

ОЦЕНКА СПОСОБА УДЕРЖАНИЯ ДЛИННОВЫДВИЖНОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ В ЗАДАННОМ ПОЛОЖЕНИИ

А.Н. Маркин, Фам Зуй Кьен

(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

Методом проектно-параметрического анализа оценивается возможность изменения величины вектора тяги как способа компенсации отклонения системы от ее статического положения. Определяется область проведения дальнейших исследований.

проектно-параметрический анализ, вектор тяги, длинновыдвижные тросовые системы

В ряде работ, например [1], представлено обоснование целесообразности и практической возможности создания длинновыдвижных тросовых систем (рис. 1), разворачиваемых на базе привязного беспилотного летательного аппарата вертолетного типа – малогабаритного летно-подъемного устройства (МЛПУ). В результате решения задачи динамики собственных и вынужденных колебаний механической системы трос-МЛПУ около вертикального положения [2] были получены аналитические выражения, определяющие геометрию троса в зависимости от параметров элементов механической системы. Полученные аналитические выражения легли в основу разработки ряда методик, позволяющих определить рациональные параметры элементов системы. В частности, в работе [3] изложена инженерная расчетно-графическая методика определе-

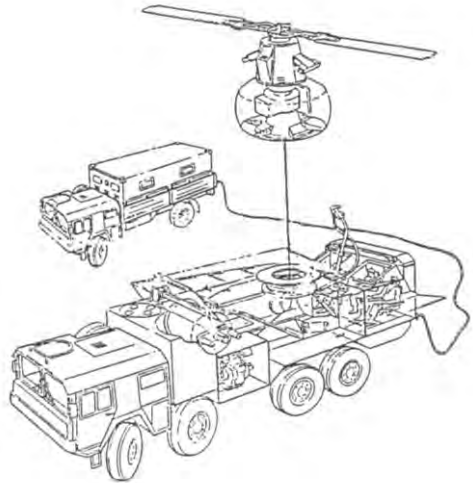


Рис. 1. Подвижный вариант длинновыдвижной тросовой системы

ния минимального потребного значения избытка тяги МЛПУ ΔP и максимально допустимого значения коэффициента аэродинамической силы его лобового сопротивления $(C_X S_M)_{\text{ЛПУ}}$ при заданных параметрах троса и известных условиях функционирования системы. Рациональные значения параметров МЛПУ определялись из условия непревышения углом наклона троса γ_H в нижней точке его закрепления максимально допустимого значения при воздействии расчетной ветровой нагрузки.

Статическая составляющая угла наклона троса к вертикали в нижней точке его закрепления определялась из выражения [3]

$$\sin \gamma_H = v_0(1 + C_0) \frac{m_0}{1 - m_0}, \quad (1)$$

где $v_0 = Q_{\text{ЛПУ}}/G_H$ – удельная ветровая нагрузка, действующая на трос; G_H – вес троса; $C_0 = Q_{\text{ЛПУ}}/Q_H$ – коэффициент относительности ветровых нагрузок, действующих на МЛПУ – $Q_{\text{ЛПУ}}$ и трос; Q_H – ветровая нагрузка, действующая на трос; $m_0 = G_H/\Delta P$ – коэффициент нагруженности троса.

Из условия $\gamma_H \leq 30^\circ$ для значений коэффициентов $v_0 = 2,02$; $C_0 = 0,1$; $m_0 = 0,185$ были получены [3] оценочные значения $G_H = \leq 622$ Н, $(C_X S_M)_{\text{ЛПУ}} \leq 0,33$; $\Delta P \geq 3364$ Н, обеспечивающие заданное статическое положение троса.

В то же время максимальное значение динамической составляющей угла наклона троса γ_H при воздействии, например, внезапной ветровой нагрузки может достигать значения статической составляющей с последующим затуханием колебаний троса до равновесного положения. Последнее обстоятельство вызывает необходимость увеличения избытка тяги МЛПУ ΔP с целью компенсации динамической составляющей с тем, чтобы угол наклона троса γ_H не превышал заданного значения.

