редукторах	ζ_N	0,064
Абсолютные потери мощности на привод агрегатов, кВт	ΔN	940
Высота крейсерского полета, м	$H_{кр}$	500
Удельный расход топлива при взлетной мощности, кг/(кВт · ч)	$C_{е\,взл}$	0,27

	Точка А	Маршрут АВ	Точка В	Маршрут ВС	Точка С
H, м	0	500	0	500	0
T, °C	1	210	1	210	1
τ _{вход} , мин	1,5	20000	3	20000	1,5
Влияние земли	0	0	0	0	0
	ΔΣCхS _{гр} , м ²	ΔΣCхS _{гр} , м ²	ΔΣCхS _{гр} , м ²	ΔΣCхS _{гр} , м ²	ΔΣCхS _{гр} , м ²
		θ _{тр} , град.	-5	30	-5
M _{взл в т. А} , кг	55834,1	M _{взл в т. В} , кг	52387,3	M _{пос в т. С} , кг	49103,7

Рис. 12. Характеристики двухэтапной транспортной операции

Этапы транспортной операции										
	Висение	Набор высоты	Горизонт. полет	Снижение	Висение	Висение	Набор высоты	Горизонт. полет	Снижение	Висение
N _{потр} , кВт	15406.5	14375.2	12286.4	9459.6	14313.3	14313.3	14294.1	11740.8	8788.1	13381.6
τ, час	0.025	0.022	0.852	0.073	0.050	0.050	0.018	0.829	0.075	0.025
ΔM _{топли} , кг	103.3	83.8	2847.5	214.6	197.6	197.6	68.9	2712.6	209.7	94.8
N _{дв взл} , кВт	16200.0	16229.7	16447.6	16142.5	16200.0	16200.0	16230.2	16480.2	16141.5	16200.0

Рис. 13. Этапы транспортной операции

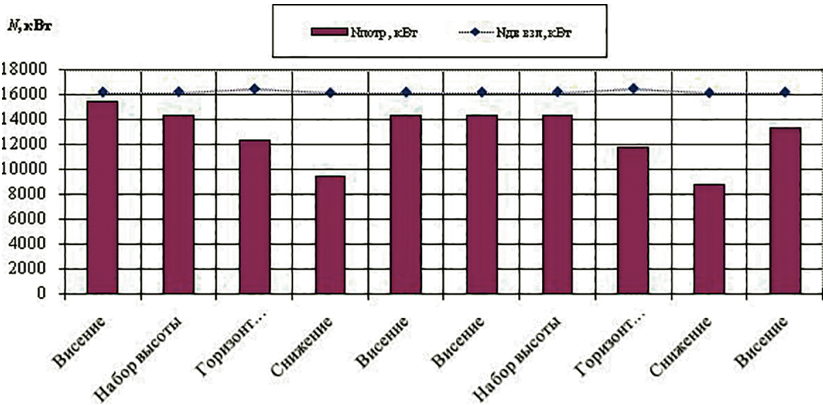


Рис. 14. Потребная мощность для различных этапов транспортной операции

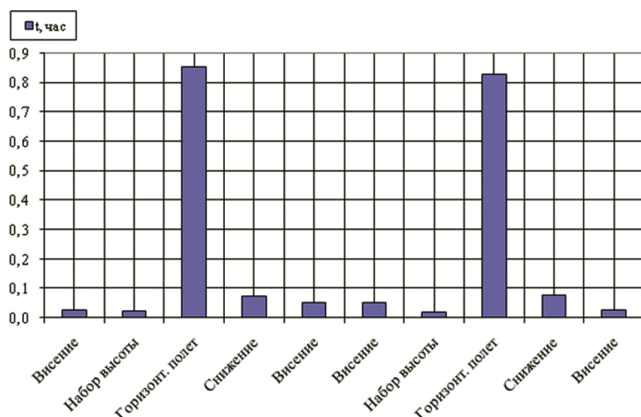


Рис. 15. Время выполнения этапов транспортной операции

В частности, лобовое сопротивление вертолета S-64, как наиболее близкого по конфигурации к проектируемой модификации вертолета Ми-26Т2, равно $C_x S_{S-64} = 9,6 \text{ м}^2$ при массе $M_{S-64} = 18\,100 \text{ кг}$. Лобовое сопротивление шарнирной втулки несущего винта вертолета S-64 по формуле И.А. Серова составит

$$C_x S_{\text{вт} S-64} = 0,01135 M_{S-64}^{0,5} = 0,01135 \cdot 18100^{0,5} = 1,53 \text{ м}^2.$$

