

*Курсовой проект по дисциплине  
Конструкция и прочность летательных аппаратов  
На тему:*



«Расчет прочности крыла самолета Ил-76 при не уборке закрылка на взлете и попадание самолета в восходящий вертикальный порыв»

**Выполнил студент  
891 группы  
Даниленко А.В.**

**Санкт-Петербург  
2013г**



## Цель курсового проекта:

Рассмотреть все силовые факторы которые возникнут при попадании Ил-76 в восходящий горизонтальный порыв ветра и не уборка правого закрылка при взлете

### Задачи:

- Определить силы, действующие на самолет в данном варианте нагружения;
- Выбрать расчетную схему крыла;
- Из уравнения равновесия расчетной схемы крыла определить неизвестные реакции фюзеляжа на крыло;
- Построить эпюру поперечных сил  $Q$ , изгибающего  $M_{И}$  и крутящего моментов  $M_{К}$ ;
- По эпюрам определить место наиболее нагруженного сечения на крыле и рассчитать напряжение в элементах конструкции данного сечения;
- Сравнить вызванные нагружением крыла расчетные нормальные и касательные напряжения, при которых конструкция крыла не получит недопустимых остаточных деформаций или не разрушится;
- сделать вывод о работоспособности конструкции крыла самолета

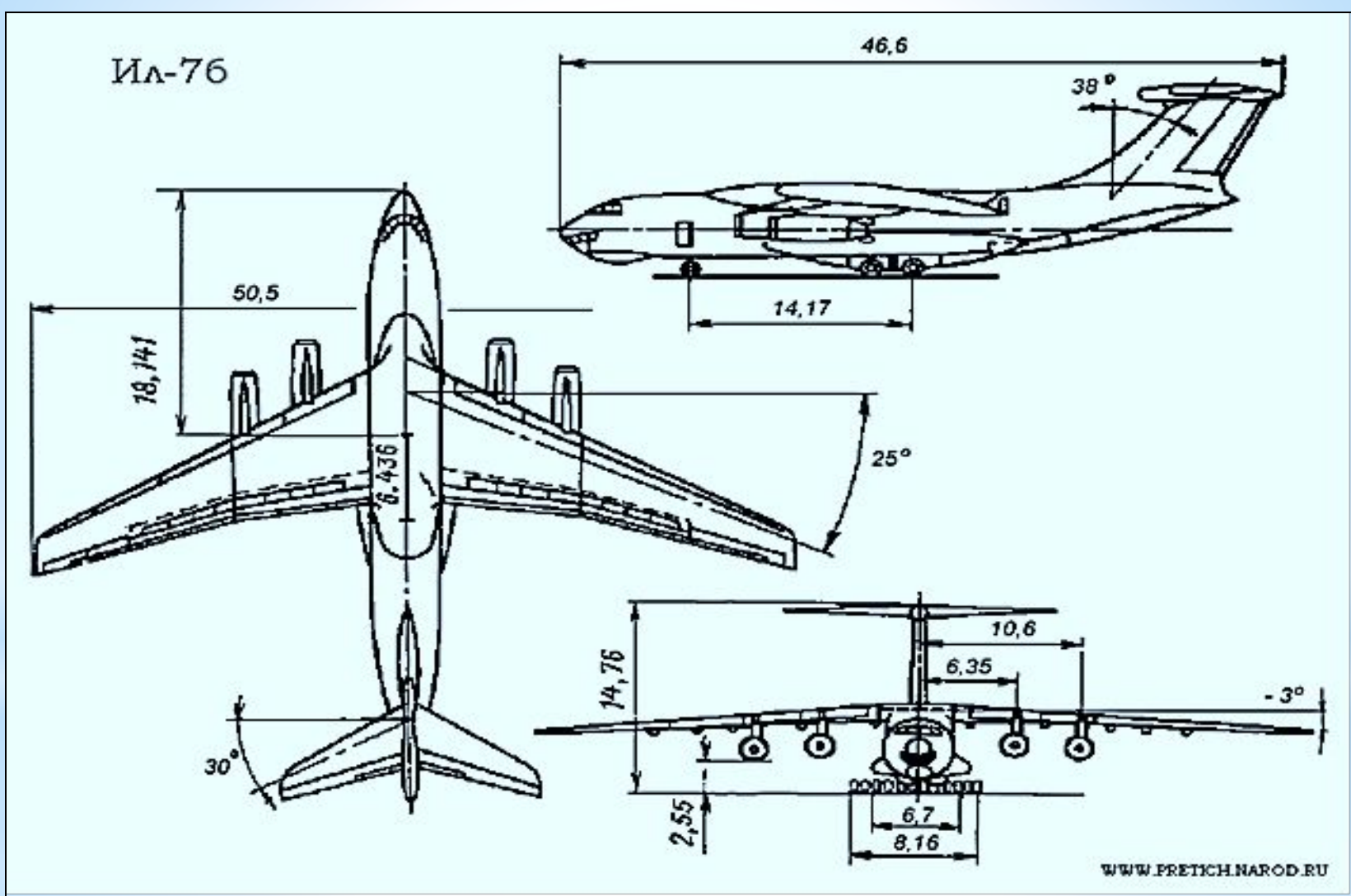
# Актуальность

Данного курсового проекта подтверждается аварией, случившейся во время работы над проектом. 16 августа 1987 в 6 часов утра потерпел крушение самолет рейс 255 авиакомпании Northwest Airlines. Связь с бортом пропала почти сразу после взлета.

Самолёт упал, развалился на части и загорелся. – 148 погибших, 1 уцелевший,, находившихся на борту. Одна из основная версии – не уборка правого закрылка после взлёта из-за обледенения. В пользу этой версии говорит траектория полёта – сначала самолёт стало кренить вправо (нарушение геометрии при попытке убрать закрылки), потом резко влево и вниз (возможно неубранный закрылок сорвало воздушным потоком) до столкновения с землёй.

