

Федеральное агентство по образованию
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(Национальный исследовательский университет)

Кафедра 106

КУРСОВАЯ РАБОТА
по дисциплине «Динамика полета»

Выполнил Москвитин Андрей

Студент гр. М1О-403Б-18

Подпись: _____

Москва

2022

РЕФЕРАТ

Курсовая работа по дисциплине «Динамика полета» 45 с., 49 рис., 0 источн., 26 табл.

РАСЧЕТ ЛЁТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.

Объектами исследования является расчет лётно-технических, взлётно-посадочных характеристик, траектории полета, диаграммы транспортных возможностей, характеристик продольной и статической устойчивости и управляемости самолета ИЛ-76

Цель работы – закрепление и систематизация знаний по динамике полета, а также овладение навыками инженерной работы в части расчета летных и пилотажных характеристик самолета.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Исходные данные	4
2. Расчет лётно – технических характеристик самолета	5
3. Расчет траектории полета	27
3.1. Расчет характеристик набора высоты	27
3.2. Расчет характеристик крейсерского полета	30
3.3. Расчет характеристик участка снижения	31
3.4. Расчет диаграммы транспортных возможностей	35
3.5. Расчет взлетно-посадочных характеристик самолета	36
3.6. Расчет характеристик маневренности самолета	38
3.7. Расчет характеристик продольной статической устойчивости и управляемости	39

1. Исходные данные

Таблица 1.1 — Исходные данные для самолета ИЛ-76

Ограничение режима полета	$M \leq 0.8; V_i \leq 650 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$
m_0 , тонн	140
$\bar{m}_{\text{цн}}$	0.26
$\bar{m}_{\text{т}}$	0.39
$\bar{m}_{\text{сн}}$	0.46
\bar{P}_0	0.315
$Ce_0, \frac{\text{кг}}{\text{дан*ч}}$	0.54
$\frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{рев}}}$	4/2
$P_s, \frac{\text{дан}}{\text{м}^2}$	535
b_a , м	140
$\bar{L}_{\text{го}}$	3.90

2. Расчет лётно – технических характеристик самолета

Определим следующие характеристики самолета:

1. Зависимости от числа M (скорости) и H (высоты) полета результаты сведем в таблицы 2.1-2.7:

- располагаемой и потребной для горизонтального установившегося полета тяги силовой установки,
- энергетической скороподъемности,
- часового расхода топлива,
- километрового расхода топлива.

2. Зависимости от высоты:

- максимальной энергетической скороподъемности,
- минимального часового расхода топлива,
- минимального километрового расхода топлива,
- минимального и максимального числа M (скорости) полета (с учетом ограничений по безопасности полета),
- числа M (скорости) полета, соответствующего минимальной потребной тяги,
- числа M (скорости) полета, соответствующего максимальной энергетической скороподъемности,
- скорости полета, соответствующей минимальному часовому расходу топлива,
- скорости полета, соответствующему минимальному километровому расходу топлива

3. Статический и практический потолки самолета.

Соотношения для расчета: Узловые точки по числу Маха:

$$M = [0.20.30.40.50.60.70.80.90.95]$$

$$V = Ma_H, \quad (2.1)$$

где a_H — скорость звука на высоте H .

$$q = \frac{\rho_H V^2}{2}, \quad (2.2)$$

где ρ_H — плотность воздуха на высоте H .

$$C_{y_n} = \frac{\bar{m} p_s 10}{q}, \quad (2.3)$$

где $\bar{m} = 0.95$ — относительная масса самолета, p_s — удельная нагрузка на крыло.

$$C_{x_n}(C_y, M) = C_{x_m}(M) + A(M) [C_{y_n} - C_{y_m}(M)]^2 \quad (2.4)$$

где C_{y_m} — коэффициент подъемной силы при $C_x = C_{x_m}$, C_{x_m} — минимальный коэффициент лобового сопротивления, A — коэффициент отвала поляры.

$$K_n = \frac{C_{y_n}}{C_{x_n}} \quad (2.5)$$

$$P_n = \frac{\bar{m} m_0 g}{K_n} \quad (2.6)$$

$$P_p(M, H) = \bar{P}_0 m_0 g \tilde{P}(H, M) \quad (2.7)$$

$$n_x = \Delta \bar{P} = \frac{(P_p - P_n)}{\bar{m} m_0 g} \quad (2.8)$$

$$V_y^* = \Delta \bar{P} V \quad (2.9)$$

$$\bar{R} = \frac{P_n}{P_p} \quad (2.10)$$

$$q_{\text{ч}} = C e(M, H, \bar{R}) P_n = C e_0 \tilde{C} e(H, M) \hat{C} e_{\text{др}}(R) P_n \quad (2.11)$$

$$q_{\text{км}} = \frac{q_{\text{ч}}}{3.6V}, \quad (2.12)$$

где $q_{\text{ч}}$ — часовой расход топлива, $q_{\text{км}}$ — километровый расход топлива.

Для построение таблицы (TODO: стр 40 в курсовой)

1. Определим M_{\min_P} и M_{\max_P} , как точка пересечения графиков $P_n(M, H_i)$ и $P_p(M, H_i)$ рисунки @@@
2. Минимально допустимое число $M_{\min_{\text{доп}}}$, как точка пересечения графиков $C_{y_n}(M, H_i)$ и $C_{y_{\text{доп}}}(M)$ рисунки @@@
3. Максимально допустимое число M полета по условиям безопасности определяется как:

$$M_{\max_{\text{доп}}} = \min \{M_{\text{пред}}, M(V_{i_{\max}})\},$$

$$\text{где } M(V_{i_{\max}}) = \frac{V_{i_{\max}} \sqrt{\Delta^{-1}}}{3.6 a_H}, \quad \sqrt{\Delta^{-1}} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_H}}$$

Таблица 2.1 — Результаты расчета для высоты $H = 0$ км

M	V	V	q	C_{y_n}	K_n	$P_n * 10^{-5}$	$P_p * 10^{-5}$	$\Delta \bar{p}(n_x)$	V_y^*	$\bar{R}_{кр}$	$q_{ч}$	$q_{км}$
—	$\frac{м}{с}$	$\frac{км}{ч}$	$\frac{H}{м^2}$	—	—	H	H	—	$\frac{м}{с}$	—	$\frac{кг}{ч}$	$\frac{кг}{км}$
0.10	34	123	709	7.166	2.06	6.325	4.045	-0.175	-5.9	1.56	34701	283.26
0.20	68	245	2837	1.791	8.40	1.553	3.798	0.172	11.7	0.41	11821	48.25
0.30	102	368	6383	0.796	14.97	0.872	3.569	0.207	21.1	0.24	8315	22.62
0.40	136	490	11348	0.448	14.97	0.872	3.396	0.193	26.3	0.26	8619	17.59
0.50	170	613	17731	0.287	11.50	1.134	3.279	0.164	28.0	0.35	10763	17.57
0.60	204	735	25533	0.199	8.38	1.557	3.201	0.126	25.7	0.49	13413	18.25
0.70	238	858	34754	0.146	6.22	2.099	3.167	0.082	19.5	0.66	15761	18.38
0.80	272	980	45393	0.112	4.61	2.833	3.158	0.025	6.8	0.90	20914	21.34
0.90	306	1103	57450	0.088	3.02	4.323	3.193	-0.087	-26.5	1.35	34825	31.59
0.95	323	1164	64011	0.079	1.97	6.624	3.219	-0.261	-84.4	2.06	53864	46.28

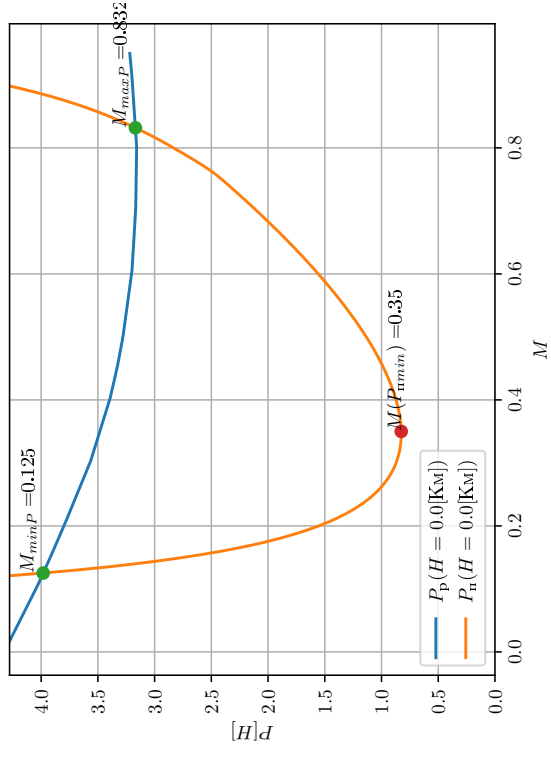


Рисунок 2.1 — График располагаемой и потребляемой тяги

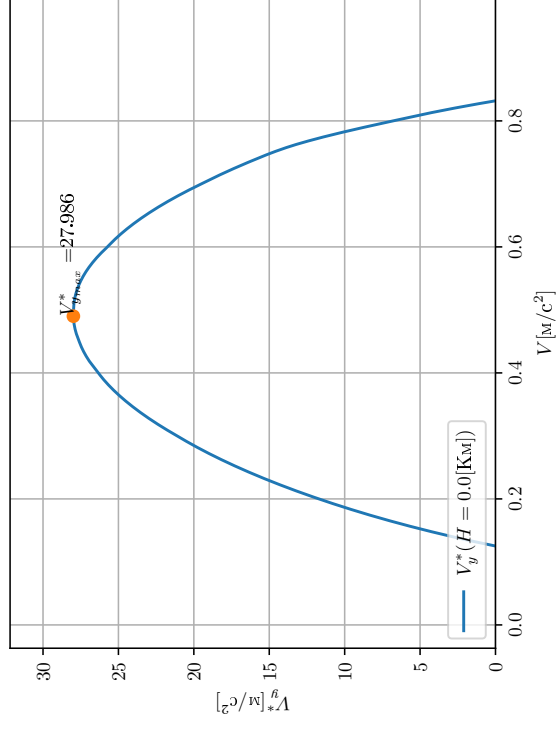


Рисунок 2.3 — График $V_y^*(M, H)$

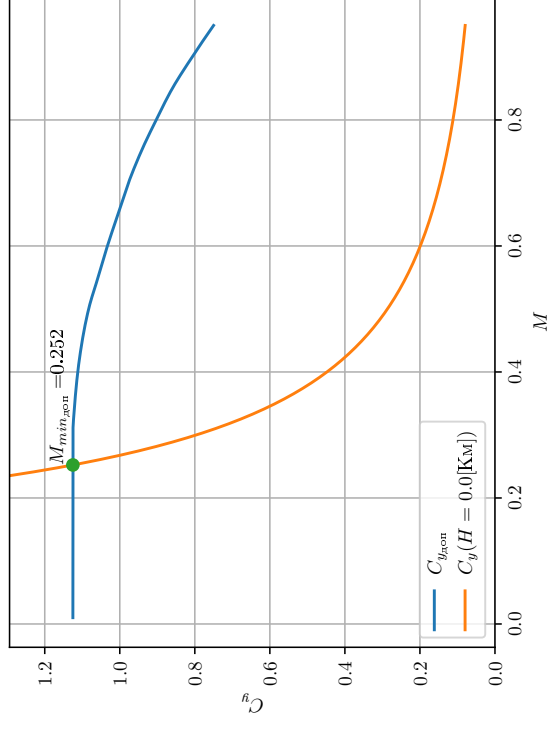


Рисунок 2.2 — График $C_{y_{\text{доп}}}, C_{y_n}$

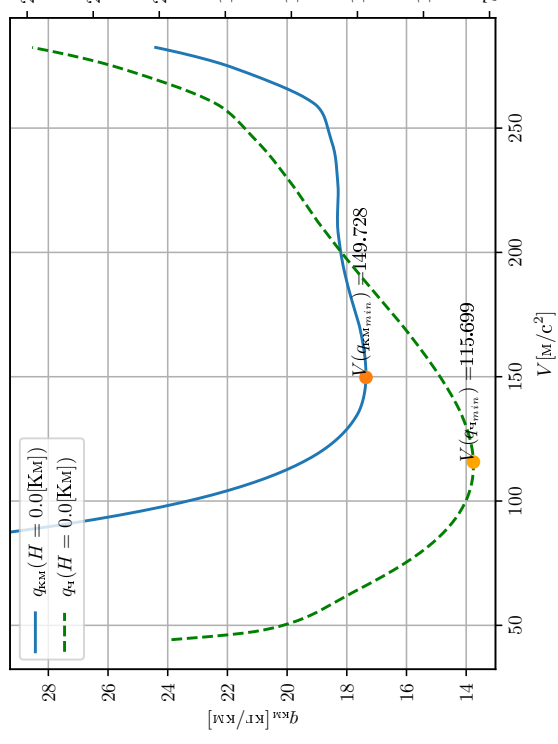


Рисунок 2.4 — График q_{KM}, q_n

Таблица 2.2 — Результаты расчета для высоты $H = 2$ км

M	V	V	q	C_{y_n}	K_n	$P_n * 10^{-5}$	$P_p * 10^{-5}$	$\Delta \bar{p}(n_x)$	V_y^*	$\bar{R}_{кр}$	$q_{ч}$	$q_{км}$
—	$\frac{м}{с}$	$\frac{км}{ч}$	$\frac{H}{м^2}$	—	—	H	H	—	$\frac{м}{с}$	—	$\frac{кг}{ч}$	$\frac{кг}{км}$
0.10	33	120	557	9.129	1.61	8.108	3.708	-0.337	-11.2	2.19	43913	366.82
0.20	67	239	2227	2.282	6.65	1.962	3.483	0.117	7.7	0.56	12280	51.29
0.30	100	359	5011	1.014	13.28	0.983	3.266	0.175	17.5	0.30	8608	23.97
0.40	133	479	8908	0.571	15.77	0.827	3.085	0.173	23.0	0.27	7858	16.41
0.50	166	599	13919	0.365	13.57	0.961	2.963	0.153	25.5	0.32	9006	15.05
0.60	200	718	20043	0.254	10.36	1.259	2.877	0.124	24.7	0.44	11002	15.32
0.70	233	838	27281	0.186	7.83	1.666	2.847	0.091	21.1	0.59	12882	15.37
0.80	266	958	35632	0.143	5.83	2.239	2.838	0.046	12.2	0.79	15478	16.16
0.90	299	1077	45097	0.113	3.81	3.428	2.860	-0.044	-13.0	1.20	26469	24.57
0.95	316	1137	50247	0.101	2.48	5.256	2.879	-0.182	-57.6	1.83	41009	36.06

