



УДК 623.746.5+629.735.45

А. Н. ДЕРГАЧЕВ, аспирант кафедры инженерной графики

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЗМОЖНОСТИ ПОГРУЗКИ ТЕХНИКИ В ГРУЗОВЫЕ КАБИНЫ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Россия, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; эл. почта: banderos1225@mail.ru

Ключевые слова: транспортабельность, самолет, вертолет, погрузка, метод, расчет, проектирование.

Предложен расчетный метод предварительной оценки возможности погрузки различных видов техники в транспортные кабины самолетов и вертолетов.

Обеспечение транспортабельности отдельных видов техники воздушным транспортом требует реализации конструкторских решений, позволяющих с минимальной трудоемкостью подготовить технику к транспортированию, обеспечить ее погрузку и швартовку в грузовой кабине транспортного самолета или вертолета. При этом на начальных стадиях проектирования в большинстве случаев не представляется возможным определить номенклатуру агрегатов, требующих внедрения данных решений (исключения необходимости нанесения герметика, установка быстросъемных соединений и т. д.), а также разработки тары и ложементов под демонтируемые агрегаты.

При проектировании транспортных самолетов и вертолетов, с одной стороны, требуется обеспечение транспортировки грузов (в том числе техники) заданных массогабаритных характеристик, с другой стороны – обеспечение транспортабельности отдельных видов техники заданными типами транспортных самолетов и вертолетов. Соответствие габаритных характеристик грузовой кабины транспортного самолета или вертолета и габаритных характеристик подготовленной к транспортированию техники еще не гарантирует возможность ее погрузки. На возможность погрузки груза особенное влияние оказывают параметры грузовой ramпы, характеристики погрузочных тельферов и т. д. Таким образом, разработка универсальной методики, позволяющей подтвердить возможность погрузки техники различной конфигурации расчетным методом является актуальной задачей.

В рамках разрабатываемого метода определена взаимосвязь между параметрами грузовой кабины и транспортируемого груза.

Основные параметры грузовой кабины самолета и ramпы представлены на рис. 1.

