

***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.

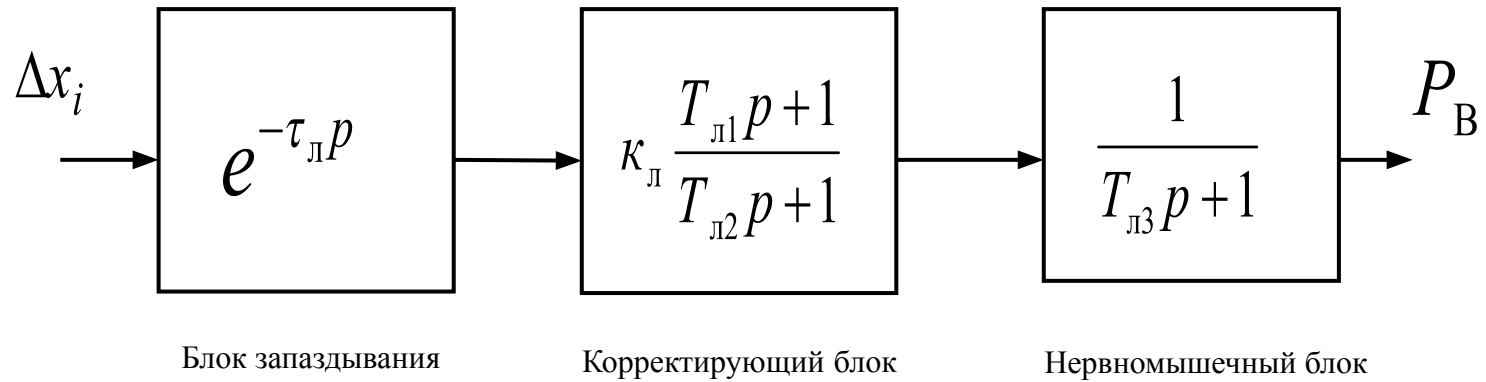
Связь сенсоров с моторной системой осуществляется центральной нервной системой. Ею **принятая информация перерабатывается**, и на ее основе вырабатывается стратегия управления.

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 $\kappa_{л}$, $T_{л1}$, $T_{л2}$

Коэффициенты $\kappa_{л}$ 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.

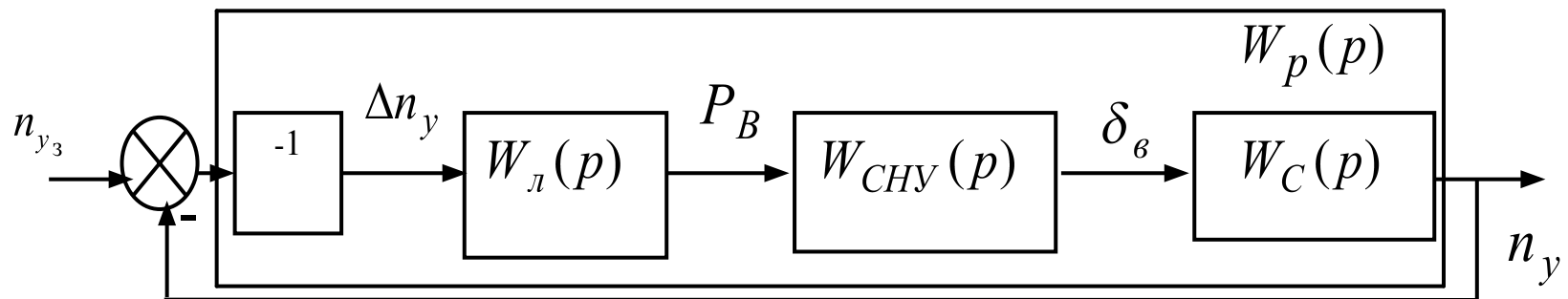
1.5. Исследование устойчивости замкнутого контура управления «летчик – СЧУ – самолет»

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).

