

## 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 на заданную дальность 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	$T$	$q_{km_{ср}}$ , $\frac{кг}{км}$
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

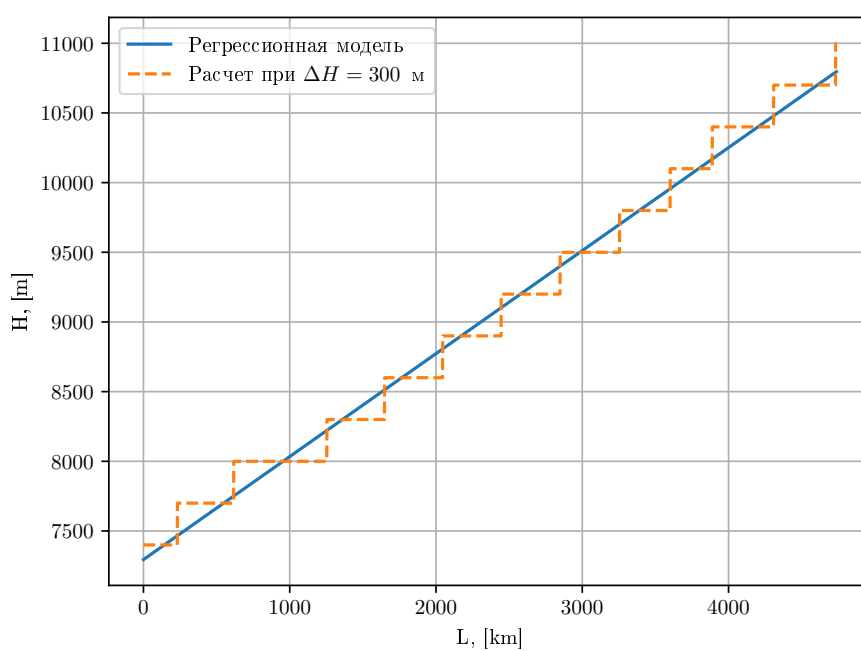


Рисунок 1 — Оптимальная траектория набора

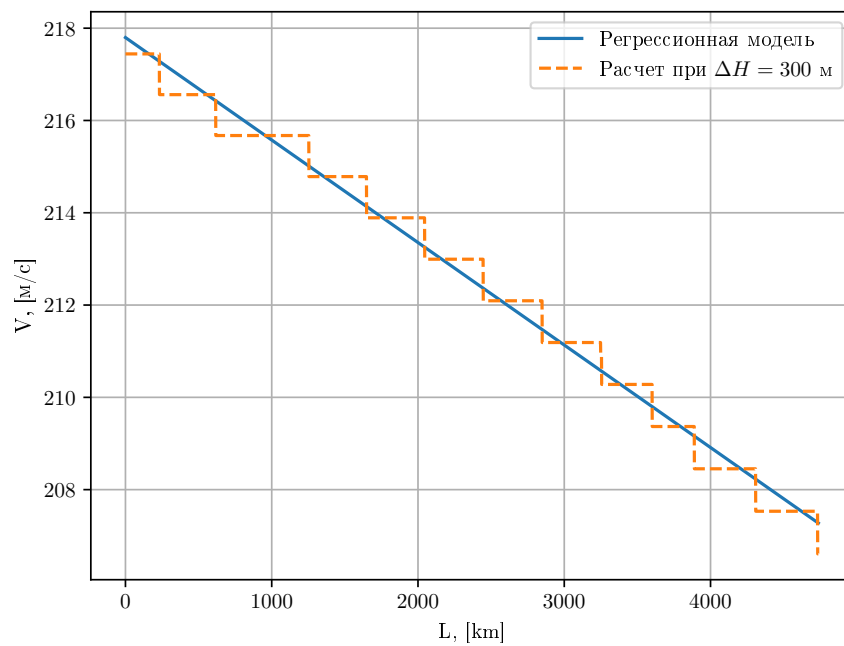


Рисунок 2 — Оптимальное изменение скорости

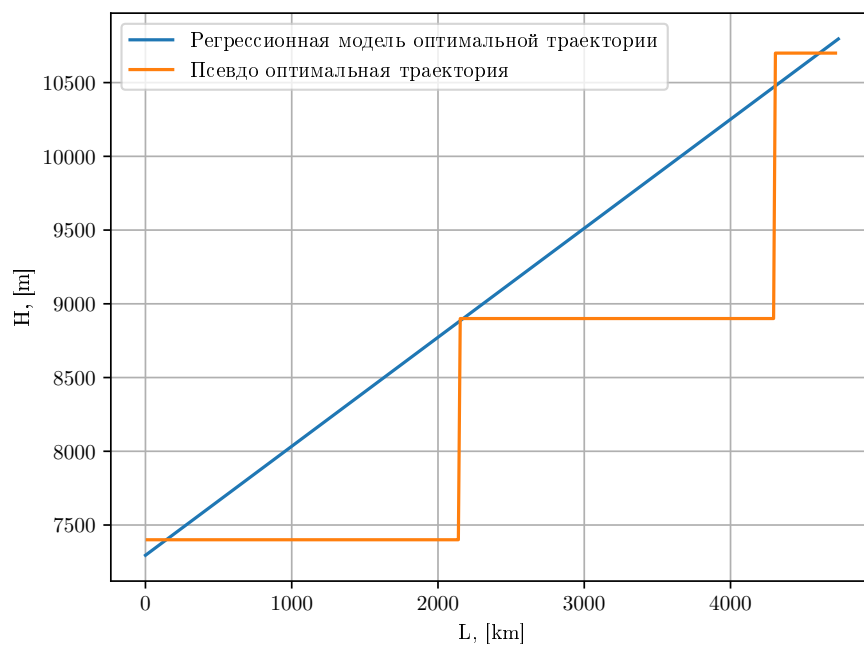


Рисунок 3 — Псевдо оптимальная траектория набора

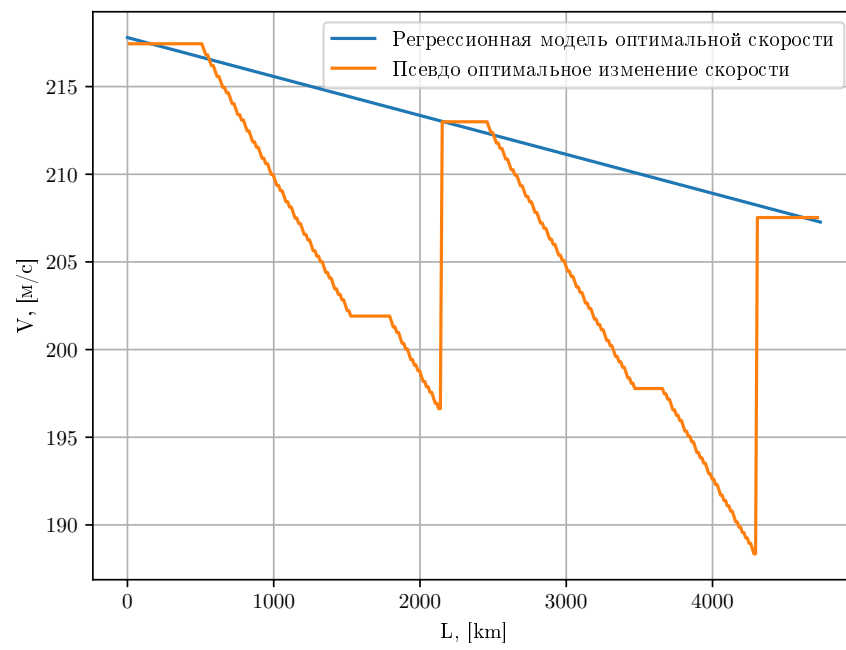


Рисунок 4 — Псевдо оптимальное изменение скорости

$m$ , ТОНН		$H$ , м							
		9000	9500	10000	10500	11000	11500	12000	12500
125.0	$M$	0.708	0.75	0.75	0.73	0.723	0.717	0.714	0.731
	$q_{km}$	8.499	8.142	7.794	7.468	7.244	7.026	7.214	7.683
	$V$	215.0	226.0	225.0	217.0	213.0	212.0	211.0	216.0
130.0	$M$	0.75	0.75	0.75	0.735	0.742	0.709	0.735	0.75
	$q_{km}$	8.775	8.418	8.074	7.744	7.528	7.337	7.57	8.12
	$V$	228.0	226.0	225.0	219.0	219.0	209.0	217.0	221.0
140.0	$M$	0.75	0.75	0.75	0.748	0.75	0.733	0.75	-