Вычислим лобовое сопротивление фюзеляжа как разность лобового сопротивления вертолета S-64 и втулки его несущего винта:

$$C_x S_{\text{ф} S-64} = C_x S_{S-64} - C_x S_{\text{вт} S-64} = 9,6 - 1,53 = 8,07 \text{ м}^2.$$

Из таблицы, приведенной в статье [15], выберем вертолет СН-47С, близкий по взлетной массе к S-64, но с фюзеляжем удобообтекаемой формы ($C_x S_{\text{СН-47С}} = 4,7 \text{ м}^2$, $M_{\text{СН-47С}} = 22500 \text{ кг}$). Найдем лобовое сопротивление втулки в обтекателе несущего винта вертолета СН-47С по формуле И.А. Серова:

$$C_x S_{\text{вт} \text{СН-47С}} = 0,01409 M_{\text{СН-47С}}^{0,3547} = 0,01409 \cdot 22500^{0,3547} = 0,49 \text{ м}^2.$$

Вычислим лобовое сопротивление фюзеляжа СН-47С как разность его полного лобового сопротивления и сопротивления втулки его несущего винта:

$$C_x S_{\text{ф} \text{СН-47С}} = C_x S_{\text{СН-47С}} - C_x S_{\text{вт} \text{СН-47С}} = 4,7 - 0,49 = 4,21 \text{ м}^2.$$

Определим коэффициент увеличения лобового сопротивления фюзеляжа вертолета S-64 относительно фюзеляжа вертолета СН-47С:

$$k = \frac{C_x S_{\text{ф} S-64}}{C_x S_{\text{ф} \text{СН-47С}}} = \frac{8,07}{4,21} = 1,92.$$

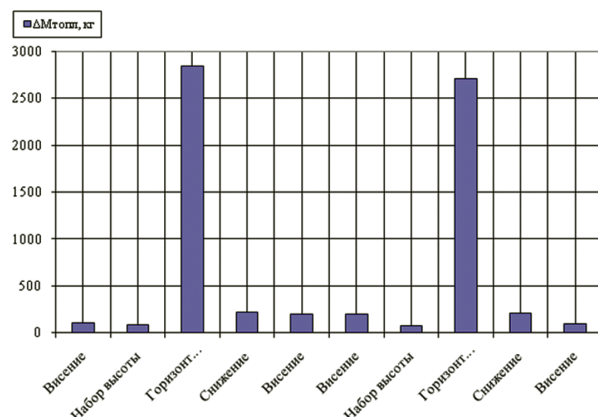


Рис. 16. Массы топлива, израсходованного на различных этапах транспортной операции

Найдем лобовое сопротивление втулки шарнирного несущего винта вертолета Ми-26Т2 по формуле И.А. Серова:

$$C_x S_{\text{вт} \text{Ми-26Т2}} = 0,01135 M_{\text{Ми-26Т2}}^{0,5} = 0,01135 \cdot 56000^{0,5} = 2,69 \text{ м}^2.$$

Вычислим лобовое сопротивление фюзеляжа как разность лобового сопротивления вертолета Ми-26Т2 и втулки его несущего винта:

$$C_x S_{\text{ф} \text{Ми-26Т2}} = C_x S_{\text{Ми-26Т2}} - C_x S_{\text{вт} \text{Ми-26Т2}} = 8,03 - 2,69 = 5,34 \text{ м}^2.$$

Увеличим лобовое сопротивление фюзеляжа Ми-26Т2 на найденный коэффициент увеличения лобового сопротивления:

$$C_x S_{\text{ф} \text{проект. верт.}} = C_x S_{\text{ф} \text{Ми-26Т2}} \cdot k = 5,34 \cdot 1,92 = 10,25.$$

Найдем лобовое сопротивление проектируемого вертолета как сумму лобовых сопротивлений втулки несущего винта и фюзеляжа:

$$C_x S_{\text{проект. верт.}} = C_x S_{\text{ф} \text{проект. верт.}} + C_x S_{\text{вт} \text{Ми-26Т2}} = 10,25 + 2,69 = 12,9 \text{ м}^2.$$

Таким образом, результирующее лобовое сопротивление проектируемого вертолета составит $\Sigma C_x S_{\text{проект. верт.}} = 12,9 \text{ м}^2$.

