

# ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА МТВД ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОГО САМОЛЁТА

Григорьев В.А., Деньгов А.Е., Карасев О.В., Саркисов А.А.  
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Как известно, назначение и основные технические данные ЛА во многом определяют тип и оптимальный облик. Для одного из отечественных региональных самолётов рассматривается несколько вариантов малоразмерных ТВД (МТВД). Основные данные этих двигателей приведены в таблице 1. Отличие вариантов заключается в массе двигателей в удельном расходе топлива, в показателях ресурса и стоимости.

Постановка задачи выбора рационального варианта МТВД из числа рассматриваемых двигателей формулируется следующим образом: выбрать рациональный вариант МТВД для регионального самолёта при условии постоянства взлётной массы ЛА  $M_0 = \text{const}$ , на основе многокритериальной оценки эффективности системы ЛА – МТВД (масса коммерческой нагрузки  $M_{\text{кн}}$ , полётные затраты на тонно-километр  $C_{\text{ткм}}$ , суммарная масса силовой установки и топлива  $M_{\text{сy+m}}$ ).

Принятое условие  $M_0 = \text{const}$  ( $M_0 = 19\ 150$  кг), а также достаточно близкие выходные данные рассматриваемых вариантов двигателей, определяют постоянство массы планера с оборудованием. Для выполнения этого необходимо доопределить ряд важных величин:

*массу пустого самолёта:*

$$M_{\text{пуст}} = M_0 - M_{\text{пла}} - M_{\text{кн}} - M_{\text{сн}} - M_{\text{эк}};$$

*массу силовой установки:*

$$M_{\text{сy}} = n_{\text{дв}} (M_{\text{дв}} + M_{\text{вв}} + M_{\text{гонд}} + M_{\text{упр. дв}}).$$

*массу планера с оборудованием:*

$$M_{\text{пл}}^* = M_0 - (M_{\text{пла}} + M_{\text{кн}}) - M_{\text{сн}} - M_{\text{сy}} - M_{\text{тс}} - M_{\text{эк}}.$$

В таблице 2 приведены полученные результаты расчётов по определению этих величин.

**Основные данные турбовинтовых двигателей  
для регионального самолёта**

**Таблица 1**

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ	I	II	III	IV
	СЕРИЙНЫЙ СЕРТИФИЦИ- РОВАННЫЙ	АДАПТИРОВАН- НЫЙ НА БАЗЕ СЕРТИФИЦИРОВА- ННОГО	ОПЫТНЫЙ НА БАЗЕ СЕРТИФИЦИРО- ВАННОГО	ПРОЕКТ НА БАЗЕ СХЕМЫ III
ГАБАРИТЫ		2140 940		3050 1218
МАССА, (КГ) УСТАНОВОЧНАЯ В ПОЛНОЙ КОМПЛЕКТАЦИИ	784	714	852,5	>852,5
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОТЛИЧИЯ ОТ БАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ		НОВАЯ САУ (ЭЛЕКТРОННАЯ ЧАСТЬ)	1. НОВАЯ ТРАНСМИССИЯ 2. НОВАЯ САУ (ЭЛЕКТРОННАЯ ЧАСТЬ И ГИДРАВЛИЧЕС- КАЯ) 3. НОВЫЙ РЕДУКТОР	1. НОВЫЙ КОМПРЕССОР 2. НОВАЯ ТУРБИНА КОМПРЕССОРА 3. НОВАЯ СИЛОВАЯ ТУРБИНА
СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ	САУ-65 N <sub>ВВ</sub> =CONST	ИНТЕГРАЛЬНАЯ САУ-65 N <sub>ВВ</sub> =VAR	ИНТЕГРАЛЬНАЯ САУ-2000 N <sub>ВВ</sub> =VAR	
МОЩНОСТЬ (КВТ) • ВЗЛЕТНАЯ • ЧР В УСЛОВИЯХ H=0 КМ, M=0, P <sub>H</sub> =760 ММ.РТ. СТ. С ПОДДЕРЖАНИЕМ ДО T°С	1840 <sub>34°С</sub> 2020 <sub>32°С</sub>	1840 <sub>34°С</sub> 2060 <sub>32°С</sub>	1580 <sub>25°С</sub> 1765 <sub>18°С</sub>	1840 <sub>34°С</sub> 2060 <sub>32°С</sub>
• КРЕЙСЕРСКАЯ В УСЛОВИЯХ H=6 КМ, M=0,52		1325	1140	1325
УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА НА РЕЖИМАХ (КГ/КВТ Ч) • ВЗЛЕТНОМ • КРЕЙСЕРСКОМ		0,272 0,245	0,310 0,276	0,306 (0,292*) 0,273 (0,262*) *СЕЛЕКТИВНЫЙ ОТБОР
СТЕПЕНЬ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ РАСХОД ВОЗДУХА (КГ/С) ТЕМП. ГАЗА (К)		16  8,7  1525	10  9  1263	11  9,7  1323
РЕСУРС ДО КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА НАЗНАЧЕННЫЙ НА МОМЕНТ СЕРТИФИКАЦИИ	ЗАЩИЩЕНО ИСПЫТА- НИЯМИ: 800 1500 1600 3000	1500 4500	1500 4500	ТРЕБУЕТСЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОРАБОТКА
ДО КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА НАЗНАЧЕННЫЙ РАЧЕТНЫЙ		6000  20000	6000  20000	