- Рейс 091 авиакомпании Mandala 5 сентября 2005 – 104 погибших, 16 выживших, наземные потери – 49 человек из которых выжило 16.
- Рейс 5022 авиакомпании Spanair 20 августа 2008 – 154 погибших, 18 выживших.
- Сообщения о благополучно завершившихся лётных происшествиях подобного типа:
  - 9 июня 2011 г. самолет Boeing-737 авиакомпании «Донавиа», выполнявший рейс по маршруту «Ростов-на-Дону – Москва (Шереметьево)», совершил аварийную посадку в аэропорту вылета в связи с несимметричной уборкой закрылков. На борту находились 58 пассажиров и 6 членов экипажа; никто не пострадал





Самолет Ил-76 представляет собой высокоплан с фюзеляжем круглого сечения, стреловидным крылом и Т-образным хвостовым оперением. Силовая установка состоит из 4 турбореактивных двухконтурных двигателей Д-30КП конструкции ОКБ П.А.Соловьёва. Двигатели установлены на пилонах под крылом.



Максимальная скорость полета (согласно РЛЭ) с выпущенными на 43 градуса закрылками, составляет 280 км/ч. Дальнейшее увеличение скорости приводит к деформации и разрушению механизмов уборки и выпуска закрылков.

Предположим, что не убран правый закрылок. В результате, на полу-крыле, где закрылок не убран, подъемная сила больше, больше также лобовое сопротивление, что приводит к возникновению крена на крыло, где закрылок убран, и возникновению разворачивающего момента в сторону крыла с выпущенным закрылком. Все это пилоту приходится парировать с помощью органов управления.



## ЛЁТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

|                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| Максимальная скорость | 850 км/ч             |
| Крейсерская скорость  | 750-800 км/ч         |
| Посадочная скорость   | 210 км/ч             |
| Дальность полёта :    |                      |
| с нагрузкой 20 000 кг | 7 300 км             |
| с нагрузкой 50 000 кг | 3 650 км ( Ил-76ТД ) |
| Длина разбега         | 850 м                |
| Длина пробега         | 450 м                |

## РАЗМЕРЫ

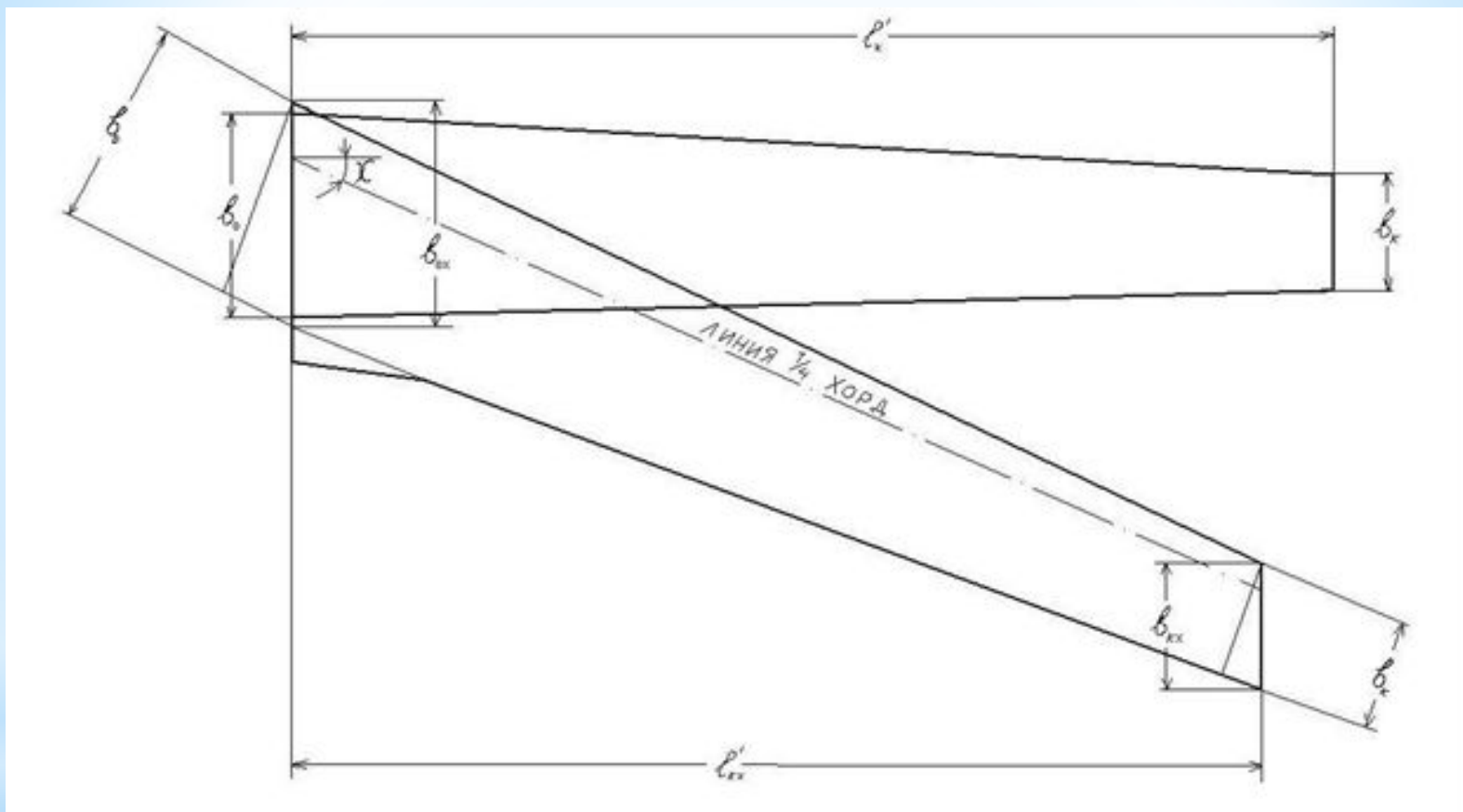
|                |                    |
|----------------|--------------------|
| Размах крыла   | 50,5 м             |
| Длина самолёта | 46,6 м             |
| Высота         | 14,8 м             |
| Площадь крыла  | 300 м <sup>2</sup> |