В табл. 8 и на рис. 17 приведены результаты расчетов, из которых следует, что транспортировка средних крупногабаритных грузов может быть обеспечена в пределах 290 км, а тяжелых – в пределах 245 км при равной загрузке вертолета в обоих направлениях.

Выводы

1. Предложенная концепция транспортной модификации вертолета Ми-26Т2 для перевозки крупногабаритных грузов обеспечивает возможность транспортировки 8 типовых грузов в диапазоне масс от 7 100 до 19 000 кг на дальность до 600 км.

Таблица 8. Типовые транспортные операции по перевозке крупногабаритных грузов

Груз	Масса груза, кг	$\Sigma C \times S$ вертолета, м ²	Масса топлива $M_{топл}$, кг	Радиус операции $R_{оп}$, км	Причина ограничения
САУ «Вена»	19 000	12,9	9 734	245	Максимальный взлетный вес
САУ «Лотос»	18 000	12,9	9 818	255	Максимальный взлетный вес
БТР-82А	16 000	12,9	9 840	260	Недостаточно топлива
Тайфун ВДВ	15 000	12,9	9 840	265	Недостаточно топлива
Уран-14	14 000	12,9	9 840	270	Недостаточно топлива
Buran	10 000	12,9	9 840	280	Недостаточно топлива
2С9 НОНА	8 760	12,9	9 840	285	Недостаточно топлива
«Тигр 6А»	7 100	12,9	9 840	290	Недостаточно топлива

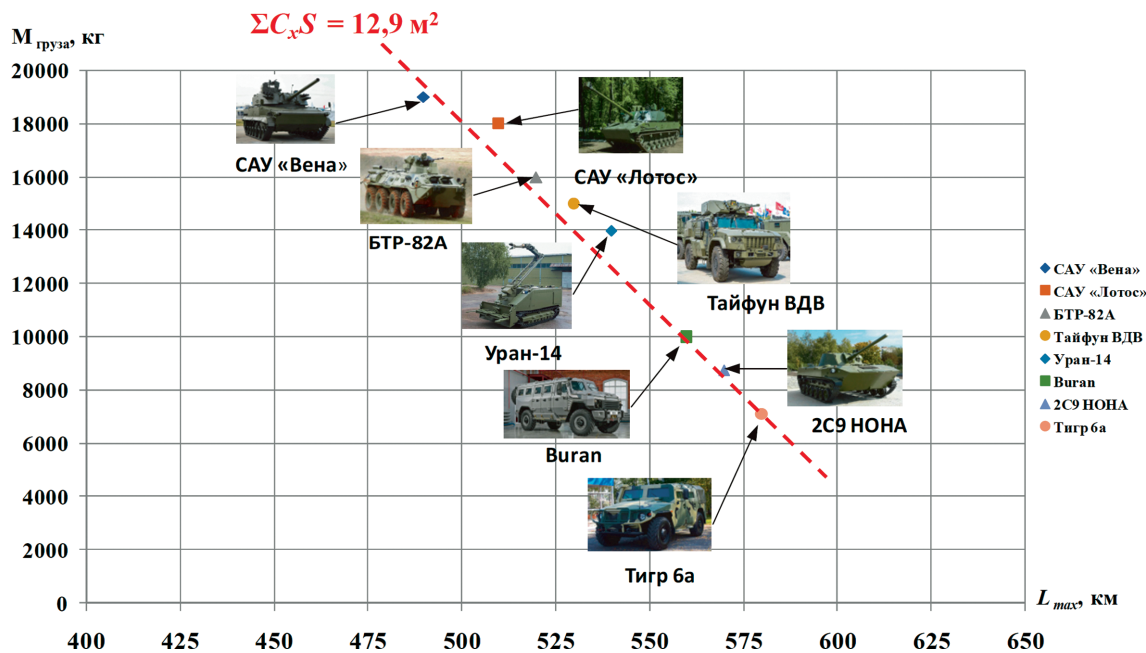


Рис. 17. Диаграмма «Груз – дальность» модификации вертолета Ми-26Т2

2. Для перевозки грузов больших габаритов предусмотрена возможность их транспортировки на внешней подвеске вертолета.
3. Для увеличения дальности полета, когда количества топлива в внутрифюзеляжных баках недостаточно и взлетная масса вертолета не превосходит значения $M_{\text{взл}} = 56000 \text{ кг}$, предусмотрена возможность установки дополнительных топливных баков вне корпуса вертолета.

