

ПРИМЕНЕНИЕ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ К  
ИССЛЕДОВАНИЮ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ  
ОГРАНИЧЕНИЙ  
САМОЛЕТА ИЛ-96-300

Демидова Фарида



ИЛ-96-300

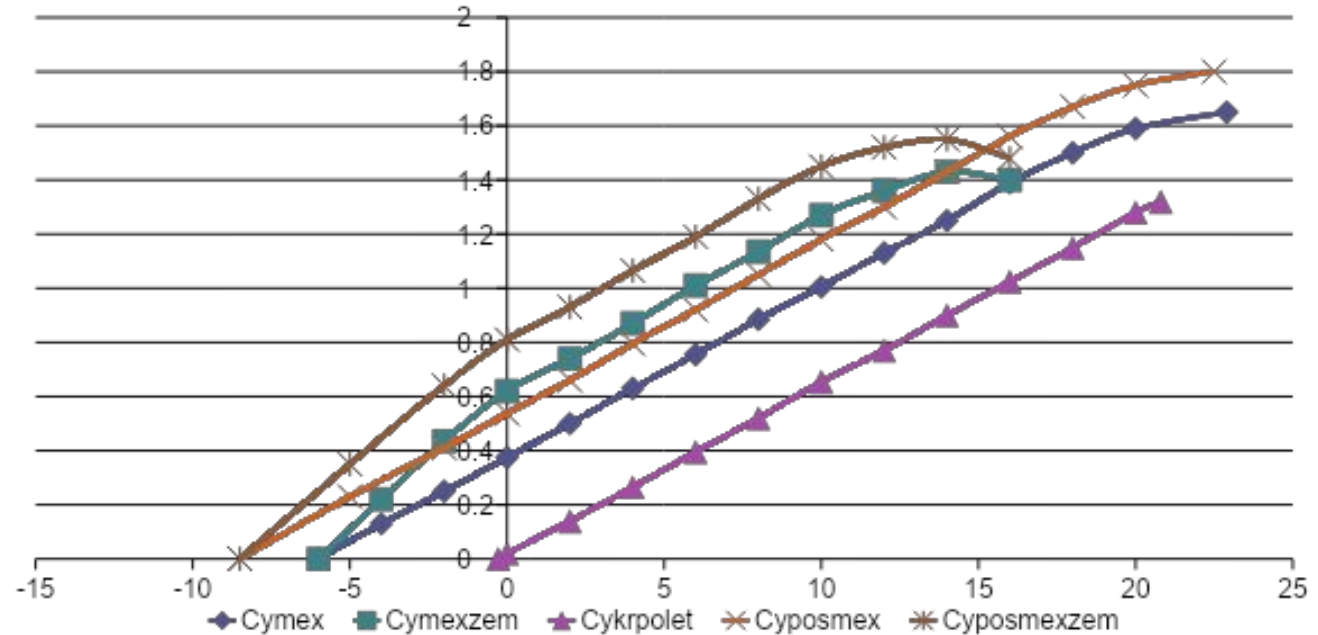
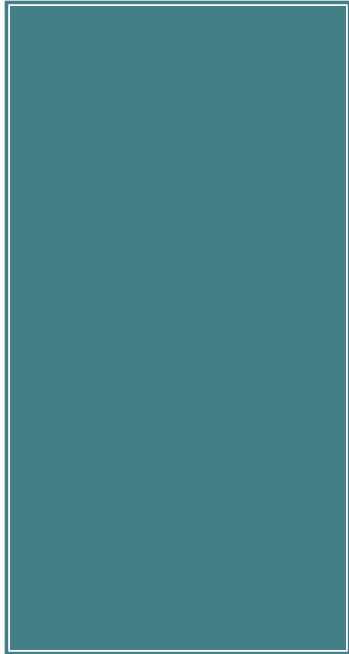
# Цель: Расширение эксплуатационных ограничений полета на больших углах атаки.

## Задачи:

- Подготовка исходных данных для математической модели (массовые, геометрические, аэродинамические, центровочные характеристики).
- Разработка полной ММ динамики полета самолета.
- Проведение вычислительных экспериментов.
- Разработка рекомендаций и предложений по расширению эксплуатационных ограничений.