	$q_{km}$	9.329	8.983	8.646	8.313	8.111	8.028	8.336	-
	$V$	228.0	226.0	225.0	222.0	221.0	216.0	221.0	-
150.0	$M$	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	-
	$q_{km}$	9.899	9.565	9.238	8.907	8.728	8.752	9.232	-
	$V$	228.0	226.0	225.0	223.0	221.0	221.0	221.0	-
160.0	$M$	0.754	0.75	0.783	0.75	0.75	0.75	0.75	-
	$q_{km}$	10.503	10.169	9.849	9.535	9.377	9.543	10.24	-
	$V$	229.0	226.0	235.0	223.0	221.0	221.0	221.0	-
170.0	$M$	0.759	0.75	0.784	0.75	0.75	0.75	0.75	-
	$q_{km}$	11.124	10.795	10.464	10.197	10.059	10.408	11.366	-
	$V$	231.0	226.0	235.0	223.0	221.0	221.0	221.0	-
180.0	$M$	0.761	0.75	0.781	0.75	0.75	0.75	-	-
	$q_{km}$	11.76	11.445	11.099	10.892	10.77	11.348	-	-
	$V$	231.0	226.0	234.0	223.0	221.0	221.0	-	-
190.0	$M$	0.761	0.8	0.775	0.75	0.75	0.75	-	-
	$q_{km}$	12.413	12.104	11.761	11.618	11.651	12.452	-	-
	$V$	231.0	241.0	232.0	223.0	221.0	221.0	-	-
200.0	$M$	0.759	0.8	0.765	0.763	0.75	0.75	-	-
	$q_{km}$	13.086	12.762	12.458	12.37	12.613	13.7	-	-
	$V$	231.0	241.0	229.0	227.0	221.0	221.0	-	-

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