Список источников

1. Мураховский В. «Бумеранг» крупного калибра. Зачем российской армии колесные танки. 2021. URL: <https://ria.ru/20180307/1515884030.html>

2. Рябов К. Проект основного танка ×M1202 MCS. Неудавшийся результат провальной программы. 2022. URL: <https://topwar.ru/197417-proekt-osnovnogo-tank-a-×m1202-mcs-neudavshijsja-rezultat-provalnoj-programmy.html>

3. Кузнецов А. Батальонные тактические группы в Специальной операции. 2022. URL: <https://topwar.ru/194054-ukraina-batalonnye-takticheskie-gruppy.html>

4. Ставер А., Скоморохов Р. Бригадное шило на дивизионное мыло? 2019. URL: <https://topwar.ru/155801-brigadnoe-shilo-na-divizionnoe-mylo.html?ysclid=lrhpm6tb2v369515829>

5. Управление сухопутной армией: основы. Бригадная доктрина: какую роль бригады и тактические группы играли в лучших армиях мира? 2019. URL: https://dzen.ru/a/×J5au_pbFgCzWmyO

6. Вооружение и военная техника. 2025. URL: <https://×n-blagacl3aeas4a.×n--plai/armaments/>

7. Руководство по летной эксплуатации вертолета Ми-26Т. М.: РОСТВЕРТОЛ, 2000. Книга 1. 61 с.

8. Ми-26Т Руководство по технической эксплуатации. М.: РОСТВЕРТОЛ, 2000. 906 с.

9. Завалов О.А., Скулков Д.Д. Проектирование вертолета. Методические указания к курсовой работе. М.: Изд-во МАИ, 1990. 28 с.
10. Артамонов Б.Л., Журавлев В.Н., Шайдаков В.И. Выбор параметров вертолета, выполняющего двухэтапную транспортную операцию // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2018. № 1. С. 29–43.
11. Лосев Л.И., Рябков В.И. Выбор параметров соосного вертолета по критерию минимума взлетной массы: Учебное пособие. Харьков: Изд-во ХАИ, 1999. 101 с.
12. Тищенко М.Н., Некрасов А.В., Радин А.С. Вертолеты. М.: Машиностроение, 1976. С. 41–362.
13. Тищенко М.Н. Выбор параметров вертолета на начальной стадии проектирования: Учебное пособие. М.: Изд-во МАИ, 2011. 106 с.
14. Артамонов Б.Л. Методика формирования облика вертолета, выполняющего заданную транспортную операцию // Международный аэрокосмический конгресс по аэронавтике (4–5 декабря 2023; Москва, Россия): Сборник тезисов. М.: Издательский отдел ЦАГИ, 2024. С. 820–826.
15. Серов И.А. Некоторые связи аэродинамических и транспортных характеристик вертолетов // Труды ЦАГИ. Вып. 2159. М.: Издательский отдел ЦАГИ, 1982. 19 с.
16. Тарасов А.Л., Прозоров М.А. Оценка взлетной массы боевого вертолета с заданными летно-техническими характеристиками на основе уравнения существования // Научный вестник МГТУ ГА. 2024. Т. 27. № 5. С. 90–102. DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-5-90-102
17. Рябков К. Вертолет Ми-26Т2В дошел до серии и боевого применения. 2023. URL: <https://topwar.ru/229813-vertolet-mi-26t2v-doshel-do-serii-i-boevogo-primeneniya.html?ysclid=m62e5crgw609782131>
18. Мухеев В.Р. Московский вертолетный завод имени М.Л. Миля. 2-е изд., испр. и доп. М.: ИИГ «Полигон-Пресс», 2007. 319 с.
19. Sikorsky S-64 Skycrane. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sikorsky_S-64_Skycrane
20. Артамонов Б.Л., Заграничнов А.С., Лисовинов А.В. Тяжелый вертолет для арктической транспортной системы // Вестник Московского авиационного института. 2021. Т. 28. № 2. С. 52–66. DOI: 10.34759/vst-2021-2-52-68