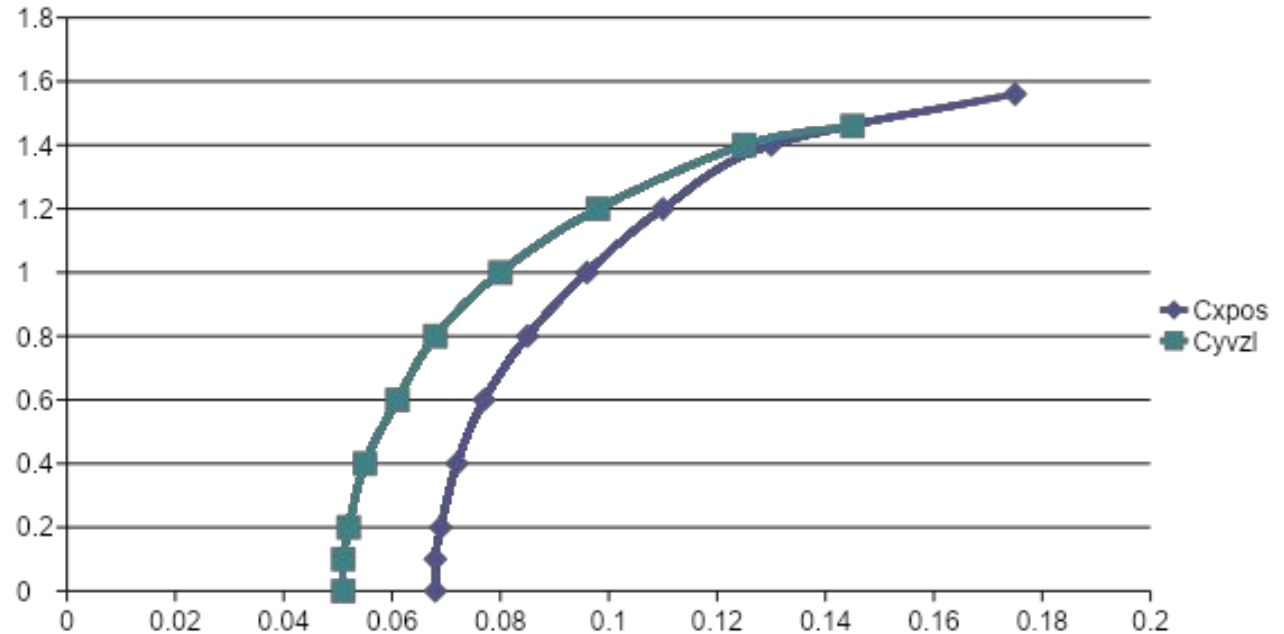
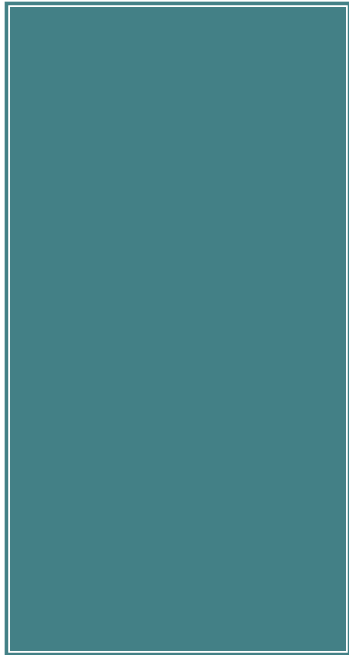
# Аэродинамическая характеристика

## $C_{y\alpha} = f(\alpha)$ .

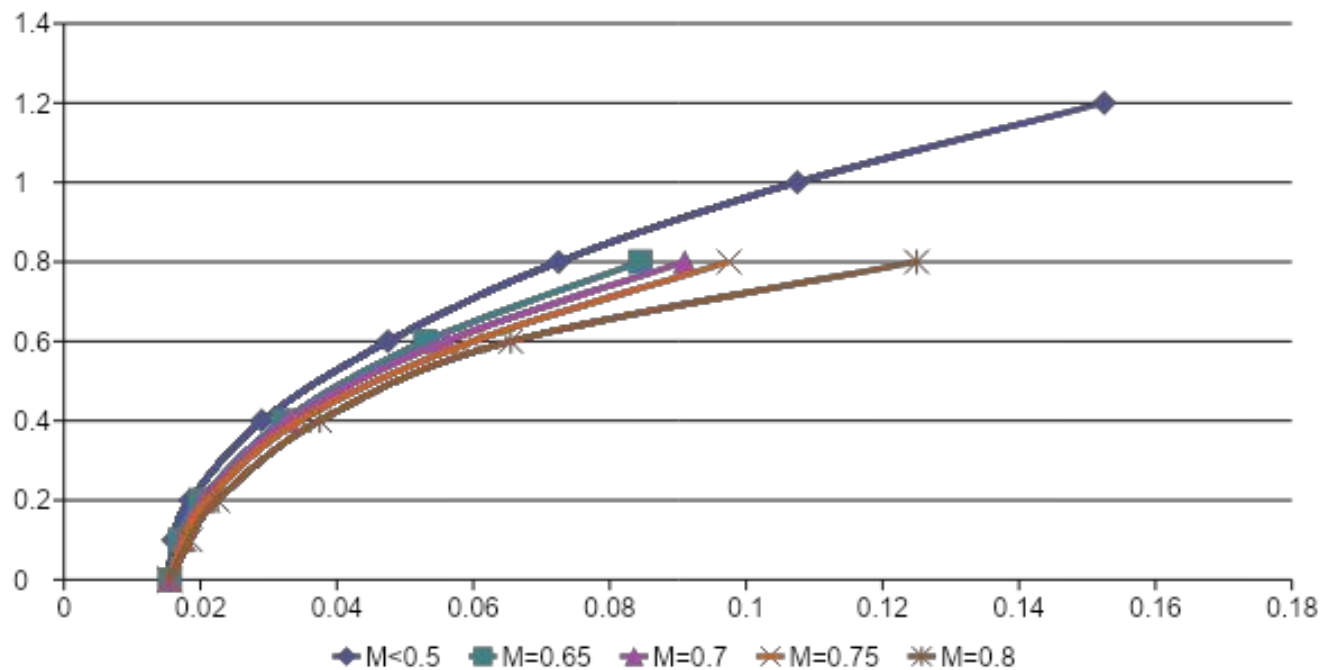
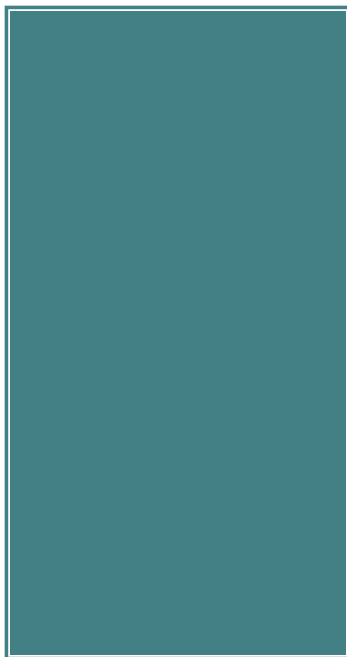