Для определения характера зависимости угла γ_H от ΔP , были рассчитаны (1) значения угла γ_H и коэффициента относительности K_γ для значений коэффициента увеличения избытка тяги ΔP в диапазоне от 1,0 до 5,0 (табл. 1). При этом были использованы следующие обозначения: $K_\gamma = \gamma'/\gamma$, где γ' – рассчитанное значение угла наклона троса в нижней точке его закрепления; $K_p = \Delta P'/\Delta P$, где $\Delta P'$ – увеличенная в K_p раз значение избытка тяги МЛПУ; $\bar{m} = \frac{m_0}{1 - m_0}$.

Значения углов наклона троса

K_p	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	
m_0	0,1850	0,1480	0,1233	0,1057	0,0925	0,0740	0,0617	0,0463	0,0370	
\bar{m}	0,2270	0,1737	0,1407	0,1182	0,1019	0,0799	0,0657	0,0485	0,0384	
$b_0 \bar{m}$	0,4585	0,3509	0,2842	0,2388	0,2058	0,1614	0,1327	0,0980	0,0776	
$C_0=0,1$	$\sin \gamma_H$	0,5044	0,3860	0,3126	0,2627	0,2264	0,1775	0,1460	0,1078	0,0853
	$\gamma_H(^{\circ})$	30,3	22,7	18,2	15,2	13,1	10,1	8,4	6,2	4,9
	K_γ	1,0	0,7495	0,6007	0,5026	0,4323	0,3343	0,2772	0,2046	0,1617
$C_0=0,2$	$\sin \gamma_H$	0,5502	0,4211	0,3410	0,2866	0,2470	0,1937	0,1592	0,1176	0,0931
	$\gamma_H(^{\circ})$	33,4	24,9	19,9	16,7	14,3	11,2	9,2	6,8	5,3
	K_γ	1,0	0,7455	0,5967	0,4988	0,4281	0,3344	0,2746	0,2024	0,1599
$C_0=0,3$	$\sin \gamma_H$	0,5961	0,4562	0,3695	0,3104	0,2675	0,2098	0,1725	0,1274	0,1009
	$\gamma_H(^{\circ})$	36,6	27,1	21,7	18,1	15,5	12,1	9,9	7,3	5,8
	K_γ	1,0	0,7415	0,5929	0,4945	0,4235	0,3306	0,2713	0,1995	0,1585

По полученным расчетным данным были построены графики зависимостей угла γ_H и коэффициента относительности угла K_γ от коэффициента увеличения избытка тяги K_p МЛПУ (рис. 2, 3).

Предварительный анализ полученных графических зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

1. Увеличение коэффициента лобового сопротивления МЛПУ (C_{xS_M})_{ЛПУ} в 2 – 3 раза увеличивает абсолютное значение угла примерно до 20%, но не изменяет характера его зависимости от увеличения избытка тяги МЛПУ во всем диапазоне изменения K_p от 1 до 5 (рис. 2).

2. Зависимость угла наклона троса γ_H от увеличения избытка тяги МЛПУ в безразмерном виде $K_\gamma = f(K_p)$ практически идентична для всех значений $C_0 \in [0,1; 0,3]$ (в пределах 1%) (табл. 1, рис. 3).