Таблица 2

Параметр	I	II	III	IV
$M_{\text{сyz}}$ , кг	2718	2578	2855	2855
$M_{\text{гвст}}^*$ , кг	10939	10813	11138	10939
$M_{\text{пл}}^*$ , кг	8301	8441	8164	8164
Для дальнейших расчётов принимается $M_{\text{пл}}^*=8164$ кг $\bar{M}_{\text{пл}}^*=0,426$ .				

Эти результаты показывают, что масса силовой установки оказывает определенное влияние на получаемые значения массы планера с оборудованием. Для того, чтобы в дальнейшем показать действительный выигрыш за счет разной эффективности МТВД в последующих расчета принята величина  $M_{\text{пл}}^*=8164$  кг  $\bar{M}_{\text{пл}}^*=0,426$ . На основе разработанной в СГАУ методологии автоматизированного начального проектирования МТВД были определены массовые критерии эффективности. Эти результаты (абсолютные значения) приведены в таблице 3, для 4-х наиболее характерных дальностей и скоростей полёта.

В таблице 4 даны результаты сопоставления по массовым критериям эффективности в размерной и безразмерной форме. Как видно из этой таблицы, по всем массовым и топливным критериям эффективности ( $M_{\text{мла}}$ ,  $M_{\text{мл}}$ ,  $C_{\text{ткм}}$ ,  $C_{\text{пкм}}$ ,  $M_{\text{кв}}$ ,  $M_{\text{сyz+п}}$ ) наилучшие показатели для рассмотренных дальностей полёта ( $L_{\text{п}}=800$  км, 2100, 2650 и 3700 км), имеет двигатель II (см. таблицу 1). При этом максимальный выигрыш получается полётным затратам топлива на т.км (27%) и по коммерческой нагрузке (24%) при  $L_{\text{п}}=3700$  км.

В таблице 5 приведены значения экономических критериев для двух значений дальности полёта  $L_{\text{п}}=800$  и 2100 км. По стоимости часа эксплуатации самым рациональным получается IV вариант, главным образом из-за меньших затрат на амортизацию двигателя (двигатели III и IV в 1,15...1,2 раза дешевле чем I и II). По себестоимости перевозок (а) и по приведенным затратам ( $a_{\text{пр}}$ ) наилучшие показатели вновь получаются у двигателя II. По стоимости жизненного цикла двигателя наилучшие значения соответствуют двигателю I, что объясняется главным образом меньшей величиной назначенного ресурса. Если рассматривать двигатели с равными значениями назначенного ресурса, то лучшие показатели получаются у двигателя III. Это объясняется меньшими затратами на ОКР и на ремонт, а также меньшей стоимостью двигателя. При этом разница в стоимости жизненного цикла между двигателями II и III составляет меньше 0,5%.

