

***Лекция 3. Исследование устойчивости контура  
неавтоматического управления. Электродистанционные системы  
управления***

- 1.4. Свойства летчика-оператора в контуре  
неавтоматического управления**
- 1.5. Исследование устойчивости замкнутого контура  
управления «летчик – СЧУ – самолет»**
- 1.6. Возможные отказы системы неавтоматического управления**
- 1.7. Электродистанционные системы управления**

## 1.4. Свойства летчика-оператора в контуре неавтоматического управления

Действия летчика могут быть представлены динамической системой, описывающей последовательность трех взаимосвязанных процессов:

- восприятия информации;
- переработки информации;
- отработки управляющих воздействий.

**Восприятие информации** осуществляется зрительными, акселерационными, кинестетическими и др. анализаторами (сенсорами) от момента воздействия на них того или иного стимула до поступления импульсов в мозг.

**Отработка управляющих воздействий** осуществляется *моторной* (периферийной нервномышечной) системой. Процесс отработки управляющих команд начинается с момента поступления импульсов из мозга и заканчивается перемещением конечности вместе с рычагом.

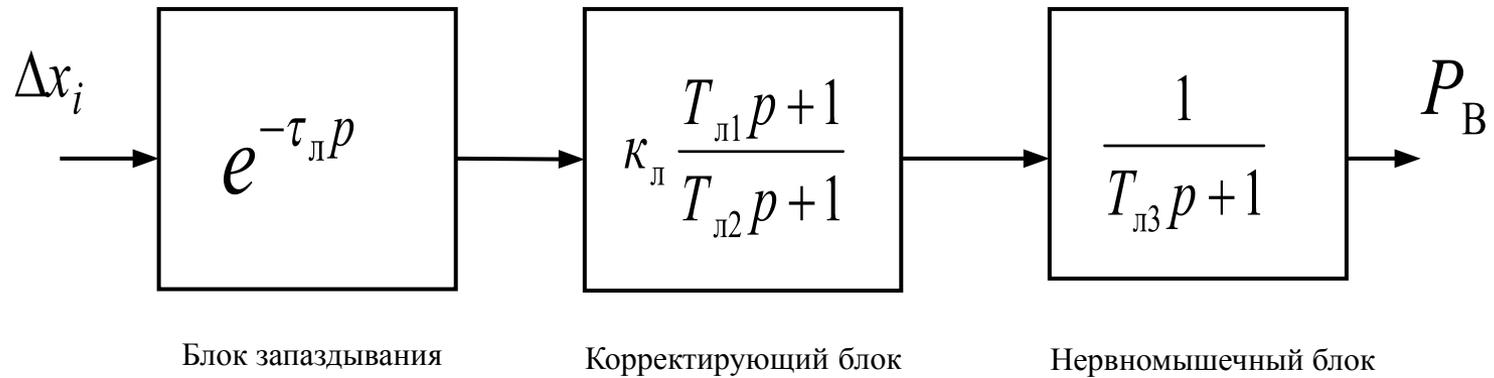
Связь сенсоров с моторной системой осуществляется центральной нервной системой. Ею **принятая информация перерабатывается**, и на ее основе вырабатывается стратегия управления.

Полученная в экспериментах модель летчика имеет следующую передаточную функцию:

$$W_{\text{л}}(p) = W_{\frac{P_{\text{В}}}{\Delta x_i}}(p) = \frac{\kappa_{\text{л}} e^{-\tau_{\text{л}} p} (T_{\text{л1}} p + 1)}{(T_{\text{л2}} p + 1)(T_{\text{л3}} p + 1)}$$

Она получена из структурной схемы, описывающей действия летчика ...

# Структурная схема динамической модели летчика



**Блок запаздывания** характеризует время, потребное для возбуждения рецепторов анализатора, прохождения сигнала до сенсорного отдела головного мозга, интерпретации полученной информации и осуществления необходимых расчетов ( $\tau_{л} \approx 0,1 \dots 0,2$  с).