# Аэродинамическая характеристика

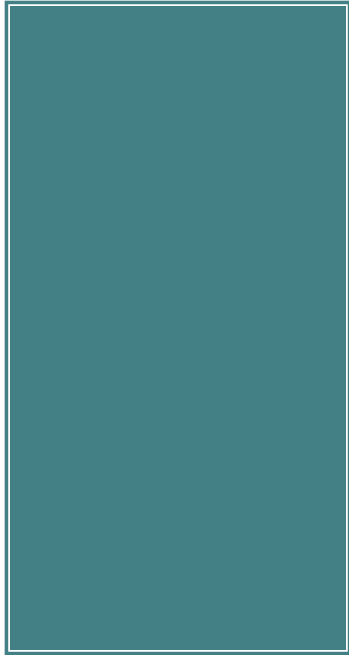
$C_{y\alpha} = f(C_{x\alpha})$ .



# Полетные поляры.



# Виды срыва.



корневой



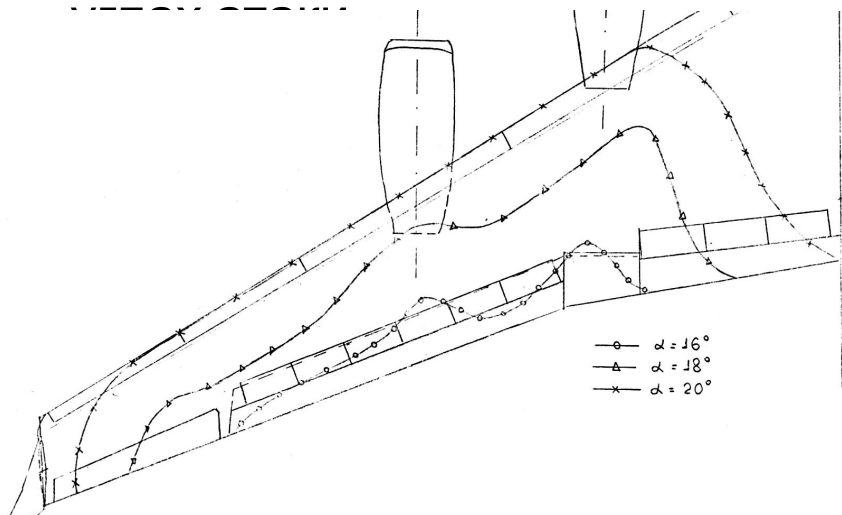
срединный



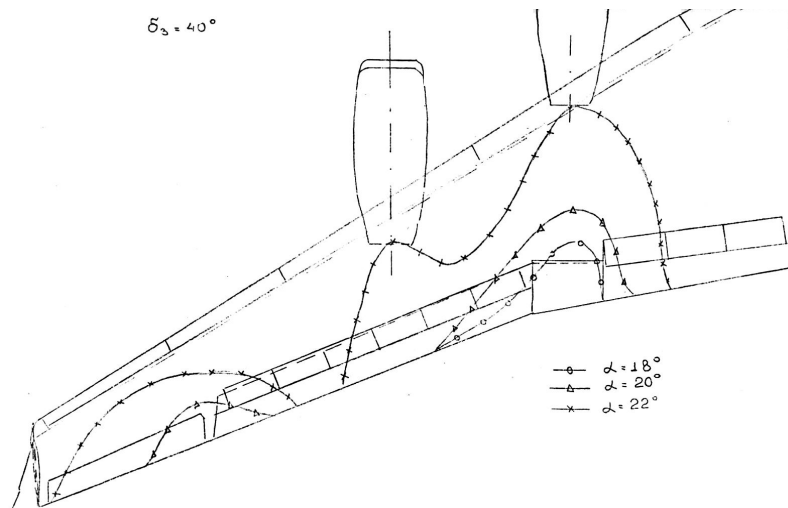
концевой

# Особенности обтекания стреловидного крыла самолета ИЛ-96-300.

Характер обтекания крыла Ил-96-300 при убранной механизации на различных

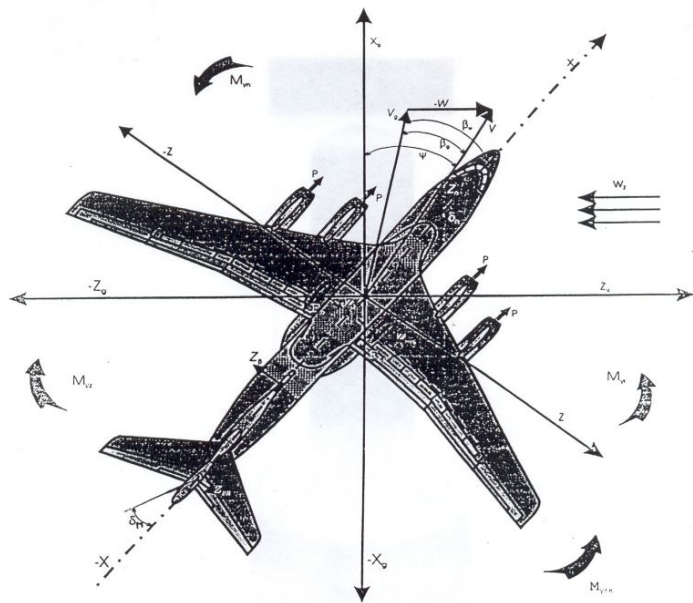


Характер обтекания крыла Ил-96-300 при выпущенной механизации на различных углах атаки.