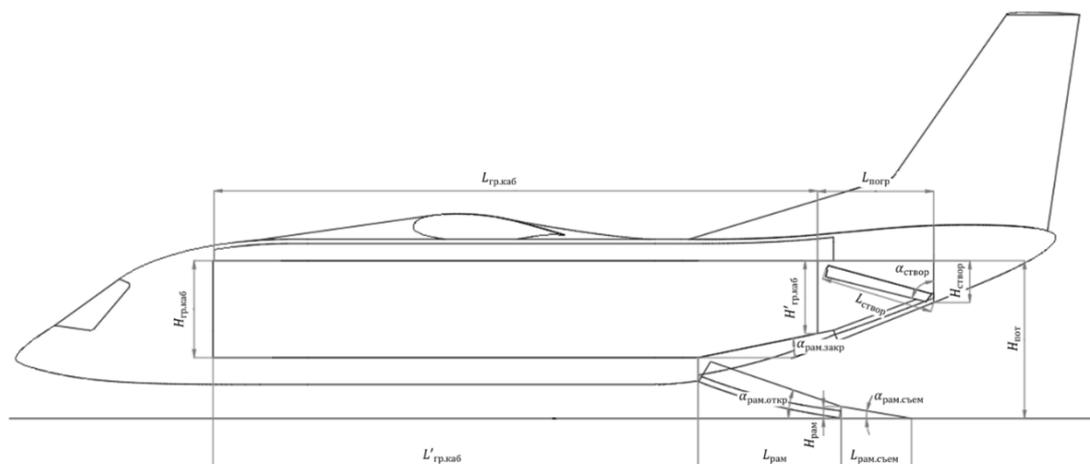


Рис. 1. Основные параметры грузовой кабины (вид сбоку): $H_{гр.каб}$ – высота грузовой кабины, мм; $H'_{гр.каб}$ – высота грузовой кабины над рампой в закрытом положении, мм; $H_{пот}$ – высота потолка грузовой кабины над уровнем земли, мм; $H_{створ}$ – высота элемента конструкции планера, ограничивающий проем грузовой кабины, мм; $H_{рам}$ – высота края рампы в открытом положении над уровнем земли, мм; $L_{гр.каб}$ – общая длина грузовой кабины, мм; $L'_{гр.каб}$ – длина грузовой кабины без учета рампы, мм; $L_{рам}$ – проекция рампы в открытом положении на ось OX , мм; $L_{рам.съем}$ – проекция съёмной части рампы в открытом положении на ось OX , мм; $L_{створ}$ – длина створки, мм; $L_{погр}$ – длина участка между границей грузовой кабины и элементом конструкции планера, ограничивающего проем грузовой кабины, мм; $\alpha_{рам.откр}$ – угол наклона рампы в открытом положении, градус; $\alpha_{рам.закр}$ – угол наклона рампы в закрытом положении, градус; $\alpha_{створ}$ – угол установки створки в открытом положении, градус; $\alpha_{рам.съем}$ – угол наклона съёмной части рампы, градус

Для определения допустимых габаритных характеристик груза в данной методике используем метод контрольных точек, т. е. точек, координаты которых на начальном этапе проектирования нам известны численно или параметрически. В проводимых расчетах принята система координат, в которой ось OX имеет начало в начале зоны допустимого размещения груза в грузовой кабине транспортного самолета (вертолета), совпадает с осью симметрии самолета (вертолета), направлена против полета; ось OY направлена вертикально вверх, ось OZ направлена в сторону левого борта самолета (вертолета).

Введем основные контрольные точки, размещение которых представлено на рис. 2, а их координаты – в табл. 1.

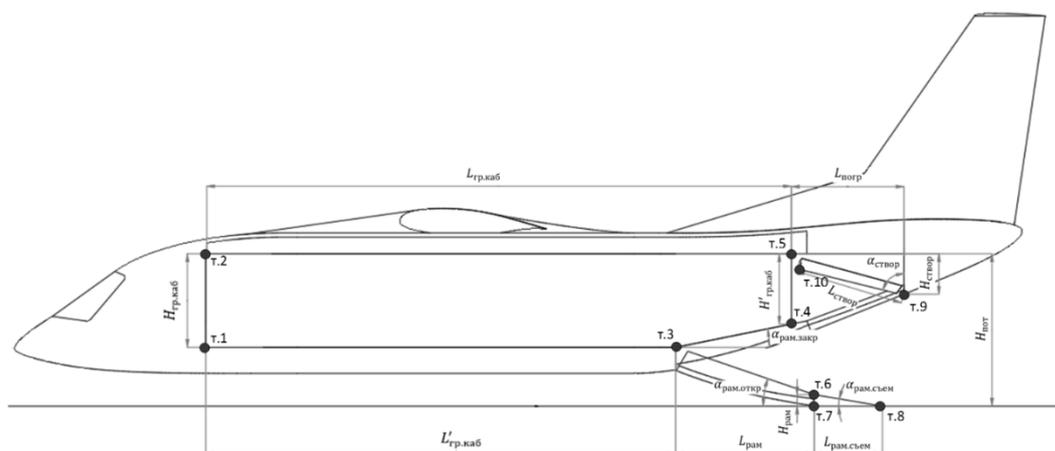


Рис. 2. Размещение контрольных точек в плоскости OXY

Таблица 1

Координаты контрольных точек

Контрольная точка	Координата по оси OX	Координата по оси OY
т. 1	0	0
т. 2	0	$H_{гр. каб}$
т. 3	$L'_{гр. каб}$	0
т. 4	$L_{гр. каб}$	$H_{гр.каб} - H'_{гр.каб}$
т. 5	$L_{гр. каб}$	$H_{гр.каб}$
т. 6	$L'_{гр. каб} + L_{рам}$	$H_{гр. каб} - H_{пот} + H_{рам}$
т. 7	$L'_{гр. каб} + L_{рам}$	$H_{гр. каб} - H_{пот}$
т. 8	$L'_{гр. каб} + L_{рам} + L_{рам.съем}$	$H_{гр. каб} - H_{пот}$
т. 9	$L_{гр.каб} + L_{погр}$	$H_{гр. каб} - H_{створ}$
т. 10	$L_{гр. каб} + L_{погр} - L_{створ} \cos(90 - \alpha_{створ})$	$H_{гр. каб} - H_{створ} + L_{створ} \sin(90 - \alpha_{створ})$

Стоит обратить особое внимание на условие существования контрольных точек «т. 8» – «т. 10». Контрольная точка «т. 8» существует, если при погрузке используется съемная часть грузовой ramпы. Контрольная точка «т. 9» существует в случае, если створка закрытия грузовой кабины (в данном случае контрольная точка «т. 10» тоже существует) и часть конструкции фюзеляжа или установленного оборудования находятся ниже уровня потолочной части грузовой кабины.