**Корректирующий блок** отражает способность человека к самонастройке, т. е. к приспособлению своих динамических характеристик к динамическим характеристикам остальной части системы и характеристикам входного сигнала. Этот блок преобразует входной сигнал в команду моторной системе. Настройка блока осуществляется путем изменения значений  $k_{л}$ ,  $T_{л1}$ ,  $T_{л2}$

Коэффициенты  $k_{л}$  и  $T_{л1}$  характеризуют способность летчика работать с опережением, т. е. реагировать не только на величину, но и на скорость рассогласования. Очевидно, что чем большая величина  $T_{л1}$  требуется для обеспечения хороших динамических свойств системы, тем труднее процесс управления для летчика. Эксперименты показывают, что данная величина не превышает 1с.

Способность летчика реагировать с задержкой характеризуется величиной  $T_{л2} = 10 \dots 20$ с

**Нервномышечный блок** характеризует запаздывание между командой, идущей в моторную систему, и реакцией перемещения руки летчика на команду. Величину  $T_{л3}$  можно считать постоянной и равной  $0,1 \dots 0,2$  с.

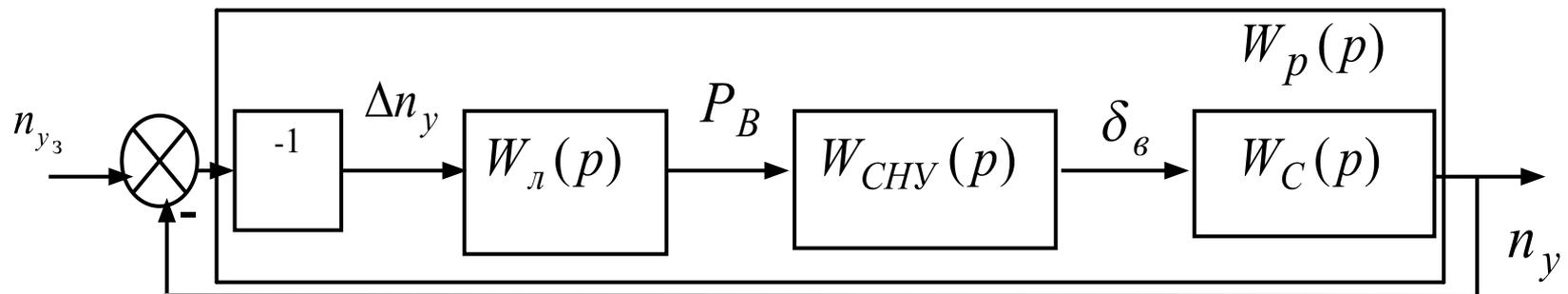
## 1.5. Исследование устойчивости замкнутого контура управления «летчик – СЧУ – самолет»

Летчик оценивает обычно объект как плохой в управлении, если требуется вводить корректирующие действия, особенно с прогнозированием. Наиболее благоприятно, по оценкам летчика, если его действия описываются передаточной функцией (нервномышечным запаздыванием пренебрегаем)

$$W_{\text{л}}(p) = k_{\text{л}} e^{-\tau_{\text{л}} p} \approx k_{\text{л}} (1 - \tau_{\text{л}} p)$$

Задача заключается в том, чтобы выявить конструктивные и эксплуатационные факторы, влияющие на устойчивость замкнутого контура «летчик – СЧУ – самолет».

Исследуем контур управления нормальной перегрузкой. Структурная схема контура представлена на рис.



Структурная схема контура неавтоматического управления

Передаточная функция контура будет определяться следующим образом:

$$W_{\frac{n_y}{n_{y3}}}(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{-W_{\text{л}}(p)W_{\text{ЧУ}}(p)W_c(p)}{1 - W_{\text{л}}(p)W_{\text{ЧУ}}(p)W_c(p)} \quad \text{где:}$$

$$W_{\text{ЧУ}}(p) = W_{\frac{\delta_B}{P_B}}(p) = \frac{K_B}{C_B} \quad W_{\text{л}}(p) = \kappa_{\text{л}}(1 - \tau_{\text{л}}p)$$

Передаточная функция изменения перегрузки самолета при отклонении стабилизатора имеет вид

$$W_c(p) = W_{\frac{n_y}{\delta_B}}(p) = \frac{n_y^\alpha \overline{M}_z^{\delta_B}}{\Delta_0(p)} \quad \text{где} \quad \Delta_0(p) = p^2 + 2n_\alpha p + \Omega_\alpha^2$$