# Полная модель динамики полета самолета.



$$\dot{\bar{X}} = F(\bar{X}, \bar{U}, P, \bar{W}, t), \quad t \geq t_0$$

Полная система дифференциальных уравнений движения самолёта в векторной форме может быть представлена в следующем виде:

$$\dot{\bar{X}} = F(\bar{X}, \bar{U}, P, \bar{W}, t), t > t_0$$

$\bar{X}$  - разовый вектор пространственного движения самолёта;

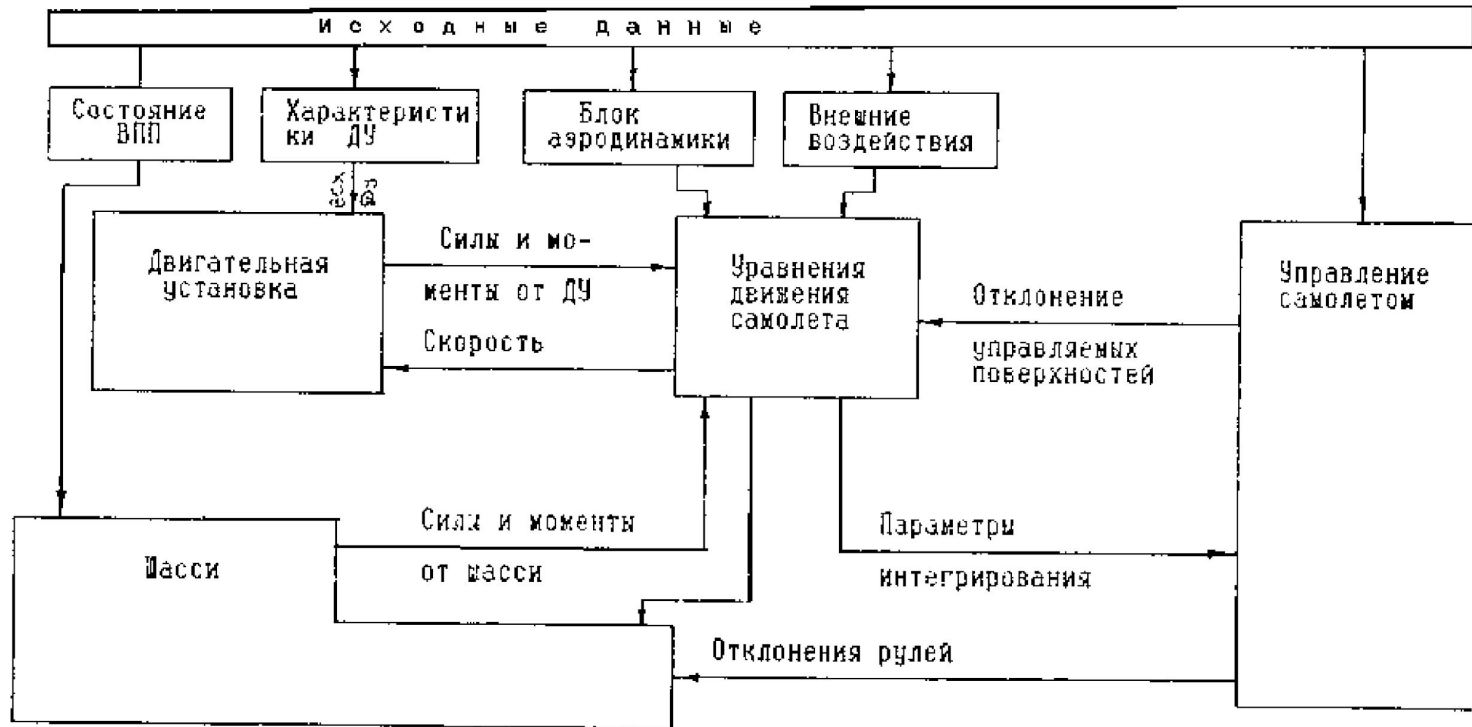
$\bar{U}$  - вектор управления самолётом;

$P$  - конструктивные параметры самолёта, влияющие на его поведение;

$\bar{W}$  - вектор внешних возмущений;

$t$  - время.

# Структурная схема математической модели.



Уравнения движения самолета – это система двенадцати дифференциальных уравнений, определяющих:

величину и направление вектора скорости самолета (уравнения сил):

$$m \frac{dV}{dt} = P - X_a - G \sin \theta;$$

$$mV\dot{\theta} = (Y_a + P\alpha_p) \cos \gamma_a - (Z_a - P\beta) \sin \gamma_a - G \cos \theta;$$

$$-mV\dot{\psi}_a \cos \theta = (Y_a + P\alpha_p) \sin \gamma_a + (Z_a - P\beta) \cos \gamma_a;$$

Уравнения движения самолета – это система двенадцати дифференциальных уравнений, определяющих:

положение  
самолета  
относительно  
Земли  
(уравнения  
кинематическ  
их связей  
линейных  
скоростей):

$$\dot{x}_g = V \cos \theta \cos \psi_a ;$$

$$\dot{y}_g = V \sin \theta ;$$

$$\dot{z}_g = -V \cos \theta \sin \psi_a ;$$

Уравнения движения самолета – это система двенадцати дифференциальных уравнений, определяющих:

величину и направление вектора угловой скорости (уравнения моментов):

$$I_x \dot{\omega}_x - \omega_y \omega_z (I_y - I_z) + I_{xy} (\omega_x \omega_z - \dot{\omega}_y) = M_x ;$$

$$I_y \dot{\omega}_y - \omega_z \omega_x (I_z - I_x) - I_{xy} (\omega_y \omega_z + \dot{\omega}_x) = M_y ;$$

$$I_z \dot{\omega}_z - \omega_x \omega_y (I_x - I_y) + I_{xy} (\omega_y^2 - \omega_x^2) = M_z ;$$