## МАССЫ И НАГРУЗКИ

|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| Макс. взлётная масса        | 170 000 кг ( Ил-76Т )        |
|                             | _____ 190 000 кг ( Ил-76ТД ) |
| Макс. посадочная масса      | 151 500 кг                   |
| Макс. коммерческая нагрузка | 40 000 кг (Ил-76Т)           |
|                             | _____ 50 000 кг (Ил-76ТД)    |



# Спрямление крыла



$$l'_{kx} = \frac{(l - d_{\phi})}{2} = \frac{(50,5 - 4,8)}{2} = 22,85$$

$$l'_k = \frac{l'_{kx}}{\cos \chi} = \frac{22,85}{\cos 25^{\circ}} = 25,4$$

$$b_k = b_{kx} \cdot \cos \chi = 3,2 \cdot \cos 25^{\circ} = 2,9$$

$$b_0 = b_{0x} \cdot \cos \chi = 9,6 \cdot \cos 25^{\circ} = 8,64$$

# Определение перегрузки

Вертикальная перегрузка, измеренная в центре масс ВС при действии вертикального восходящего порыва со скоростью, находится по формуле:

- Плотность воздуха -  $\rho_H = 1,213$
- Скорость полета -  $V_{\text{пол}} = 280 = 83,3$
- Полетная масса -  $m_{\text{пол}} = 15300$
- Площадь крыла -  $S_K = 300$

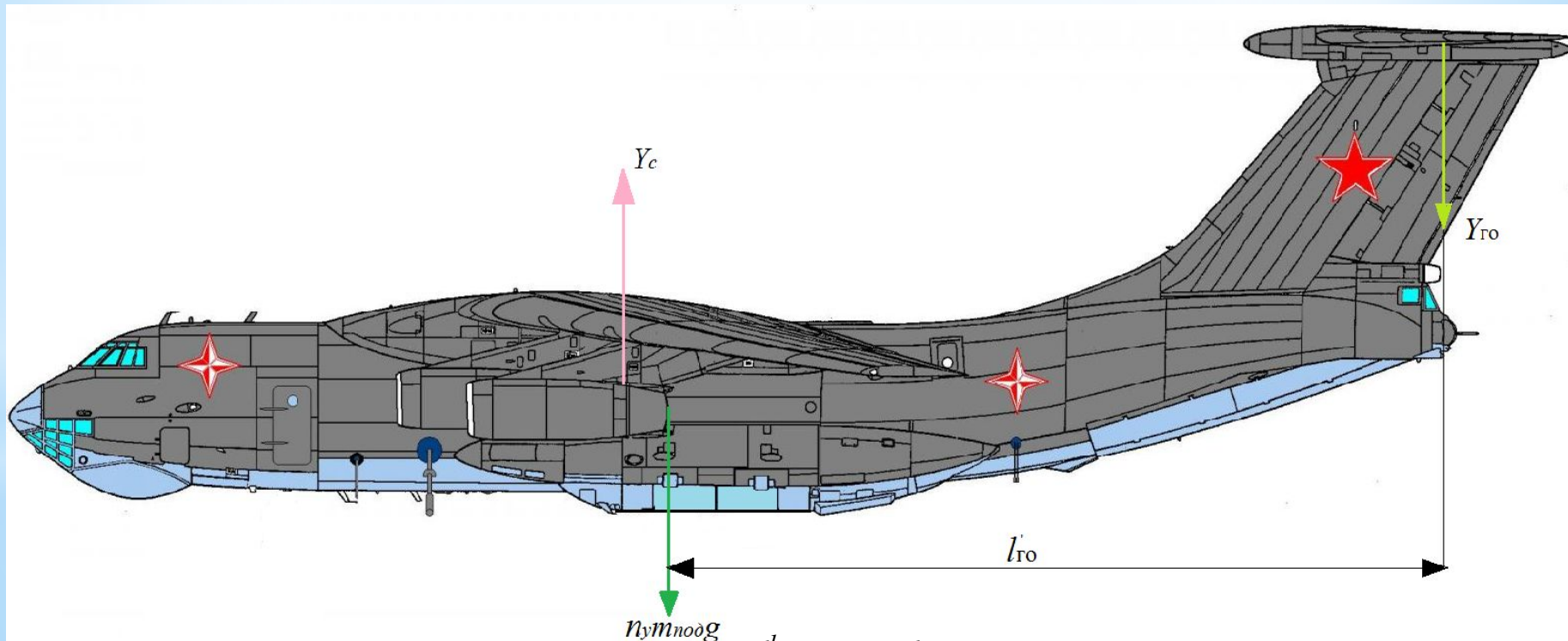
$$n_y = 1 + C_Y^\alpha * \rho_H W \frac{V_{\text{пол}} * S}{3m_{\text{пол}} * g} = 1 + 4,1 * 1,213 * 15 \frac{83,3 * 300}{3 * 153000 * 9,81} = 1,39$$

Рассчитанная по формуле перегрузка получилась меньше допустимого диапазона маневренных (вполне допустимых) перегрузок в полете.



