

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шустов С.А. Экспериментальное Исследование загрязняющего воздействия ЖРДМТ на собственную внешнюю атмосферу и элементы космического аппарата. (В данном сборнике).
2. Безменова Н.В. Компьютерное моделирование газодинамики конвективного теплообмена ЖРДМТ систем управления пространственным положением КЛА //Вестник Российской Академии космонавтики Сборник трудов 9-го Всероссийского научно-технического семинара по управлению и навигации летательных аппаратов Часть 2 – Самара, 1999. – с. 240-243.
3. Безменова Н.В., Иванов И.Э., Кулябин К.П., Пирумов У.Г., Шустов С.А. Моделирование газодинамических и теплообменных процессов в ЖРДМТ.// Математическое моделирование. М.:РАН, 2001. – Т. 13. – №6. – С 5-10.

УДК 629.7.

Калмыков А.А.

ОСОБЕННОСТИ ВЗЛЕТНЫХ РЕЖИМОВ АВТОЖИРА, ИМЕЮЩЕГО ЗАДНЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЦЕНТРА МАСС

На технику пилотирования автожира на взлете основное влияние оказывает поведение ротора, имеющего нелинейные аэродинамические характеристики (особенно в области малых скоростей полета). Чем больше частота вращения ротора, тем при меньшей поступательной скорости произойдет подъем аппарата. Чтобы раскрутить набегающим потоком ротор до достаточной для взлета частоты вращения за минимальное время, нужно создать большой расход воздуха через него, т.е. разбежаться с большим углом атаки ротора. Вместе с тем сильно увеличивается сопротивление НВ и уменьшается продольное ускорение, что приводит к медленному набору скорости и увеличению длины разбега. При недостаточной тяговооруженности автожира при разбеге с большим углом атаки НВ может установиться равенство тяги двигателя силам сопротивления и дальнейшее увеличение скорости прекратится. Можно сделать

вывод, что методики управления автожиром на разбеге различны для аппаратов с большой и недостаточной тяговооруженностью.

Аэродинамическое качество ротора увеличивается с ростом скорости, поэтому необходимо после отрыва быстрее набрать большую скорость, при которой меньше сопротивление НВ. После отрыва от земли важно не давать автожиру переходить в набор высоты, пока он не разгонится до достаточной поступательной скорости. Потеря скорости на взлете приведет к ухудшению аэродинамического качества ротора и еще большей потере скорости. Ухудшение качества НВ вызовет увеличение кабрирующего момента M_z и, соответственно, дальнейшую потерю скорости. В момент отрыва автожира от земли характер указанных явлений по своим внешним проявлениям напоминает "подхват" вертолета [1] и особенно выражен при задних центровках. Происходит быстрое увеличение угла тангажа, угловой скорости ω_z , нормальной перегрузки с одновременной потерей скорости. Описанный эффект компенсируется упреждающей дачей ручки управления "от себя" сразу после взлета для выдерживания режима вращения НВ и разгона его до значения скорости $V_{нв}$.

Характеристики автожира. Автожир (рис. 1) имеет такие характеристики: взлетная масса $m_0=750$ кг; нагрузка на диск $m_0g/S_{ам}=100$ Па; нормированный радиус инерции $i_y/R=0,2$; коэффициент заполнения $\sigma_n=0,029$.

Максимальный ход ручки от нейтрального положения в обе стороны ± 200 мм; передаточное отношение $dx_s/d\delta_s=-20$ мм/град. Автожир имеет непосредственное управление ротором, управление общим шагом НВ, управляемый стабилизатор и систему предварительной раскрутки ротора. Центровка автожира: S^0 вперед от оси общего ГШ ротора.