После подстановки передаточных функций отдельных звеньев в общее выражение получим

$$W_{\frac{n_y}{n_{y3}}}(p) = \frac{-\kappa_{\text{л}}(1 - \tau_{\text{л}}p) \frac{K_B}{C_B} n_y^\alpha \overline{M}_z^{\delta_B}}{p^2 + 2n_{\alpha\kappa}p + \Omega_{\alpha\kappa}^2} \quad \text{где}$$

$$2n_{\alpha\kappa} = 2n_\alpha + \tau_{\text{л}}\kappa_{\text{л}} \frac{K_B}{C_B} n_y^\alpha \overline{M}_z^{\delta_B} \quad \Omega_{\alpha\kappa}^2 = \Omega_\alpha^2 - \kappa_{\text{л}} \frac{K_B}{C_B} n_y^\alpha \overline{M}_z^{\delta_B}$$

Анализ данной передаточной функции показывает, что динамические свойства замкнутого контура зависят от свойств самолета, свойств СЧУ и свойств летчика-оператора.

Так как производная  $\overline{M}_z^{\delta_B}$ , характеризующая эффективность руля высоты, меньше нуля, то при увеличении  $K_{\text{Л}}$  коэффициент  $n_{\alpha K}$  демпфирования уменьшается, а собственная частота  $\Omega_{\alpha K}$  растет.

В результате  $\xi_{\alpha K} = n_{\alpha K} / \Omega_{\alpha K}$  относительный коэффициент демпфирования уменьшается в значительной степени.

Аналогичным образом на управление влияет и постоянная запаздывания летчика

$\tau_{\text{Л}}$   
 Следовательно, **включение летчика в контур управления повышает колебательность переходного процесса.**

Наиболее опасно превышение коэффициента усиления, поскольку он влияет и на коэффициент затухания и на собственную частоту. Предельное значение коэффициента усиления летчика найдем из условия

$$2n_{\alpha K} = 2n_{\alpha} + \tau_{\text{Л}} K_{\text{Л пред}} \frac{K_{\text{В}}}{C_{\text{В}}} n_y^{\alpha} \overline{M}_z^{\delta_B} = 0 \quad \text{откуда} \quad K_{\text{Л пред}} = - \frac{2n_{\alpha} C_{\text{В}}}{\tau_{\text{Л}} K_{\text{В}} n_y^{\alpha} \overline{M}_z^{\delta_B}}$$

Таким образом, наиболее эффективным способом обеспечения устойчивости замкнутого контура является регулирование параметров СЧУ (коэффициентов  $C_{\text{в}}$  и  $K_{\text{в}}$ ) специальными автоматами статической управляемости и автоматами демпфирования

## 1.6. Возможные отказы системы неавтоматического управления

*Механическая* СНУ относится к наиболее надежным системам ЛА. Отказы СНУ в эксплуатации встречаются крайне редко. Однако к разрушению элементов СНУ могут приводить пожары на борту, боевые повреждения.

К наиболее часто встречающимся неисправностям СНУ относятся:

- повышенные усилия трения. Источниками повышенного трения могут быть гермовыводы из кабины, шарнирные соединения, узлы навески рулей, золотники рулевых приводов, механизмы загрузки и т. д.
- повышенный люфт проводки управления. Наиболее вероятной причиной люфта является износ шарнирных соединений
- отказы МТЭ. Признаками отказа МТЭ могут являться произвольное увеличение или уменьшение усилий на КРУ, а также постоянство усилий на КРУ при нажатии переключателя МТЭ
- отказы автоматов статической управляемости (будут рассмотрены позднее).