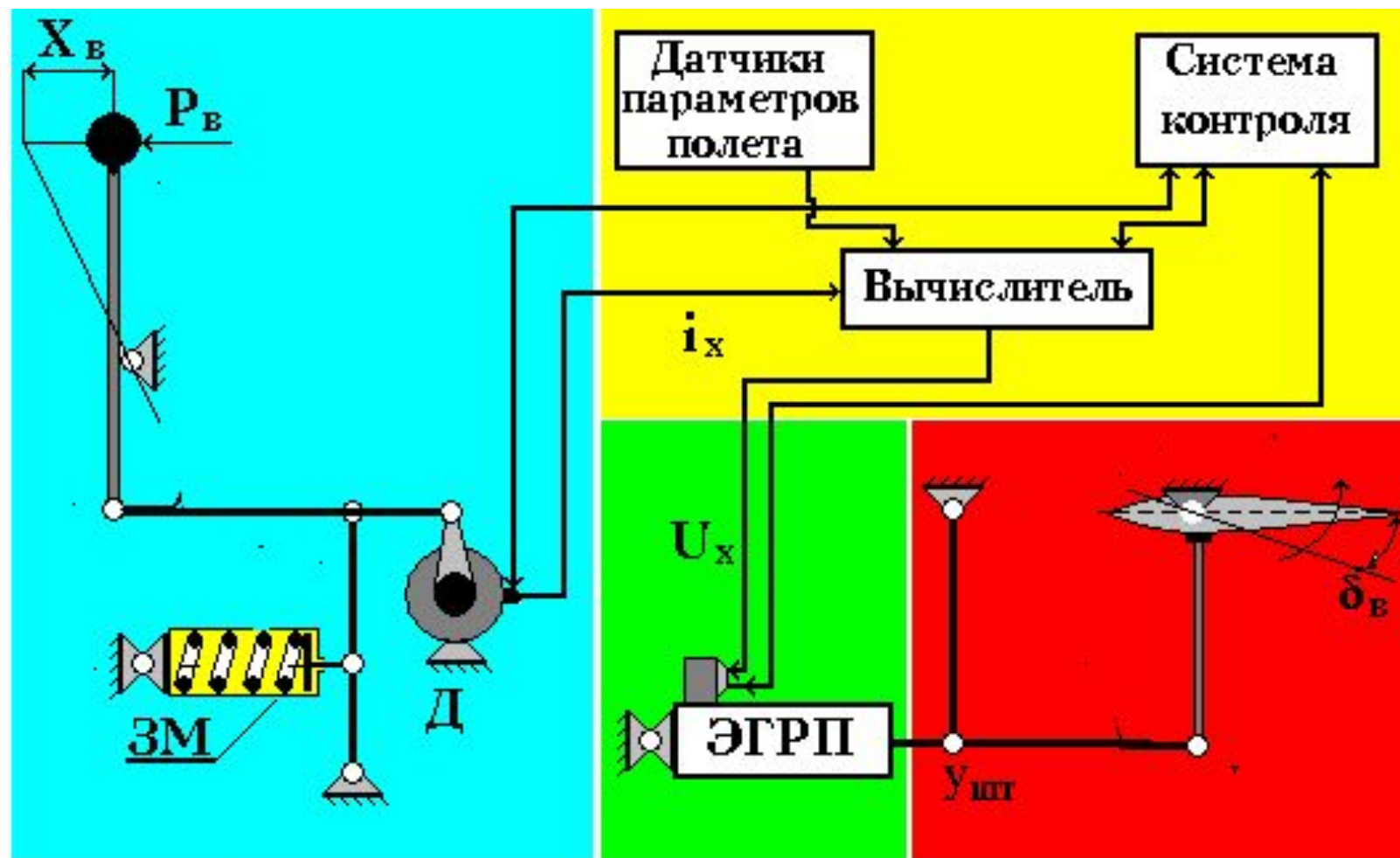
1.7. Электродистанционные системы управления

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:

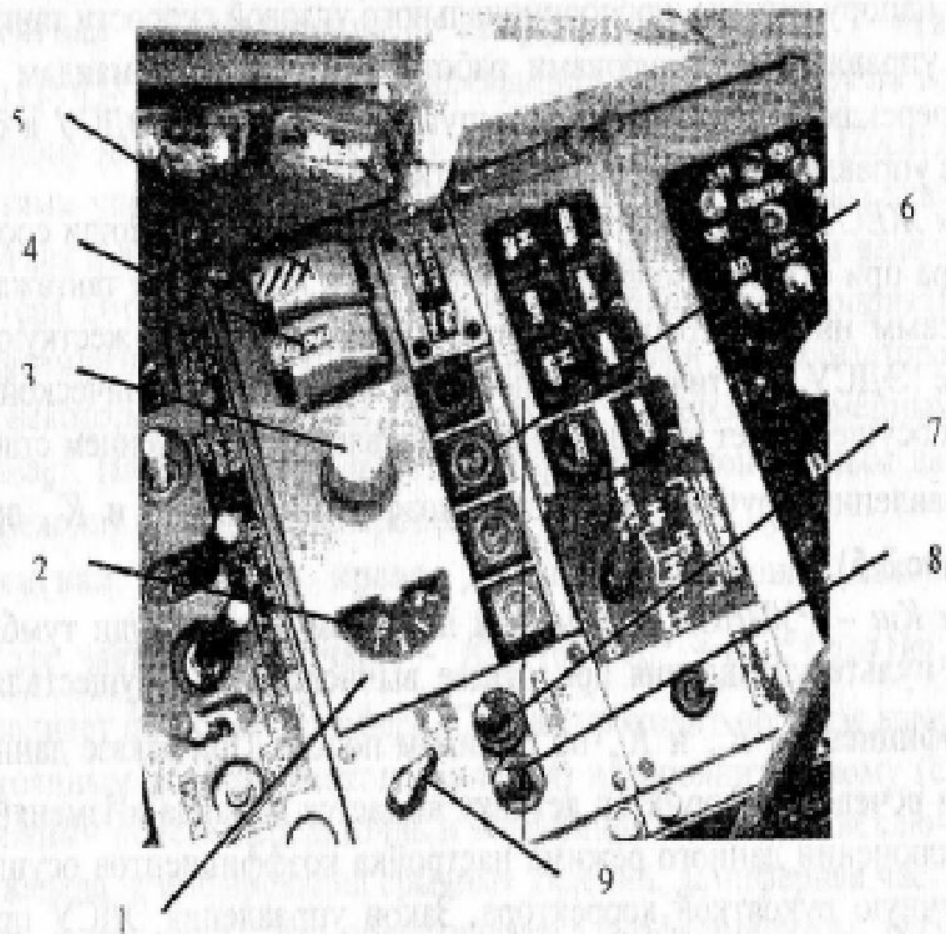
- ручка управления самолетом с участком жесткой проводки до механизмов загрузки и триммирования;
- датчик положения ручки, осуществляющий преобразование механического перемещения ручки в электрический сигнал;
- вычислители с блоками питания;
- линии связи (электрожгуты);
- электрогидравлический РП (ЭГРП);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