# Определение неизвестных сил

Ввиду сложности задачи, рассмотрим её в два этапа. Первый – действие сил в горизонтальном полёте при попадании самолёта в вертикальный порыв, второй - не уборка правого закрылка. Подъемная сила самолета  $Y_c$  вычисляется из условия продольного равновесия самолета с учетом ранее рассчитанного значения вертикальной перегрузки  $n_y$  при попадании в вертикальный восходящий порыв воздуха составляем уравнение сил



$$Y_c \Delta x + Y_{го} l'_{го} + R_{сд} h_0 = 0;$$

$$Y_c - n_y m_{пол} g - Y_{го} = 0$$

\* Неубранный закрылок создает дополнительное сопротивление  $X_3$ , создающее разворачивающий момент, парируемый отклонением руля направления (появляется дополнительная сила  $Y_{во}$ ):

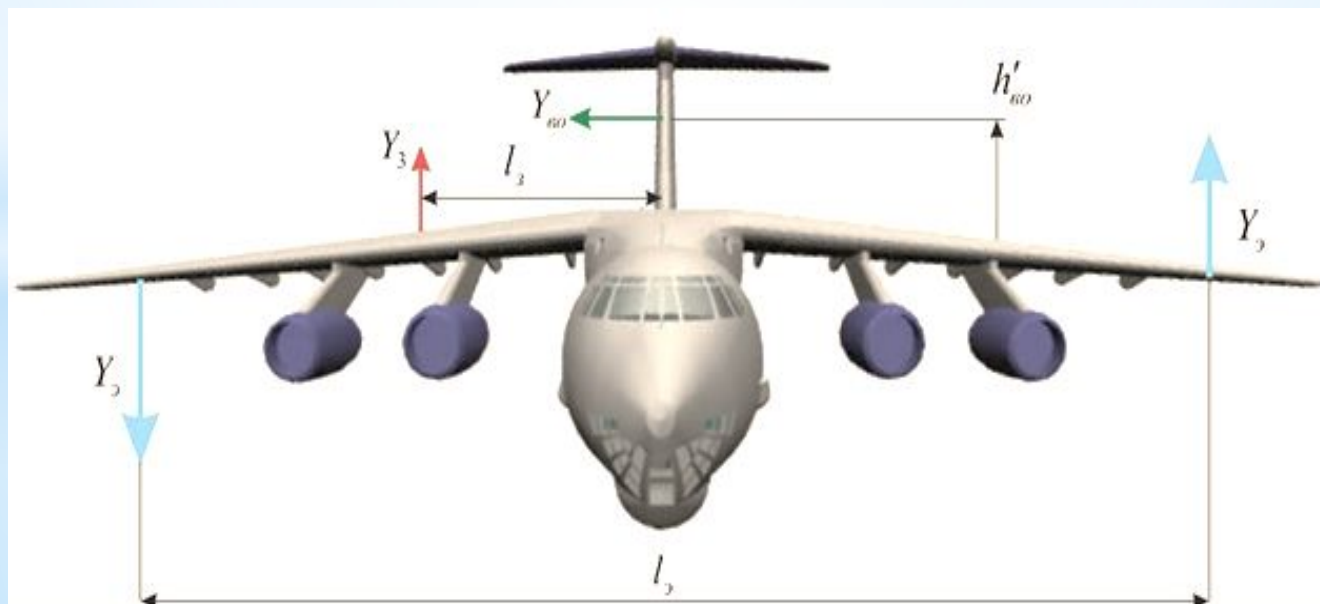
$$X_3 * l_3 - Y_{во} * l_{во}^l = 0;$$

$$Y_{во} = X_3 * l_3 / l_{во}^l = 30531 * 10,6 / 19,9 = 16263(\text{Н});$$

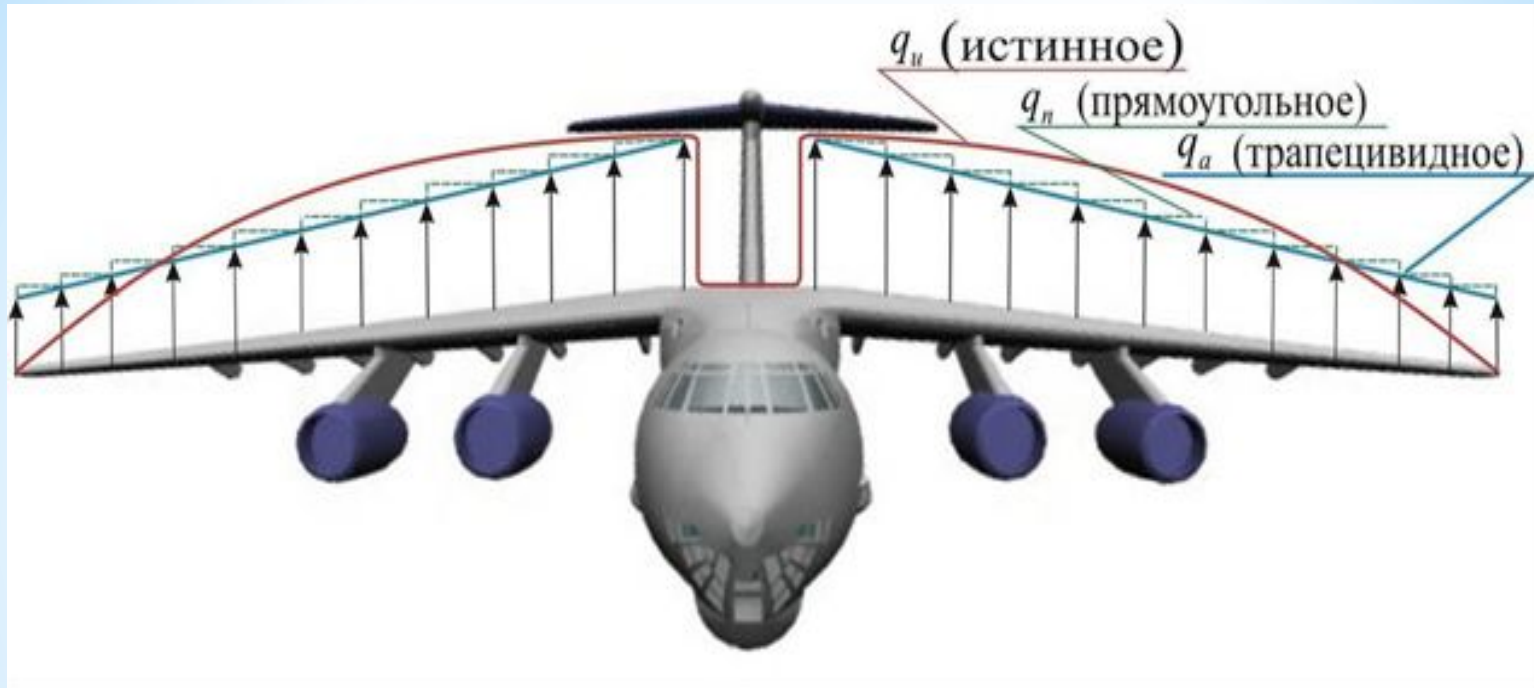
$$Y_3 l_3 - Y_{во} h_{во}^l - Y_3 l_3 = 0$$