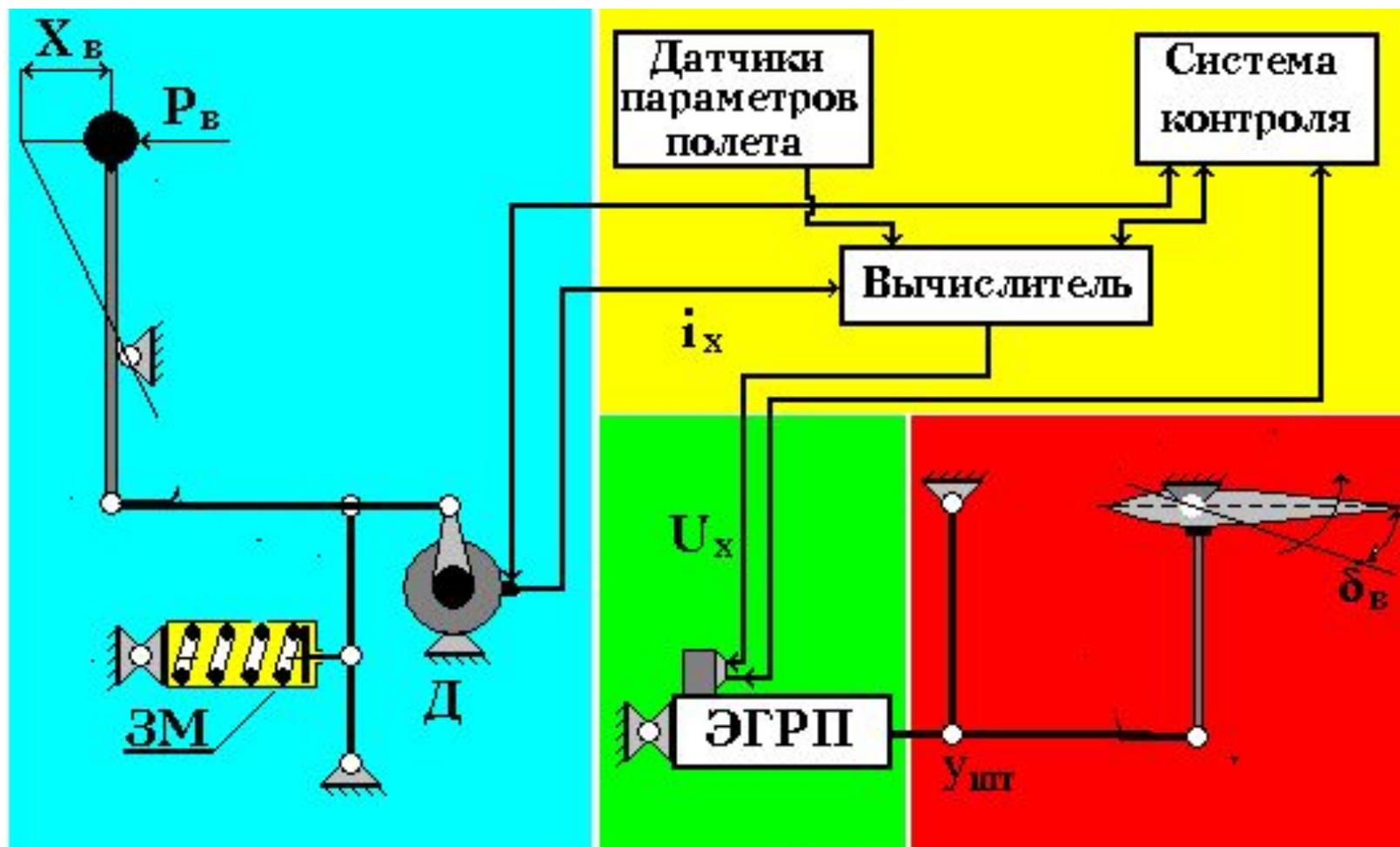
## 1.7. Электродистанционные системы управления

Переход к ЭДСУ обусловлен следующими обстоятельствами:

- обеспечением необходимого качества управления неустойчивым самолетом;
- необходимостью наращивания функций, выполняемых системой управления, при совершенствовании ЛА;
- использованием типового электронного оборудования (БЦВМ, цифровых шин данных, блоков управления и контроля, датчиков и пр.) при построении управляющей части СУЛА;
- ростом технологичности производства электронных компонентов и их надежности.

