Параметр	Значение	Формула	
Масса аппарата, кг	13.3	исходное	
Груз, кг	51	исходное	
MTOW, кг	64.3		64.3
g	9.80665	исходное	
ρ, кг/м³	1.225	исходное	
Радиус НВ R, м	1.55	исходное	
Число лопастей	3	исходное	
Хорда, м	0.085	исходное	
Ct/σ	0.105	исходное	
Cd0	0.011	исходное	
к	1.15	исходное	
Площадь A, м²	7.547676		7.54767635024948
Вес T, Н	630.5676		630.567595
Нагрузка на диск, Н/м²	83.5446		83.5445991240943
vi, м/с	5.839507		5.83950651829257
P идеальная, Вт	3682.204		3682.20358122657
σ	0.052367		0.0523671103076559
Ct	0.005499		0.00549854658230387
Vtip, м/с	111.3697		111.369736227909
об/мин	686.1307		686.1307367037
Cp	0.000404		0.00040355910777254
P висения НВ, Вт	5154.162		5154.16223033815
FM	0.714414		0.714413597529503
Реакт. момент, Н·м	71.73359		71.7335941307736
Плечо ХВ, м	1.9	исходное	
Тяга ХВ, Н	37.75452		37.7545232267229

Ключ	Значение	Ед.
m_empty	13.3	кг
m_payload	51	кг
m_tracker	1.134	кг
MTOW	64.3	кг
mass_sum	13.15	кг
Nb	3	шт
L_blade	1.4	м
r_root	0.15	м
R	1.55	м
D	3.1	м
A	7.547676	м²
DL	83.5446	Н/м²
DL_kg	8.519178	кг/м²
vi_hover	5.839507	м/с
P_ideal	3682.204	Вт
chord	0.085	м
sigma	0.052367	
CT_sigma	0.105	
CT	0.005499	
Vtip	111.3697	м/с
Omega	71.85144	рад/с
rpm_MR	686.1307	об/мин
M_tip	0.327269	
Re_075	486289.1	
Cd0	0.011	
kappa	1.15	
P_hover_MR	5154.162	Вт
FM	0.714414	
Q_MR	71.73359	Н·м
theta75	10.80586	°
alpha_mean	6.299536	°
R_TR	0.3	м
Nb_TR	3	шт
l_tail	1.9	м
T_TR_hover	37.75452	Н
T_TR_max	60.40724	Н
FM_TR	0.65	
P_TR_hover	428.806	Вт
P_TR_max	867.8424	Вт
Vtip_TR	116.7281	м/с
rpm_TR	3715.57	об/мин
rpm_TR_max	4699.865	об/мин
Q_TR_max	1.763303	Н·м
I_TR	0.00204	кг·м²
tau_TR	0.067531	с

TR_choice	фиксированный шаг
Kv_TR	109.7074 об/мин/В
V_nom	50.4 В
cell_Wh	18 Вт·ч
E_bat	1512 Вт·ч
e_spec_pack	245.8537 Вт·ч/кг
eta_chain	0.819456
P_avionics	40 Вт
f_drag	0.12 м²
V_loaded	8 м/с
t_overhead	60 с
V_empty	10.83041 м/с
P_el_hover	6849.816 Вт
P_el_cruise_loaded	4959.987 Вт
E_mission	1462.266 Вт·ч
DoD	0.85
E_margin	0.87891
t_turn	8 с
V_loaded_opt	18 м/с
V_empty_opt	19 м/с
E_mission_opt	981.7299 Вт·ч
t_mission_opt	13.48382 мин
E_margin_opt	1.309118
I_hover	143.0622 А
I_peak	214.5932 А
C_rate	7.153108 C
P_motor_hover	5368.919 Вт
P_motor_peak	8053.378 Вт
Kv_MR	420 об/мин/В
rpm_motor	17992.8 об/мин
i_gear	26.22357
i_gear_real	25.5
Q_motor	2.84944 Н·м
P_copper	100.5901 Вт
m_tail_end	0.45 кг
M_boom	197.3147 Н·м
E_CFRP	1.35E+11 Па
S_CFRP	3.5E+08 Па
boom_D	65 мм
boom_t	0.8 мм
boom_mass	0.475182 кг
boom_sigma	77.12948 МПа
boom_defl	12.30474 мм
boom_f1	14.84814 Гц
f_1rev	11.43551 Гц
f_3rev	34.30654 Гц