При проведении расчетов принимаем следующие допущения:

- пол транспортной кабины самолета (вертолета) располагается параллельно земле;
- при расчете учитываются только габаритные характеристики груза;
- масса груза, расположение центра тяжести, наличие сил трения и т. д. не рассматриваются;
- предполагается, что любой из рассматриваемых расчетных случаев технически реализуем (при помощи лебедок, погрузчиков, подъемом грузовой ramпы и т. д.).

Представим груз в виде прямоугольника, высота и длина которого описывают максимальные габаритные характеристики груза, параметры которого представлены на рис. 3.

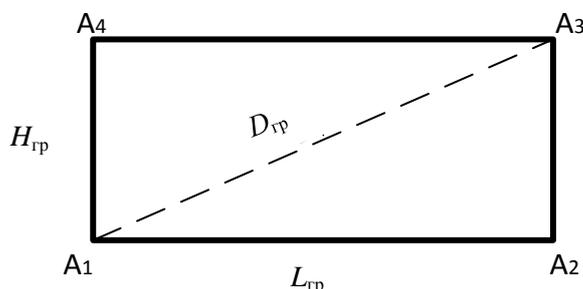


Рис. 3. Параметры прямоугольного груза: $L_{гр}$ – длина груза, мм; $H_{гр}$ – высота груза, мм; $D_{гр}$ – диагональ груза, мм; A_1, \dots, A_4 – обозначение угловых точек прямоугольного груза

Разместим груз так, чтобы угловая точка груза « A_1 » совпала с контрольной точкой «т. 3», а угловая точка груза « A_2 » – с контрольной точкой «т. 8», находящейся на уровне земли. Данное положение груза примем как начальное, а при повороте груза относительно контрольной точки «т. 3» до достижения груза горизонтального положения – как конечное положение. Начальное положение груза (сплошной линией) и конечное положение груза (пунктирной линией) представлены на рис. 4.

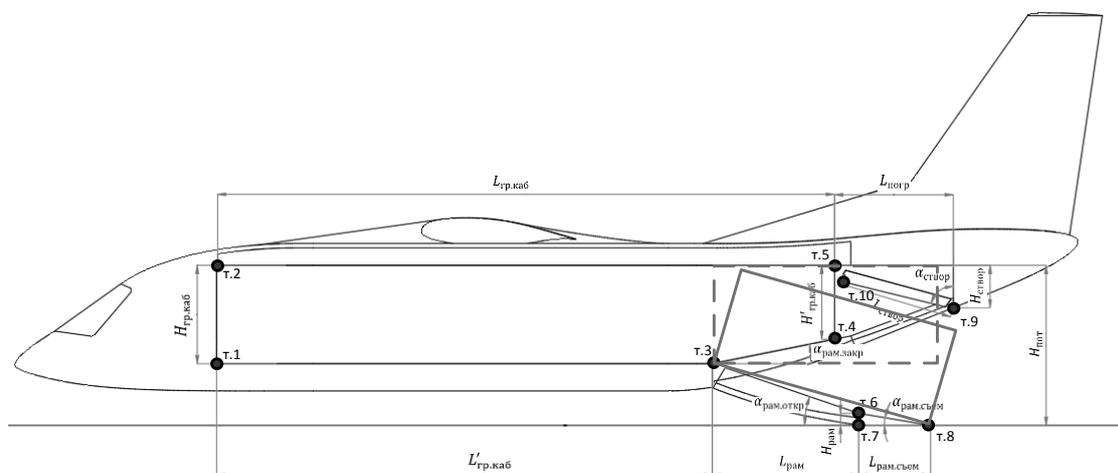


Рис. 4. Начальное и конечное положение груза

Примем высоту груза $H_{гр}$ равной высоте транспортной кабины $H_{гр. каб}$. Длина груза $L_{гр}$ и угол его наклона $\alpha_{гр}$ в заданном положении рассчитывается по формуле:

$$L_{гр} = \sqrt{(H_{пот} - H_{гр. каб})^2 + (L_{рам} + L_{рам. съем})^2}, \quad (1)$$

$$\alpha_{гр} = \arccos\left(\frac{\sqrt{(H_{пот} - H_{гр. каб})^2 + (L_{рам} + L_{рам. съем})^2}}{L_{рам} + L_{рам. съем}}\right). \quad (2)$$



Для удобства проведения дальнейших расчетов вычислим диагональ груза $D_{гр}$ и угол ее наклона α_D :

$$D_{гр} = \sqrt{H_{гр}^2 + L_{гр}^2}, \quad (3)$$

$$\alpha_D = \left(90 - \arctg \frac{L_{гр}}{H_{гр}}\right). \quad (4)$$

Учитывая координаты контрольных точек (табл. 1) и принятых размеров груза, получим координаты угловых точек груза «А₁» ... «А₄» в начальном (нач.) и конечном (кон.) положении (табл. 2).

Таблица 2

Координаты углов груза в начальном и конечном положениях

Точка груза	Координата по оси OX	Координата по оси OY
А ₁ (нач.)	$L'_{гр. каб}$	0
А ₁ (кон.)	$L'_{гр. каб}$	0
А ₂ (нач.)	$L'_{гр. каб} + L_{гр} \cdot \cos \alpha_{гр}$	$H_{гр. каб} - H_{пот}$
А ₂ (кон.)	$L'_{гр. каб} + L_{гр}$	0
А ₃ (нач.)	$L'_{гр. каб} + L_{гр} \cdot \cos \alpha_{гр} + H_{гр} \cdot \sin \alpha_{гр}$	$H_{гр. каб} - H_{пот} + H_{гр} \cdot \cos \alpha_{гр}$
А ₃ (кон.)	$L'_{гр. каб} + L_{гр}$	$H_{гр}$
А ₄ (нач.)	$L'_{гр. каб} + H_{гр} \cdot \sin \alpha_{гр}$	$H_{гр} \cdot \cos \alpha_{гр}$
А ₄ (кон.)	$L'_{гр. каб}$	$H_{гр}$

С учетом условий существования контрольных точек «т. 9», «т. 10» появляются следующие особенности:

1. При отсутствии контрольных точек «т. 9», «т. 10» обеспечивается горизонтальная загрузка (например, с автомобильной платформы). Допустимая длина груза ограничивается длиной грузовой кабины с учетом ramпы в закрытом положении. При загрузке «с земли» допустимая длина груза требует учета центра масс груза и нагрузочной способности ramпы (если зашвартованный груз устанавливать в горизонтальное положение за счет подъема ramпы в горизонтальное положение).

2. При наличии контрольной точки «т. 9» и отсутствии «т. 10» критичным значением диагонали груза $D_{гр}$ будет таким, при котором в процессе поворота груза координаты угла «А₃» совпадут с координатами контрольной точки «т. 9».

3. При наличии контрольных точек «т. 9», «т. 10» требуется периодический подъем и смещение груза вперед. Изменение координат угловых точек груза «А₁» ... «А₄» представлено в табл. 3, где $L_{оп}$ – участок основания груза от угловой точки груза «А₁» до «т. 3» в процессе загрузки;

$$L_{оп} = H_{гр. каб} - H_{створ} + L_{створ} \cdot \sin(90 - \alpha_{створ}) - D_{гр} \cdot \sin(\alpha_D - \alpha_{гр} - \alpha_{пов1}). \quad (5)$$