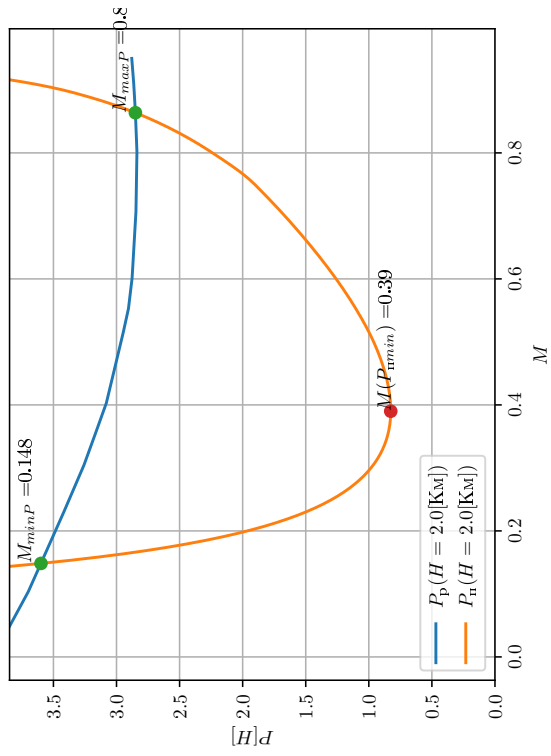


Рисунок 2.5 — График располагаемой и потребляемой тяги

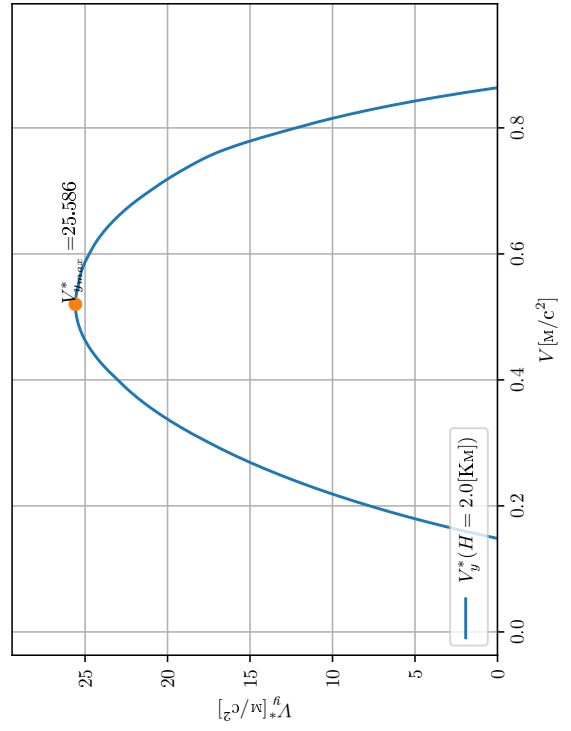


Рисунок 2.7 — График $V_y^*(M, H)$

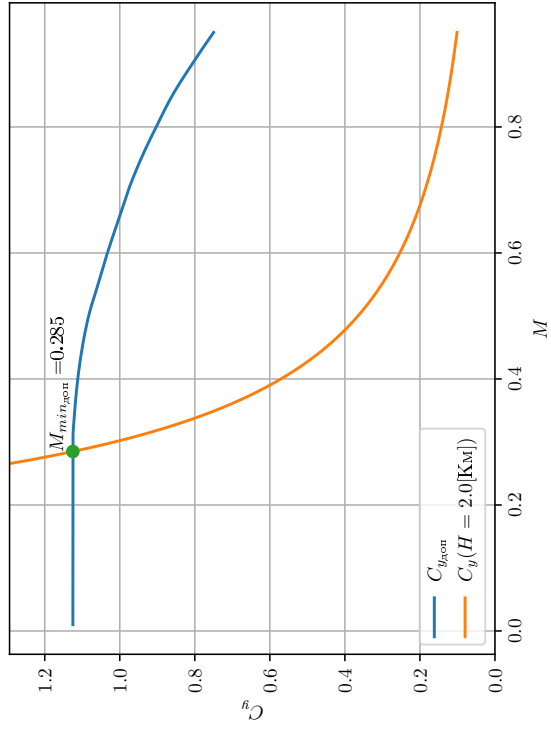


Рисунок 2.6 — График $C_{y_{\text{доп}}}$, C_{y_n}

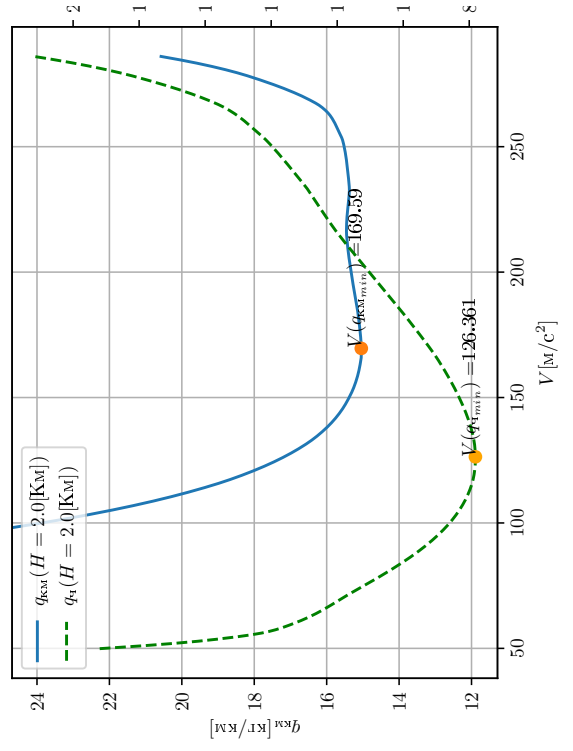


Рисунок 2.8 — График q_{KM} , $q_{\text{ч}}$

Таблица 2.3 — Результаты расчета для высоты $H = 4$ км

M	V $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	V $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$	q $\frac{H}{\text{м}^2}$	C_{y_n}	K_n	$P_n * 10^{-5}$ H	$P_p * 10^{-5}$ H	$\Delta \bar{p}(n_x)$	V_y^* $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\bar{R}_{\text{кр}}$	$q_{\text{ч}}$ $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$q_{\text{км}}$ $\frac{\text{кг}}{\text{км}}$
—				—	—			—		—		
0.10	32	117	431	11.780	1.24	10.522	3.357	-0.549	-17.8	3.13	56927	487.17
0.20	65	234	1726	2.945	5.15	2.536	3.093	0.043	2.8	0.82	13116	56.12
0.30	97	351	3883	1.309	11.06	1.180	2.890	0.131	12.8	0.41	9060	25.84
0.40	130	467	6903	0.736	15.35	0.850	2.726	0.144	18.7	0.31	7540	16.13
0.50	162	584	10786	0.471	15.21	0.858	2.609	0.134	21.8	0.33	7797	13.34
0.60	195	701	15532	0.327	12.51	1.043	2.522	0.113	22.1	0.41	9043	12.90
0.70	227	818	21141	0.240	9.77	1.336	2.470	0.087	19.8	0.54	10455	12.78
0.80	260	935	27612	0.184	7.35	1.776	2.453	0.052	13.5	0.72	12129	12.97
0.90	292	1052	34947	0.145	4.80	2.720	2.509	-0.016	-4.7	1.08	19916	18.94
0.95	308	1110	38938	0.131	3.13	4.162	2.542	-0.124	-38.3	1.64	30744	27.69

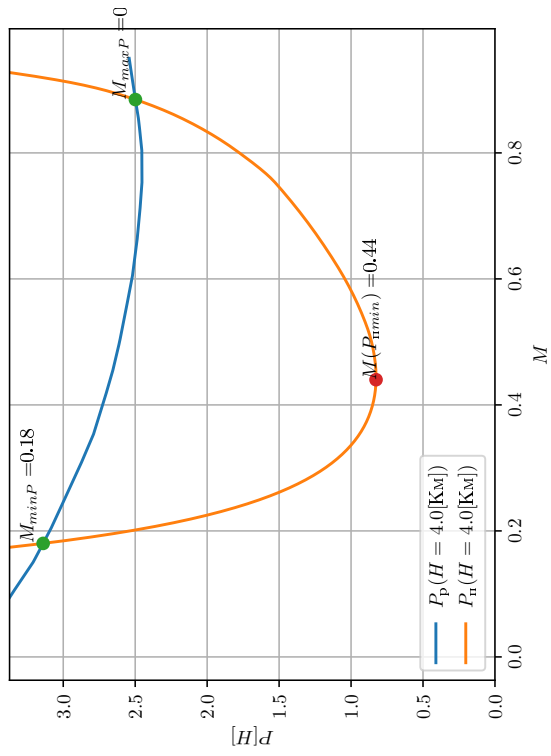


Рисунок 2.9 — График располагаемой и потребляемой тяги

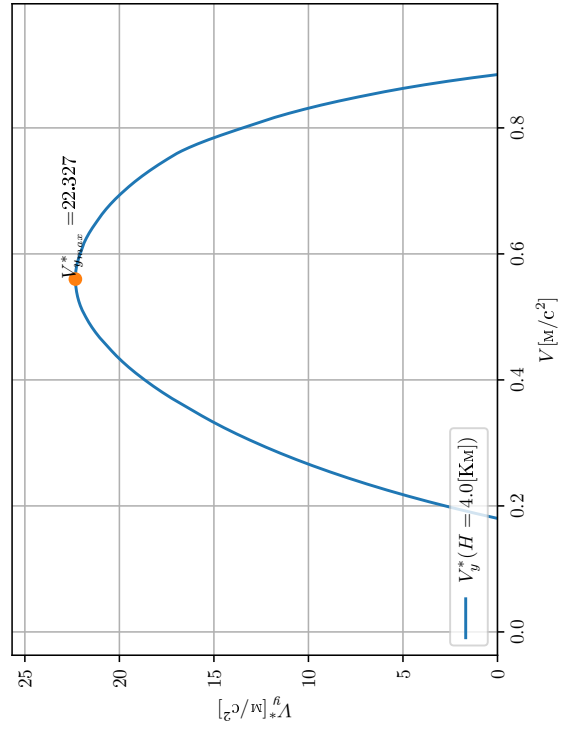


Рисунок 2.11 — График $V_y^*(M, H)$

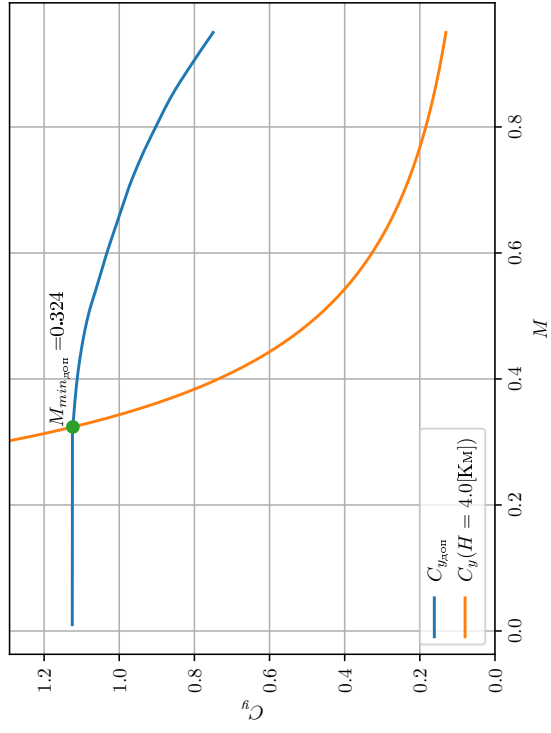


Рисунок 2.10 — График $C_{y_{\text{доп}}}$, C_{y_n}

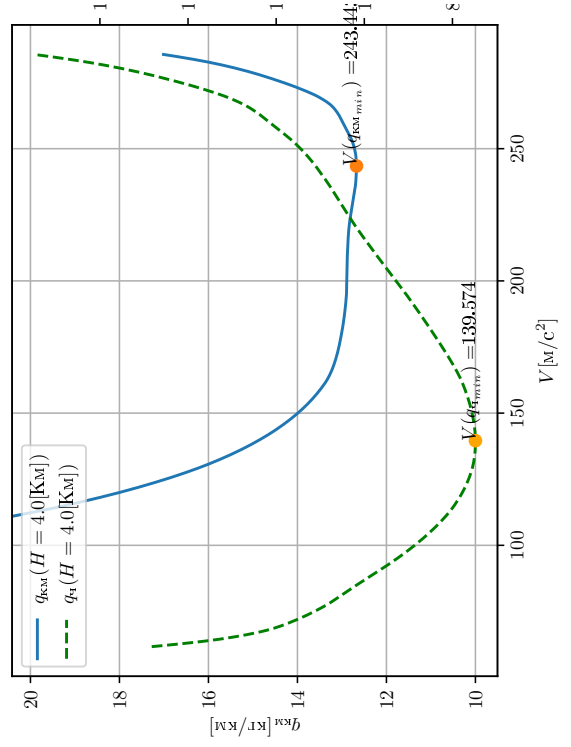


Рисунок 2.12 — График $q_{\text{км}}$, q_t

Таблица 2.4 — Результаты расчета для высоты $H = 6$ км

M	V $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	V $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$	q $\frac{H}{\text{м}^2}$	C_{y_n}	K_n	$P_n * 10^{-5}$ H	$P_p * 10^{-5}$ H	$\Delta \bar{p}(n_x)$	V_y^* $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\bar{R}_{\text{кр}}$	$q_{\text{ч}}$ $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$q_{\text{км}}$ $\frac{\text{кг}}{\text{км}}$
—				—	—			—		—		
0.10	32	114	330	15.380	0.95	13.803	2.769	-0.846	-26.8	4.99	73934	648.99
0.20	63	228	1322	3.845	3.92	3.332	2.574	-0.058	-3.7	1.29	18493	81.16
0.30	95	342	2974	1.709	8.78	1.487	2.444	0.073	7.0	0.61	8970	26.25
0.40	127	456	5287	0.961	13.71	0.952	2.336	0.106	13.4	0.41	7460	16.37
0.50	158	570	8262	0.615	15.77	0.827	2.263	0.110	17.4	0.37	7090	12.45
0.60	190	684	11897	0.427	14.34	0.910	2.224	0.101	19.1	0.41	7770	11.37
0.70	222	797	16193	0.314	11.79	1.106	2.206	0.084	18.7	0.50	8845	11.09
0.80	253	911	21150	0.240	9.08	1.437	2.215	0.060	15.1	0.65	10105	11.09
0.90	285	1025	26768	0.190	5.96	2.188	2.263	0.006	1.6	0.97	15225	14.85
0.95	301	1082	29824	0.170	3.93	3.323	2.299	-0.078	-23.6	1.45	23971	22.15

