

## 1. Исходные данные для самолета Ил-76

$m_{\text{пуст}} = 86000$  кг,  $m_{\text{топл}} = 60000$  кг,  $m_{\text{поле}} = 20000$  кг. При интегрировании по формулам (1)  $m_{\text{к}} = 116000$  кг,  $m_{\text{н}} = 166000$  кг.

## 2. Исследование характеристик транспортного самолета при выполнении эшелонирования

### 2.1. Постановка задачи

В работе исследуется задача минимизации километрового расхода топлива в крейсерском полете путем оптимизации вертикальной траектории и скоростного режима.

### 2.2. Расчетные формулы

$$q_{\text{ч}} = PCe, \quad q_{\text{км}} = \frac{q_{\text{ч}}}{3.6V}, \quad L_{\text{кс}} = \int_{m_{\text{к}}}^{m_{\text{н}}} \frac{dm}{q_{\text{км}}}, \quad T_{\text{кс}} = \int_{m_{\text{к}}}^{m_{\text{н}}} \frac{dm}{q_{\text{ч}}}, \quad (1)$$

$$P_{\text{п}} = \frac{mg}{K} \quad (2)$$

$$P_{\text{р}}(M, H, \bar{R}) = \frac{mg}{K}$$

$$P_{\text{р}}(M, H, \bar{R}) = C_{xa} \frac{\rho a_{\text{зв}}^2}{2} M^2 S$$

$$q_{\text{ч}} = Ce \frac{mg}{K}, \quad q_{\text{км}} = \frac{mgCe}{3.6KV}, \quad L_{\text{кс}} = \frac{3.6}{g} \int_{m_{\text{к}}}^{m_{\text{н}}} \frac{KV}{Cem} dm, \quad T_{\text{кс}} = \frac{1}{g} \int_{m_{\text{к}}}^{m_{\text{н}}} \frac{K}{Cem} dm$$

$C_{ya}, C_{xa}$  из курсовой работы №1 по динамике полета.

## 2.3. Задачи

По мере уменьшения массы из-за выгорания топлива в крейсерском полете будет уменьшаться  $P_{\Pi}$  из формулы (2), что ведет к уменьшению расхода топлива. Проведем такие количественные анализы:

1. Влияние массы на изменение экономической скорости.
2. Оптимальную траекторию с учетом выгорания топлива.
3. Найти моменты смены эшелона для перехода на экономически выгодный эшелон.
4. Разница в расходах топлива при полете на постоянной высоте и со сменной высоты.

## 2.4. Результаты

Результаты расчетов по нахождению  $q_{km_{min}}$  минимального километрового расхода топлива сведены в таблицу 2

1. Исходя из расчетов по мере уменьшения массы скорость уменьшается, а высота для поддержания  $q_{km_{min}}$  увеличивается.
2. Оптимальная траектория набора представлена на рисунке 1.
3. Моменты смены эшелона выбрали, если между оптимальной и текущей траекторией разница в расходах топлива будет больше 1.5%, так получилась псевдо оптимальная траектория полета рисунки 3, 4.
4. Разницы в максимальной дальности полета, которые зависят от километрового расход топлива представлены на таблице 1

Режим	$L$ , км	$T$	$q_{km_{cp}}, \frac{кг}{км}$
Полет по оптимальной траектории рис. 1	4738	6 ч. 12 мин.	18.4617
Полет по псевдо оптимальной траектории рис.3	4712	6 ч. 23 мин.	18.5261
Полет на $H = 7500$ м	4648	6 ч. 35 мин.	18.6890
Полет на $H = 11000$ м	4453	5 ч. 43 мин.	19.5844