В состав канала ЭДСУ входят:

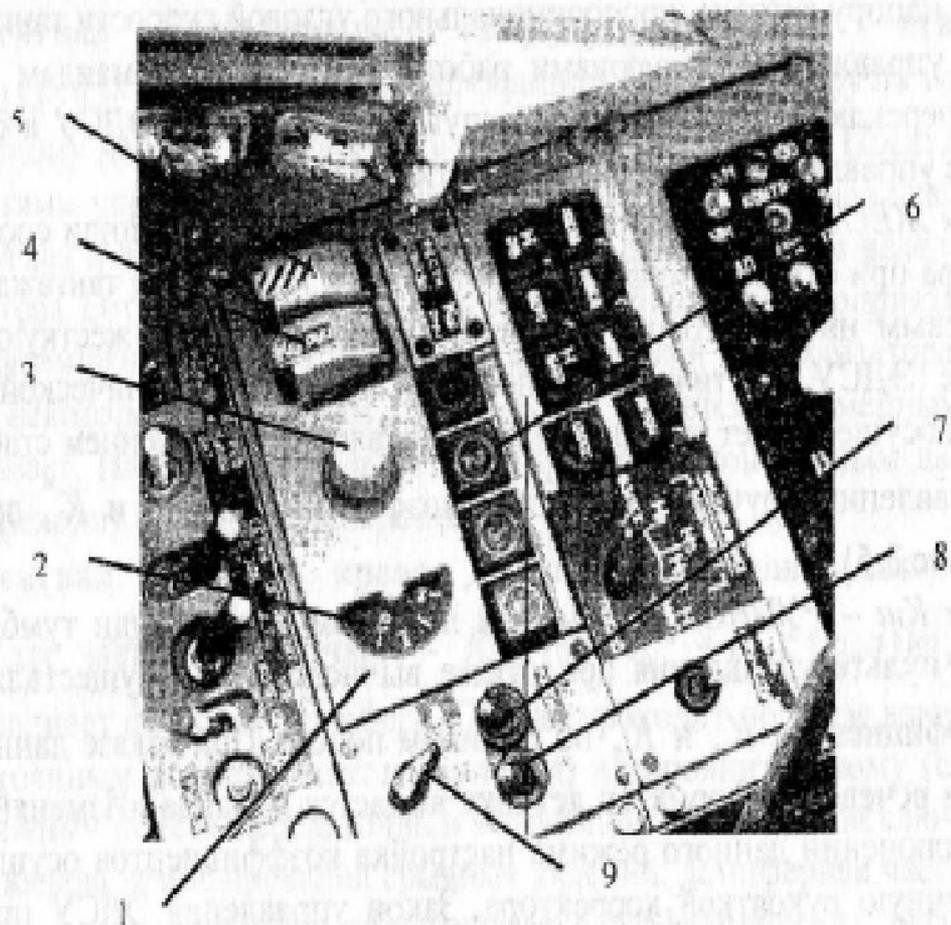
- ручка управления самолетом с участком жесткой проводки до механизмов загрузки и триммирования;
- датчик положения ручки, осуществляющий преобразование механического перемещения ручки в электрический сигнал;
- вычислители с блоками питания;
- линии связи (электрожгуты);
- электрогидравлический РП (ЭГРП);
- датчики параметров полета;
- система контроля.