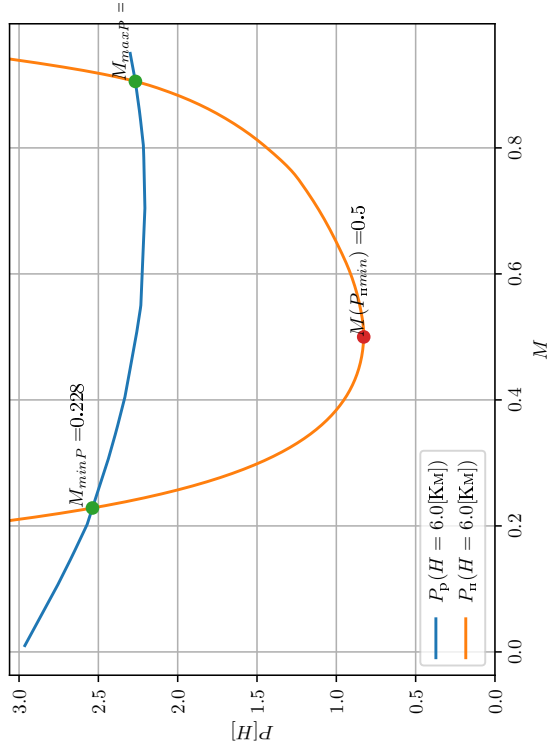


Рисунок 2.13 — График располагаемой и потребляемой

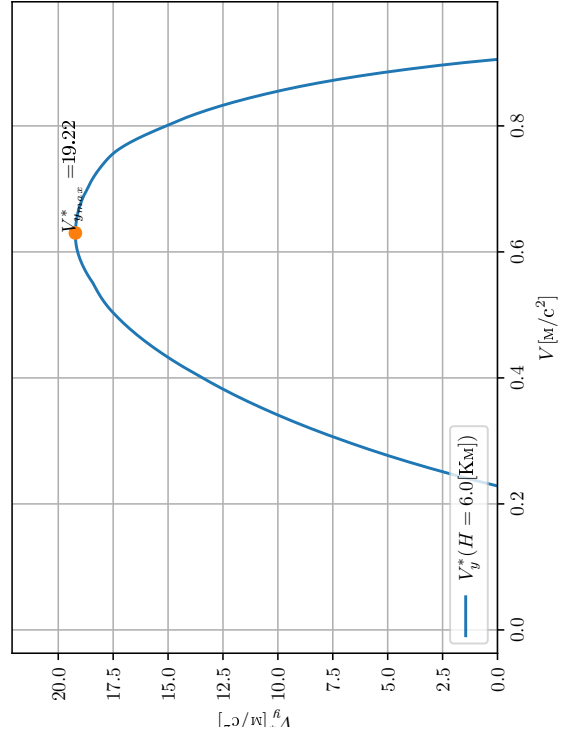


Рисунок 2.15 — График $V_y^*(M, H)$

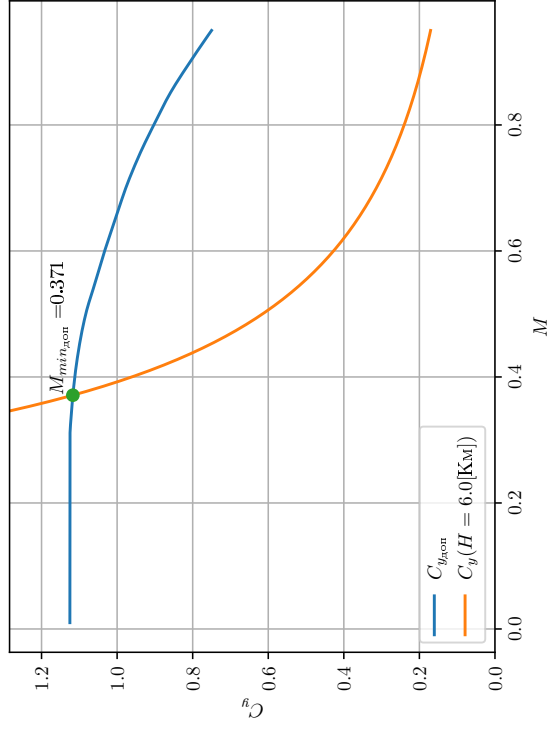


Рисунок 2.14 — График $C_{y_{доп}}, C_{y_n}$

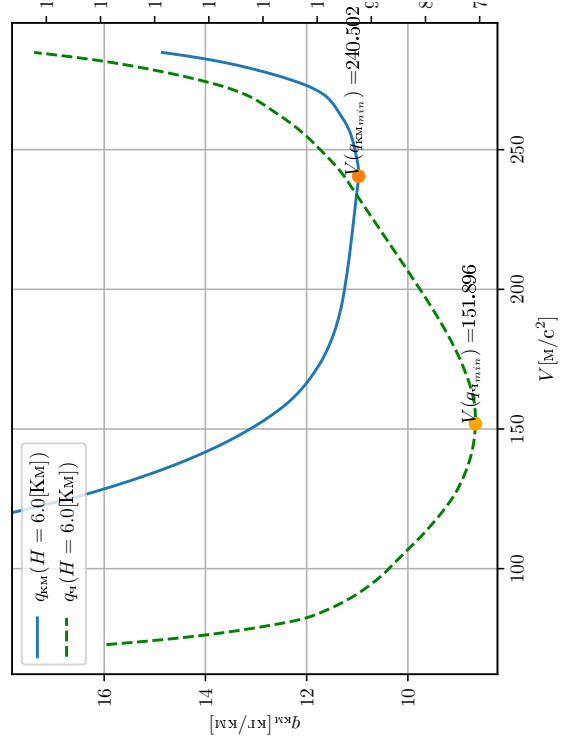


Рисунок 2.16 — График q_{km}, q_n

Таблица 2.5 — Результаты расчета для высоты $H = 8$ км

M	V	V	q	C_{y_n}	K_n	$P_n * 10^{-5}$	$P_p * 10^{-5}$	$\Delta \bar{p}(n_x)$	V_y^*	$\bar{R}_{кр}$	$q_{\text{ч}}$	$q_{\text{км}}$
—	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\frac{\text{км}}{\text{ч}}$	$\frac{H}{\text{м}^2}$	—	—	H	H	—	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	—	$\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$\frac{\text{кг}}{\text{км}}$
0.10	31	111	250	20.357	0.71	18.343	2.358	-1.225	-37.7	7.78	97560	879.56
0.20	62	222	999	5.089	2.93	4.447	2.206	-0.172	-10.6	2.02	24373	109.87
0.30	92	333	2247	2.262	6.71	1.945	2.077	0.010	0.9	0.94	10501	31.56
0.40	123	444	3995	1.272	11.31	1.153	1.990	0.064	7.9	0.58	7288	16.43
0.50	154	555	6242	0.814	14.83	0.880	1.960	0.083	12.8	0.45	6736	12.15
0.60	185	666	8988	0.565	15.14	0.862	1.947	0.083	15.4	0.44	6934	10.42
0.70	216	776	12234	0.415	13.39	0.975	1.973	0.076	16.5	0.49	7662	9.87
0.80	246	887	15979	0.318	10.72	1.217	2.020	0.062	15.2	0.60	8729	9.84
0.90	277	998	20223	0.251	7.18	1.816	2.072	0.020	5.4	0.88	11788	11.81
0.95	293	1054	22533	0.226	4.81	2.712	2.103	-0.047	-13.7	1.29	19081	18.11

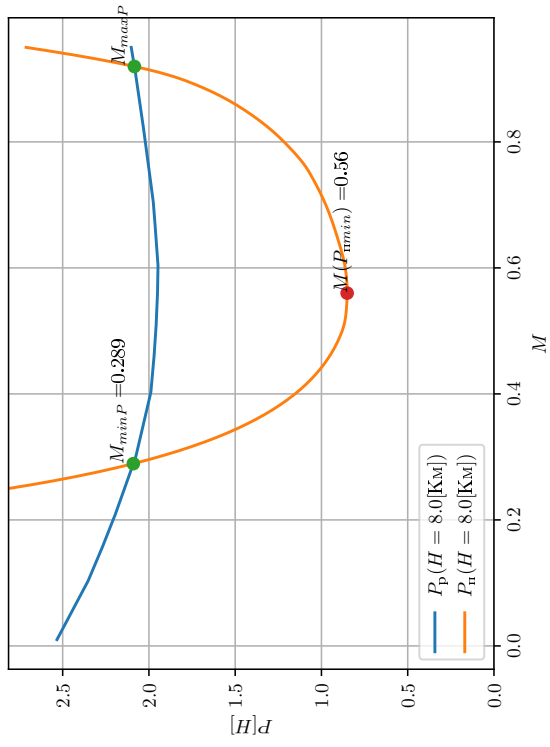


Рисунок 2.17 — График располагаемой и потребной тяги

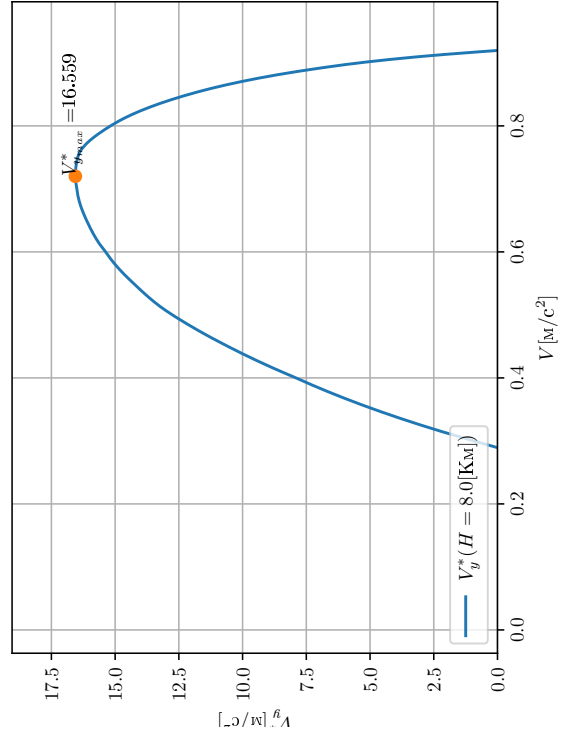


Рисунок 2.19 — График $V_g^*(M, H)$

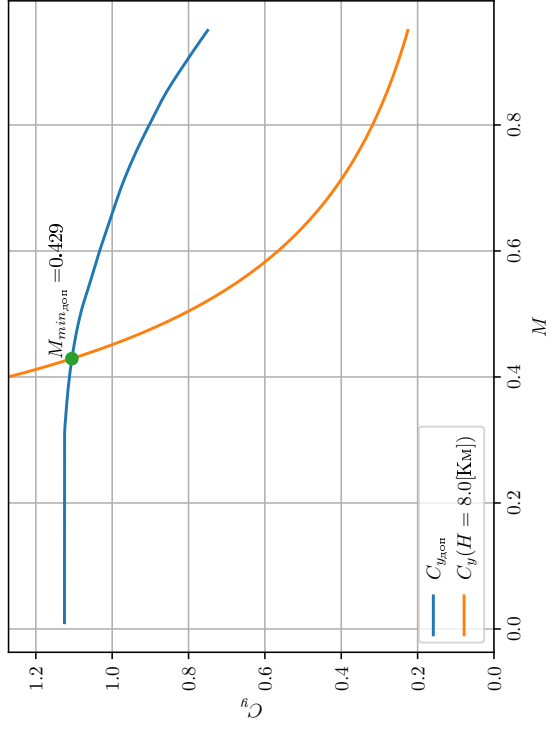


Рисунок 2.18 — График $C_{y_{\text{дон}}}$, C_{y_n}

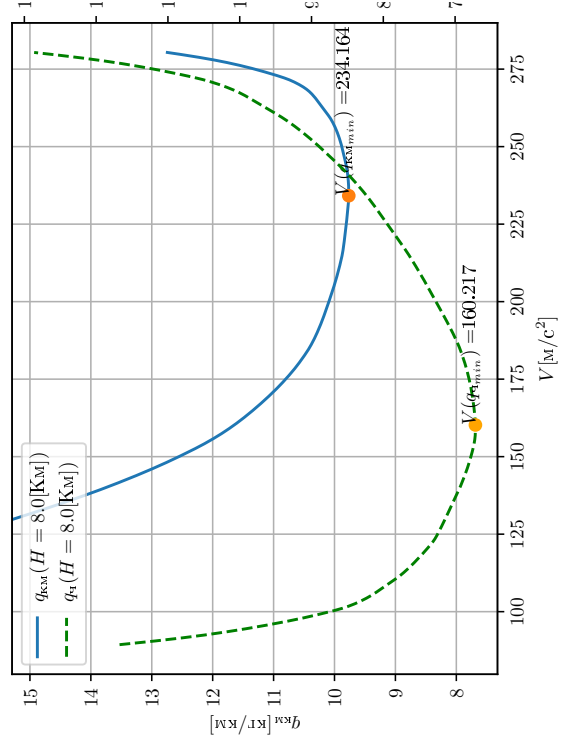


Рисунок 2.20 — График $q_{\text{км}}$, q_t

Таблица 2.6 — Результаты расчета для высоты $H = 10$ км

M	V $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	V $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$	q $\frac{H}{\text{м}^2}$	C_{y_n}	K_n	$P_n * 10^{-5}$ H	$P_p * 10^{-5}$ H	$\Delta \bar{p}(n_x)$	V_y^* $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\bar{R}_{\text{кр}}$	$q_{\text{ч}}$ $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$q_{\text{км}}$ $\frac{\text{кг}}{\text{км}}$
—				—	—			—		—		
0.10	30	108	186	27.367	0.53	24.742	1.774	-1.760	-52.7	13.95	130922	1214.14
0.20	60	216	743	6.842	2.16	6.031	1.674	-0.334	-20.0	3.60	32730	151.76
0.30	90	323	1671	3.041	4.98	2.619	1.601	-0.078	-7.0	1.64	14594	45.11
0.40	120	431	2971	1.710	8.77	1.488	1.544	0.004	0.5	0.96	8315	19.28
0.50	150	539	4643	1.095	12.63	1.033	1.542	0.039	5.8	0.67	6131	11.37
0.60	180	647	6686	0.760	14.34	0.910	1.549	0.049	8.8	0.59	6088	9.41
0.70	210	755	9100	0.559	13.79	0.946	1.570	0.048	10.0	0.60	6454	8.55
0.80	240	863	11886	0.428	11.70	1.115	1.627	0.039	9.4	0.69	7286	8.45
0.90	270	970	15043	0.338	8.14	1.603	1.739	0.010	2.8	0.92	10413	10.73
0.95	285	1024	16761	0.303	5.63	2.317	1.815	-0.039	-11.0	1.28	16091	15.71

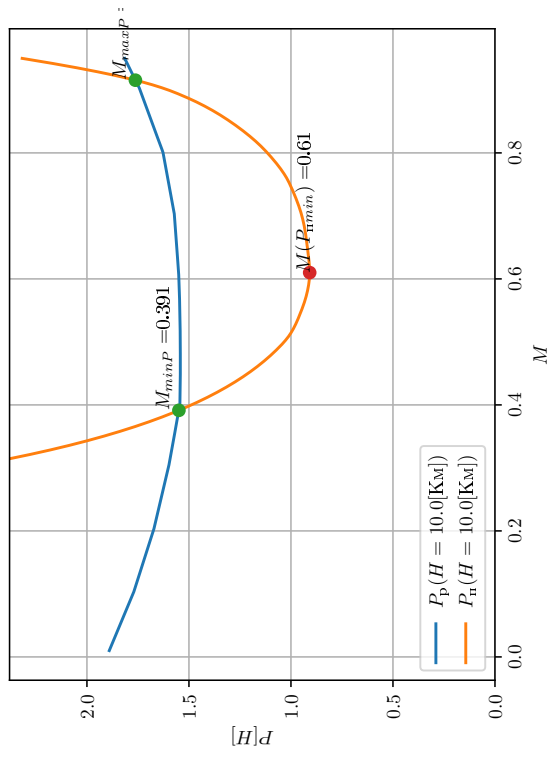


Рисунок 2.21 — График располагаемой и потребной тяги

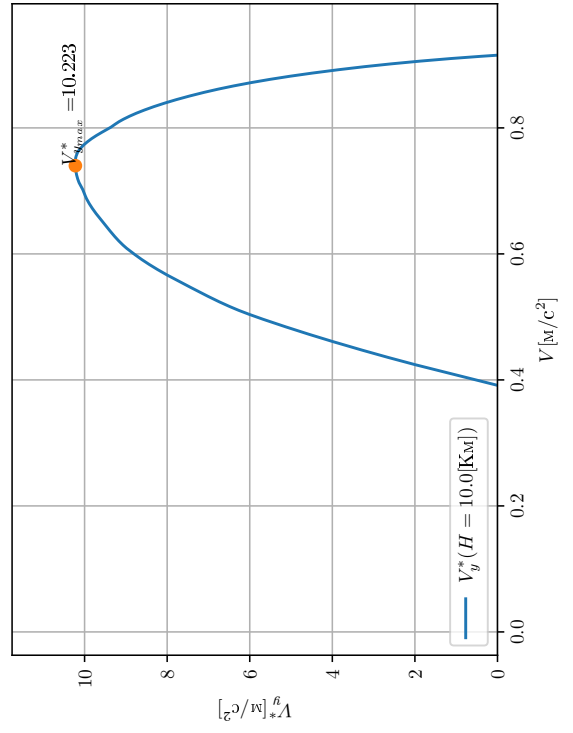


Рисунок 2.23 — График $V_g^*(M, H)$

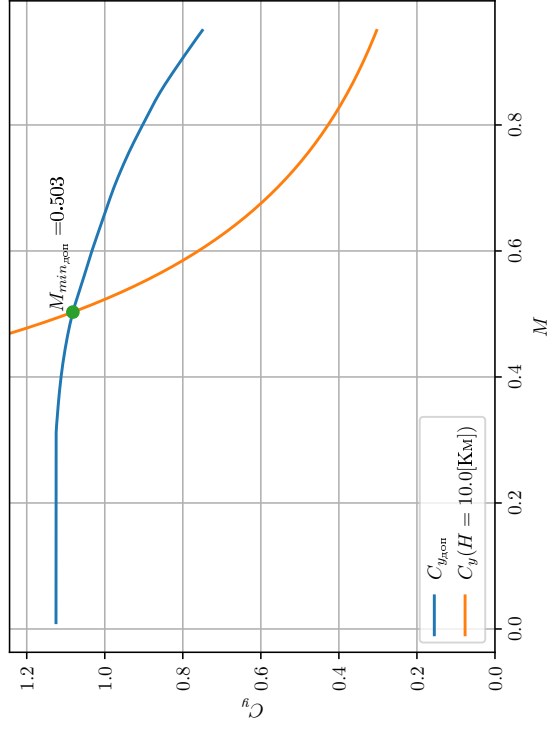


Рисунок 2.22 — График $C_{y_{\text{дон}}}$, C_{y_n}

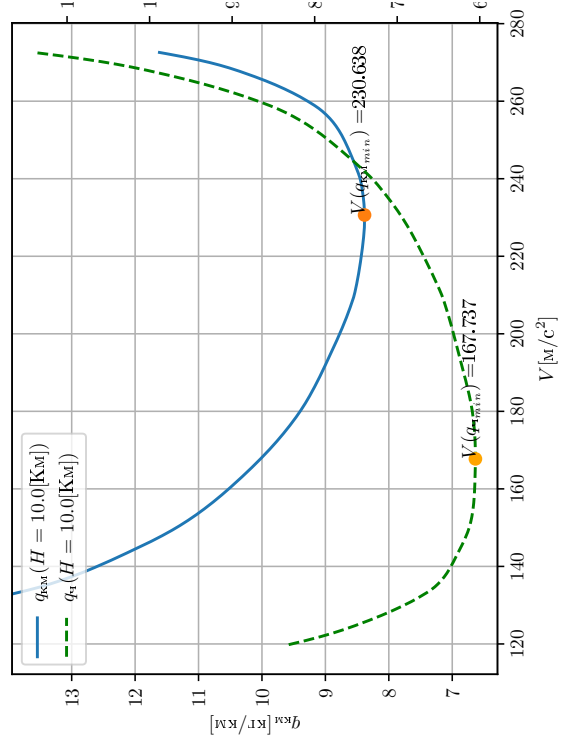


Рисунок 2.24 — График $q_{\text{км}}$, q_t

Таблица 2.7 — Результаты расчета для высоты $H = 12$ км

M	V $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	V $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$	q $\frac{H}{\text{м}^2}$	C_{y_n}	K_n	$P_n * 10^{-5}$ H	$P_p * 10^{-5}$ H	$\Delta \bar{p}(n_x)$	V_y^* $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\bar{R}_{\text{кр}}$	$q_{\text{ч}}$ $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$q_{\text{км}}$ $\frac{\text{кг}}{\text{км}}$
—				—	—			—		—		
0.10	30	106	136	37.420	0.38	33.920	1.294	-2.501	-73.8	26.21	176742	1663.84
0.20	59	212	543	9.355	1.57	8.314	1.202	-0.545	-32.2	6.92	44443	209.19
0.30	89	319	1222	4.158	3.61	3.611	1.146	-0.189	-16.7	3.15	19832	62.23
0.40	118	425	2173	2.339	6.49	2.010	1.120	-0.068	-8.1	1.79	11380	26.78
0.50	148	531	3396	1.497	9.88	1.321	1.113	-0.016	-2.4	1.19	7761	14.61
0.60	177	637	4890	1.039	12.14	1.075	1.128	0.004	0.7	0.95	6355	9.97
0.70	207	744	6655	0.764	12.57	1.038	1.165	0.010	2.0	0.89	6192	8.33
0.80	236	850	8693	0.585	11.39	1.146	1.231	0.007	1.5	0.93	7189	8.46
0.90	266	956	11002	0.462	8.39	1.556	1.331	-0.017	-4.6	1.17	10556	11.04
0.95	280	1009	12258	0.415	6.09	2.142	1.386	-0.058	-16.2	1.54	14712	14.58