Таким образом анализ показывает, что по большинству критериев эффективности МТВД в системе данного регионального самолета наилучшие показатели имеет вариант II.

Значения основных массовых критериев эффективности альтернативных вариантов ТВД для регионального самолета.

$$N^*)_{\text{э кр}} = 1414 \text{ л.с. } N_{\text{э кр } \Sigma} = 2828 \text{ л.с. } M_0 = 19150 \text{ кг, } K^{**})_{\text{пл}} = 16, \eta_{\text{в}} = 0,87, N_{\text{пл}} = 6 \text{ км } (P_{\text{взл}} / N e_{\text{взл}}) = 0,852.$$

Таблица 3

ПАРА- МЕТР	$L_{\text{пл}} = 800 \text{ км}$ КМ/Ч				$L_{\text{пл}} = 2100 \text{ км}$ КМ/Ч				$L_{\text{пл}} = 2650 \text{ км}$ $V_{\text{кр}} = 546 \text{ км/ч}$				$L_{\text{пл}} = 3700 \text{ км}$ КМ/Ч			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
$C_0$	0,249	0,249	0,277	0,266	0,249	0,249	0,277	0,266	0,249	0,249	0,277	0,266	0,249	0,249	0,277	0,266
$G_{\text{м час}}$	267,9	267,9	298,6	286,5	267,9	267,9	298,6	286,5	267,9	267,9	298,6	286,5	267,9	267,9	298,6	286,5
$C_{\text{уд}}$	45,65	45,65	50,88	48,82	45,65	45,65	50,88	48,82	45,65	45,65	50,88	48,82	45,65	45,65	50,88	48,82
$M_{\text{пл ДА}}$	0,0741	0,0741	0,0822	0,079	0,1309	0,1309	0,1447	0,1393	0,1552	0,1552	0,1714	0,165	0,2166	0,2166	0,2381	0,2298
$M_{\text{м в а}}$	1419	1419	1574	1513	2506	2506	2772	2668	2972	2972	3282	3160	4148	4148	4560	4400
$M_{\text{ин Л}}$	0,051	0,051	0,0567	0,0545	0,1109	0,1109	0,1228	0,1182	0,1359	0,1359	0,1502	0,1446	0,199	0,199	0,219	0,2112
$M_{\text{мл}}$	978	978	1087	1044	2125	2125	2352	2263	2603	2603	2877	2770	3810	3810	4195	4044
$M_{\text{су}}$	2718	2578	2855	2855	2718	2578	2855	2855	2719	2578	2855	2855	2718	2578	2855	2855
$M_{\text{дл}}$	6149	6289	5857	5919	5062	5202	4659	4763	4596	4736	4149	4271	3420	3560	2871	3031
$N_{\text{ПЛАСС}}$	68	70	65	66	56	58	52	53	51	53	46	47	38	40	32	34
$C_{\text{ткм}}$	0,1988	0,1944	0,2319	0,2204	0,2	0,1945	0,24	0,2262	0,2137	0,2074	0,2617	0,2447	0,301	0,2892	0,3949	0,3605
$C_{\text{ткм}}$	0,0179	0,0175	0,0209	0,0198	0,018	0,0175	0,0216	0,0204	0,0192	0,0187	0,0236	0,022	0,0271	0,026	0,0355	0,0324
$M_{\text{су в м}}$	4257	4117	4549	4488	5344	5204	5747	5643	5810	5670	6257	6135	6986	6846	7535	7375

\*) величина  $N_{\text{э кр}}$  получена из условия согласования потребной ( $K_{\text{пл}} = 16$ ) и располагаемой тяг; дроселирование двигателя выполнено по типовой дросельной характеристике.