boom_tau	0.354194	МПа
m_blade	0.4	кг
CF_blade	1610.741	Н
CF_kgf	164.2498	кгс
T_blade	210.1892	Н
M_root_flap	0	
beta_cone	10.96062	°
M_root_rigid	196.5269	Н·м
nu_flap	1.037988	/rev
EI_blade	60	Н·м²
blade_f1_rev	1.149291	/rev
GJ_blade	20	Н·м²
blade_ft_rev	4.609778	/rev
x_ac_off	0.002	м
M_hinge	1.779727	Н·м
r_horn	0.028	м
F_pitchlink	63.56168	Н
r_swash_out	0.04	м
r_servo_arm	0.02	м
T_servo_req	3.813701	Н·м
T_servo_req_kgcm	38.88892	кгс·см
servo_choice	ССРМ 120°, 3 сервы l	
coll_range	-3 … +13	°
cyc_range	±8	°
swash_travel_up	6.29863	мм
swash_tilt	7.40099	°
mast	Ø20×2 сталь 30ХГСА	
mast_seq	244.1813	МПа
SF_mast	3.41959	
SF_blade_bolt	7.583166	
SF_spindle	8.460188	
thrust_bearing_L10h	25515.61	ч
swash_bearing_L10h	82532.24	ч
SF_horn	13.11063	
payload_ratio_achievable	3.834586	
note	Ограничение — энер	

Комментарий
масса аппарата Katana
груз
трекер DARPA 2.5 lb (входит в аппарат при взвешивании? ПРИНЯТО: дополнительн
13.3+51
сумма разбивки (цель 13.3)
число лопастей
длина лопасти (трактовка «1400 mm» Falcon как длины лопасти)
радиус крепления (болт держателя)
радиус НВ
диаметр НВ
площадь диска
нагрузка на диск

индуц. скорость (импульсная теория) [1, 4 гл.1, 6]
идеальная мощность висения
хорда (постоянная, ПРИНЯТО)
заполнение
целевое Ct/σ (оптимум FM, без срыва) [1, 2, 4]

окружная скорость конца

число Маха конца
Re на 0.75R
ср. профильное сопротивление (NACA0012-подобн., Re~5e5) [3, 4]
коэф. индуктивных потерь [1, 4]
мощность на валу НВ (висение OGE)

реактивный момент
коллективный шаг на 0.75R (BEMT, без крутки) [1, 4]
средний угол атаки сечения
радиус ХВ

плечо ХВ = R+Rt+зазор 50 мм [1, 12]
тяга ХВ на висении
макс. тяга (запас на рысканье/порыв 60%) [5, 12]

мощность ХВ на висении

Ct=0.008 (фикс. шаг)

момент мотора ХВ
инерция ХВ+ротор мотора (лопасть 25 г)
время изменения тяги на 25% (фикс. шаг, разгон)

τ<0.1 с достаточно для рысканья 64 кг аппарата; вариант Б: изм. шаг
потребный Kv мотора ХВ при 14S
14S Li-ion
класс 21700 5.0 А·ч, 3.6 В (ОЦЕНКА; конкретная ячейка не подтверждена)
14S6P
уд. энергия пакета; сравн. с [9, 10, 11]
мотор·ESC·редуктор
авионика+сервы ср.
экв. площадь сопр. (фюзеляж+грузы-диски+шасси)
средняя путевая с грузом (как у Katana, по времени 19:17)
взлёт/набор/посадка/сброс груза (висение)
остаток времени на 1 nmi без груза
электр. мощность висения (НВ+ХВ+авионика)
при 8 м/с с грузом
энергия на маршрут DARPA
допустимая глубина разряда
запас энергии (≥1.0)
разворот 180° на конце прямой: ≈ висение
оптимум энергии с грузом

энергия при оптимальных скоростях

ток висения при просадке 5%
пиковый (манёвр, набор)
пиковый C-rate пакета 25 А·ч
мех. мощность мотора на висении
потребный пик (30 с)
ПРИНЯТО: кастомная намотка класса НКIII/НКIV-50xx [18]
под нагрузкой (≈85% от Kv·U)
потребное передаточное число
2 ступени 15/72 (m0.8) × 16/85 (m1.25)
момент мотора
потери в меди (Rm=8 мОм ПРИНЯТО)
масса узла на конце
изгиб у корня (тяга×1.5 + 3g инерц.)
E продольный, препрег НМ 0°/±45° (70/30)
допуск. напряжение
труба CFRP (мин. масса при SF≥2, прогиб<10 мм, f вне 1Ω и 3Ω)

при T_TR_max
1-я изгибная (консоль+масса)

кручение (смещение XB 30 мм)
масса лопасти
центробежная сила

тяга на лопасть
(шарнирно/упруго — см. ниже)
угол конусности (шарнирная/упругая втулка)
изгиб корня без конусности (верхняя оценка)
частота машущ. (эквив. разнос шарнира 8%)
изгибная жёсткость (CFRP лонжерон)
1-я изгибная (Southwell); избегать 1,2,3/rev