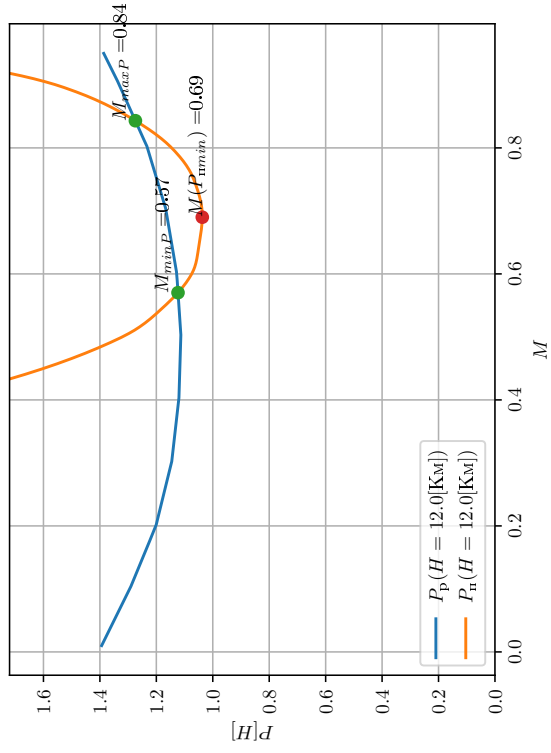


Рисунок 2.25 — График располагаемой и потребной тяги

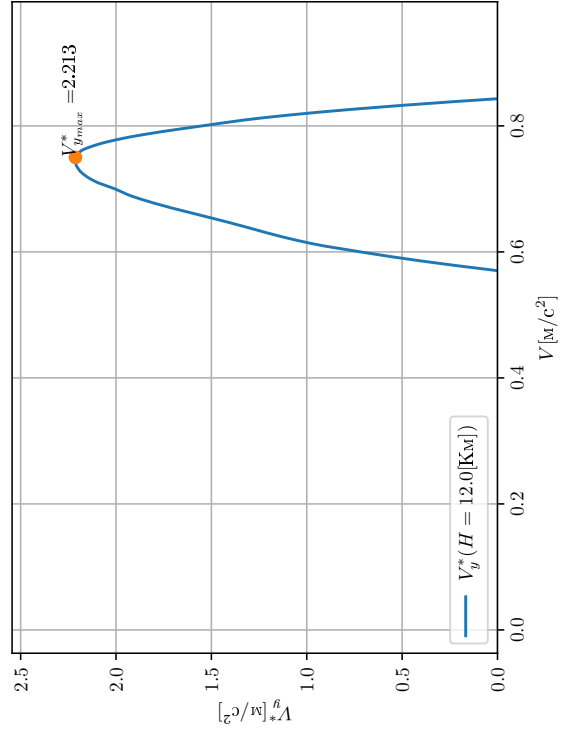


Рисунок 2.27 — График $V_y^*(M, H)$

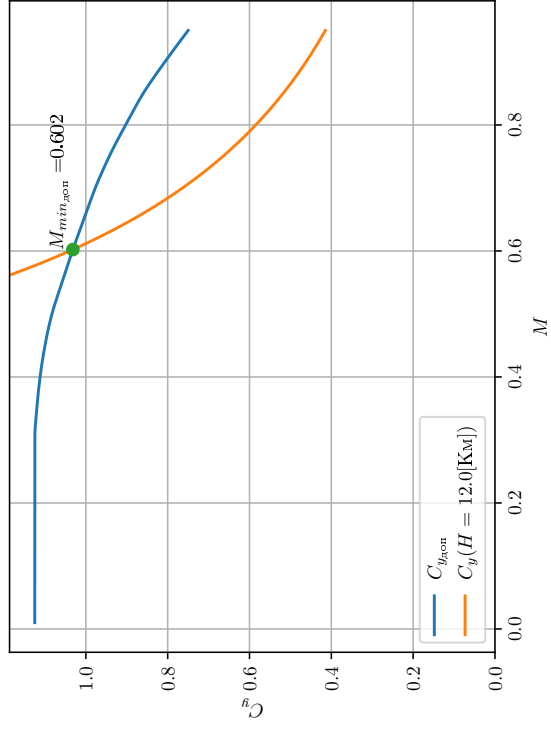


Рисунок 2.26 — График $C_{y_{\text{доп}}}$, C_{y_n}

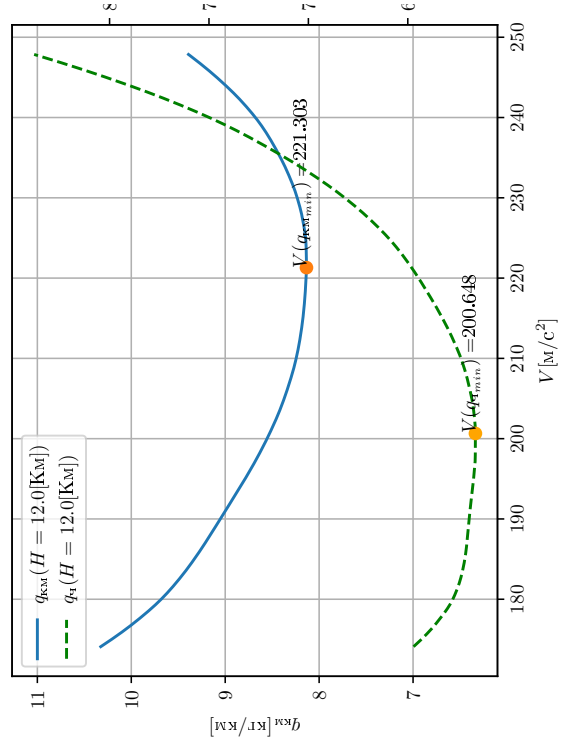


Рисунок 2.28 — График q_{KM} , q_t

Таблица 2.8 — Результаты расчета для высоты $H = 12.40$ км

M	V	V	q	C_{y_n}	K_n	$P_n * 10^{-5}$	$P_p * 10^{-5}$	$\Delta \bar{p}(n_x)$	V_y^*	$\bar{R}_{кр}$	$q_{\text{ч}}$	$q_{\text{км}}$
—	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\frac{\text{км}}{\text{ч}}$	$\frac{H}{\text{м}^2}$	—	—	H	H	—	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	—	$\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$\frac{\text{кг}}{\text{км}}$
0.10	30	106	128	39.831	0.36	36.121	1.215	-2.675	-78.9	29.73	188212	1771.82
0.20	59	212	510	9.958	1.47	8.862	1.128	-0.593	-35.0	7.85	47374	222.99
0.30	89	319	1148	4.426	3.39	3.851	1.076	-0.213	-18.8	3.58	21150	66.37
0.40	118	425	2042	2.489	6.10	2.140	1.052	-0.083	-9.8	2.03	12111	28.50
0.50	148	531	3190	1.593	9.35	1.396	1.045	-0.027	-4.0	1.34	8201	15.44
0.60	177	637	4594	1.106	11.62	1.123	1.059	-0.005	-0.9	1.06	6877	10.79
0.70	207	744	6253	0.813	12.18	1.072	1.094	0.002	0.3	0.98	6714	9.03
0.80	236	850	8167	0.622	11.16	1.169	1.156	-0.001	-0.2	1.01	7698	9.06
0.90	266	956	10336	0.492	8.32	1.567	1.250	-0.024	-6.5	1.25	10637	11.13
0.95	280	1009	11516	0.441	6.11	2.135	1.302	-0.064	-17.9	1.64	14663	14.53

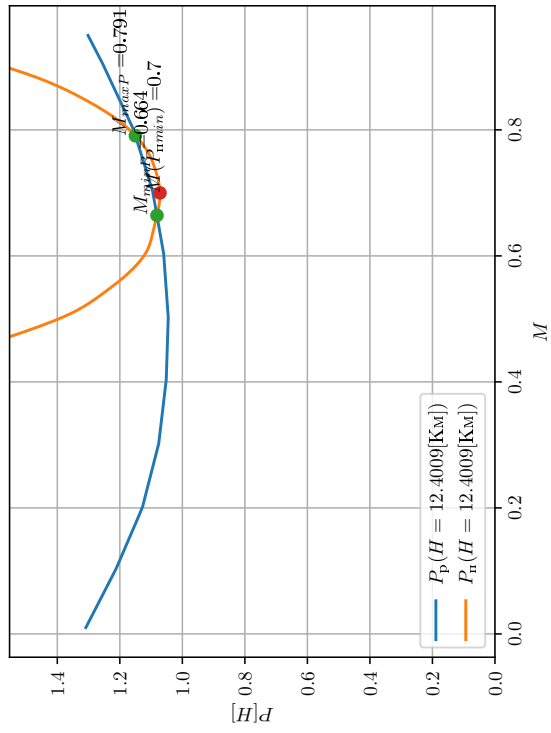


Рисунок 2.29 — График располагаемой и потребляемой тяги

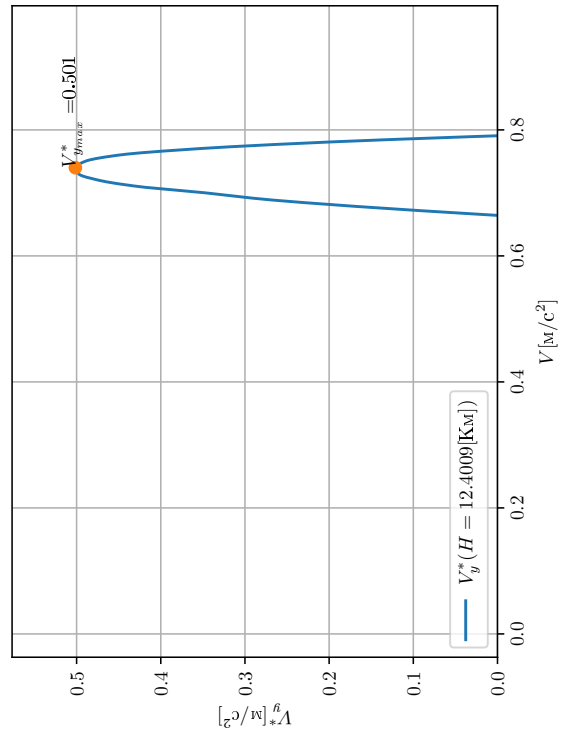


Рисунок 2.31 — График $V_y^*(M, H)$

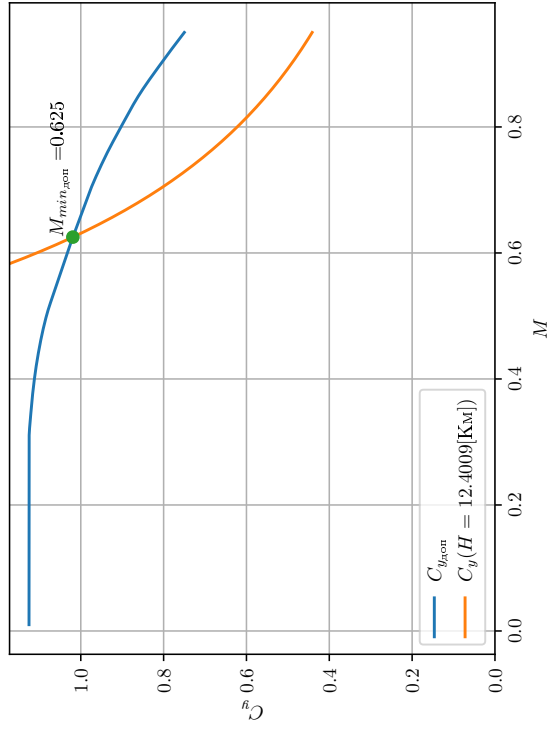


Рисунок 2.30 — График $C_{y_{\text{доп}}}, C_{y_n}$

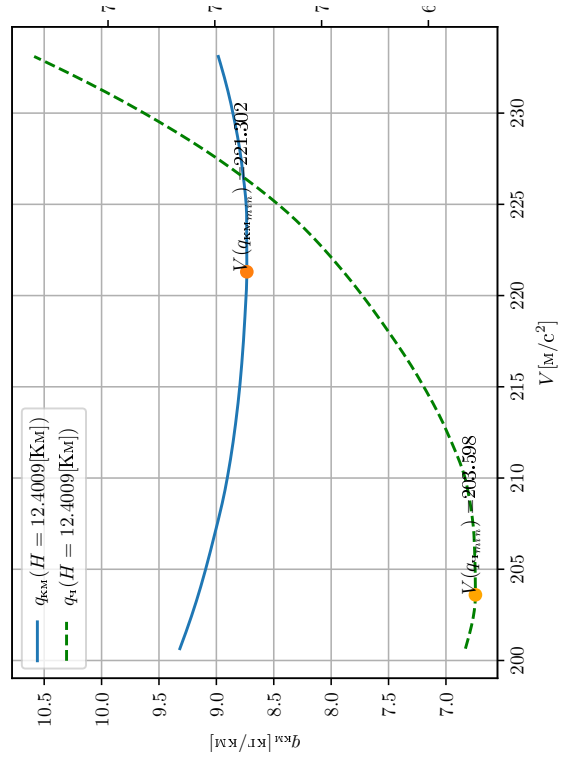


Рисунок 2.32 — График q_{km}, q_t

4. Располагаемые значение минимального и максимального числа M определяются как:

$$M_{\min} = \max \{ M_{\min_{\text{доп}}}, M_{\min_P} \},$$

$$M_{\max} = \min \{ M_{\max_{\text{доп}}}, M_{\max_P}, M_{\text{пред}} \},$$

5. Число M_1 полета, соответствующее минимальной потребной тяге определяется как:

$$M_1 = M(P_{n_{\min}}) = \arg \min_M \Delta P_n(M)$$

6. Число M_2 полета, соответствующее максимальной энергетической скороподъёмности определяется как:

$$M_2 = M(V_{y_{\max}}^*) = \arg \max_M V_y^*(M, H_i)$$

7. Минимальные значения часового $q_{\text{ч}_{\min}}$ и километрового $q_{\text{км}_{\min}}$ расхода топлива, и соответствующие им скорости полета определены на графике 2.4.1-7 и 2.5.1-7 или как:

$$q_{\text{ч}_{\min}} = \min_V q_{\text{ч}}(V, H_i), V_3 = V(q_{\text{ч}_{\min}}) = \arg \min_V q_{\text{ч}}(V, H_i)$$

$$q_{\text{км}_{\min}} = \min_V q_{\text{км}}(V, H_i), V_4 = V(q_{\text{км}_{\min}}) = \arg \min_V q_{\text{км}}(V, H_i)$$