Входное звено  
 Вычислитель

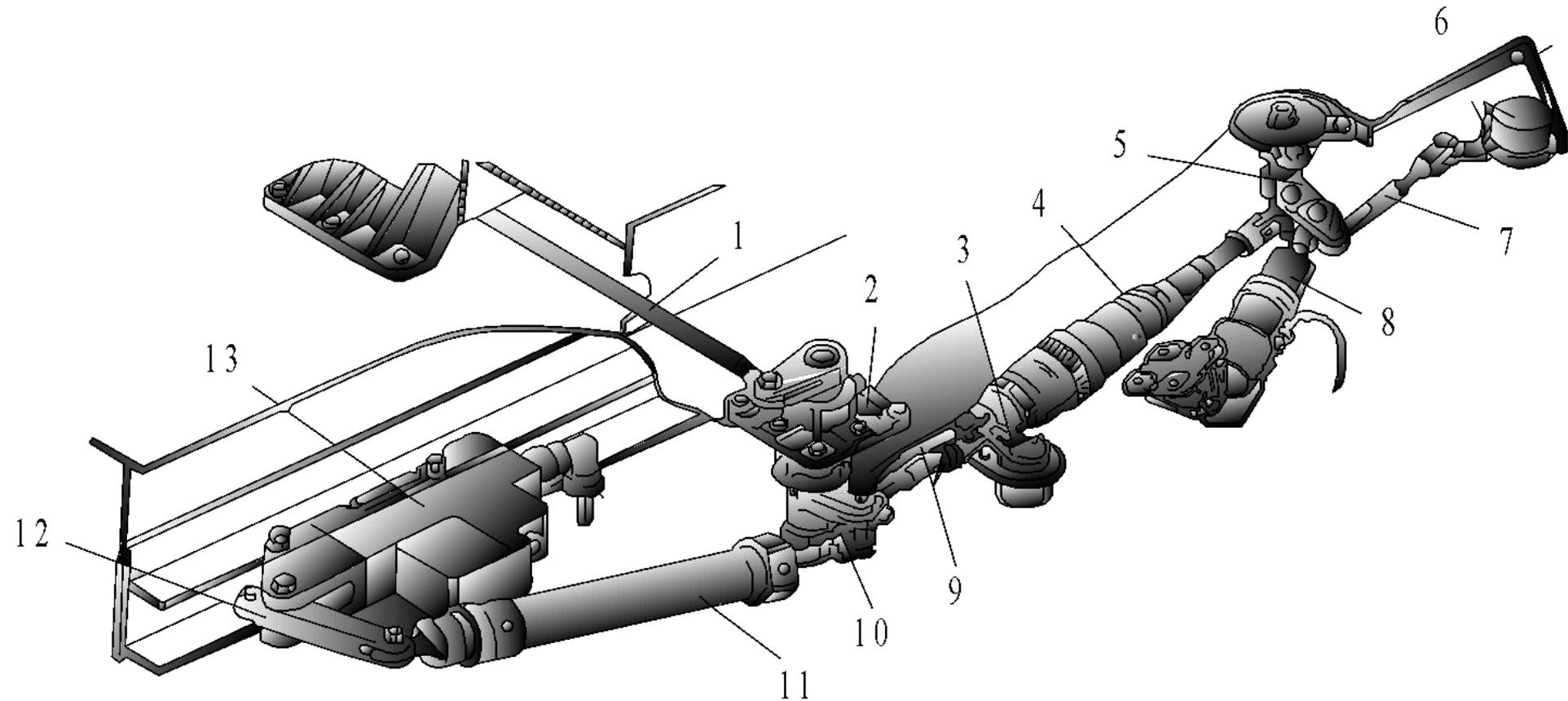
ЭГРП  
 Выходное звено

## Пульт управления ЭДСУ



1 – пульт управления; 2 – индикатор Кш; 3 – ручка корректора Кш; 4 – тумблер «Кш – РУЧНОЙ»; 5 – тумблер ЖЕСТКАЯ СВЯЗЬ; 6 – сигнализаторы отказа подканала ЭДСУ; 7 – тумблер ДЕМПФ КРЕН; 8 – тумблер ДЕМПФ КУРС; 9 – галетный переключатель режимов ЭДСУ