Аэродинамическая сила вертикального оперения приложена выше ц.м., поэтому создает крен. Несимметричная сила  $Y_3$  также создает крен, поэтому для обеспечения поперечного равновесия самолета, пилоту необходимо отклонить элероны.

**Дополнительные силы, возникающие при несинхронной уборке закрылков.**



# Определение нагрузок действующих на крыло



$$q_{az} = \frac{Y_C * S_K}{b_z}; \quad b_p = b_k + \frac{b_0 - b_k}{l_k} z; \quad q_{az} = \frac{Y}{S_K} (b_k + b_p z);$$

$$q_{kpz} = \frac{n_y (m_k + m_T)}{S_K} b_z;$$

$$q_{kpz} = \frac{n_y (m_k + m_T) g}{S_k} (b_k + b_p z)$$

$$q_{a0} = 8254 \text{ Н/м}$$

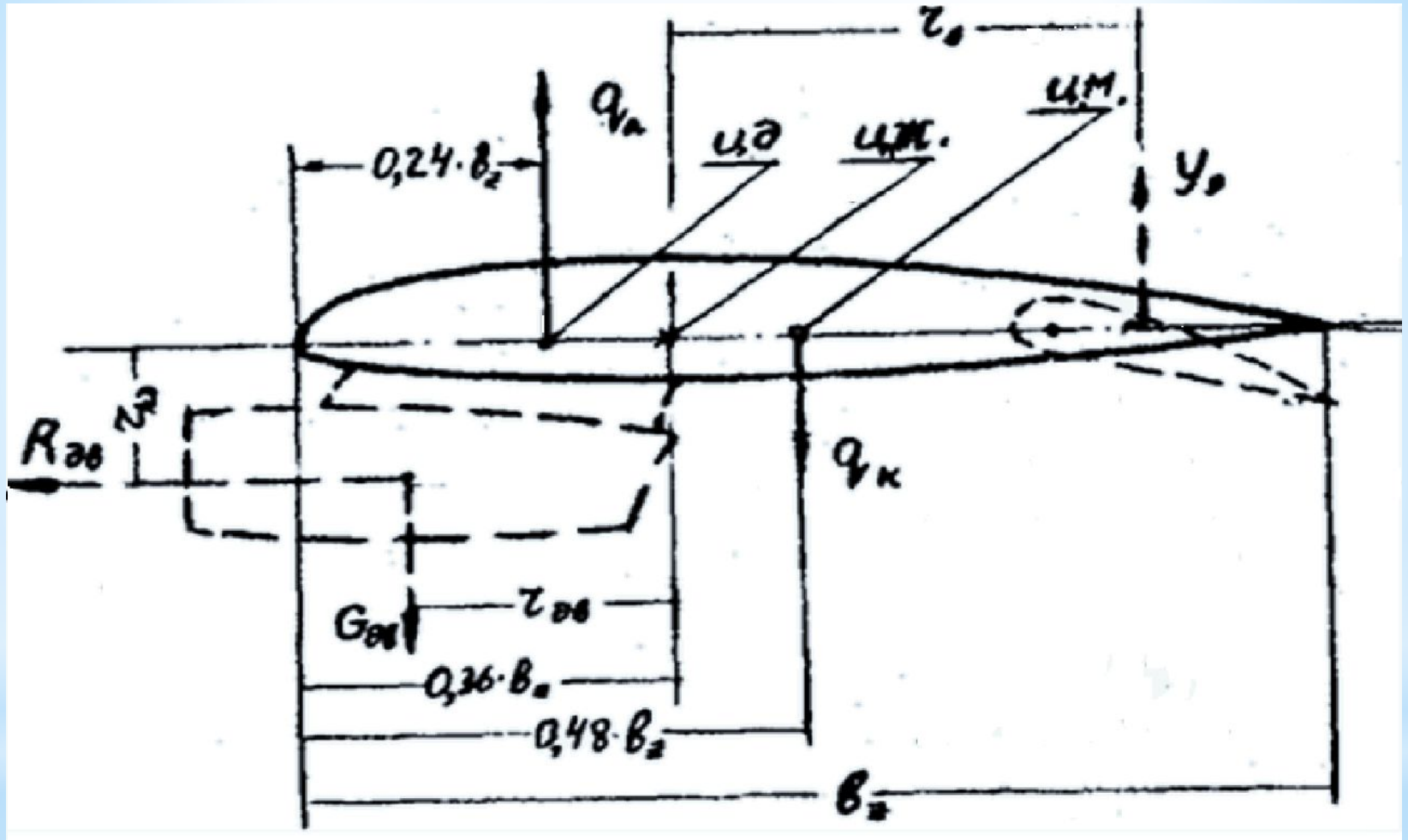
$$q_{a25,2} = 9132 \text{ Н/м}$$

$$q_{kp0} = 24456 \text{ Н/м}$$

$$q_{kp25,2} = 27377 \text{ Н/м}$$



# Определение крутящего момента



$$m_z = (0,36 \cdot b_z - 0,24 \cdot b_z) \cdot q_{az} + (0,48 \cdot b_z - 0,36 \cdot b_z) \cdot q_{kpz}$$