Таблица 2.9 — Результаты для построение графика высот и скоростей

H	$V_{y_{max}}^*$	$M[V]_{\min \text{ доп}}$	$M[V]_{\max \text{ доп}}$	$M[V]_{\min}$	$M[V]_{\max}$	$M_1[V_1]$ ($P_n \text{ min}$)	$M_2[V_2]$ ($V_{y_{max}}^*$)	V_3 (q_{KMmin})	V_4 (q_{KMmin})	M_4	$q_{\text{чmin}}$	q_{KMmin}
КМ	$\frac{\text{М}}{\text{с}}$	$-\left[\frac{\text{КМ}}{\text{ч}}\right]$	$-\left[\frac{\text{КМ}}{\text{ч}}\right]$	$-\left[\frac{\text{КМ}}{\text{ч}}\right]$	$-\left[\frac{\text{КМ}}{\text{ч}}\right]$	$-\left[\frac{\text{КМ}}{\text{ч}}\right]$	$-\left[\frac{\text{КМ}}{\text{ч}}\right]$	$\frac{\text{КМ}}{\text{ч}}$	$\frac{\text{КМ}}{\text{ч}}$	—	$\frac{\text{КТ}}{\text{ч}}$	$\frac{\text{КТ}}{\text{КМ}}$
0.0	27.99	0.252 [309]	0.612 [750]	0.252 [309]	0.612 [750]	0.350 [429]	0.490 [600]	116	150	0.440	8110.24	17.36
2.0	25.59	0.285 [341]	0.675 [808]	0.285 [341]	0.675 [808]	0.390 [467]	0.520 [622]	126	170	0.510	7812.45	15.04
4.0	22.33	0.324 [378]	0.748 [874]	0.324 [378]	0.748 [874]	0.440 [514]	0.560 [654]	140	243	0.750	7478.81	12.67
6.0	19.22	0.371 [423]	0.800 [911]	0.371 [423]	0.800 [911]	0.500 [570]	0.630 [718]	152	241	0.760	7077.93	10.97
8.0	16.56	0.429 [476]	0.800 [887]	0.429 [476]	0.800 [887]	0.560 [621]	0.720 [799]	160	234	0.760	6716.82	9.77
10.0	10.22	0.503 [542]	0.800 [863]	0.503 [542]	0.800 [863]	0.610 [658]	0.740 [798]	168	231	0.770	6052.28	8.38
12.0	2.21	0.602 [640]	0.800 [850]	0.602 [640]	0.800 [850]	0.690 [733]	0.750 [797]	201	221	0.750	6159.86	8.13
12.4	0.5	0.625 [664]	0.800 [850]	0.664 [706]	0.791 [840]	0.700 [744]	0.740 [786]	204	221	0.750	6711.91	8.73

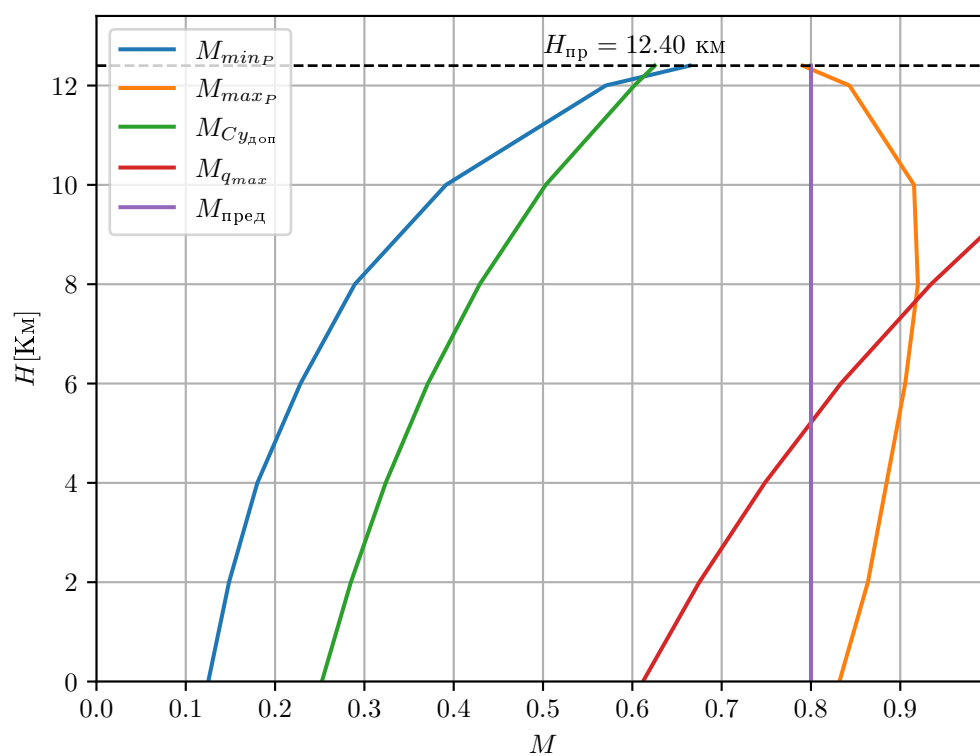


Рисунок 2.33 — График области высот и скоростей установившегося горизонтального полета

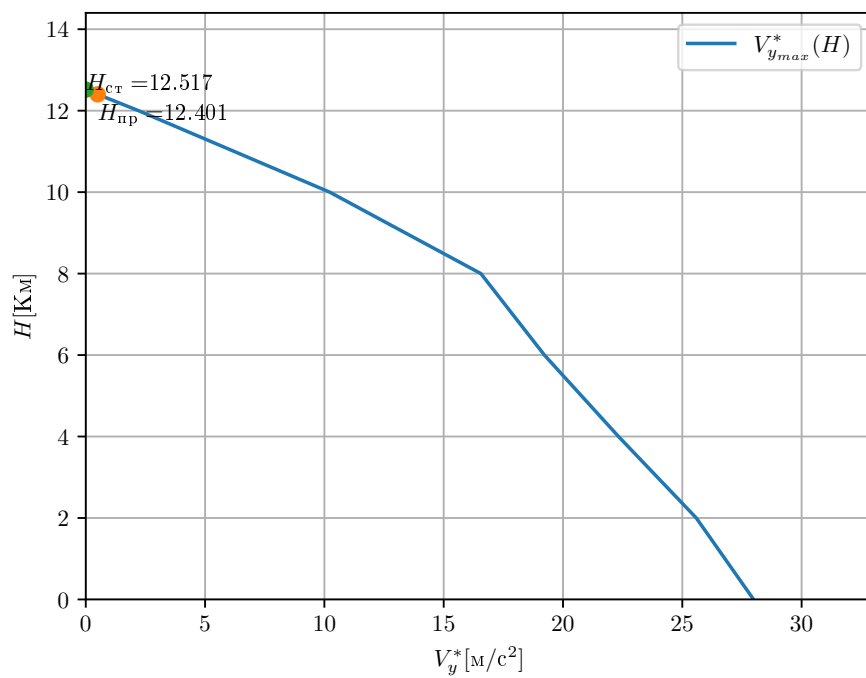


Рисунок 2.34 — График $V_{y_{max}}^*(H)$

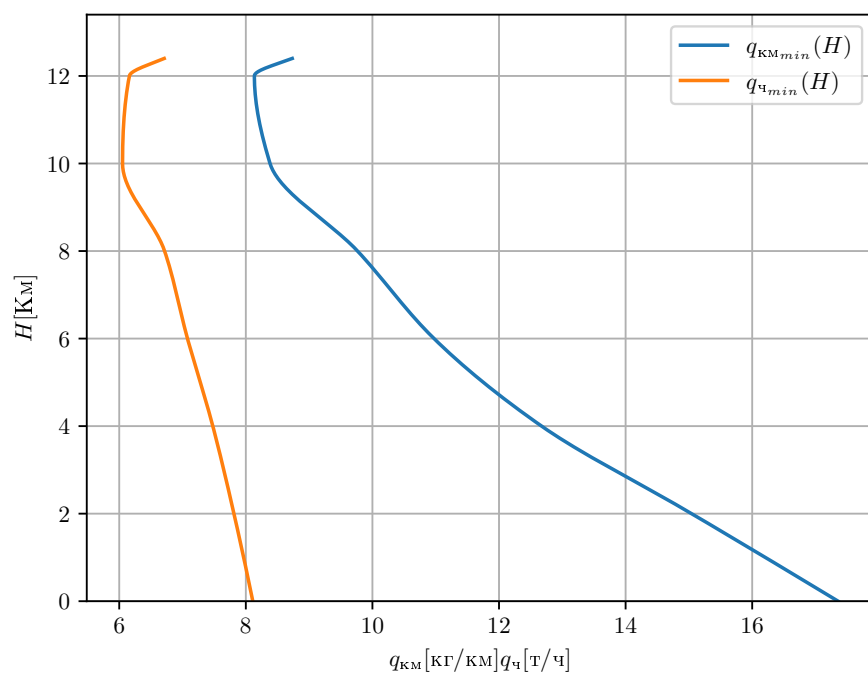


Рисунок 2.35 — График $q_{\text{Ч}_{min}}(H), q_{KM_{min}}(H)$

3. Расчет траектории полета

3.1. Расчет характеристик набора высоты

Начальные условия:

$$H_0 = 0; M_0 = 1.2M_{\min_{\text{доп}}}, V_0 = 1.2V_{\min_{\text{доп}}}.$$

Конечные условия:

$$(H_{\text{к}}, M_{\text{к}}) = \arg \min_{H, M} q_{\text{км}}(M, H)$$

Конечная высота принимается равная $H_{\text{к}} = 11$, км Соотношения для расчета :

$$\frac{dV}{dH} = \frac{V^{i+1} - V^i}{H^{i+1} - H^i} \quad (3.1)$$

$$\kappa = \frac{1}{1 + \frac{V}{g} \frac{dV}{dH}} \quad (3.2)$$

$$\theta_{\text{наб}} = n_x \kappa 57.3 \quad (3.3)$$

$$V_{y_{\text{наб}}} = V_{y_{\text{max}}}^* \kappa \quad (3.4)$$

$$H_{\text{э}}^i = H^i + \frac{(V^i)^2}{2g} \quad (3.5)$$

$$\Delta H_{\text{э}} = H_{\text{э}}(V_{\text{наб}}^{i+1}, H^{i+1}) - H_{\text{э}}(V_{\text{наб}}^i, H^i) \quad (3.6)$$

$$\left(\frac{1}{n_x} \right)_{\text{ср}} = 0.5 \left[\frac{1}{n_x(H_{\text{э}}^i)} + \frac{1}{n_x(H_{\text{э}}^{i+1})} \right] \quad (3.7)$$

$$\left(\frac{1}{V_y^*} \right)_{\text{ср}} = 0.5 \left[\frac{1}{V_y^*(H_{\text{э}}^i)} + \frac{1}{V_y^*(H_{\text{э}}^{i+1})} \right] \quad (3.8)$$

$$\left(\frac{CeP}{V_y^*} \right)_{\text{ср}} = 0.5 \left[\frac{CeP}{V_y^*(H_{\text{э}}^i)} + \frac{CeP}{V_y^*(H_{\text{э}}^{i+1})} \right] \quad (3.9)$$

$$L_{\text{наб}} = \sum \left(\frac{1}{n_x} \right)_{\text{ср}} \frac{\Delta H_{\text{э}}}{1000} \quad (3.10)$$

$$t_{\text{наб}} = \sum \left(\frac{1}{V_y^*} \right)_{\text{ср}} \frac{\Delta H_{\text{э}}}{60} \quad (3.11)$$

$$m_{T_{\text{наб}}} = \sum \left(\frac{CeP}{V_y^*} \right)_{\text{ср}} \frac{\Delta H_{\text{э}}}{3600} \quad (3.12)$$

Таблица 3.1 — Результаты расчета набора высоты

$H_{\text{узел}}$	$M_{\text{наб}}$	V	$V_{\text{км}}$	$\frac{\Delta V}{\Delta H}$	n_x	V_y^*	θ	$V_{y\text{наб}}$	H_y	ΔH_y	$n_{x\text{ср}}$	$\frac{\Delta H_y}{1000n_x}$
М	-	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\frac{\text{км}}{\text{ч}}$	$\frac{1}{\text{с}}$	-	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	град.	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	М	М	-	КМ
0.0	0.3	103.1	371.0	0.035	0.207	28.0	8.7	20.5	541.0	2983.0	0.173	14.42
2.0	0.52	172.9	622.5	0.004	0.148	25.6	7.9	23.7	3524.0	2160.0	0.134	14.6
4.0	0.56	181.8	654.4	0.009	0.123	22.3	6.1	19.2	5684.0	2342.0	0.108	19.07
6.0	0.63	199.4	717.7	0.011	0.096	19.2	4.5	15.6	8026.0	2483.0	0.084	25.75
8.0	0.72	221.8	798.6	0.004	0.075	16.6	3.9	15.1	10508.0	2203.0	0.055	29.51
10.0	0.77	230.6	830.3	0.0	0.044	10.2	2.5	10.2	12711.0	0.0	inf	0.0

Таблица 3.2 — (Продолжение) Результаты расчета набора высоты

P	$\frac{CeP}{V_y^*}$	$(\frac{CeP}{V_y^*})_{\text{ср}}$	$\frac{\Delta H_y}{3600}(\frac{CeP}{V_y^*})_{\text{ср}}$	$L_{\text{наб}}$	$V_{y\text{ср}}^*$	$t_{\text{наб}}$	Ce
H	-	-	КГ	КМ	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	МИН	$\frac{\text{кг}}{H\text{ч}}$
356382.0	1057.0	764.0	632.9	17.3	0.0	1.86	0.061
294096.0	813.5	749.9	449.9	16.1	0.0	1.51	0.066
255678.0	866.6	751.0	488.5	21.7	0.0	1.89	0.065
221848.0	929.7	773.7	533.5	29.5	0.1	2.33	0.066
198227.0	869.3	915.2	560.0	40.0	0.1	2.9	0.066
160978.0	1039.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.066

Таблица 3.3 — Основные параметры в наборе высоты

$m_{T_{\text{наб}}}$	$L_{\text{наб}}$	$t_{\text{наб}}$
Кг	КМ	Мин
2664.9	124.6	10.5