Таблица 3

Координаты углов груза в процессе погрузки

Этап погрузки	Точка груза	Ось координат	Координата	Примечание
1	A ₁	OX	$L'_{гр. каб}$	Начальное положение груза
		OY	0	
	A ₂	OX	$L'_{гр. каб} + L_{гр} \cdot \cos\alpha_{гр}$	
		OY	$H_{гр. каб} - H_{пот}$	
	A ₃	OX	$L'_{гр. каб} + L_{гр} \cdot \cos\alpha_{гр} + H_{гр} \cdot \sin\alpha_{гр}$	
		OY	$H_{гр. каб} - H_{пот} + H_{гр} \cdot \cos\alpha_{гр}$	
	A ₄	OX	$L'_{гр. каб} + H_{гр} \cdot \sin\alpha_{гр}$	
		OY	$H_{гр} \cdot \cos\alpha_{гр}$	
2	A ₁	OX	$L'_{гр. каб}$	«A ₃ » совпадает с «т. 9», $0 \leq \alpha_{пов1} \leq \alpha_{гр}$
		OY	0	
	A ₂	OX	$L'_{гр. каб} + L_{гр} \cdot \cos(\alpha_{гр} - \alpha_{пов1})$	
		OY	$0 - L_{гр} \cdot \sin(\alpha_{гр} - \alpha_{пов1})$	
	A ₃	OX	$L_{гр. каб} + L_{погр}$	
		OY	$H_{гр. каб} - H_{створ}$	
	A ₄	OX	$L'_{гр. каб} + H_{гр} \cdot \sin(\alpha_{гр} - \alpha_{пов1})$	
		OY	$H_{гр} \cdot \cos(\alpha_{гр} - \alpha_{пов1})$	
3	A ₁	OX	$L_{оп} \cdot \cos(\alpha_{гр} - \alpha_{пов1})$	«A ₃ » совпадает с «т. 10».
		OY	$L_{оп} \cdot \sin(\alpha_{гр} - \alpha_{пов1})$	
	A ₂	OX	$(L_{гр} - L_{оп}) \cdot \cos(\alpha_{гр} - \alpha_{пов1})$	
		OY	$0 - (L_{гр} - L_{оп}) \cdot \sin(\alpha_{гр} - \alpha_{пов1})$	
	A ₃	OX	$L_{гр. каб} + L_{погр} - L_{створ} \cdot \cos(90 - \alpha_{створ})$	
		OY	$H_{гр. каб} - H_{створ} + L_{створ} \cdot \sin(90 - \alpha_{створ})$	
	A ₄	OX	$L_{гр. каб} + L_{погр} - L_{створ} \cdot \cos(90 - \alpha_{створ}) + H_{гр} \cdot \sin(\alpha_{гр} - \alpha_{пов1})$	
		OY	$H_{гр} \cdot \cos(\alpha_{гр} - \alpha_{пов1})$	
4	A ₁	OX	$L'_{гр. каб} - L_{оп}$	Груз в горизонтальном положении после поворота груза относительно «т. 3»
		OY	0	
	A ₂	OX	$L'_{гр. каб} + L_{гр} - L_{оп}$	
		OY	0	
	A ₃	OX	$L'_{гр. каб} + L_{гр} - L_{оп}$	
		OY	$H_{гр}$	
	A ₄	OX	$L'_{гр. каб} - L_{оп}$	
		OY	$H_{гр}$	

При расчете координат вводятся $\alpha_{пов.i}$ – угол поворота груза, где i – номер операции с поворотом груза и смещение угловой точки груза «A₁» на величину Δ_j по оси OX, где j – номер операции со смещением груза.



После установки груза в горизонтальное положение груз загружается в соответствии со схемой размещения груза.

Транспортируемая в грузовых самолетах колесная техника имеет более сложную конфигурацию. Увеличивая количество точек « A_i » (где i – порядковый номер точки « A ») и выражая математически взаимное расположение точек относительно выбранной, аналогичным методом проводим расчет. Пример упрощенной формы колесной техники представлен на рис. 5.