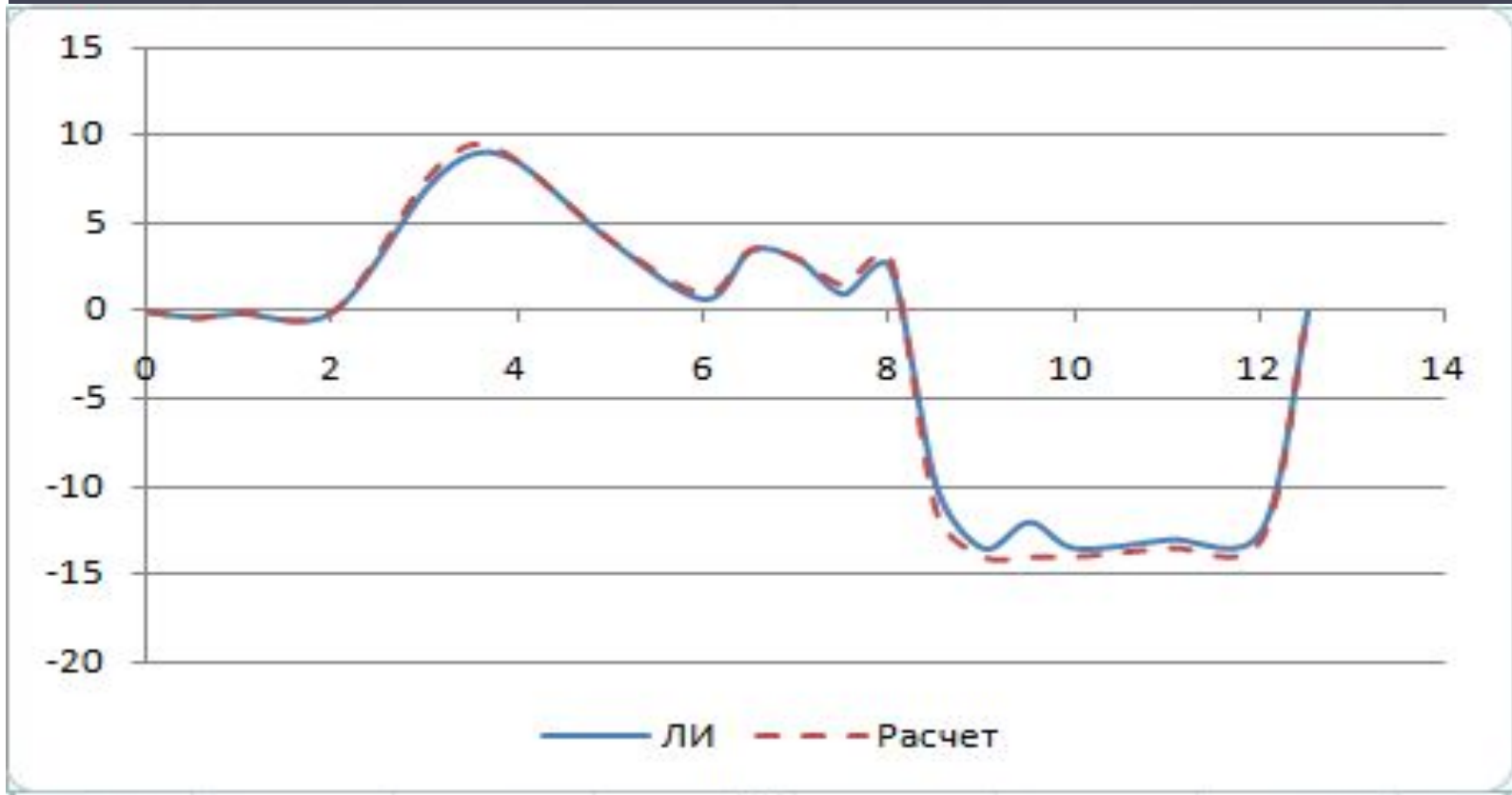
Уравнения движения самолета – это система двенадцати дифференциальных уравнений, определяющих:

ориентацию  
самолета  
(уравнения  
кинематичес  
ких связей  
угловых  
скоростей):