1-я крутильная (грубо)
смещение ЦД/ЦМ от оси махового шарнира по хорде
шарнирный момент ×2.5 динамика (аэро+пропеллерный+трение)
плечо рычага поворота лопасти
усилие в поводке
радиус шаров невращающейся тарелки (сервы)
плечо качалки сервы
потребный момент сервы (SF 2)

коллективный шаг (расч. висение см. theta75)
циклический
ход тарелки на +13°
наклон тарелки для ±8° (r_rot=30 мм)

экв. (кручение ×1.8 + момент втулки)

M6 кл.12.9, 2 среза, нагр. CF×3
шпиндель Ø8, CF×3
упорный F8-16M (Ca≈7.6 кН ПРИНЯТО), экв. колебат. ×10 [ISO 281]
6808-2RS (C≈4.0 кН ПРИНЯТО, сверить с каталогом)
рычаг 8×5 мм 7075-T6, вылет 10 мм, F×2
Katana: 3.84

Тип
ФАКТ [DARPA]
ФАКТ [DARPA]
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
ФАКТ [Falcon: 3-blade]
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО (по фото 2–3)
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ

ВЫБОР
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ

РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ВЫБОР
ПРИНЯТО
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
ПРИНЯТО
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ
РАСЧЁТ

Агрегат (ПРИНЯТО)	кг
Батарея Li-ion 14S6P (84×21700 + шины, корпус)	6.15
Мотор ГТС (класс Scorpion HKIII-5040, кастом Kv)	0.84
ESC ГТС 14S 200A	0.3
Редуктор 2-ступ. 25.5:1 + корпус	0.7
Мачта, втулка, держатели, автомат перекоса	0.62
Лопасти НВ 3×1400 мм (углепластик)	1.2
Сервоприводы 3×CCPM	0.21
Рама (углепластик. щёки, алюм. стойки)	0.8
Хвостовая балка (CFRP труба Ø50)	0.55
Хвостовой мотор + ESC + винт + кронштейн	0.4
Кабели силовые (вдоль балки и ГТС)	0.28
Шасси (CFRP трубы, пяты)	0.45
Авионика: ПК, GNSS×2, Remote ID, приёмник, телеметрия, BEC	0.35
Замок груза / подвес	0.15
Крепёж, разное	0.15
ИТОГО	13.15

Угол кача	Ход тарел	Шаг, °
-30	-10	-20.92483
-25	-8.452365	-17.56997
-20	-6.840403	-14.14048
-15	-5.176381	-10.6536
-10	-3.472964	-7.124998
-5	-1.743115	-3.569205
0	0	0
5	1.743115	3.569205
10	3.472964	7.124998
15	5.176381	10.6536
20	6.840403	14.14048
25	8.452365	17.56997
30	10	20.92483

V м/с	P с грузом	P пустой Вт
0	5154.162	1369.998
0.5	5151.496	1366.945
1	5128.958	1355.961
1.5	5087.233	1339.223
2	5033.927	1317.381
2.5	4968.073	1292.091
3	4889.616	1265.37
3.5	4799.655	1239.211
4	4699.645	1215.169
4.5	4591.289	1194.16
5	4476.501	1176.539
5.5	4357.338	1162.294
6	4235.908	1151.231
6.5	4114.261	1143.1
7	3994.282	1137.654
7.5	3877.609	1134.678
8	3765.575	1133.994
8.5	3659.194	1135.462
9	3559.171	1138.977
9.5	3465.943	1144.457
10	3379.724	1151.848
10.5	3300.557	1161.112
11	3228.359	1172.226
11.5	3162.966	1185.18
12	3104.157	1199.974
12.5	3051.687	1216.618
13	3005.296	1235.125
13.5	2964.728	1255.519
14	2929.735	1277.823
14.5	2900.085	1302.067
15	2875.56	1328.286
15.5	2855.964	1356.513
16	2841.118	1386.788
16.5	2830.861	1419.151
17	2825.05	1453.643
17.5	2823.559	1490.309
18	2826.276	1529.191
18.5	2833.105	1570.337
19	2843.962	1613.793
19.5	2858.774	1659.607
20	2877.48	1707.827
20.5	2900.028	1758.502
21	2926.376	1811.682
21.5	2956.49	1867.417
22	2990.341	1925.757

22.5	3027.91	1986.753
23	3069.182	2050.457
23.5	3114.147	2116.92
24	3162.802	2186.194
24.5	3215.147	2258.332
25	3271.187	2333.386