



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(национальный исследовательский университет)»

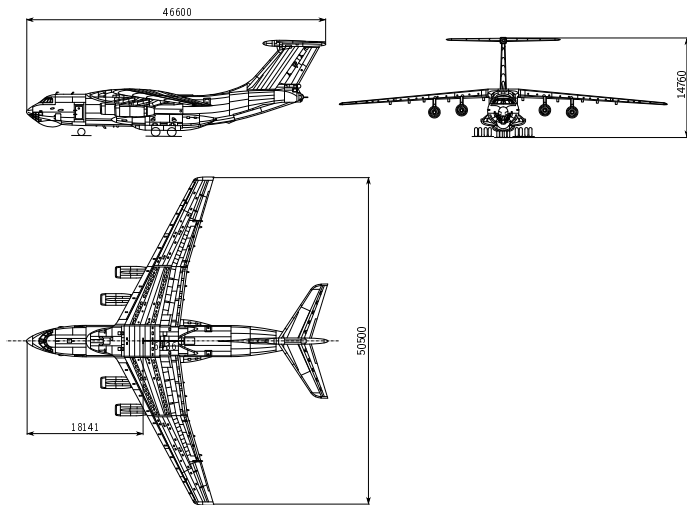
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА  
на тему:  
«Исследование характеристик транспортного самолета при  
выполнении эшелонирования»

Автор квалификационной работы:  
студент гр.М1О-403Б-18  
Москвитин Андрей Семенович  
Руководитель:  
к.т.н., доцент кафедры 106  
Мальцев Юрий Иванович

## Задачи

- Расчет основных летно-технических характеристик, взлетно-посадочных характеристик, транспортные возможности, характеристики маневренности, характеристик продольной устойчивости и управляемости
- Синтезировать систему автоматической стабилизации высоты
- Исследовать характеристики самолета при выполнении эшелонированного полета

## Прототип транспортного самолета Ил-76

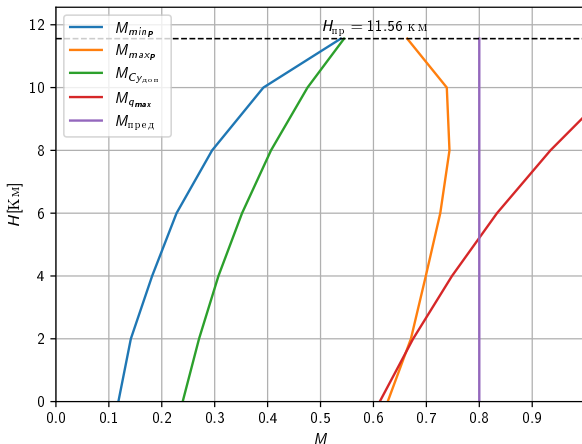


## Основные параметры

$$m = 140000 \text{ кг}, S = 300 \text{ м}^2, b_a = 6.436$$

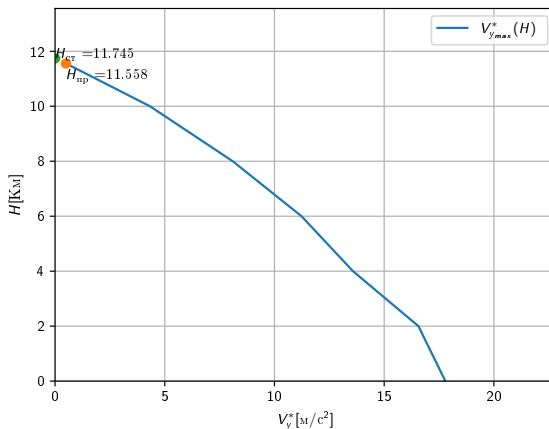
# Расчет летно-технических характеристик