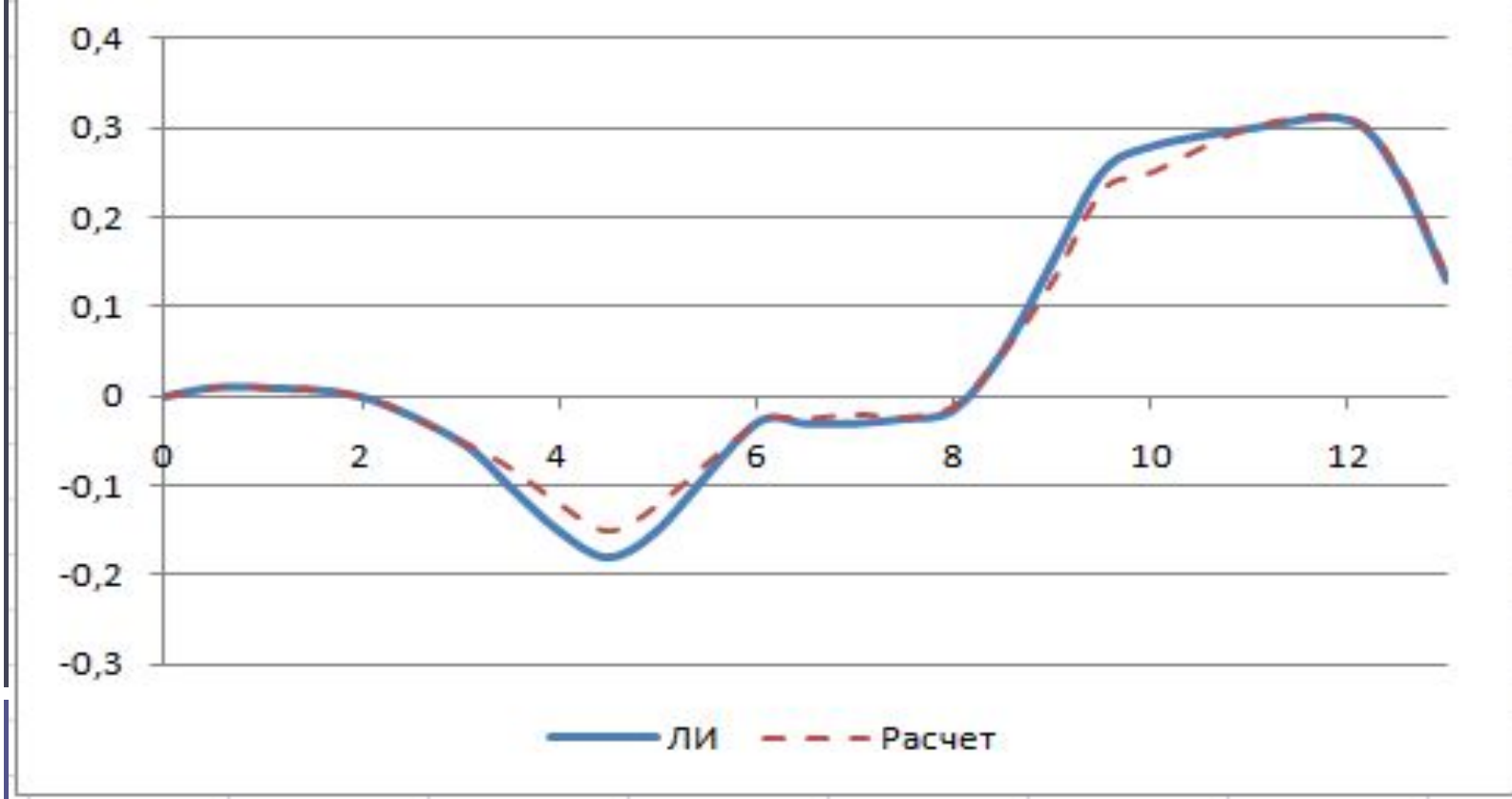
$$\omega_x = \dot{\gamma} + \dot{\psi} \sin \vartheta ;$$

$$\omega_y = \dot{\psi} \cos \vartheta \sin \gamma + \dot{\vartheta} \sin \gamma ;$$

$$\omega_z = -\dot{\psi} \cos \vartheta \sin \gamma + \dot{\vartheta} \cos \gamma .$$