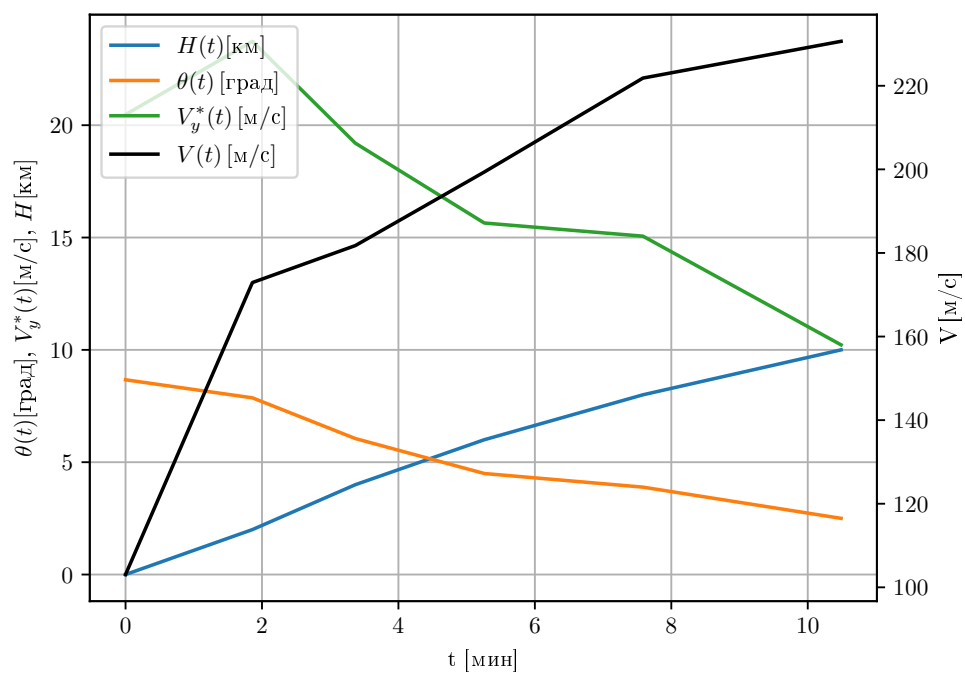


Рисунок 3.1 — График зависимости $L(t)$, $m_T(t)$

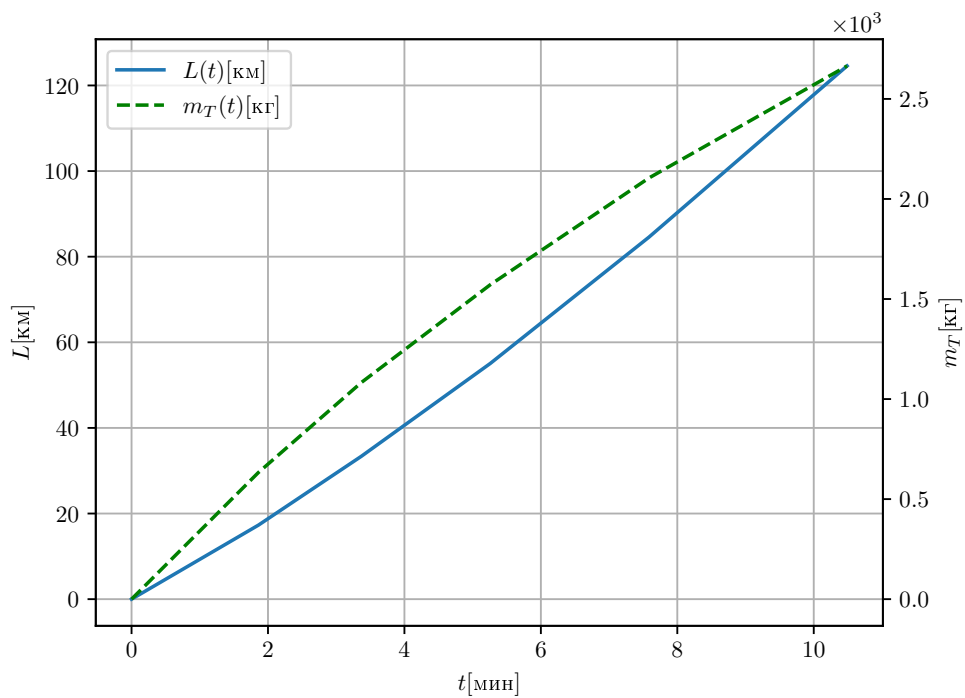


Рисунок 3.2 — График зависимости $L(t)$, $m_T(t)$

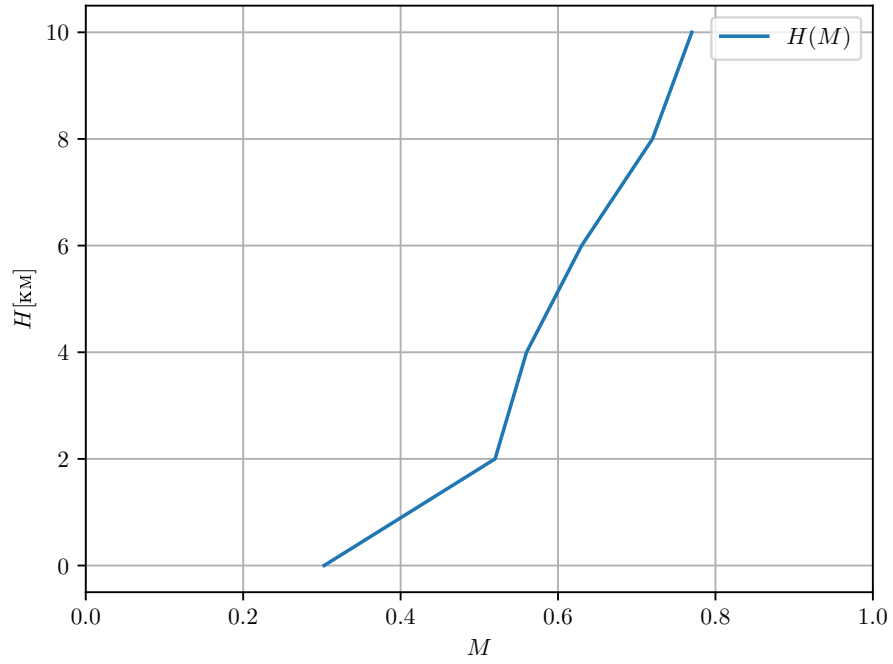


Рисунок 3.3 — Программа набора высоты

3.2. Расчет характеристик крейсерского полета

Для расчета времени $T_{кр}$ и дальности $L_{кр}$ крейсерского полета:

$$T_{кр} = \frac{60K_{ГП}}{gCe} \ln \frac{1 - \bar{m}_{T_{наб}} - \bar{m}_{T_{пр}}}{1 - \bar{m}_{T_{кр}} - \bar{m}_{T_{наб}} - \bar{m}_{T_{пр}}} \quad (3.13)$$

$$L_{кр} = \frac{36VK_{ГП}}{gCe} \ln \frac{1 - \bar{m}_{T_{наб}} - \bar{m}_{T_{пр}}}{1 - \bar{m}_{T_{кр}} - \bar{m}_{T_{наб}} - \bar{m}_{T_{пр}}} \quad (3.14)$$

где $\bar{m}_{T_{кр}} = 1 - \bar{m}_{сн} - \bar{m}_{цн} - \bar{m}_{T_{наб}} - \bar{m}_{T_{сип}} - \bar{m}_{T_{анз}} - \bar{m}_{T_{пр}} = 0.1827$

Принимаем: $m_{цн} = 0,26$ – относительная масса пустого снаряженного самолета;

$m_{сн} = 0,46$ – относительная масса целевой нагрузки;

$m_{T_{сип}} = 0.015$ – относительная масса топлива, расходуемая при снижении и посадке;

$\bar{m}_{T_{наб}} \frac{m_{T_{наб}}}{m_0}$ – относительная масса топлива, расходуемая при наборе; высоты

$m_{T_{анз}} = 0.05$ – аэронавигационный запас топлива; $m_{T_{пр}} = 0.01$ – запас топлива для маневрирования по аэродрому, опробования двигателей, взлета; $K_{ГП} = 13.51$ $V = 206 \frac{м}{с^2}$

$Ce = 0.0617 \frac{Кг}{Н*ч}$ – удельный расход топлива на высоте крейсерского полета

Высота в конце крейсерского полета $H_{кр}$ определяется как:

$$\rho_{H_{кр}} = \frac{2\bar{m}_{кр} P s_{10}}{C_{y_{ГП}} V_{кр}^2} \quad (3.15)$$

где $\bar{m}_{\text{кр}} = 1 - \bar{m}_{T_{\text{наб}}} - \bar{m}_{T_{\text{пр}}} - \bar{m}_{T_{\text{кр}}}$

Результаты

Таблица 3.4 — Результаты расчета участка крейсерского полета

$T_{\text{кр}}$	$L_{\text{кр}}$	$\rho_{H_{\text{кр}}}$	$H_{0_{\text{кр}}}$	$H_{\text{кр}}$
мин	км	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	км	км
298.73	3275.0	0.3421	11	11.4

3.3. Расчет характеристик участка снижения

Расчет аналогичен расчету участка набора высоты раздел 3.1. Только в качестве программы снижения принимается зависимость $M_{\text{сн}}(H)$, соответствующая минимуму потребной тяги.

Начальные условия:

Скорость соответствует минимуму потребной тяги. Определяется по графику $M(P_{n_{\text{мин}}}) = f(H)$ (Рисунок 2.2).

$$M_0 = 0.6; H_0 = 10 \text{ км}$$

Конечные условия:

Скорость в конце снижения соответствует наивыгоднейшей скорости при $H = 0$. $M_{\text{к}} = 0.30$; $H_{\text{к}} = 0$ Результаты расчетов приведены на таблице №3.3.2, по этим данным построили

Таблица 3.5 — Результаты расчета снижения высоты

$H_{\text{уэсл}}$	$M_{\text{сн}}$	V	$V_{\text{км}}$	$\frac{\Delta V}{\Delta H}$	n_x	V_y^*	θ	$V_{y\text{сн}}$	H_3	ΔH_3	$n_{x\text{ср}}$	$\frac{\Delta H_3}{1000n_x}$
М	-	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\frac{\text{км}}{\text{ч}}$	$\frac{1}{\text{с}}$	-	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	град.	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	М	М	-	КМ
10.0	0.6	179.7	647.0	0.004	-0.063	6.5	-3.4	-8.1	11646.0	-2129.0	-0.063	34.01
8.0	0.56	172.5	621.1	0.007	-0.056	13.6	-2.9	-12.7	9517.0	-2241.0	-0.057	39.84
6.0	0.5	158.2	569.6	0.008	-0.053	17.9	-2.7	-15.2	7276.0	-2236.0	-0.054	42.19
4.0	0.44	142.8	514.2	0.007	-0.051	20.7	-2.7	-18.1	5040.0	-2182.0	-0.051	42.75
2.0	0.39	129.7	466.9	0.005	-0.049	25.6	-2.6	-21.1	2857.0	-2134.0	-0.048	43.51
0.0	0.35	119.1	428.8	0.0	-0.047	28.0	-2.7	-23.7	723.0	0.0	inf	-0.0

Таблица 3.6 — (Продолжение) Результаты расчета снижения высоты

P	$\frac{CeP}{V_y^*}$	$(\frac{CeP}{V_y^*})_{\text{ср}}$	$\frac{\Delta H_3}{3600}(\frac{CeP}{V_y^*})_{\text{ср}}$	$L_{\text{сн}}$	$V_{y\text{ср}}^*$	$t_{\text{сн}}$	Ce
H	-	-	КГ	КМ	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	МИН	$\frac{\text{кг}}{H\text{ч}}$
7940.0	-115.6	-97.8	57.8	33.6	-0.1	3.31	0.117
10487.0	-98.0	-87.0	54.2	39.5	-0.1	2.4	0.118
12651.0	-97.8	-87.4	54.3	41.8	-0.1	2.03	0.118
14907.0	-96.2	-92.4	56.0	43.0	-0.0	1.72	0.117
18617.0	-103.7	-100.7	59.7	44.3	-0.0	1.54	0.118
20896.0	-104.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.119

Таблица 3.7 — Основные параметры снижения высоты

$m_{T_{\text{сн}}}$	$L_{\text{сн}}$	$t_{\text{сн}}$
Кг	КМ	Мин
282.0	202.1	11.0

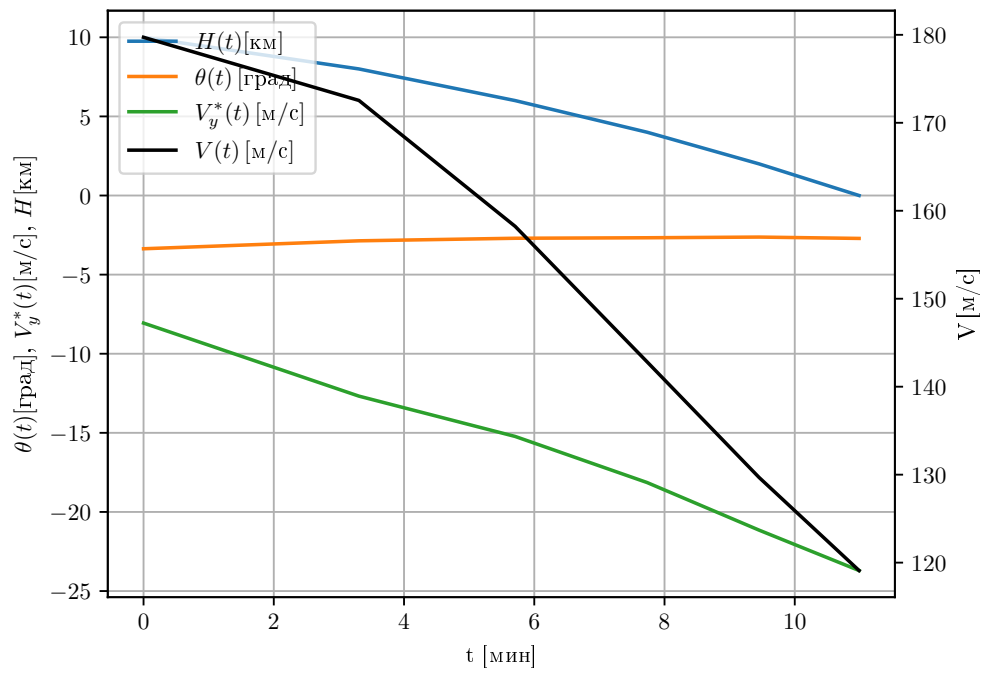


Рисунок 3.4 — График зависимости $L(t)$, $m_T(t)$

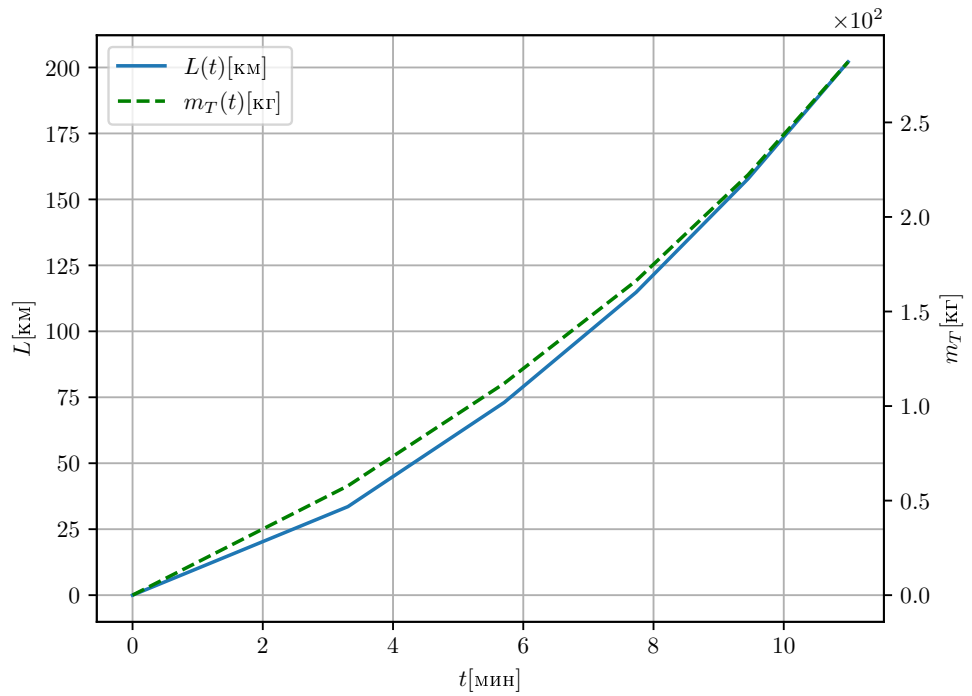


Рисунок 3.5 — График зависимости $L(t)$, $m_T(t)$

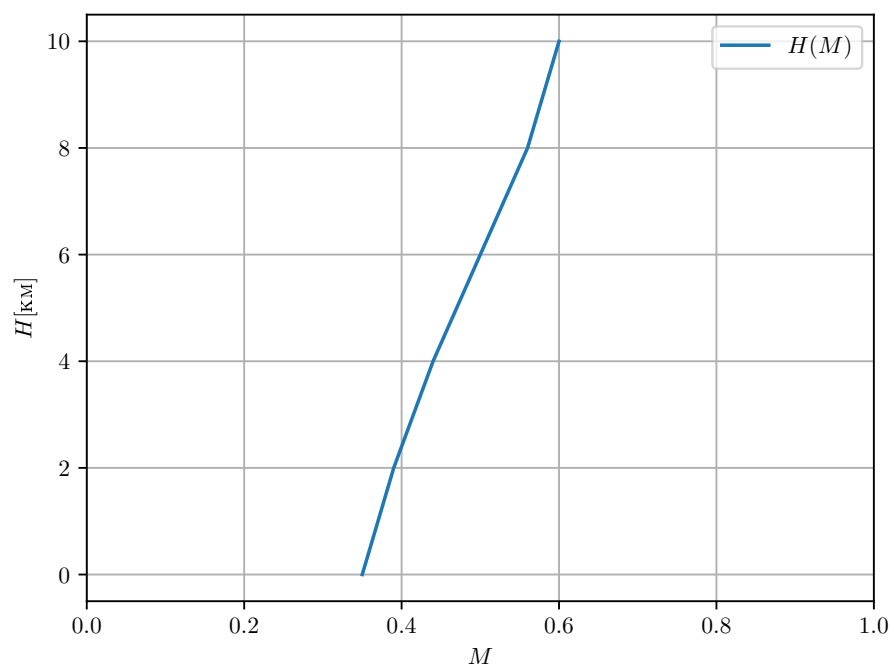


Рисунок 3.6 — Программа снижения

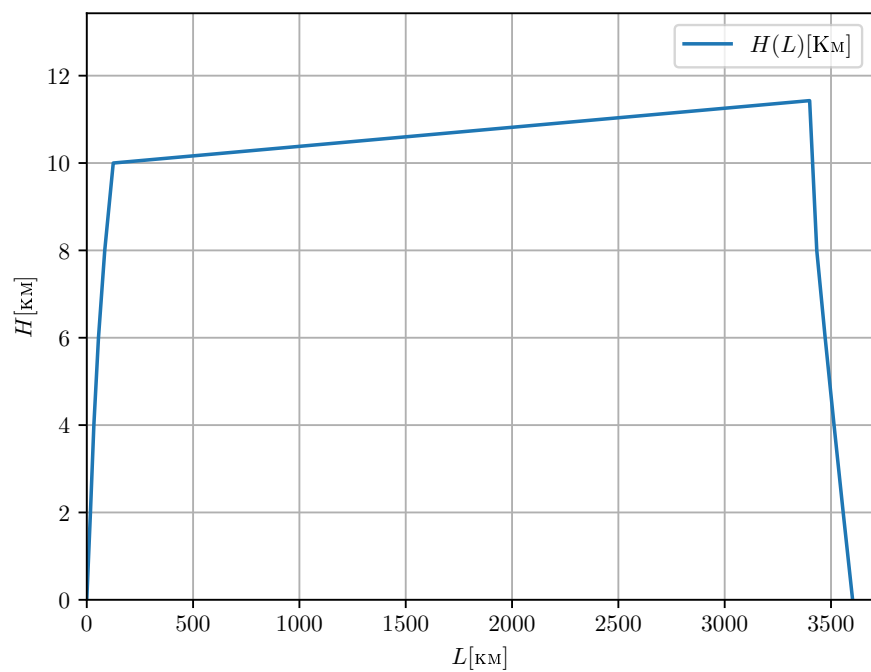


Рисунок 3.7 — Совмещенный график $H(L)$ для участков набора высоты, крейсерского полета и снижения

3.4. Расчет диаграммы транспортных возможностей

Определим зависимость целевой нагрузки от дальности полета самолета $m_{\text{цн}}(L)$ (Рисунок 3.4.1) Расчет ведется для трех режимов:

1. Полет с максимальной коммерческой нагрузкой,
2. Полет с максимальным запасом топлива,
3. Полет без коммерческой нагрузки ($m_{\text{цн}} = 0$) с максимальным запасом топлива.