Сопоставление альтернативных вариантов ТВД на региональном самолете по массовым критериям эффективности

Таблица 4

ПАРА- МЕТР	РАЗМЕР Н	L <sub>п</sub> = 800КМ V <sub>кр</sub> =575 КМ/Ч V <sub>т</sub> = 500 КМ/Ч				L <sub>п</sub> = 2100КМ V <sub>кр</sub> =575КМ/Ч V <sub>т</sub> = 54 КМ/Ч				L <sub>п</sub> = 2650КМ V <sub>кр</sub> =575КМ/Ч V <sub>т</sub> = 546 КМ/Ч				L <sub>п</sub> = 3700 КМ V <sub>кр</sub> = 520КМ/Ч V <sub>т</sub> = 495 КМ/Ч			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
ΔM <sub>н.п.а</sub>	КГ	155	155	0	34	266	266	0	104	310	310	0	122	412	412	0	160
ΔM <sub>к.л</sub>	КГ	100	100	0	43	227	227	0	89	274	274	0	107	385	385	0	151
ΔC <sub>ТКМ</sub>	КГ/Т.КМ	0,0331	0,0375	0	0,0115	0,04	0,0455	0	0,0138	0,048	0,0543	0	0,017	0,0939	0,1057	0	0,0344
Δ C <sub>п.п.а</sub>	КГ/П.АСС	0,003	0,0034	0	0,0011	0,0036	0,0041	0	0,0012	0,0044	0,0049	0	0,0016	0,0084	0,0095	0	0,0031
+ ΔM <sub>к.л</sub>	КГ	292	432	0	62	403	543	0	104	447	587	0	122	549	689	0	160
- M <sub>с.у.м</sub>	КГ	292	432	0	62	403	543	0	104	447	587	0	122	549	689	0	160
M <sub>н.п.а</sub>	У	0,902	0,902	1,0	0,961	0,904	0,904	1,0	0,962	0,906	0,906	1,0	0,963	0,91	0,91	1,0	0,965
M <sub>п.л</sub>	У	0,9	0,9	1,0	0,96	0,903	0,903	1,0	0,962	0,904	0,904	1,0	0,963	0,908	0,908	1,0	0,913
C <sub>ТКМ</sub>	У	0,857	0,838	1,0	0,95	0,833	0,81	1,0	0,942	0,816	0,792	1,0	0,935	0,762	0,732	1,0	0,913
C <sub>п.п.а</sub>	У	0,856	0,837	1,0	0,947	0,833	0,81	1,0	0,944	0,814	0,793	1,0	0,932	0,763	0,732	1,0	0,913
M <sub>с.л</sub>	У	1,05	1,073	1,0	1,01	1,086	1,116	1,0	1,022	1,108	1,14	1,0	1,029	1,191	1,24	1,0	1,056
M <sub>с.у.м</sub>	У	0,916	0,905	1,0	0,986	0,93	0,906	1,0	0,982	0,928	0,906	1,0	0,98	0,927	0,908	1,0	0,978

Значения экономических критериев эффективности альтернативных вариантов ТВД в системе регионального самолета.

Таблица 5

$L_{п},$ км	Показатели	I	II	III	IV
800	назначенный ресурс, ч	3000	4500	4500	4500
	количество ремонтов, $n_{рем}$	1	2	2	2
	Стоимость часа эксплуатации $\bar{A}$	1,019	1,023	1,035	1,0
	себестоимость перевозок $\bar{a}$	1,019	1,0	1,086	1,039
	приведенные затраты $\bar{a}_{пр}$	1,018	1,0	1,047	1,025
	стоимость жизненного цикла двигателя $\bar{S}_{ж дв}$	1,0	1,235	1,231	1,247
2100	$\bar{A}$	1,013	1,017	1,056	1,0
	$\bar{a}$	1,024	1,0	1,159	1,068
	$\bar{a}_{пр}$	1,022	1,0	1,099	1,053
	$\bar{S}_{ж дв}$	1,0	1,264	1,214	1,239