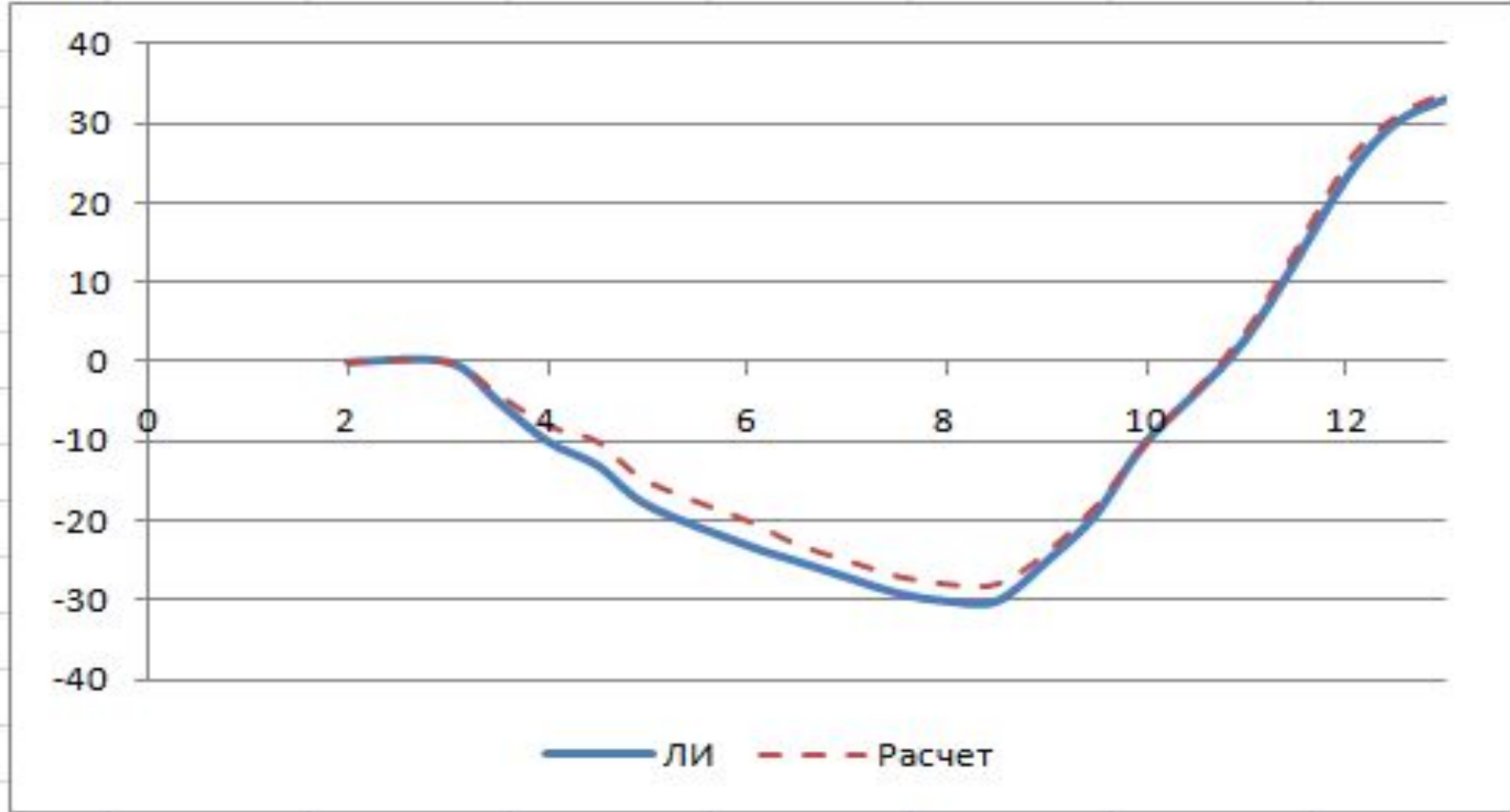


Перекладка элеронов ИЛ-96-300



Перекладка элеронов ИЛ-96-300

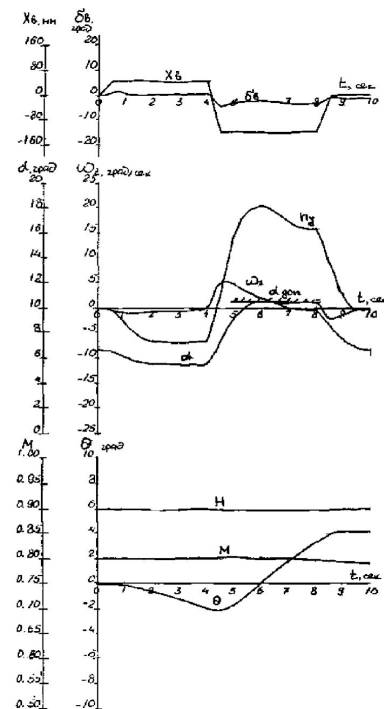
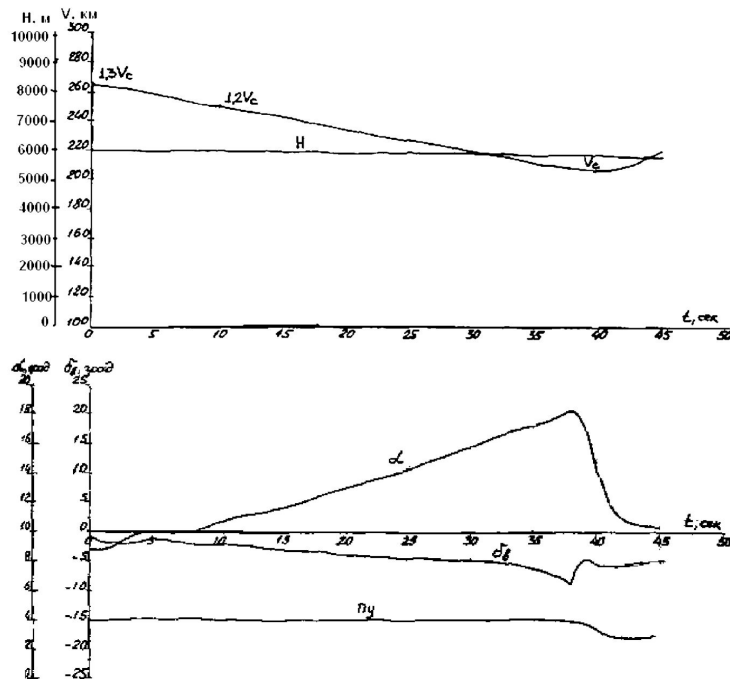




Перекладка элеронов ИЛ-96-300

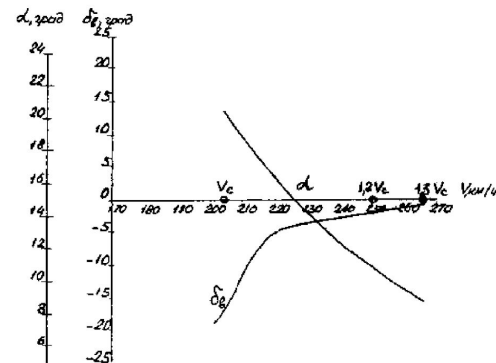
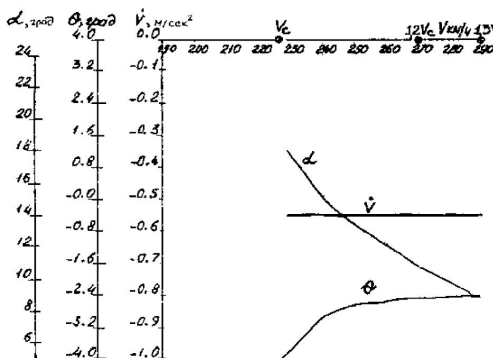
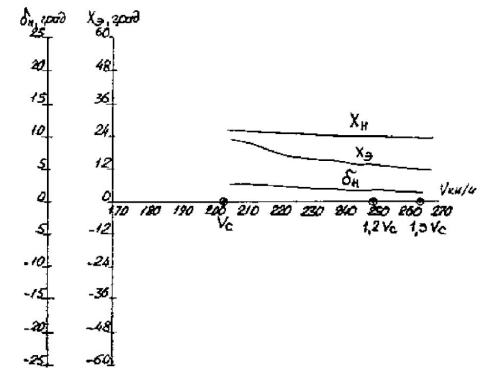
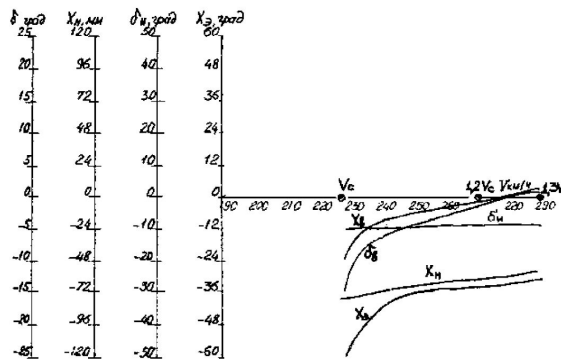
# Решение прикладных задач поведения ВС на БУА