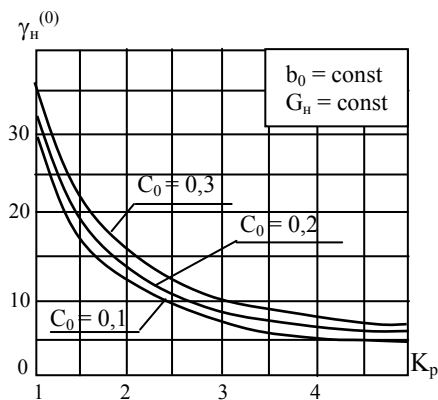


Рис. 2. Зависимость γ_H от увеличения избытка тяги МЛПУ

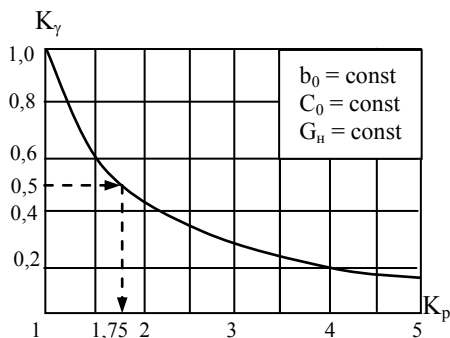


Рис. 3. Изменение угла γ_H в зависимости от увеличения избытка тяги МЛПУ

3. Для уменьшения статической составляющей угла наклона троса в нижней точке его закрепления γ_H в 2 раза (т.е. $K_\gamma = 0,5$) необходимо увеличить избыток тяги МЛПУ ΔP (рис. 3) на 75% (т.е. $K_p = 1,75$). В этом случае динамическая составляющая угла γ_H также будет уменьшена в 2 раза. Таким образом воздействие внезапной ветровой нагрузки вызовет суммарное отклонение троса в нижней точке его закрепления от вертикали не более допустимого значения.

4. Увеличение избытка тяги МЛПУ ΔP более чем в 3 – 4 раза с целью уменьшения отклонения троса от вертикали нецелесообразно. С одной стороны такое изменение тяги МЛПУ потребует значительного увеличения мощности и, следовательно, веса и расхода топлива двигательной установки, а также диаметра несущих винтов, что не всегда возможно. С другой стороны столь значительные, в конструктивном плане, меры не приведут к существенному изменению положения троса относительно вертикали. Так, например, при увеличении коэффициента K_p с 4 до 5 и более изменение угла наклона троса γ_H не превысит 5%.

Как показывает анализ основных летно-технических характеристик ранее созданных беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа [5] ни один из них не обеспечивает необходимого избытка тяги $\Delta P \geq 3364$ Н. Кроме ограничений на размеры несущего винта и их количество существуют и другие ограничения, не позволяющие добиться даже кратковременного повышения ΔP на 75%.

Основным режимом работы МЛПУ в процессе удержания троса около вертикали является режим “висения”. Основной особенностью работы любого летательного аппарата вертолетного типа на режиме “висения” является использование мощности двигательной установки на 70 – 80%.

Стопроцентное использование мощности в течение нескольких (десятков) часов, как правило, выводит двигательную установку из строя [6]. Таким образом, возможно лишь кратковременное (до нескольких минут) увеличение мощности двигательной установки, а значит и тяги несущих винтов, максимум на 20 – 30%, что не является достаточным (до 75%) для компенсации динамической составляющей угла наклона троса γ_n при воздействии внезапной ветровой нагрузки.

Таким образом, увеличение тяги несущих винтов МЛПУ ограничено сверху и не может быть использовано как способ компенсации динамической составляющей отклонения троса от вертикали. Данное обстоятельство обуславливает необходимость проведения анализа характера и степени влияния параметров элементов механической системы трос-МЛПУ на способность МЛПУ обеспечить удержание троса в заданном положении при фиксированном значении избытка тяги МЛПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркін О.М., Турченко В.Я. Обґрунтування можливого утворення довговисувних тросових систем // Збірник наукових праць. Ракетно-космічна техніка. – Х.: ХВУ, 1999. – Вип. 1. – С. 152-154.
2. Маркин А.Н., Полтавец А.В. Об одном способе аналитического решения краевых задач теории колебаний систем с непрерывно-дискретными параметрами // Радиоэлектроника и информатика. – 1998. – № 2. – С. 8-11.
3. Маркин А.Н., Турченко В.Я. Методика определения рациональных параметров механических систем специального назначения // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ХВУ, 1998. – С. 59-64.
4. Тищенко М.Н., Некрасов А.В., Родина А.С. Вертолеты. Выбор параметров при проектировании. – М.: Машиностроение, 1976. – 368 с.
5. Дуда В., Тарарин В. Беспилотные разведывательные аппараты // Зарубежное военное обозрение. – 1987. – № 9. – С. 21-24.
6. Акимов А.И., Берестов Л.М., Михеев Р.А. Летные испытания вертолетов / Под ред. С.Б. Бренна. – М.: Машиностроение, 1980. – 399 с.

Поступила 22.12.2005

Рецензент: кандидат технических наук, профессор А.М. Сотников,
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.