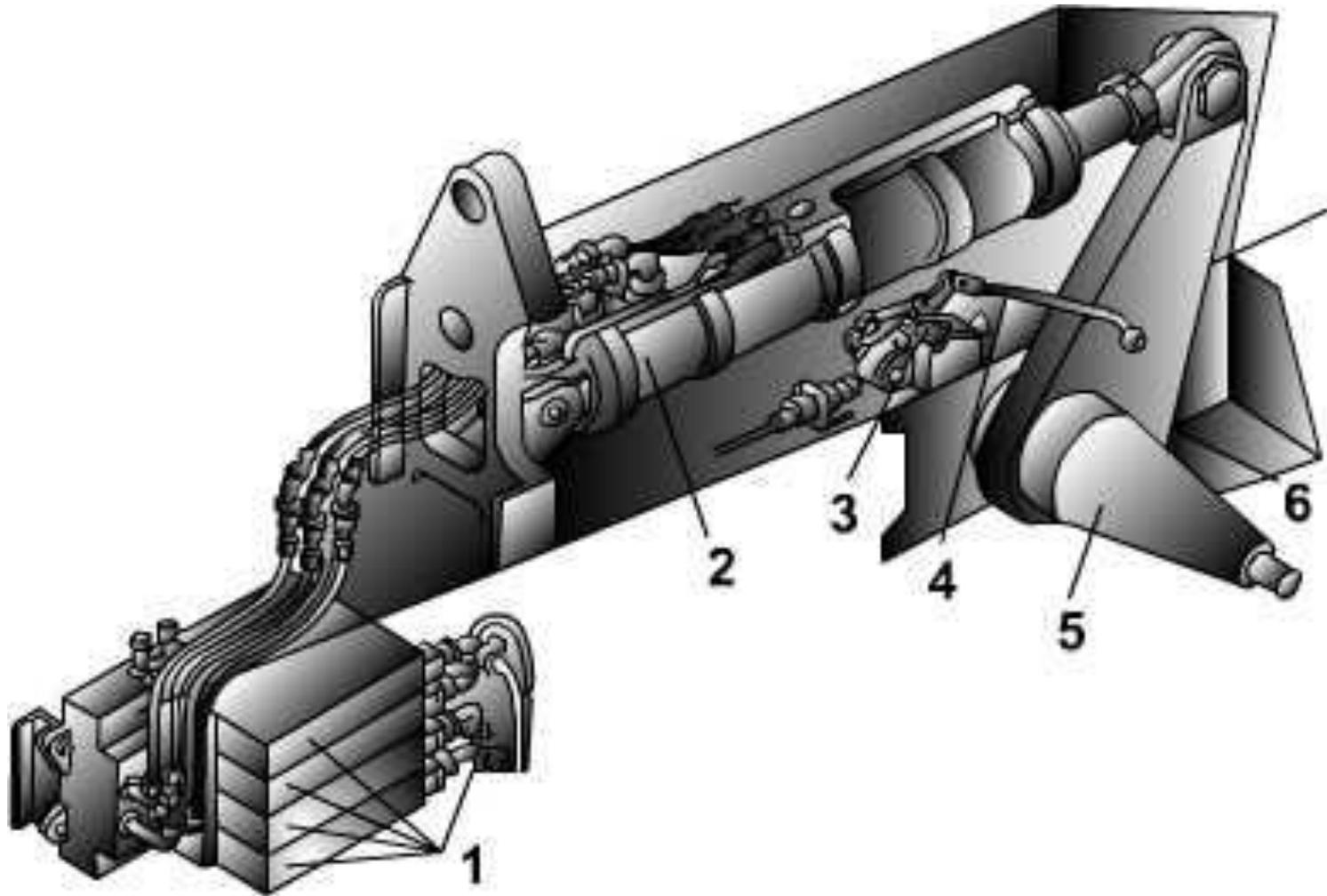
## Конструкция механической части ЭДСУ



**Рис. 1.9. Механические элементы ЭДСУ:**

- 1* – тяга от ручки управления; *2* – герметичный вывод;  
*3* – датчик автотриммера (из комплекта САУ); *4* – механизм загрузки;  
*5* – качалка; *6* – датчик обратной связи (из комплекта САУ); *7, 9* – тяга; *8* –  
электромеханизм МП-100М триммерного эффекта; *10* – качалка;  
*11* – пружинная тяга; *12* – рычаг рулевой машинки РМ – 130Б;  
*13* – рулевая машинка РМ – 130Б (исполнительное устройство  
ограничителя предельных режимов)

## Исполнительное устройство ЭДСУ



**Рис. 1.10. Электрогидравлический привод РПД1Б:**  
*1* – распределительное устройство; *2* – гидроцилиндр;  
*3* – датчик положения стабилизатора; *4* – тяга датчика;  
*5* – ось стабилизатора; *6* – рычаг оси стабилизатора