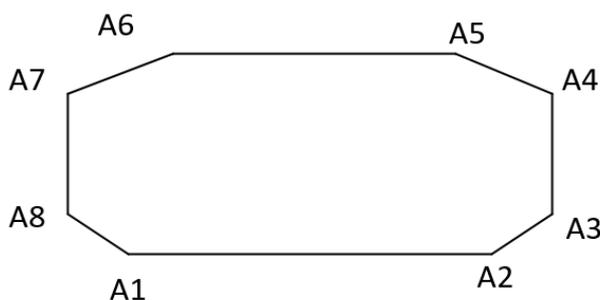


Рис. 5. Упрощенное представление колесной техники: $A_1 \dots A_8$ – угловые точки техники

В процессе выполнения расчетным методом оценки возможности размещения и погрузки колесной техники или частично разобранных вертолетов в грузовые кабины транспортных самолетов и вертолетов имеются случаи, требующие более точного расчета. В данном случае геометрические характеристики транспортируемой техники можно представить согласно рис. 6.

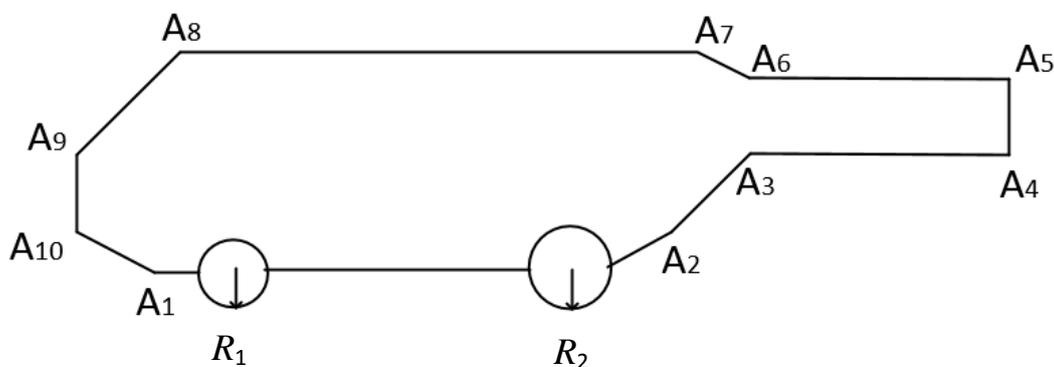


Рис. 6. Детализированное представление транспортируемой техники. $A_1 \dots A_{10}$ – угловые точки техники, R_1 и R_2 – радиусы колес

В данном случае, при расчете взаимного расположения точек « A_i », требуется учитывать радиус колес шасси, относительно оси которых в процессе погрузки требуется поочередный поворот техники (аналогично переходу из этапа погрузки «3» в этап погрузки «4» табл. 3).

После проработки возможности погрузки груза (техники) в плоскости OXY необходимо учесть габаритные характеристики в плоскости OYZ . В первую очередь основные ограничения геометрических характеристик груза в поперечной плоскости определяются грузоподъемными устройствами (например,

электротельферами). Возможные конфигурации грузовой кабины поперечной плоскости представлены на рис. 7.

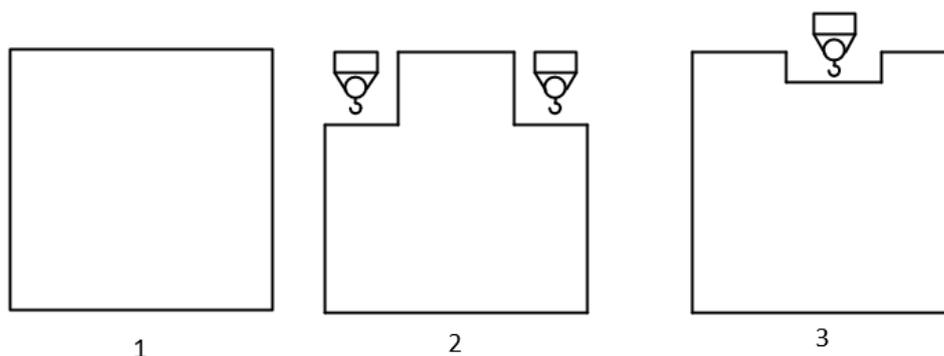


Рис. 7. Возможные конфигурации грузовой кабины в поперечной плоскости: 1 – в грузовой кабине электротельферы не предусмотрены; 2 – электротельферы установлены побортно; 3 – электротельфер установлен по оси симметрии фюзеляжа

Разделение горизонтально расположенного груза на условные участки в горизонтальной плоскости OXZ с учетом полученных ограничений габаритных характеристик груза в плоскостях OXY и OYZ получим наиболее точное математическое описание допустимых параметров транспортируемого груза. Кроме того, данная методика подходит для решения обратных задач – определения параметров грузовой кабины и рампы транспортного самолета или вертолета с учетом конструктивных ограничений, а также применяемых средств погрузки.