Таблица 1 — Результаты расчетов

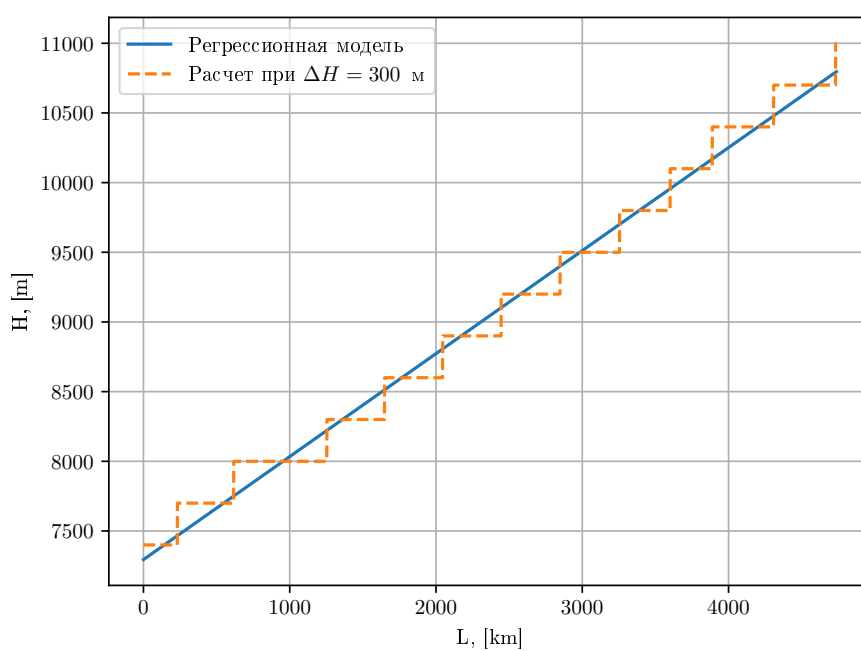


Рисунок 1 — Оптимальная траектория набора

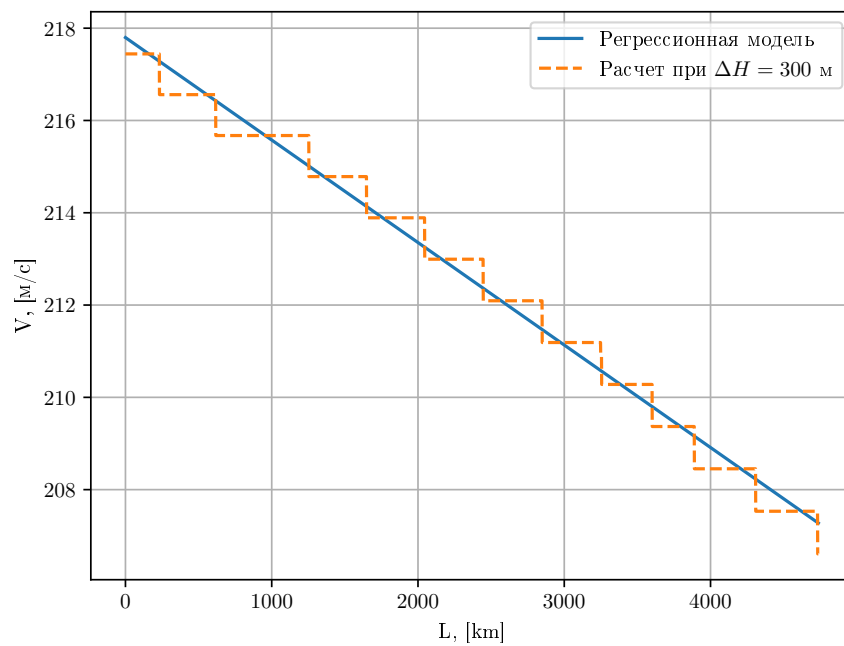


Рисунок 2 — Оптимальное изменение скорости

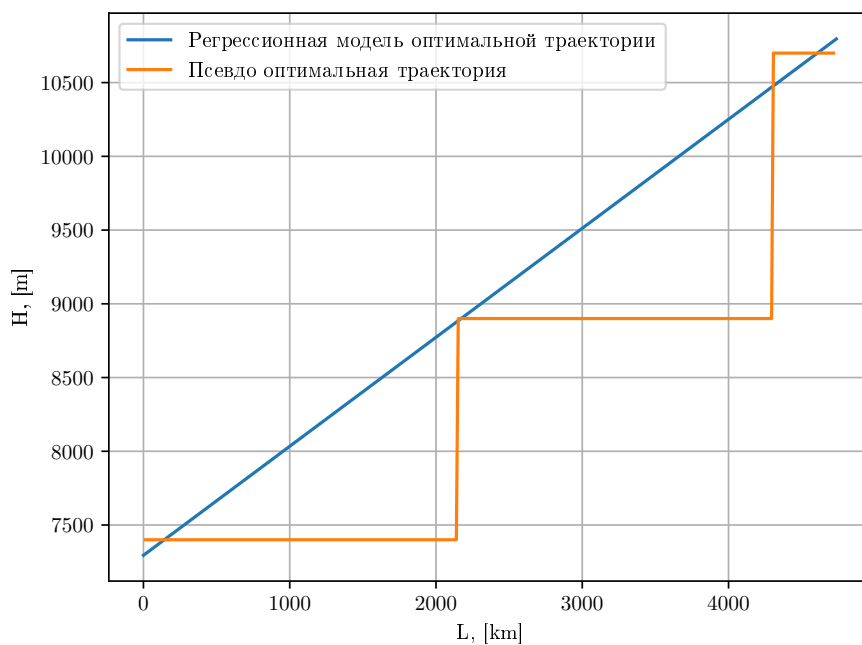


Рисунок 3 — Псевдо оптимальная траектория набора

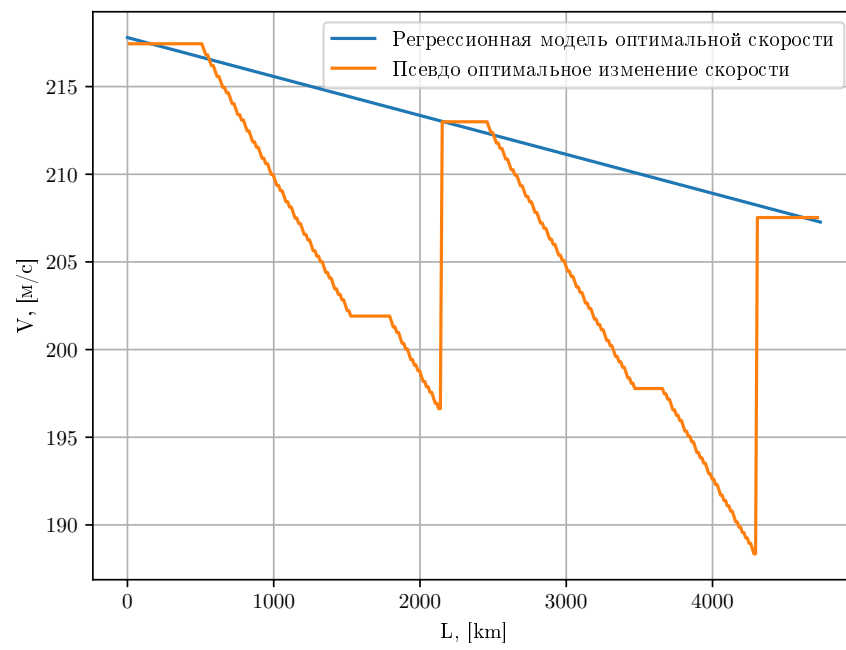


Рисунок 4 — Псевдо оптимальное изменение скорости

$m$ , тоHH		$H$ , м									
		7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10500	11000	11500
125	$M$	0.550	0.570	0.592	0.600	0.613	0.643	0.667	0.697	0.700	0.700
	$q_{km}$	15.55	15.27	15.00	14.79	14.67	14.58	14.52	14.45	14.46	14.55
	$V$	172	177	182	184	186	194	200	207	207	207
130	$M$	0.560	0.582	0.600	0.600	0.629	0.652	0.684	0.700	0.700	0.707
	$q_{km}$	15.99	15.71	15.44	15.27	15.17	15.09	15.04	14.99	15.06	15.22
	$V$	175	181	185	184	191	197	205	208	207	209
140	$M$	0.583	0.600	0.601	0.630	0.652	0.683	0.700	0.700	0.706	0.744
	$q_{km}$	16.87	16.58	16.38	16.26	16.17	16.12	16.10	16.16	16.37	16.60
	$V$	182	186	185	193	198	206	210	208	208	220
150	$M$	0.600	0.600	0.630	0.650	0.681	0.700	0.700	0.702	0.740	0.750