Режим 1.

Для данного режима определили в разделах 3.1, 3.2, 3.3

$$m_{\text{цн}} = \frac{m_{\text{цн}}}{m_0}$$

Режим 2.

$$L = L_{\text{наб}} + L_{\text{кр}} + L_{\text{сн}}$$

Для упрощения для дальности полета и расход топлива при наборе и снижении, для всех режимов соответствует первому режиму.

$$\bar{m}_{\text{взл}} = 1$$

$$\bar{m}_{T_{\text{кр}}} = \bar{m}_{T_{\text{max}}} - \bar{m}_{T_{\text{наб}}} - \bar{m}_{T_{\text{сн}}} - \bar{m}_{T_{\text{анз}}} - \bar{m}_{T_{\text{пр}}}$$

$$\bar{m}_{T_{\text{max}}} = 0.5258$$

$$L_{\text{кр}} = \frac{36VK}{gCe} \ln \frac{\bar{m}_{\text{взл}} - \bar{m}_{T_{\text{наб}}} - \bar{m}_{T_{\text{пр}}}}{\bar{m}_{\text{взл}} - \bar{m}_{T_{\text{кр}}} - \bar{m}_{T_{\text{наб}}} - \bar{m}_{T_{\text{пр}}}}$$

$$\bar{m}_{\text{цн}} = 1 - \bar{m}_{\text{пуст}} - \bar{m}_{T_{\text{max}}}$$

$$\bar{m}_{\text{пуст}} = \frac{88500}{m_0}$$

Режим 3.

$$\bar{m}_{\text{взл}} = \bar{m}_{\text{пуст}} + \bar{m}_{T_{\text{max}}}$$

Таблица 3.8 — Результаты расчета

Режим	L	$m_{\text{цн}}$
№	км	кг
1	3602.0	64400.0
2	6226.0	36400.0
3	9109.0	0.0

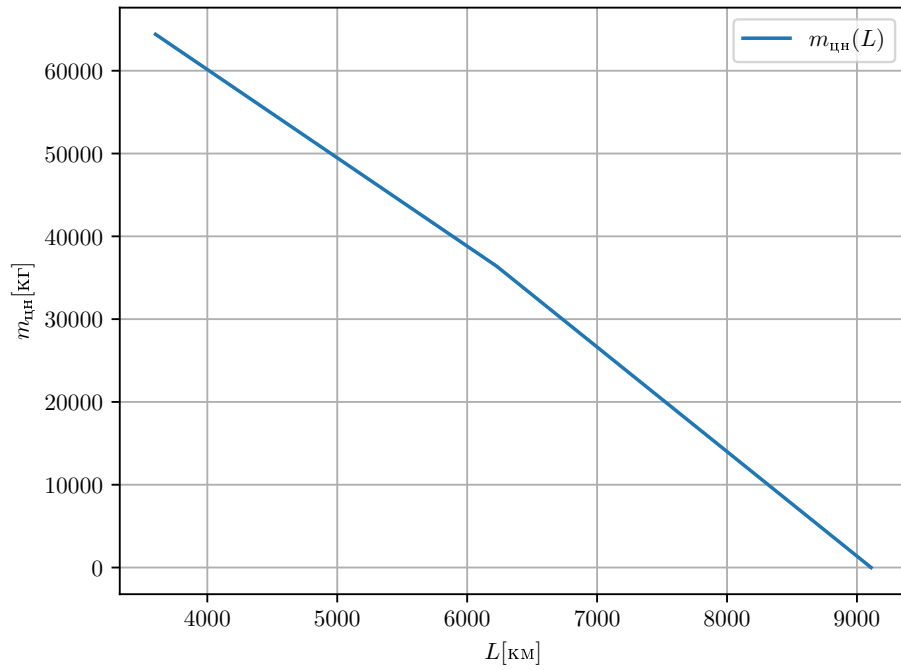


Рисунок 3.8 — График зависимости $m_{цн}(L)$

3.5. Расчет взлетно-посадочных характеристик самолета

Для расчета: скорости отрыва при взлете $V_{отр}$, длины разбега L_p , взлетной дистанции $L_{вд}$, скорости касания ВПП при посадке $V_{кас}$, длины пробега $L_{пр}$, посадочной дистанции $L_{пд}$.

Предполагается что:

1. Угол атаки при разбеге и пробеге $\alpha_p = \alpha_{п} = 2^\circ$
2. Угол атаки при отрыве и касании ВПП $\alpha_{отр} = \alpha_{кас} = 6^\circ$
3. Безопасная высота пролета препятствий $H_{взл} = 10.7$ м и $H_{пос} = 15$ м
4. Тяга двигателей $P_{взл} = (1.2...1.3)P$, $C_{e_{взл}} = (1.03...1.05)C_{e0}$
5. При пробеге по ВПП используется реверс тяги.

Соотношения для расчета:

$$V_{отр} = \sqrt{\frac{20P_s(1 - 0.9\bar{P}_{взл} \sin \alpha_{отр})}{\rho_0 C_{y_{отр}}}} \quad (3.16)$$

$$C_p = 0.9\bar{P}_{взл} - f_p \quad (3.17)$$

$$b_p = (C_{x_p} - f_p C_{y_p}) \frac{\rho_0}{2P_s 10}, \quad (3.18)$$

где $f_p = 0.02$

$$L_p = \frac{1}{2gb_p} \ln \frac{C_p}{C_p - b_p V_{отр}^2} \quad (3.19)$$

$$V_2 = 1.1V_{отр} \quad (3.20)$$

$$\hat{V}_{ср} = \sqrt{\frac{V_2^2 + V_{отр}^2}{2}} \quad (3.21)$$

$$\hat{n}_{x_{ср}} = \bar{P}_{взл} - \frac{C_{x_{отр}} \rho_0 \hat{V}_{ср}^2}{P_s 20} \quad (3.22)$$

$$L_{вув} = \frac{1}{\hat{n}_{x_{ср}}} \left(\frac{V_2^2 + V_{отр}^2}{2g} + H_{взл} \right) \quad (3.23)$$

$$\bar{m}_{пос} = \bar{m}_{ккр} - \bar{m}_{T_{снп}} \quad (3.24)$$

$$V_{кас} = \sqrt{\frac{2\bar{m}_{пос} P_s 10}{C_{y_{кас}} \rho_0}} \quad (3.25)$$

$$\bar{P}_{рев} = \frac{P_{рев}}{m_{пос} g} \quad (3.26)$$

$$a_n = -\bar{P}_{рев} - f_n \quad (3.27)$$

$$b_n = \frac{\rho_0}{\bar{m}_{пос} P_s 20} (C_{x_{проб}} - f_n C_{y_{проб}}) \quad (3.28)$$

$$L_{проб} = \frac{1}{2gb_n} \ln \frac{a_n - b_n V_{кас}^2}{a_n} \quad (3.29)$$

$$C_{y_{пос}} = 0.7 C_{y_{кас}} (\alpha_{кас}) \quad (3.30)$$

$$V_{пл} = \sqrt{\frac{2\bar{m}_{пос} P_s 10}{C_{y_{пос}} \rho_0}} \quad (3.31)$$

$$K_{пос} = \frac{C_{y_{пос}}}{C_{x_{пос}}} \quad (3.32)$$

$$L_{вуп} = K_{пос} \left(H_{пос} + \frac{V_{пл}^2 - V_{кас}^2}{2g} \right) \quad (3.33)$$

$$L_{пд} = L_{проб} + L_{вуп} \quad (3.34)$$

Результаты расчетов на таблице № 3.5.1

Таблица 3.9 — Результаты расчета

$V_{отр}$	L_p	$L_{вд}$	$V_{кас}$	$L_{пр}$	$L_{пд}$
$\frac{м}{с}$	м	м	$\frac{м}{с}$	м	м
98.0	1781.0	2220.0	70.0	996.0	1692.0

3.6. Расчет характеристик маневренности самолета

В данном разделе определим характеристики правильного виража.

Расчеты ведутся для высоты $H = 6$ км.

Характеристики маневренности рассчитываются при 50%-ом выгорании топлива для массы самолета: $\bar{m}_c = 1 - 0.5\bar{m}_T$

Для расчета таблицы №3.6.1:

1. Максимальная допустимая нормальная перегрузка:

$$n_{y_{\text{доп}}} = \min \{ n_{y_{\text{э}}}, n_y(C_{y_{\text{доп}}}) \}$$

$$n_{y_{\text{э}}} = 3, n_y(C_{y_{\text{доп}}}) = \frac{C_{y_{\text{доп}}}}{C_{y_{\text{ГП}}}}, C_{y_{\text{ГП}}} = \frac{\bar{m}_c P_s 10}{q}$$

2. Нормальная перегрузка предельного правильного виража

$$n_{y_{\text{вир}}} = \min \{ n_{y_{\text{доп}}}, n_{y_P} \}$$

$$n_{y_P} = \frac{1}{C_{y_{\text{ГП}}}} \left(C_{y_m} + \sqrt{\frac{\bar{P} C_{y_{\text{ГП}}} - C_{x_m}}{A}} \right), \bar{P} = \frac{P_p}{mg}$$

3. Кинематические параметры виража:

$$\omega_{\text{вир}} = \frac{g}{V} \sqrt{n_{y_{\text{вир}}}^2 - 1}$$

$$r_{\text{вир}} = \frac{V}{\omega_{\text{вир}}}$$

$$t_{\text{вир}} = \frac{2\pi r_{\text{вир}}}{V}$$

4. Диапазон Маха берется: $M = [0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8]$

Таблица 3.10 — Расчет виража

M	V	V	q	$C_{y_{\text{ГП}}}$	$C_{y_{\text{доп}}}$	$n_{y_{\text{доп}}}$	$K_{\text{ГП}}$	$P_n * 10^{-5}$	$P_p * 10^{-5}$
-	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\frac{\text{км}}{\text{ч}}$	$\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$	-	-	-	-	Н	Н
0.4	127.0	456.	5287.0	0.815	1.112	1.365	14.84	5.996	18.806
0.5	158.0	570.	8262.0	0.521	1.083	2.077	15.59	5.709	18.214
0.6	190.0	684.	11897.0	0.362	1.033	2.853	13.28	6.7	17.901
0.7	222.0	797.	16193.0	0.266	0.977	3.0	10.55	8.432	17.761

Таблица 3.11 — (Продолжение) Расчет виража

\bar{P}	n_{yp}	$n_{y_{\text{вир}}}$	$\omega_{\text{вир}}$	$r_{\text{вир}}$	$t_{\text{вир}}$
-	-	-	$\frac{1}{c}$	М	с
0.17	1.752	1.365	0.072	1757.4	87.2
0.165	2.088	2.077	0.113	1401.5	55.7
0.162	2.256	2.256	0.104	1817.6	60.1
0.161	2.201	2.201	0.087	2550.5	72.3

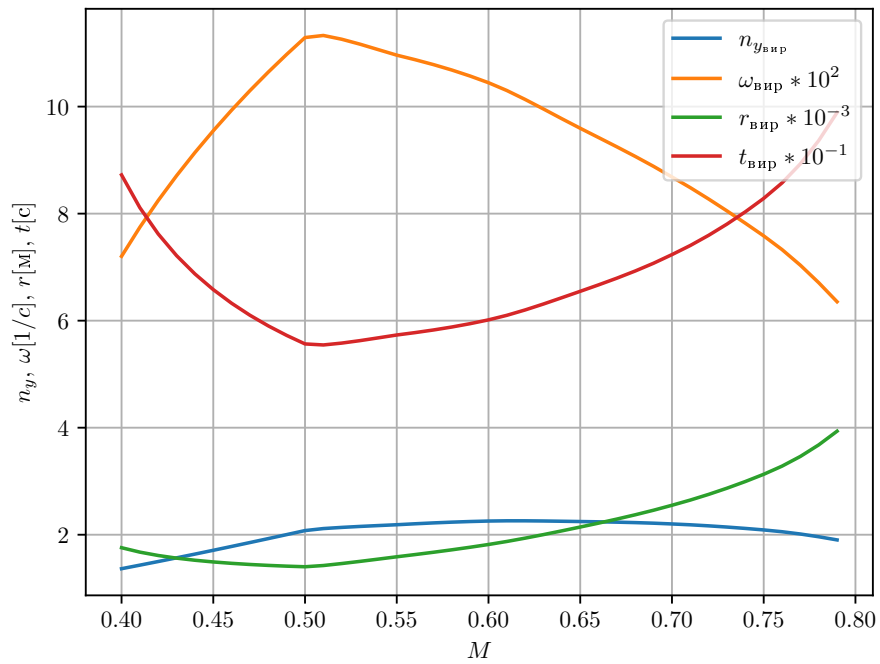


Рисунок 3.9 — График зависимости $n_{y_{\text{вир}}}(M)$, $\omega_{\text{вир}}(M)$, $r_{\text{вир}}(M)$, $t_{\text{вир}}(M)$

3.7. Расчет характеристик продольной статической устойчивости и управляемости

Для расчета продольной статической устойчивости и управляемости необходимо определить безразмерную площадь горизонтального оперения $\bar{S}_{\text{ГО}}$ из условия устойчивости и балансировки.