References

1. Murakhovskii V. *Large-caliber “Boomerang”. Why does the Russian army need wheeled tanks?* 2021. (In Russ.). URL: <https://ria.ru/20180307/1515884030.html>
2. Ryabov K. *The ×M1202 MCS main battle tank project. A failed result of a failed program.* 2022. (In Russ.). URL: <https://topwar.ru/197417-proekt-osnovnogo-tank-a-×m1202-mcs-neudavshijsja-rezultat-provalnoj-programmy.html>
3. Kuznetsov A. *Battalion Tactical Groups in Special Operation.* 2022. (In Russ.). URL: <https://topwar.ru/194054-ukraina-batalonnye-takticheskie-gruppy.html>
4. Staver A, Skomorokhov R. *A brigade awl for a divisional soap?* 2019. (In Russ.). URL: <https://topwar.ru/155801-brigadnoe-shilo-na-divizionnoe-mylo.html?ysclid=lrhpm6tb2v369515829>
5. *Army Command: The Basics. Brigade Doctrine: What Role Did Brigades and Tactical Groups Play in the World's Best Armies?* 2019. (In Russ.). URL: <https://dzen.ru/a/×J5aupbFgCzWmyO>
6. *Weapons and military equipment.* 2025. (In Russ.). URL: <https://×n--blagac3aeas4a.×n--plai/armaments/>
7. *Manual for flight operation of the Mi-26T helicopter.* Moscow: ROSTVERTOL; 2000. Book 1. 61 p. (In Russ.).
8. *Mi-26T Technical operation Manual.* Moscow: ROSTVERTOL; 2000. 906 p. (In Russ.).
9. Zavalov OA, Skullov DD. *Helicopter design. Methodical instructions for term paper.* Moscow: MAI; 1990. 28 p. (In Russ.).
10. Artamonov BL, Zhuravlev VN, Shaidakov VI. On the selection of parameters of a helicopter performing a two-story transport operation. *Polet. Obshcherossiiskii nauchno-tekhnicheskii zhurnal.* 2018(1):29–43. (In Russ.).
11. Losev LI, Ryabkov VI. *Selection of helicopter parameters based on the criterion of minimum takeoff weight.* Kharkov: KhAI; 1999. 101 p. (In Russ.).
12. Tishchenko MN, Nekrasov AV, Radin AS. *Helicopters.* Moscow: Mashinostroenie; 1976, pp. 41–362. (In Russ.).
13. Tishchenko MN. *Selection of helicopter parameters at the initial design stage.* Moscow: MAI; 2011. 106 p. (In Russ.).
14. Artamonov B. The technique of forming the appearance of a helicopter performing a given transport operation. In: *Abstracts of International Aeronautics Congress (December 04–05, 2023; Moscow).* Moscow: TsAGI; 2024, pp. 820–826. (In Russ.).
15. Serov IA. Some connections between aerodynamic and transport characteristics of a helicopter. *Trudy TsAGI.* Issue 2159. Moscow: TsAGI; 1982 p. (In Russ.).
16. Tarasov AL, Prozorov MA. Estimation of the take-off weight of a combat helicopter with specified performance on the basis of the existence equation. *Civil Aviation High Technologies.* 2024;27(5):90–102. (In Russ.). DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-5-90-102
17. Ryabov K. *The Mi-26T2V helicopter has reached serial production and combat use.* 2023. (In Russ.). URL: <https://topwar.ru/229813-vertolet-mi-26t2v-doshel-do-serii-i-boevogo-primeneniya.html?ysclid=m62e5crgw609782131>

18. Mikheev VR. *Moscow Helicopter Plant named after ML. Mil.* 2nd ed. Moscow: Polygon Press; 2007. 319 p. (In Russ.).
19. *Sikorsky S-64 Skycrane*. (In Russ.). URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sikorsky_S-64_Skycrane
20. Artamonov BL, Zagranichnov AS, Lisovinov AV. Heavy helicopter for arctic transport system. *Aerospace MAI Journal*. 2021;28(2):52-66. (In Russ.). DOI: 10.34759/vst-2021-2-52-68

Статья поступила в редакцию / Received 21.01.2025
Одобрена после рецензирования / Revised 11.03.2025
Принята к публикации / Accepted 15.03.2025