Рис. 1. Общий вид автожира А-002

Результаты моделирования. «Взлеты» выполнялись при помощи имитационной модели (ИМ) для условий МСА, высота аэродрома $H=0$ м. Начальная частота вращения НВ

$n=275$ об/мин, система предварительной раскрутки на разбеге выключена. Мощность силовой установки $\bar{N}_{CV}=100\%$ (стартовая тяговооруженность $\bar{P}=0,56$). Моделировалась три режима: взлет по-самолетному ("взлет-1"), взлет с использованием общего шага (ОШ) с увеличением до 6° ("взлет-2") и с увеличением ОШ до 8° ("взлет-3"). Проведенные численные эксперименты показали, что для А-002, имеющего высокую тяговооруженность, выгодно производить разбег с полностью взятой "на себя" ручкой (угол атаки ротора $\alpha_r=15^\circ$)

Взлет по-самолетному (взлет 1). Разбег осуществляется на полетном угле ОШ $\varphi_0=2,5^\circ$ (соответствует $\varphi_{07}=4^\circ$). С 5-ой секунды в течение 2,5 с ручка дается "от себя" до $X_B=-100$ мм для предотвращения преждевременного подъема носовой стойки. В противном случае из-за небольшого угла опрокидывания ($7,5^\circ$) автожир встает на хвостовой костыль и начинает торозиться. В момент времени $t=8,3$ с за 1 с ручка управления подтягивается "на себя" до заднего упора. Отрыв от земли происходит на скорости $V=87$ км/ч с углом тангажа $\vartheta=8^\circ$. Длина разбега $S_{\text{разб}}=133$ м. Сразу после отрыва в течение 1,2 с угол тангажа увеличивается до 20° (10,5 с). Максимальное значение угловой скорости тангажа $\omega_z=+16$ град/с в момент времени $t=9,7$ с, потеря скорости – 13 км/ч в первые 3 с. Для парирования нарастающего увеличения угла тангажа и предотвращения потери скорости сразу после отрыва ручка дается вперед на 160 мм до положения $X_B=-40$ мм в течение 1 с. Высоту 15 м автожир набирает к 16 секунде (дистанция 283 м). Дальнейший набор высоты производится на $V=103$ км/ч ($\mu=0,158$, $n=354$ об/мин), установившаяся скороподъемность 5,7 м/с.

Влияние ветра и начальной частоты вращения на длину разбега. Проведены численные эксперименты по оценки влияния сочетаний скорости встречного ветра (м/с) и начальной частоты вращения. Методика пилотирования соответствует вышеописанной. Результаты расчета приведены в таблице 1. Включение системы раскрутки на разбеге, "подрыв" общего шага, использование встречного ветра могут позволить взлетать практически "с места" при разбеге 10-20 м. Логическое развитие указанных способов взлета – "прыжковый взлет".

Таблица 1

Длина разбега (м)

$n \setminus W_x$	0	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5
150 об/мин	225	160	125	105	78	52	40	22	12
200 об/мин	180	123	100	80	60	45	30	18	<10
250 об/мин	155	100	82	60	40	28	14	<10	0
300 об/мин	130	78	56	40	26	13	<10	0	0
350 об/мин	102	58	44	30	15	<10	0	0	0

Взлет с использованием ОШ (взлет-2). Разбег производится при угле общего шага $\varphi_0 = 0^\circ$. При $V=59$ км/ч (4,5 с; $S=40$ м) производится увеличение ОШ до $\varphi_0=6^\circ$ за 0,8 с. Подъем аппарата происходит на $V=66$ км/ч (через 1,2 с от увеличения ОШ), длина разбега 62 м. Подъем происходит на меньшей скорости, чем при "взлете 1" нелинейность характеристик НВ выражена сильнее, поэтому отклонение ручки управления в продольном канале больше: до $X_n=+30$ мм (на 230 мм вперед) за 1,2 с. Движение ручки двойное: ручка подтягивается "на себя" до нейтрального положения. После взлета за 1,2 с угол ϑ увеличивается до 24° (6,9 с); $\omega_{Z_{max}} = +19$ град/с ($t=6,2$ с). Потеря скорости -11 км/ч за 2,4 с. Уменьшение ОШ производилось по следующей схеме: 13,3 с ($\varphi_0=5,5^\circ$) – 14,1 с ($\varphi_0=5,0^\circ$) – 15 с ($\varphi_0=4,5^\circ$) – 18,5 с ($\varphi_0=4,0^\circ$) – 21,6 с ($\varphi_0=3,5^\circ$) – 23,9 с ($\varphi_0=3,0^\circ$) – 27,2 с ($\varphi_0=2,5^\circ$). Уменьшение ОШ до полетного значения занимает 14 с и завершается на высоте 30 м. Взлет происходит без просадки. Высоту 15 м автожир набирает к 19 секунде (дистанция 320 м).