Для определения $\bar{S}_{\text{ГО}}$ рассчитываются предельно передняя $\bar{x}_{\text{ТПП}}$ для режима посадки

($H = 0$, $M = 0.2$) и предельно задняя $\bar{x}_{\text{ТПЗ}}$ центровки:

$$\bar{x}_{\text{ТПЗ}} = \frac{-m_{Z_0 \text{БГО}} + \bar{x}_{F \text{БГО}} C_{y \text{БГО}} + C_{y \text{ГО}} \bar{S}_{\text{ГО}} K_{\text{ГО}} \bar{L}_{\text{ГО}}}{C_{y \text{БГО}}},$$

Где $C_{y \text{БГО}} = C_{y_0 \text{БГО}} + C_{y \text{БГО}}^\alpha \alpha$, $C_{y \text{ГО}} = C_{y \text{ГО}}^{\alpha_{\text{ГО}}} [\alpha(1 - \epsilon^\alpha) + \varphi_{\text{эф}}] < 0$, $\varphi_{\text{эф}} = \varphi_{\text{уст}} + n_{\text{в}} \delta_{\text{max}}$, $\delta_{\text{max}} = -25^\circ$, $\varphi_{\text{уст}} = -4^\circ$.

$$\bar{x}_{\text{ТПЗ}} = \bar{x}_H + \sigma_n \min$$

$$\bar{x}_H = \bar{x}_F - \frac{m_z^{\bar{\omega}_z}}{\mu}, \mu = \frac{2P_s 10}{\rho g b_a}, m_z^{\bar{\omega}_z} = m_{z \text{БГО}}^{\bar{\omega}_z} + m_{z \text{ГО}}^{\bar{\omega}_z}, m_{z \text{ГО}}^{\bar{\omega}_z} = -C_{y \text{ГО}}^{\alpha_{\text{ГО}}} \bar{S}_{\text{ГО}} \bar{L}_{\text{ГО}}^2 \sqrt{K_{\text{ГО}}}$$

$$\bar{x}_F = \bar{x}_{F \text{БГО}} + \Delta \bar{x}_F$$

$$\Delta \bar{x}_F \approx \frac{C_{y \text{ГО}}^{\alpha_{\text{ГО}}}}{C_y^\alpha} (1 - \epsilon^\alpha) \bar{S}_{\text{ГО}} \bar{L}_{\text{ГО}}^2 K_{\text{ГО}}, \sigma_n \min = -0.1$$

По приведенным формулам для ряда значений $\bar{S}_{\text{ГО}} = (0.01, 0.2)$ рассчитывается таблица 3.7.1

Затем графически определяется потребная площадь ГО из условия:

$$\bar{x}_{\text{ТПЗ}}(\bar{S}_{\text{ГО}}) - \bar{x}_{\text{ТПЗ}}(\bar{S}_{\text{ГО}}) = \Delta \bar{x}_9 1.2$$

$$\Delta \bar{x}_9 \approx 0.15$$

Далее расчеты характеристик устойчивости и управляемости производятся для средней центровки:

$$\bar{x}_T = 0.5 [\bar{x}_{\text{ТПЗ}}(\bar{S}_{\text{ГО}}^*) + \bar{x}_{\text{ТПЗ}}(\bar{S}_{\text{ГО}}^*)]$$

Значения величин \bar{x}_F , \bar{x}_H , $\bar{x}_{\text{ТПЗ}}$, σ_n определяются в узловых точках по M на высоте $H = 0$ для таблицы 3.7.

$$\sigma_n = \bar{x}_T - \bar{x}_F + \frac{m_z^{\bar{\omega}_z}}{\mu}$$

Зависимости $\varphi_{\text{бал}}(M)$, $\varphi^n(M)$, $n_{y_p}(M)$ для трех значений высот: $H = (0 \text{ км}, 6 \text{ км}, H_{\text{кр}})$.

$$m_z^{C_y} = \bar{x}_T - \bar{x}_F$$

$$\bar{x}_F = \bar{x}_{F \text{БГО}} + \Delta \bar{x}_{F \text{ГО}}, m_z^{\delta_{\text{в}}} = -C_{y \text{ГО}}^{\alpha_{\text{ГО}}} \bar{S}_{\text{ГО}} \bar{L}_{\text{ГО}} K_{\text{ГО}} n_{\text{в}}, C_{y \text{ГО}} = \frac{10 P_s \bar{m}}{q}, \bar{m} = 1 - 0.5 \bar{m}_T,$$

$$m_{Z_0} = m_{Z_0 \text{БГО}} - (1 - \epsilon^\alpha) \bar{S}_{\text{ГО}} \bar{L}_{\text{ГО}} K_{\text{ГО}} C_{y \text{ГО}}^{\alpha_{\text{ГО}}} \alpha_0$$

$$\delta_{\text{бал}} = -\frac{m_{Z_0} m_z^{C_y} C_{y \text{ГО}}}{m_z^{\delta_{\text{в}}} \left(1 + \frac{m_z^{C_y}}{L_{\text{ГО}}}\right)} + \frac{\varphi_{\text{уст}}}{n_{\text{в}}}$$

$$\delta^n = -57.3 \frac{C_{y \text{ГО}} \sigma_n}{m_z^{\delta_{\text{в}}}}$$

$$n_{yp} = 1 + \frac{\delta_{\max} + \varphi_{уст} - \delta_{\text{бал}}}{\delta^n}$$

Таблица 3.12 — Значения для построения графика на рисунке 3.10

$\bar{S}_{\text{го}}$	$\bar{x}_{\text{ТПП}}$	$\bar{x}_{\text{ТПЗ}}$
0.01	0.2298	0.1521
0.2	-0.2594	0.551

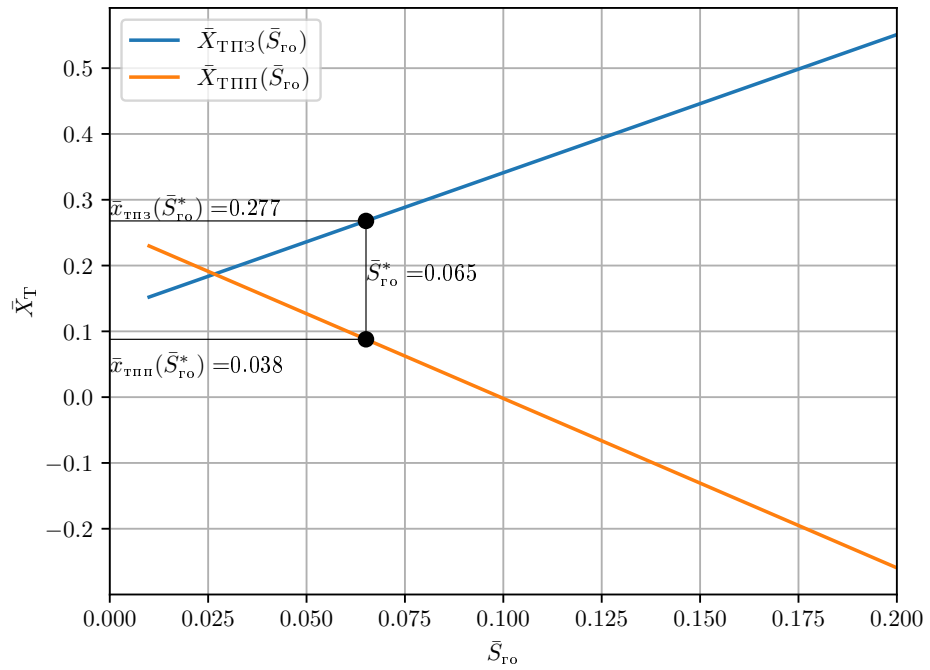


Рисунок 3.10 — График зависимости $\bar{x}_{\text{ТПП}}(\bar{S}_{\text{го}})$

Таблица 3.13 — Результаты расчетов

M	\bar{x}_F	\bar{x}_H	$\bar{x}_{\text{ТПЗ}}$	σ_n
0.25	0.3638	0.3678	0.2678	-0.19
0.30	0.3638	0.3678	0.2678	-0.19
0.40	0.3634	0.367	0.267	-0.1892
0.50	0.3643	0.3675	0.2675	-0.1897

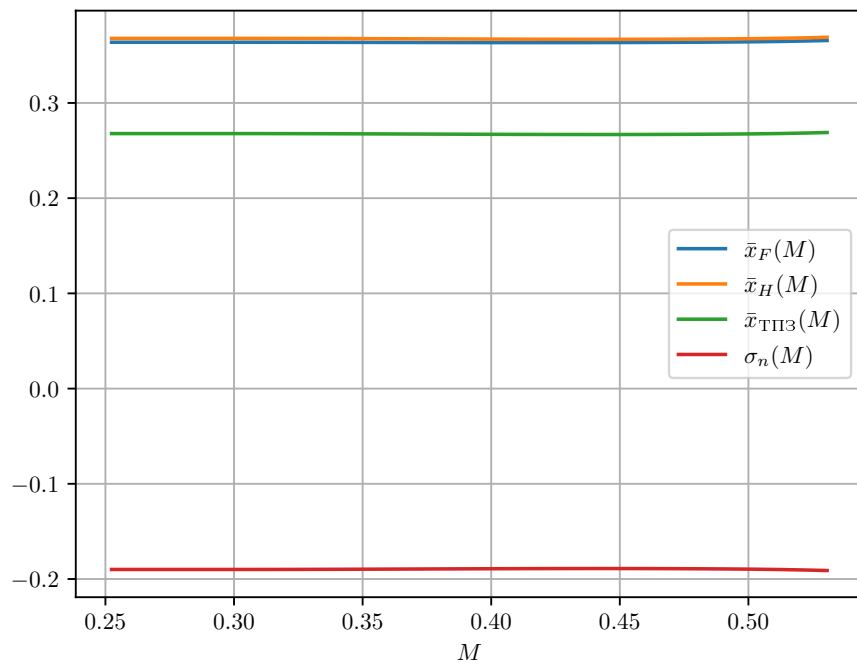


Рисунок 3.11 — График зависимости $\bar{x}_F(M)$, $\bar{x}_H(M)$, $\bar{x}_{ТПЗ}(M)$, $\sigma_n(M)$

Таблица 3.14 — Результаты расчетов для балансировочных зависимостей для высоты $H = 0$ км

M	V	$\varphi_{\text{бал}}$	φ^n	n_{yp}
-	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	град	$\frac{\text{град}}{\text{ед.перег.}}$	-
0.25	86.0	-15.18	-37.73	1.366
0.3	103.0	-14.97	-26.29	1.534
0.4	137.0	-14.79	-15.0	1.947
0.5	171.0	-14.72	-9.78	2.46

Таблица 3.15 — Результаты расчетов для балансировочных зависимостей для высоты $H = 6$ км

M	V	$\varphi_{\text{бал}}$	φ^n	n_{yp}
-	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	град	$\frac{\text{град}}{\text{ед.перег.}}$	-
0.37	117.0	-15.19	-37.32	1.37
0.4	127.0	-15.1	-32.11	1.433
0.5	159.0	-14.93	-20.92	1.673
0.6	190.0	-14.9	-14.63	1.963
0.7	222.0	-15.14	-10.7	2.296

Таблица 3.16 — Результаты расчетов для балансировочных зависимостей для высоты $H = 11$ км

M	V	$\varphi_{\text{бал}}$	φ^n	n_{yp}
-	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	град	$\frac{\text{град}}{\text{ед.перег.}}$	-
0.55	162.0	-15.23	-36.21	1.38
0.61	180.0	-15.19	-29.4	1.47
0.71	209.0	-15.44	-21.91	1.619
0.8	236.0	-19.11	-29.61	1.334

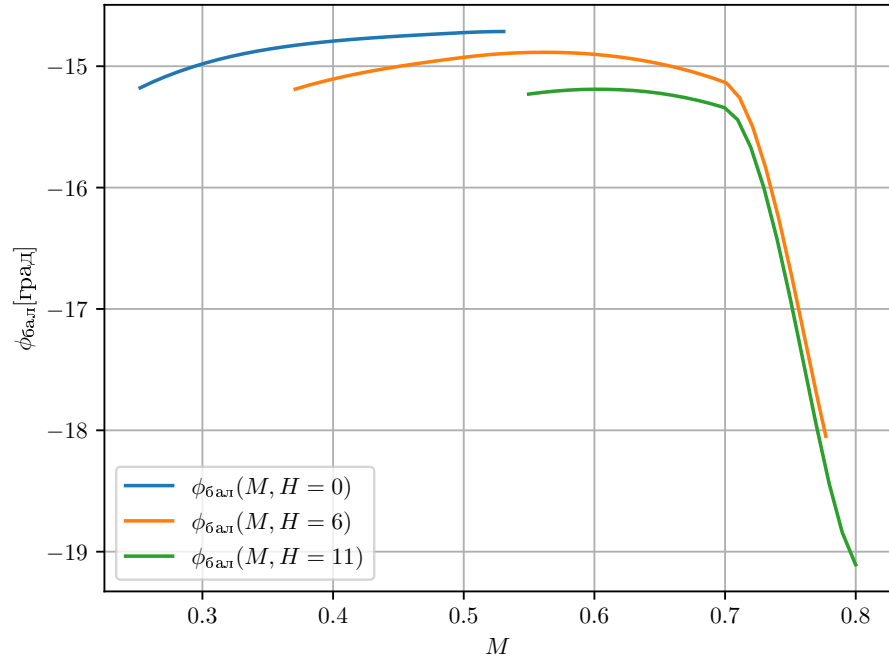


Рисунок 3.12 — График зависимости $\varphi_{\text{бал}}(M, H = 0, 6, 11 \text{ км})$

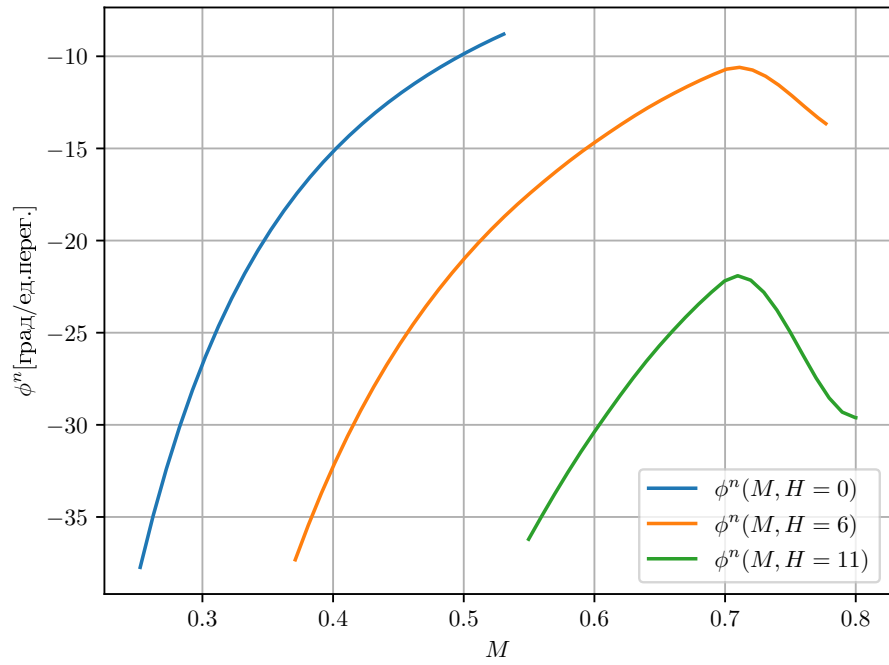


Рисунок 3.13 — График зависимости $\varphi^n(M, H = 0, 6, 11 \text{ км})$

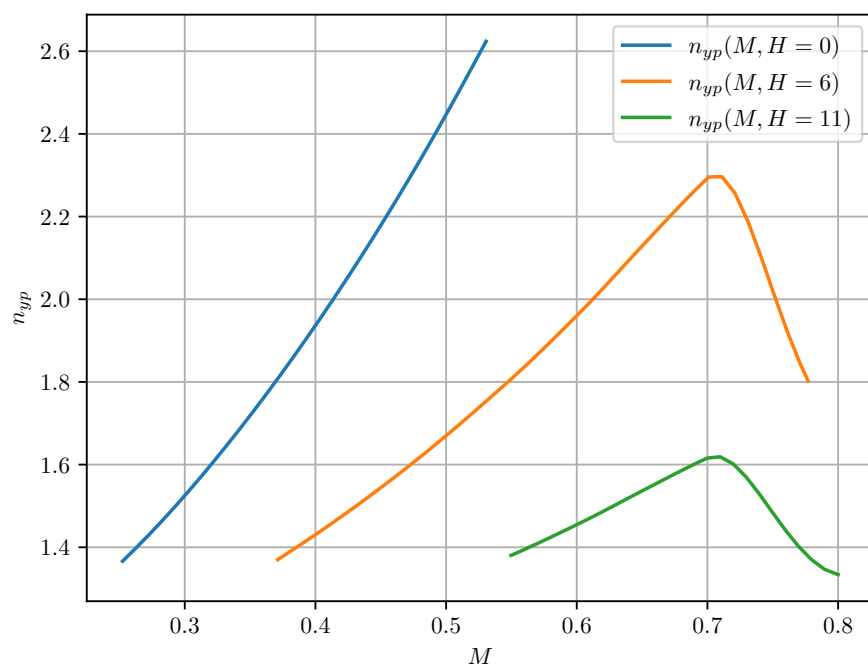


Рисунок 3.14 — График зависимости $n_{yp}(M, H = 0, 6, 11 \text{ км})$