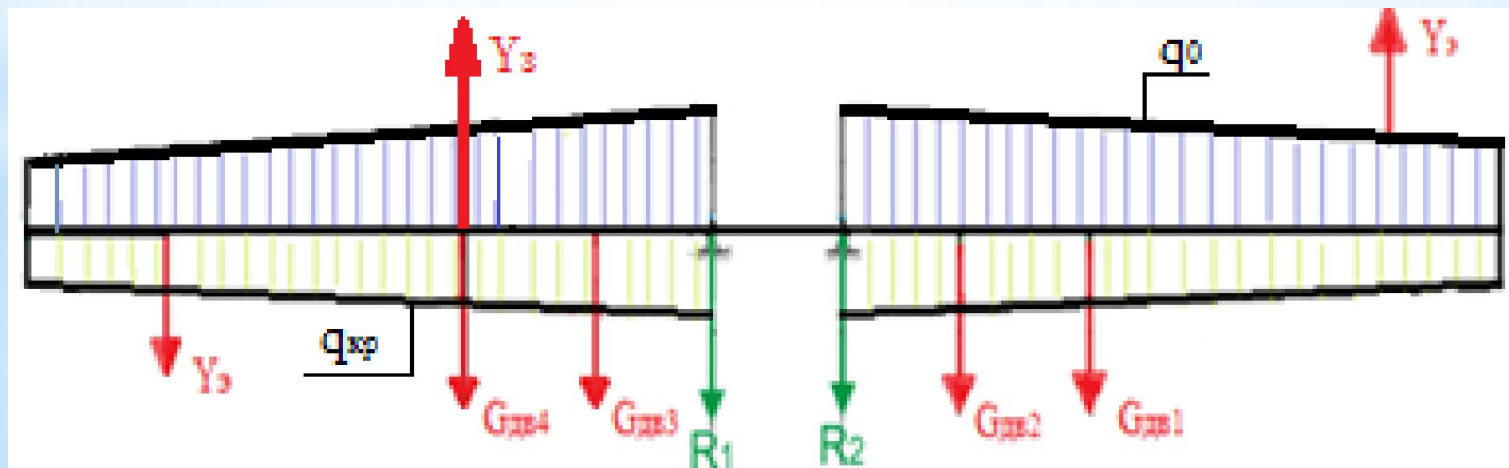
$$m_z = 0,12 \cdot (b_k + b_p \cdot z) \cdot \left[ \frac{Y}{S_k} \cdot (b_k + b_p \cdot z) + \frac{n_y \cdot (m_K + m_T) \cdot g}{S_k} \cdot (b_k + b_p \cdot z) \right] = 0,12 \cdot \frac{Y + n_y \cdot (m_K + m_T) \cdot g}{S_k} \cdot (b_k + b_p \cdot z)^2$$

# Расчетно-силовая схема крыла

Так как размах крыла значительно больше длины хорды и тем более строительной высоты, можно сделать допущение о том, что крыло представляет собой балку.

Расчетно-силовая схема крыла- это балка опирающаяся на две опоры, которыми являются корневые нервюры крыла. Балка нагружена распределенными нагрузками аэродинамических  $q_{az}$  и массовых  $q_{крz}$  сил, которые мы заменили на общую распределенную нагрузку  $qz$ , а также сосредоточенными силами  $G_{дв}$ ,  $Y_э$ ,  $Y_з$ .

Наибольшую опасность для крыла представляет изгибающий момент  $M_u$ , затем крутящий момент  $M_{кр}$ , а потом уже поперечная сила  $Q$ . Поэтому расчет напряжений в первую очередь следует проводить там, где  $M_u$  максимален.



# Построение эпюр

$$Q(z) = \int_0^z q_z dz.$$

$$q_z = q_{az} - q_{kpz}$$

$$Q(q_z) = \frac{Y - n_y(G_K - G_T)}{S} \left( b_k z + b_p \frac{z^2}{2} \right)$$