## Диапазон высот и скоростей полета



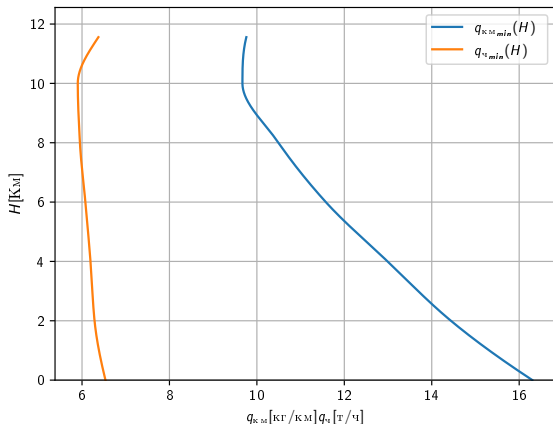
# Расчет летно-технических характеристик

## Значения статического и практического потолка



# Расчет летно-технических характеристик

Значения километрового и часового расхода для массы **140 т.**



# Расчет траектории полета

Параметры в наборе высоты:

$m_{T_{\text{наб}}}$	$L_{\text{наб}}$	$t_{\text{наб}}$
Кг	Км	Мин
3669.9	175.7	18.3

Параметры крейсерского полета:

$T_{\text{кр}}$	$L_{\text{кр}}$	$\rho H_{\text{кр}}$	$H_{0 \text{ кр}}$	$H_{\text{к кр}}$
мин	км	$\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$	км	км
285.43	2770.0	0.324	11	11.8

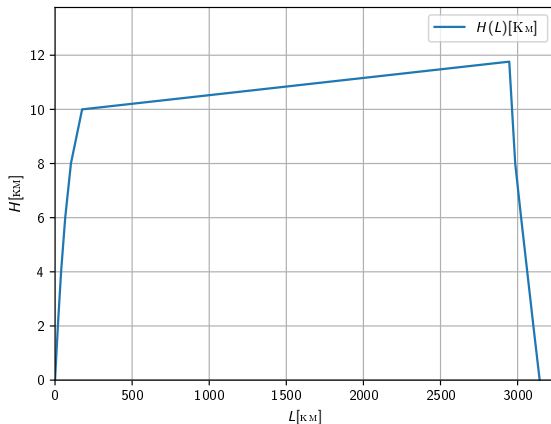
Параметры при снижении высоты:

$m_{T_{\text{сн}}}$	$L_{\text{сн}}$	$t_{\text{сн}}$
Кг	Км	Мин
426.7	197.3	19.7

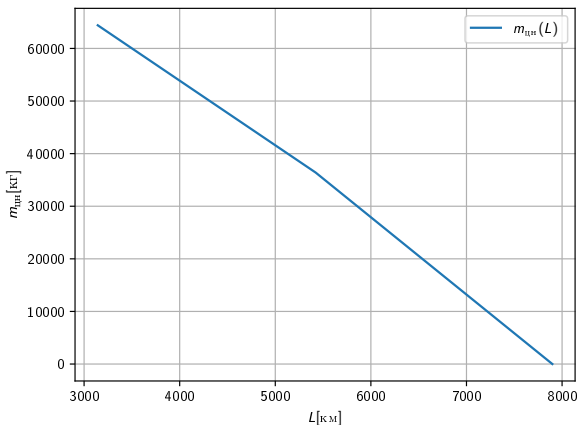


# Расчет траектории полета

Графическое представление:



## Зависимость максимальной дальности полета от целевой нагрузки



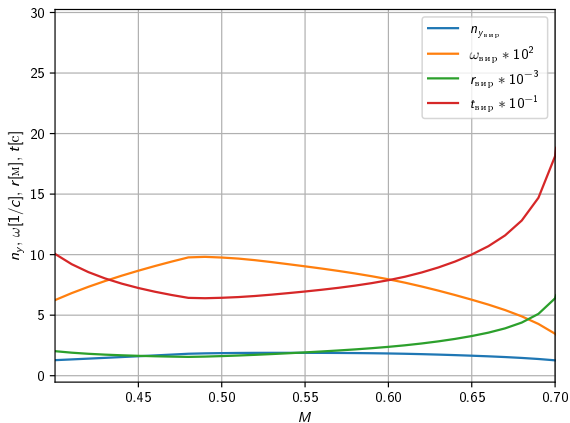
# Взлетно-посадочные характеристики

Основные параметры взлеты и посадки:

$V_{отр}$	$L_p$	$L_{вд}$	$V_{кас}$	$L_{проб}$	$L_{пд}$
$\frac{м}{с}$	м	м	$\frac{м}{с}$	м	м
90.0	1830.0	2289.0	65.0	811.0	1418.0

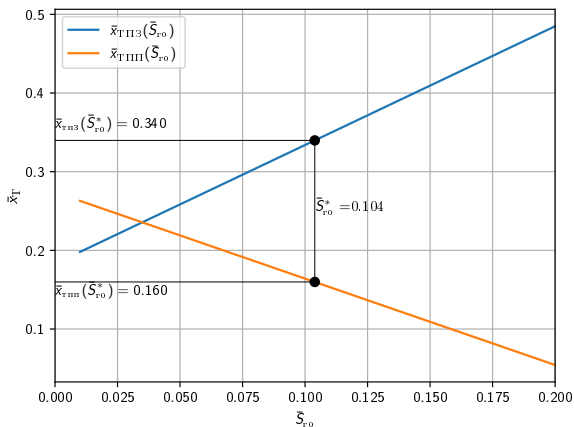
# Расчет правильного виража

## Зависимость различных параметров виража



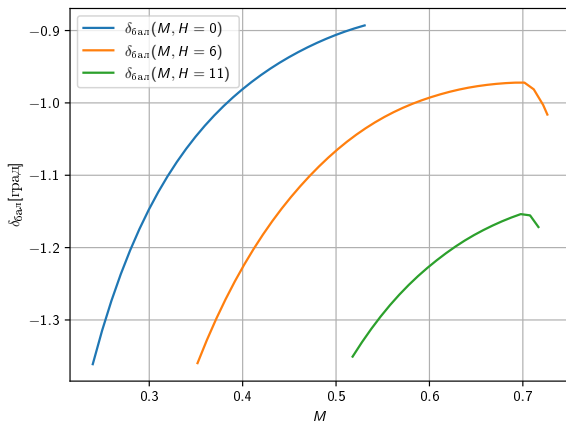
# Характеристики продольной статической устойчивости и управляемости

## Определение $\bar{S}_{r0}^*$



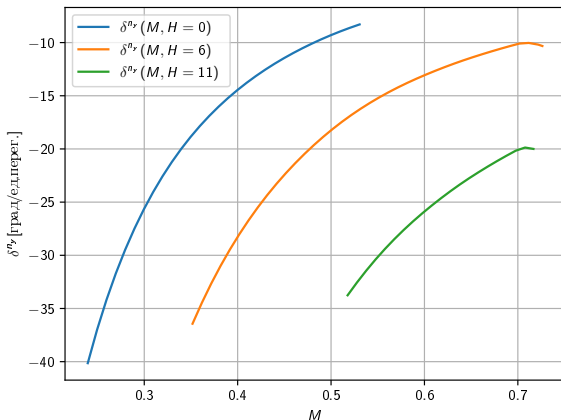
# Характеристики продольной статической устойчивости и управляемости

## Балансировочная диаграмма в полетной конфигурации



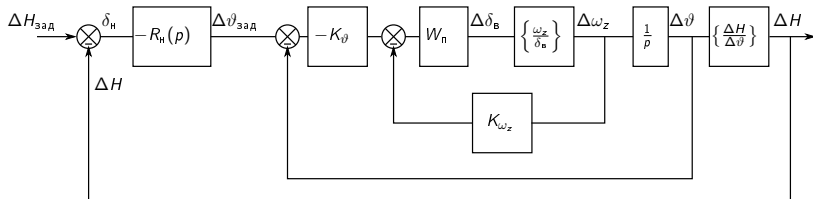
# Характеристики продольной статической устойчивости и управляемости

$\delta_B^{n_y}$  при  $\bar{x} = 0.25$



# Синтез системы автоматической стабилизации высоты

Структурная схема стабилизации высоты в тангажном варианте:

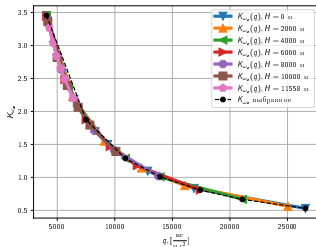




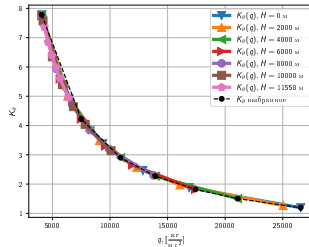
# Синтез системы автоматической стабилизации высоты

Выбранные коэффициенты обратных для контура стабилизации тангажа:

Для регулятора  $K_{\omega_z}$



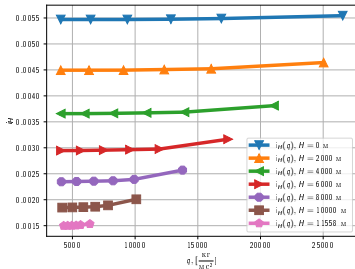
Для регулятора  $K_{\vartheta}$



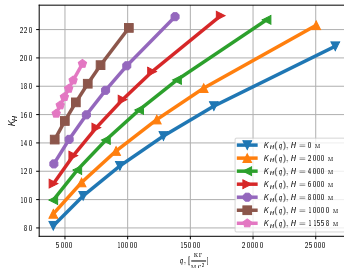
# Синтез системы автоматической стабилизации высоты

Выбранные коэффициенты для контура стабилизации высоты:

Для регулятора  $i_H$



Для регулятора  $K_H$

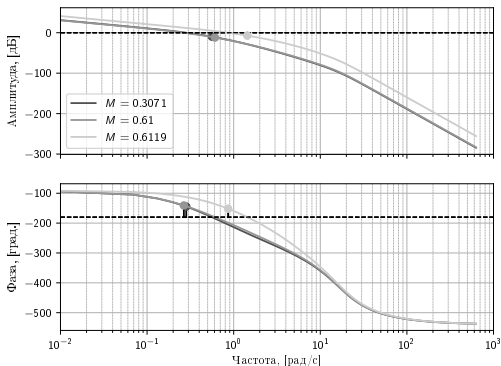


# Синтез системы автоматической стабилизации высоты

## Частотный анализ

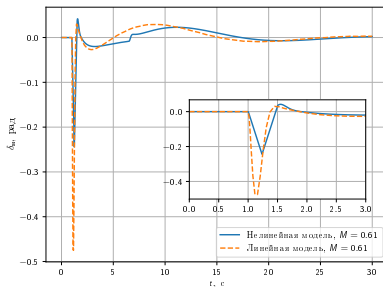
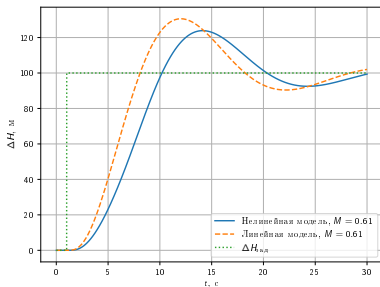
ЛАФЧХ для разомкнутого контура стабилизации высоты при:

$$q_{min} \Rightarrow M = 0.3071, \quad q_{max} \Rightarrow M = 0.6119, \quad q_{кр} \Rightarrow M = 0.61.$$



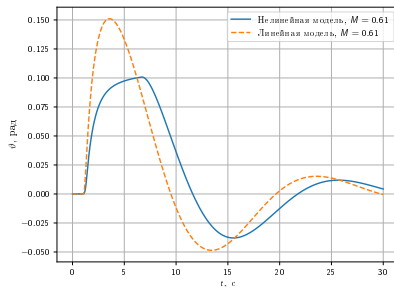
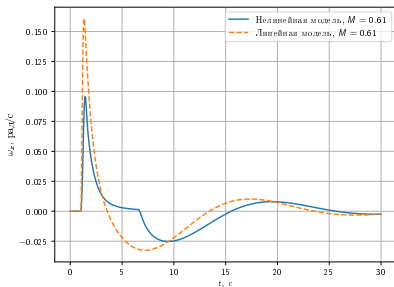
# Нелинейное, линейное моделирование системы

Различия в переходных процессах линейной и нелинейной модели.