- Выход самолета на БУА в процессе торможения.
- Выход самолета на БУА при задачах руля высоты.

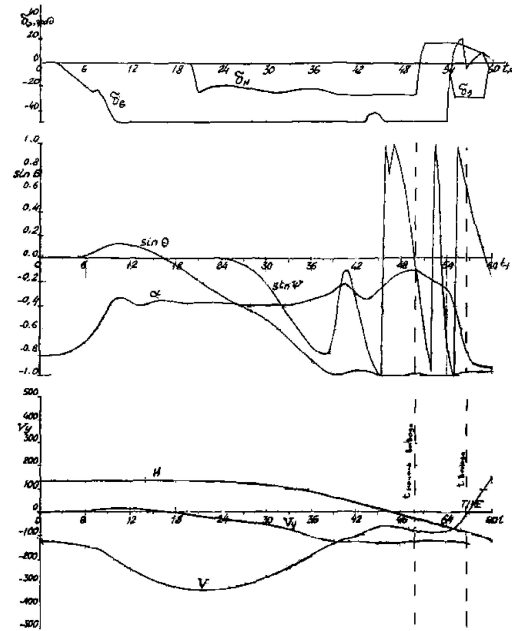
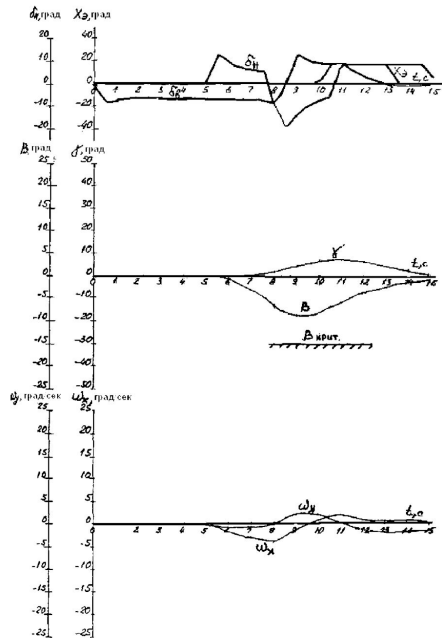
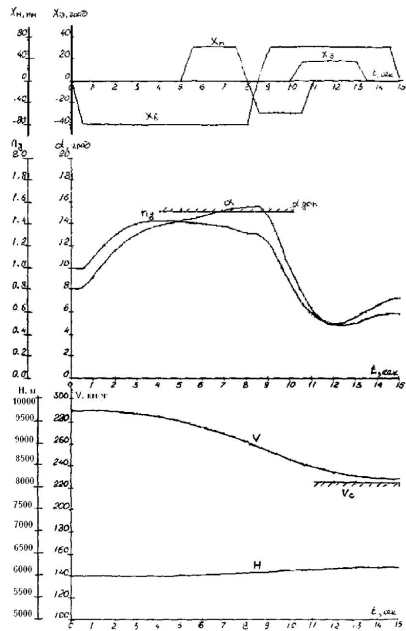


# Решение прикладных задач поведения ВС на БУА

- Торможение с отказом 1-го двигателя.
- Торможение на вираже с креном 30 градусов.



# Исследование пространственного движения самолета при выходе на БУА.



# Рекомендации по повышению эксплуатационной эффективности самолетов за счет расширения летных ограничений:

- Необходимо ввести переменный минимальный запас по перегрузке до допустимых углов атаки по высотам на крейсерских режимах полета.
- Установить минимальный запас по перегрузке до высот 6 км  $=0.5$ , а на высотах более 6 км  $=0.3$ .
- Переход  $=0.3$  позволит поднять максимальные крейсерские высоты на 600-1200 м. что увеличит удельные дальности на 5-10% в зависимости от числа М.
- В этом случае отечественные самолеты получат возможность эксплуатации в тех же условиях, как и зарубежные, что повысит их конкурентоспособность.
- Введение переменного запаса по перегрузке сблизит подходы к сертификации самолетов по общеевропейским, американским и нашим нормам.
- Необходимо снизить запасы до скорости сваливания при заходе на посадку.
- Заход на посадку производить на скорости 1.2.
- При этом длина посадочной дистанции уменьшится на 10%.
- За счет меньших величин потребной тяги на скоростях 1.2 снижается расход топлива на 1.5%.
- В связи с тем, что запасы по скорости сваливания становятся меньше, то необходимо отрабатывать на тренажерах ситуации, связанные с выходом на , что повышает квалификацию летного состава.

**Спасибо за внимание!**