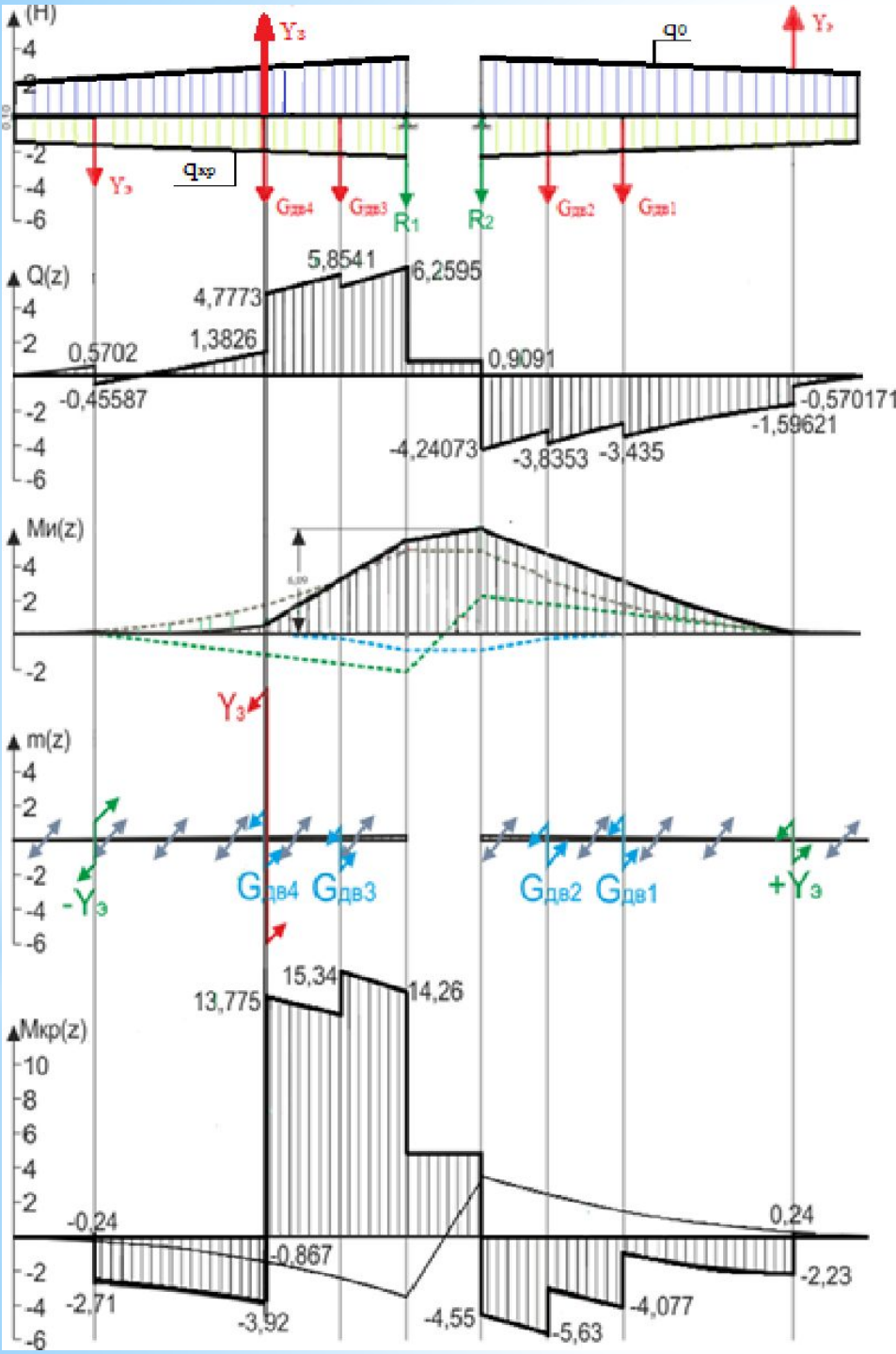
$$M_H(z) = \int_0^z Q_z dz$$

$$M_H(q_z) = \frac{Y - n_y(G_K - G_T)}{S} \left( b_p \frac{z^2}{2} + b_p \frac{z^3}{6} \right)$$

$$M_K(q_z) = \int_0^z m_z dz$$

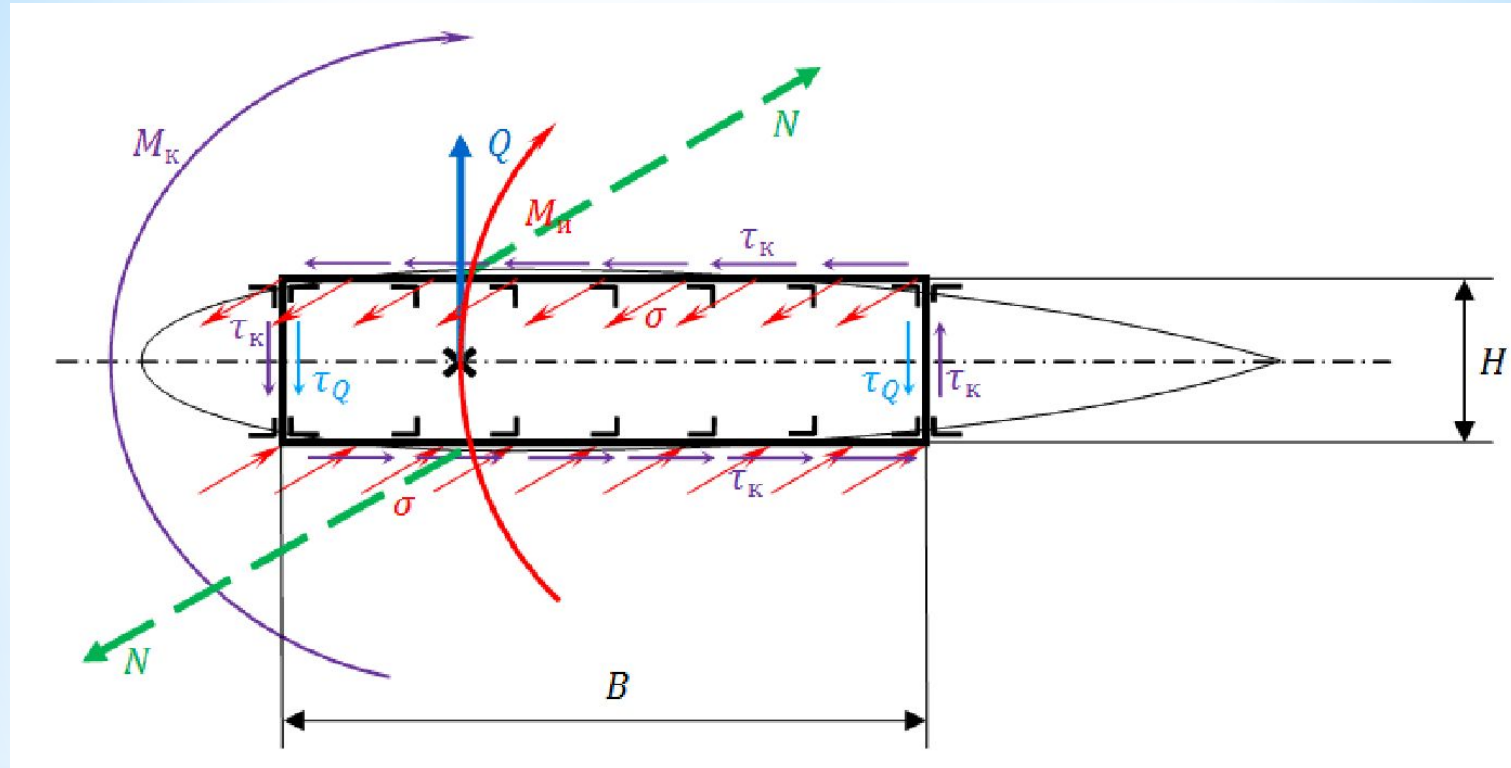
$$M_K(q_z) = 0,12 * b_z * (q_{az} + q_{kpz})$$