	$q_{km}$	17.74	17.52	17.36	17.26	17.20	17.17	17.25	17.45	17.74	18.05
	$V$	187	186	194	199	207	211	210	209	218	221
160	$M$	0.600	0.626	0.650	0.677	0.700	0.700	0.700	0.735	0.750	0.750
	$q_{km}$	18.67	18.50	18.35	18.28	18.24	18.30	18.52	18.81	19.17	19.63
	$V$	187	194	200	207	213	211	210	219	221	221
170	$M$	0.622	0.650	0.672	0.700	0.700	0.700	0.728	0.750	0.750	0.750
	$q_{km}$	19.66	19.49	19.36	19.31	19.35	19.54	19.86	20.21	20.72	21.35
	$V$	194	202	207	214	213	211	218	223	221	221
180	$M$	0.646	0.664	0.696	0.700	0.700	0.719	0.750	0.750	0.750	0.750
	$q_{km}$	20.64	20.50	20.39	20.39	20.55	20.86	21.24	21.71	22.38	23.20
	$V$	202	206	214	214	213	217	225	223	221	221
190	$M$	0.655	0.687	0.700	0.700	0.710	0.746	0.750	0.750	0.750	0.750
	$q_{km}$	21.64	21.53	21.44	21.56	21.85	22.21	22.69	23.32	24.18	25.18
	$V$	205	213	216	214	216	225	225	223	221	221
200	$M$	0.677	0.700	0.700	0.700	0.735	0.750	0.750	0.750	0.750	NaN
	$q_{km}$	22.67	22.56	22.58	22.82	23.18	23.62	24.25	25.05	26.09	NaN
	$V$	211	217	216	214	223	226	225	223	221	NaN

Таблица 2 —  $q_{km} [\frac{\text{кг}}{\text{км}}], V [\frac{\text{м}}{\text{с}}]$