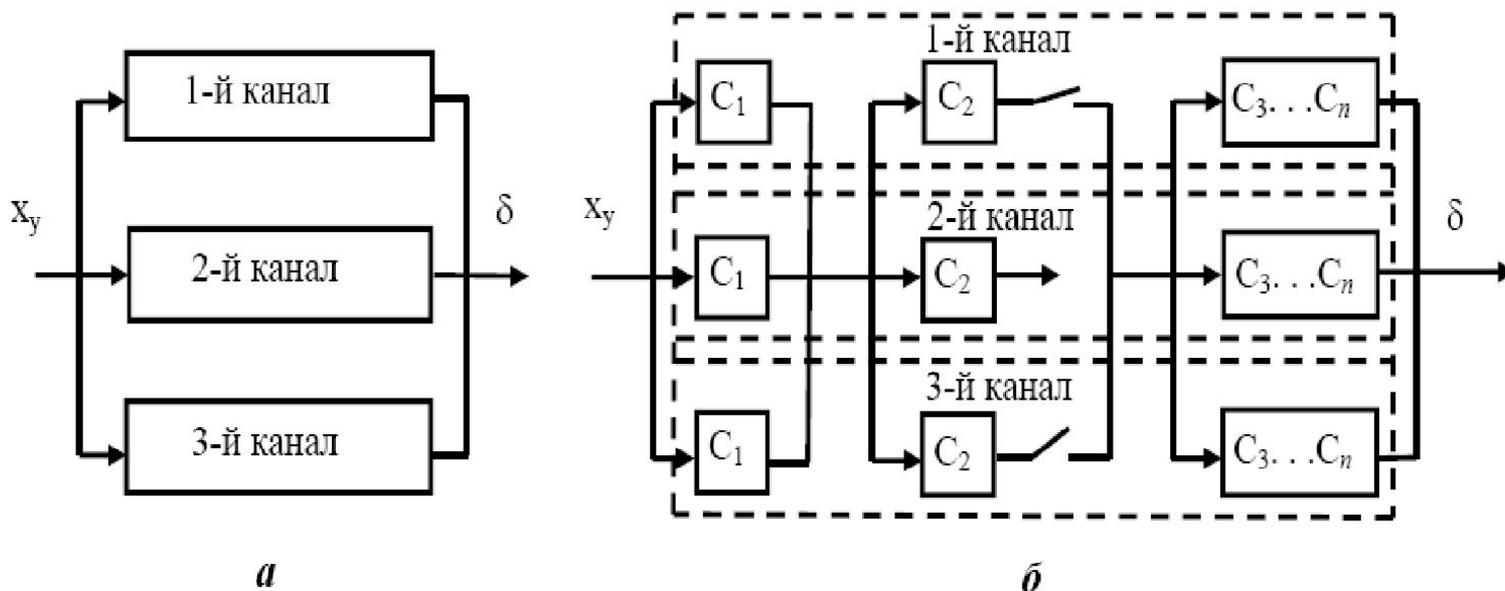
## Способы обеспечения надежности ЭДСУ

Основным направлением обеспечения заданной надежности ЭДСУ следует считать **повышение надежности ее отдельных элементов**.

Однако существующая надежность элементной базы пока недостаточна. Поэтому в настоящее время требуемая надежность ЭДСУ достигается за счет различных схем **резервирования**.

Используются две основные схемы резервирования:

- резервирование целых каналов (рис. **а**);
- резервирование отдельных элементов (рис. **б**).



$$Q_{\text{ЭДСУ}}^{(3)} \approx 3 \cdot 10^{-6} < Q_{\text{МСУ}} < Q_{\text{ЭДСУ}}^{(4)} \approx 4 \cdot 10^{-9}$$

## Перспективы развития ЭДСУ

Выделим основные тенденции развития ЭДСУ.

**В области аппаратной:** переход на цифровую технологию; повышение надежности и производительности элементов ЭДСУ, снижение их массы и габаритов; унификация элементов ЭДСУ; постепенное внедрение оптоволоконных линий связи.

**В области программного (алгоритмического) обеспечения:** внедрение программного обеспечения (ПО) на основе языков высокого уровня, что позволит значительно сократить затраты на его разработку и сопровождение в процессе эксплуатации; использование совершенного алгоритмического обеспечения на основе методов современной теории управления.

### Выводы по лекции

Рассмотрение контура неавтоматического управления, включающего летчика, СЛУ и ЛА, преследует две цели:

- выявить необходимость автоматизации управления;
- определить перечень автоматов, которыми должны оснащаться современные ЛА.

Включение летчика в контур управления повышает колебательность переходных процессов. При чрезмерном увеличении коэффициента усиления или времени запаздывания возникнет произвольная раскачка.

Основное отличие ЭДСУ заключается в том, что комплексирование сигналов от разных систем (летчика, СУУ, САУ) осуществляется специальным вычислителем на основе электрических сигналов.