$$M_{KP}(z) = \int_0^z 0,12 \frac{Y + n_y(G_K + G_T)}{S_K} (b_K + b_p * z)^2 dz$$





# Определение напряжений



$$N = M_{и\max} / H, (H);$$

$$F_{вп} = B \cdot \delta_{ов} + n_{стр\ в} \cdot f_{стр\ в} + f_{п\ пв} + f_{п\ зв};$$

$$\tau_{Qп} = \frac{0,7Q_{max}}{H\delta_{стп}};$$

$$\sigma_{вп} = \frac{M_{и}}{HF_{вп}} = \frac{N}{F_{вп}} (\text{Па});$$

$$F_{нп} = B \cdot \delta_{он} + n_{стр\ н} \cdot f_{стр\ н} + f_{п\ пн} + f_{п\ зн};$$

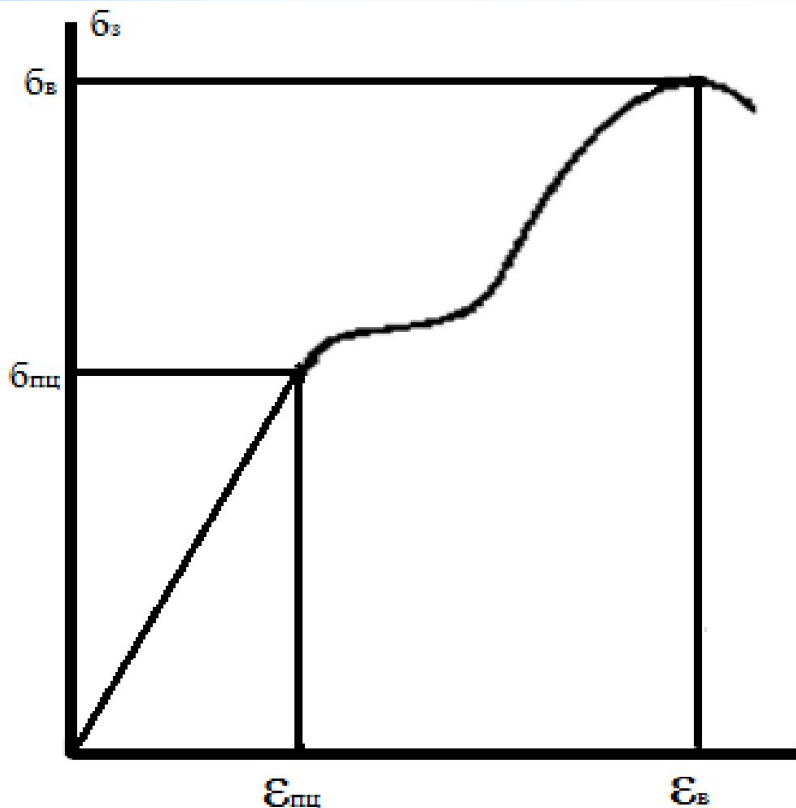
$$\sigma_{нп} = \frac{M_{и}}{HF_{нп}} = \frac{N}{F_{нп}} (\text{Па});$$

$$\tau_k = \frac{M_{кр}}{2F_0 \delta}$$

$$\tau_{Qз} = \frac{0,3Q_{max}}{H\delta_{стз}}$$

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

| Обозначение<br>напряжения                 | $\sigma_{вп}$                                  | $\sigma_{нп}$ | $\tau_{Qп}$                                     | $\tau_{Qз}$ | $\tau_{к ов}$   | $\tau_{к он}$ | $\tau_{ст п}$ | $\tau_{ст з}$ |
|---|--|---------------|---|-------------|---|---------------|---------------|---------------|
| ~ Значение, МПа                           | 17   | 20            | <b>101</b>                                      | 36          | 48  | 54            | 72            | <b>83</b>     |
| Точка<br>приложения, м от<br>оси фюзеляжа | -2,4 –<br>корневая<br>нервюра<br>левой консоли |               | +2,4 – корневая<br>нервюра<br>правой<br>консоли |             | +6,65 – сечение<br>подвеса 3-го<br>двигателя на правой<br>консоли |               |               |               |



$$\sigma_{пц} = 245 \text{ МПа}, \quad \tau_{пц} = 140 \text{ МПа}$$

Вывод: Напряжение не превышает допустимый предел, а значит конструкция не только не разрушится, но и не получит остаточных деформаций.

Наибольшее напряжение испытывают корневая нервюра правой консоли (если запас прочности 40%) и сечения подвеса 3-го двигателя на правой консоли (запас прочности 60%).