Стоит обратить отдельное внимание, что в методике, описанной выше, одним из условий принималось совпадение координат точек, принадлежащих грузу, и точек, принадлежащих элементам конструкции транспортного самолета (вертолета). В процессе проведения расчетов при необходимости учитываются требуемые проходные и стояночные зазоры в продольной, поперечной и вертикальной плоскостях, что требует уточнения координат контрольных точек путем вычитания или прибавления зазоров между полом грузовой кабины (рампой) и грузом Δ_n при погрузке электротельферами, поперечных зазоров $\Delta_{бок}$, между грузом и потолочной частью грузовой кабины (створки рампы) Δ_b , а также продольным зазором между штатно размещенным грузом в грузовой кабине и передней стенкой грузовой кабины (створкой в хвостовой части).

Заключение

1. Сформирована методика определения допустимых габаритных характеристик грузов простой и сложной конфигураций при оценке возможности погрузки и размещения техники в грузовой кабине транспортных самолетов и вертолетов.

2. Определена параметрическая зависимость геометрических характеристик грузовой кабины самолета (вертолета) и транспортируемого груза.

3. Данная методика позволяет сформировать требования к минимальным габаритным характеристикам грузовой кабины транспортного самолета (вертолета) с учетом конструктивных особенностей.

4. Дальнейшим направлением исследований по данной теме может быть уточнение методики с учетом характеристик применяемого грузового



оборудования (электролебедки, электротельферы и т. д.), а также учета влияния центра тяжести транспортируемого груза, моментно-инерциальных сил и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куприков, Н. М. Структурно-параметрический анализ влияния моментно-инерциального фактора на облик самолета арктического базирования : специальность 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Куприков Никита Михайлович. – Москва, 2015. – 22 с. – Текст : непосредственный.

2. Демидова, Н. Е. Математика. Основы тригонометрии : учебное пособие для иностранных граждан / Н. Е. Демидова ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2011. – 92 с. – Текст : непосредственный.

3. Гельфанд, И. М. Тригонометрия / И. М. Гельфанд, С. М. Львовский, А. Л. Тоом. – Москва : МЦНМО, 2002. – 199 с. – ISBN 5-94057-050-X. – Текст : непосредственный.

DERGACHEV Anton Nikolaevich, postgraduate student of the chair of engineering graphics

GEOMETRIC CALCULATION OF THE POSSIBILITY OF LOADING EQUIPMENT INTO CARGO CABINS OF AIRPLANES AND HELICOPTERS

Moscow Aviation Institute (National Research University)

4, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 125993, Russia; e-mail: banderos1225@mail.ru

Key words: transportability, airplane, helicopter, loading, method, calculation, designing.

The article proposes a computational method for preliminary assessment of the possibility of loading various types of equipment into the transport cabins of airplanes and helicopters.

REFERENCES

1. Kuprikov N. M. Strukturno-parametricheskii analiz vliyaniya momentno-inertsialnogo faktora na oblik samolyota arkticheskogo bazirovaniya [Structural and parametric analysis of the influence of the moment-inertial factor on the appearance of the Arctic-based aircraft]: spetsialnost 05.07.02 «Proektirovanie, konstruktsiya i proizvodstvo letatelnykh apparatov» : avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. – Moscow, 2015. – 22 p.

2. Demidova N. E. Matematika. Osnovy trigonometrii [Mathematics. The fundamentals of trigonometry] : uchebnoe posobie dlya inostrannykh grazhdan. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2011. – 92 p.

3. Gelfand I. M., Lvovsky S. M., Toom A. L. Trigonometriya [Trigonometry]. Moscow: MTsNMO, 2002. – 199 p. – ISBN 5-94057-050-X.

© А. Н. Дергачев, 2024

Получено: 07.12.2023 г.