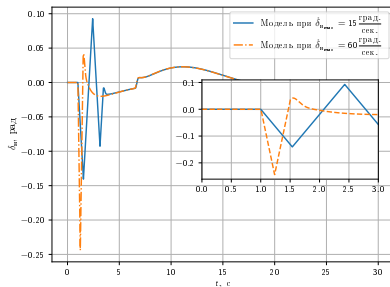
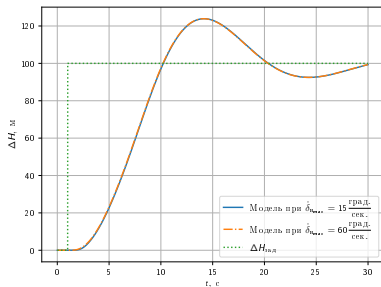
# Нелинейное, линейное моделирование системы

Различия в переходных процессах линейной и нелинейной модели.

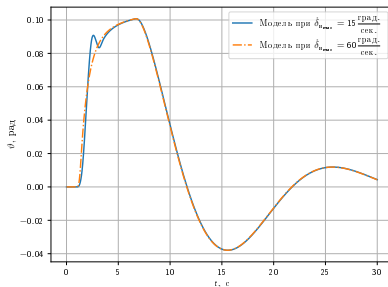
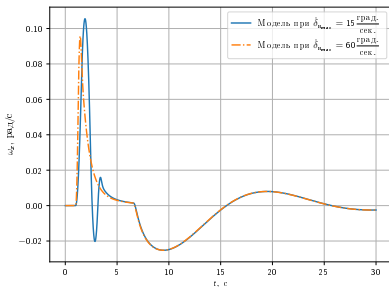


# Нелинейное, линейное моделирование системы

Различия в переходных при различных скоростях отклонения привода.



Различия в переходных при различных скоростях отклонения привода.



# Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Рассматриваемые характеристики полета:

- $m_{\text{изр}}$  — израсходования масса топлива
- $t_{\text{кр}}$  — время полета
- $q_{\text{км}}$  — километровый расход топлива



# Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Рассмотрим такие варианты полета:

- 1 При постоянной высоте и оптимальной скорости полета
- 2 При оптимальном изменении высоты и скорости полета
- 3 Эшелонированный полет с изменением высоты с шагом 300 м.

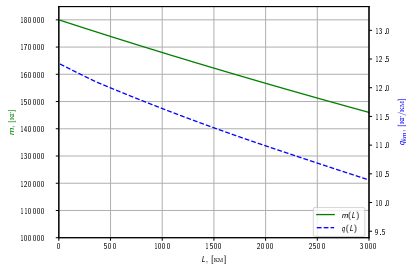
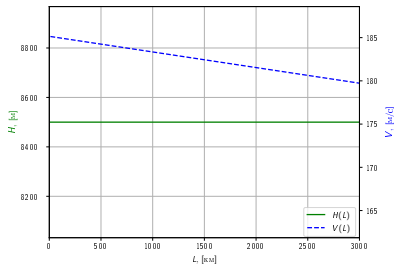
# Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Таблица параметров крейсерского полета:

m, тонн		H, м							
		8000	8500	9000	9500	10000	10500	11000	11500
100.0	M	0.489	0.5	0.506	0.522	0.538	0.552	0.559	0.565
	q <sub>km</sub>	8.38	8.114	7.881	7.666	7.46	7.225	6.619	6.578
	V	150.663	152.992	153.747	157.486	161.148	164.137	164.991	172.616
110.0	M	0.5	0.516	0.532	0.549	0.562	0.583	0.581	0.6
	q <sub>km</sub>	8.862	8.61	8.371	8.143	7.929	7.674	7.182	7.161
	V	154.053	157.888	161.647	165.632	168.337	173.355	171.484	177.042
120.0	M	0.524	0.54	0.554	0.573	0.571	0.591	0.6	0.6
	q <sub>km</sub>	9.348	9.084	8.834	8.598	8.401	8.236	7.784	7.812
	V	161.447	165.231	168.332	172.873	171.033	175.734	177.092	177.042
130.0	M	0.547	0.563	0.56	0.578	0.596	0.6	0.6	0.6
	q <sub>km</sub>	9.807	9.533	9.293	9.127	8.983	8.825	8.452	8.549
	V	168.534	172.269	170.155	174.381	178.521	178.41	177.092	177.042
140.0	M	0.552	0.565	0.582	0.6	0.6	0.6	0.6	0.605
	q <sub>km</sub>	10.259	10.049	9.863	9.7	9.576	9.472	9.36	9.534
	V	170.074	172.881	176.84	181.018	179.719	178.41	177.092	178.517
150.0	M	0.569	0.586	0.6	0.6	0.6	0.6	0.606	-
	q <sub>km</sub>	10.818	10.61	10.427	10.292	10.226	10.276	10.379	-
	V	175.312	179.307	182.309	181.018	179.719	178.41	178.863	-
160.0	M	0.588	0.6	0.6	0.6	0.6	0.619	-	-
	q <sub>km</sub>	11.369	11.165	11.016	10.949	11.026	11.138	-	-
	V	181.166	183.59	182.309	181.018	179.719	184.06	-	-
170.0	M	0.6	0.6	0.6	0.6	0.619	-	-	-
	q <sub>km</sub>	11.917	11.75	11.678	11.741	11.881	-	-	-
	V	184.863	183.59	182.309	181.018	185.41	-	-	-
180.0	M	0.6	0.6	0.6	0.615	-	-	-	-
	q <sub>km</sub>	12.495	12.413	12.459	12.587	-	-	-	-
	V	184.863	183.59	182.309	185.544	-	-	-	-
190.0	M	0.6	0.6	0.61	-	-	-	-	-
	q <sub>km</sub>	13.159	13.181	13.294	-	-	-	-	-
	V	184.863	183.59	185.347	-	-	-	-	-

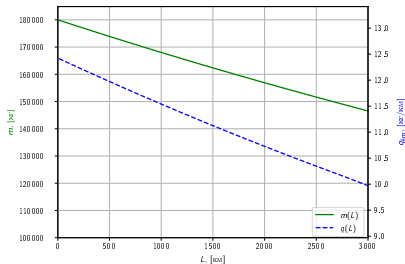
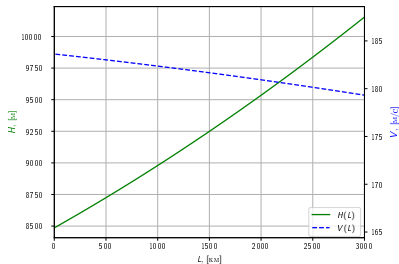
# Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Изменения характеристик при постоянной высоте и оптимальной скорости полета:



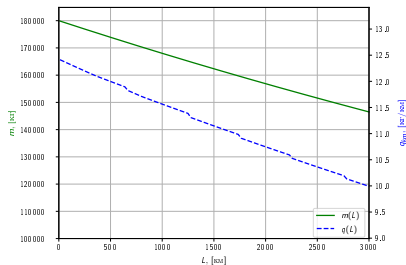
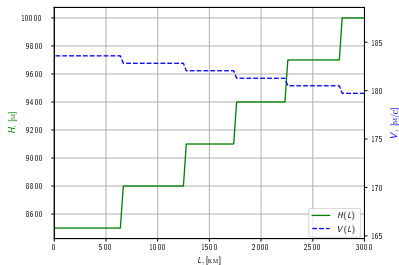
# Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Изменения характеристик при оптимальном изменении высоты и оптимальной скорости полета:



# Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Изменения характеристик при эшелонированном полете:



# Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Разница в расходах топлива по сравнению с оптимальной траекторией

Режим	$m_{\text{изр}}, \%$	$T, \%$
Полет по оптимальной траектории	100	100
Полет на $H = 8500 \text{ м}$	100.12	99.69
Полет эшелонированный полет $\Delta H = 300 \text{ м}$	101.87	99.75

# Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

## Выигрыш в топливе на большом горизонте полетов