Взлет с использованием ОШ (взлет-3). При скорости 52 км/ч (3,9 с; дистанция 30 м) производится увеличение ОШ до $\varphi_0=8^\circ$ за 0,5 с. Подъем аппарата происходит на $V=58$ км/ч (через 1,1 с от начала увеличения ОШ). Длина разбега 44 м. Отклонение ручки управления вперед до $X_n=+20$ мм за 1,1 с. Движение ручки двойное: ручка снова подтягивается "на себя" до $X_n=-30$ мм. После взлета за 1,1 с ϑ увеличивается до 26° (6-ая сек.). Максимальное значение $\omega_z = +22$ град/с ($t=5,3$ с). Потеря скорости -13 км/ч в первые 2,4 с. Через 1,5 с после взлета уменьшается частота вращения ротора до 248 об/мин. Уменьшение ОШ с $\varphi_0=6^\circ$ производилось по следующей схеме: 13,2 с ($\varphi_0=7^\circ$) – 18,7 с ($\varphi_0=6,0^\circ$) – 24,3 с ($\varphi_0=5^\circ$) – 27,6 с ($\varphi_0=4^\circ$) – 33,0 с ($\varphi_0=3^\circ$). Уменьшение ОШ до полетного значения производится за 20 с и завершается на $H=5$ м. Взлет происходит с просадкой: через 4,5 с от начала разбега высота уменьшается с 5 м до 1,5 м на 18-ой сек. Сравнительные характеристики взлетов приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Параметры взлетных режимов

Тип	$t_{\text{разб.}}$, с	$S_{\text{разб.}}$, м	$V_{\text{отр.}}$, км/ч	$\zeta_{\text{отр.}}$	$n_{\text{отр.}}$, об/мин	$\delta_{\text{мкз}}$	$\omega_{\text{мкз}}$, град/с
Взлет-1	9,3	133	87	0,155	279	20°	+16
Взлет-2	5,7	62	66	0,121	265	24°	+19
Взлет-3	4,9	58	58	0,111	257	26°	+22

Заключение. Отработаны методики выполнения различных типов взлетов, проанализирован характер управляющих воздействий, оценено влияние скорости ветра, начальной частоты вращения ротора и положения центр масс (ЦМ) автожира на длину разбега. Зависимость дистанции разбега от скорости встречного ветра является нелинейной: при наличии встречного ветра разгон до необходимой для отрыва скорости происходит за меньшее время, а при наличии воздушной скорости в начале разбега меньше "провал" оборотов ротора. Зависимость длины разбега от положения ЦМ автожира неоднозначна из-за конструктивного ограничения угла тангажа на разбеге, обусловленного низко расположенной хвостовой балки. С одной стороны, при задних центровках меньше потери на балансировку и быстрее происходит подъем носовой стойки, но с другой стороны – из-за преждевременного подъема носовой стойки автожир встает на хвостовую опору и начинает тормозиться. Чтобы предотвратить ранний подъем носовой стойки при задней центровке, летчик вынужден в самом начале разбега давать ручку "от себя", тем самым замедляя увеличение частоты вращения НВ и уменьшая подъемную силу ротора, что приводит к увеличению длины разбега.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 А.С. Браверман, А.П. Вайнтруб. Динамика вертолета. Предельные режимы полета. М.: Машиностроение, 1988.
- 2 К.К. Васильченко и др. Летные испытания самолетов. М.: Машиностроение, 1985.
- 3 У. Джонсон. Теория вертолета. Т.1. М.: Мир, 1983.
- 4 М.Л. Миль, А.В. Некрасов и др. Вертолеты. Расчет и проектирование. Т.1. Аэродинамика. М.: Машиностроение, 1966.