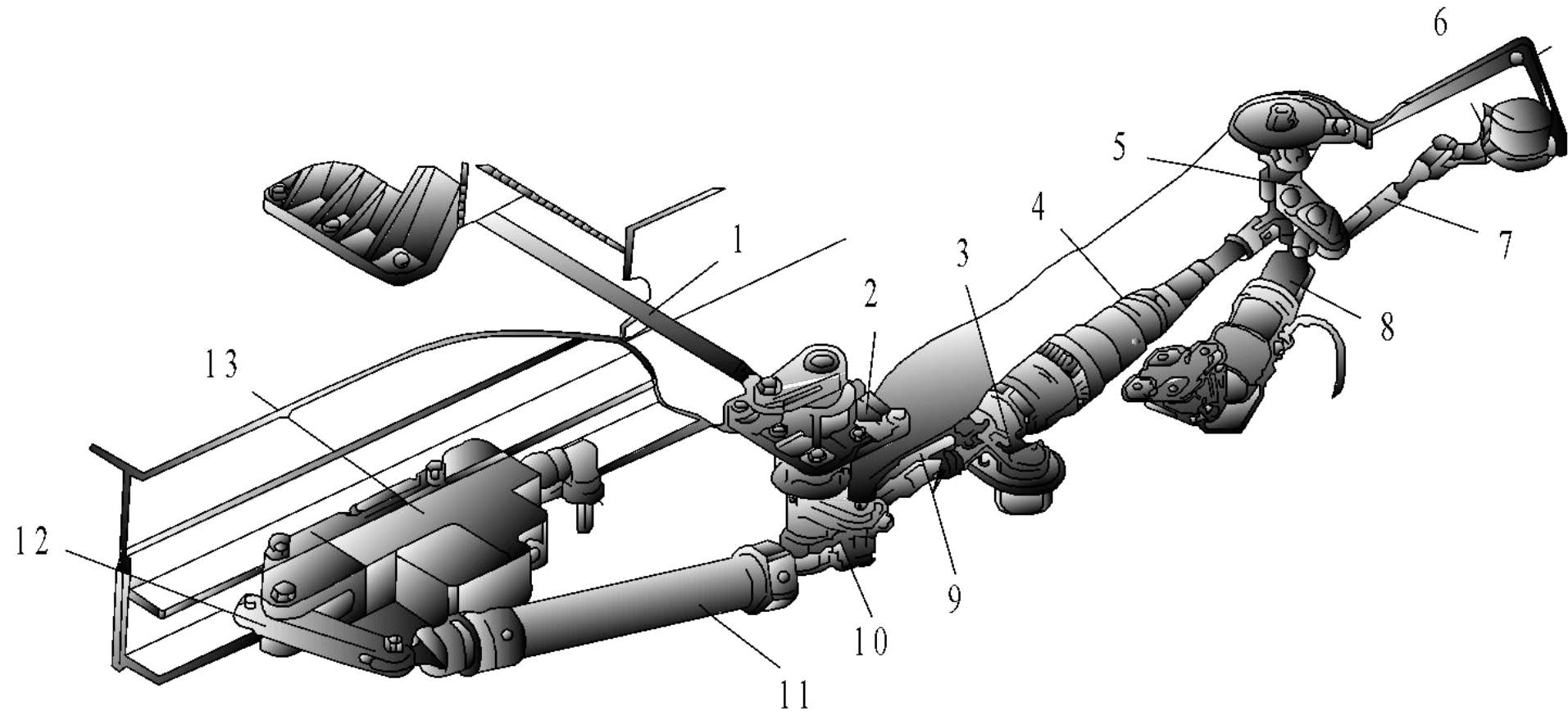


Рис. 1.9. Механические элементы ЭДСУ:

- 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

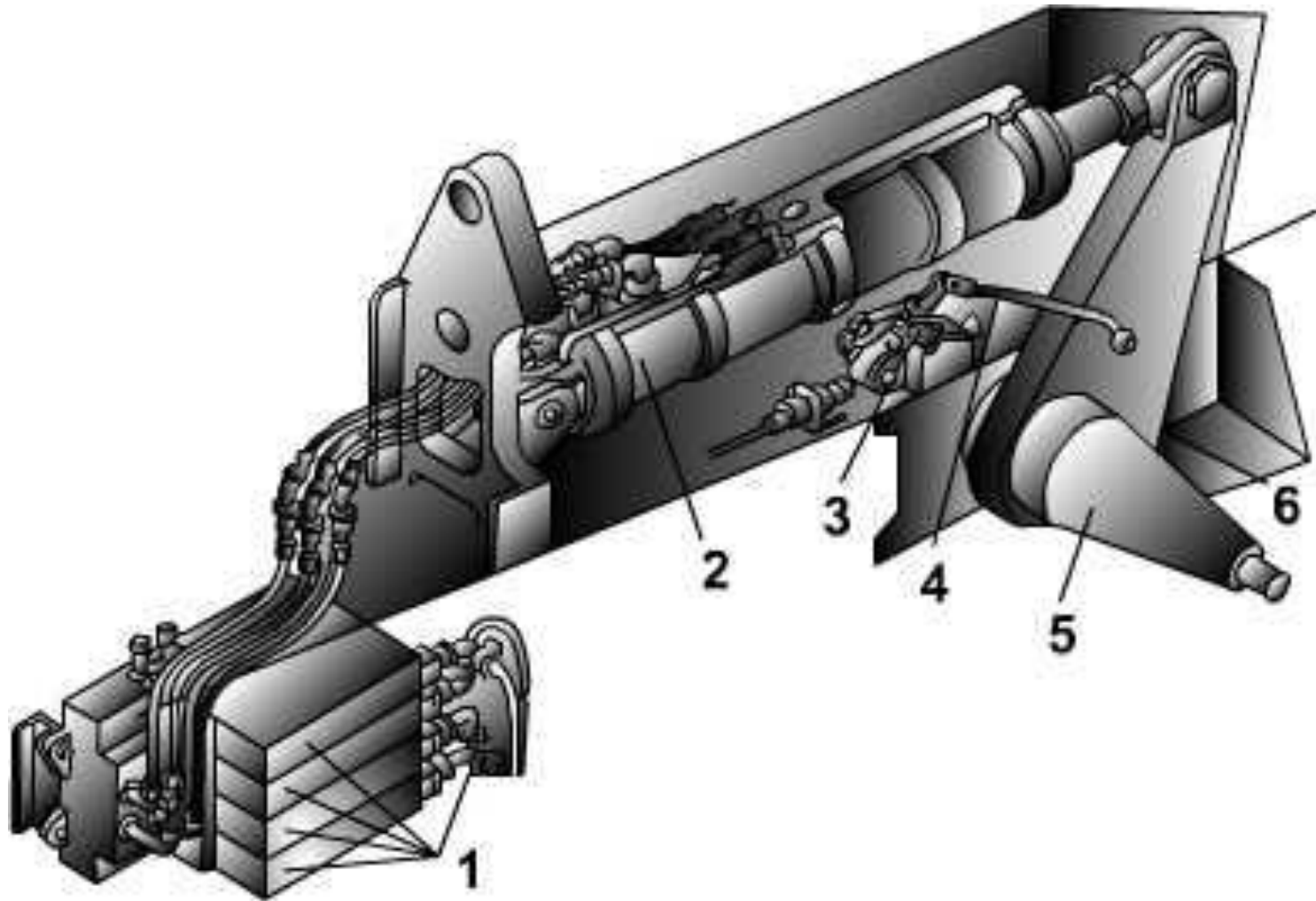


Рис. 1.10. Электрогидравлический привод РПД1Б:
1 – распределительное устройство; *2* – гидроцилиндр;
3 – датчик положения стабилизатора; *4* – тяга датчика;
5 – ось стабилизатора; *6* – рычаг оси стабилизатора

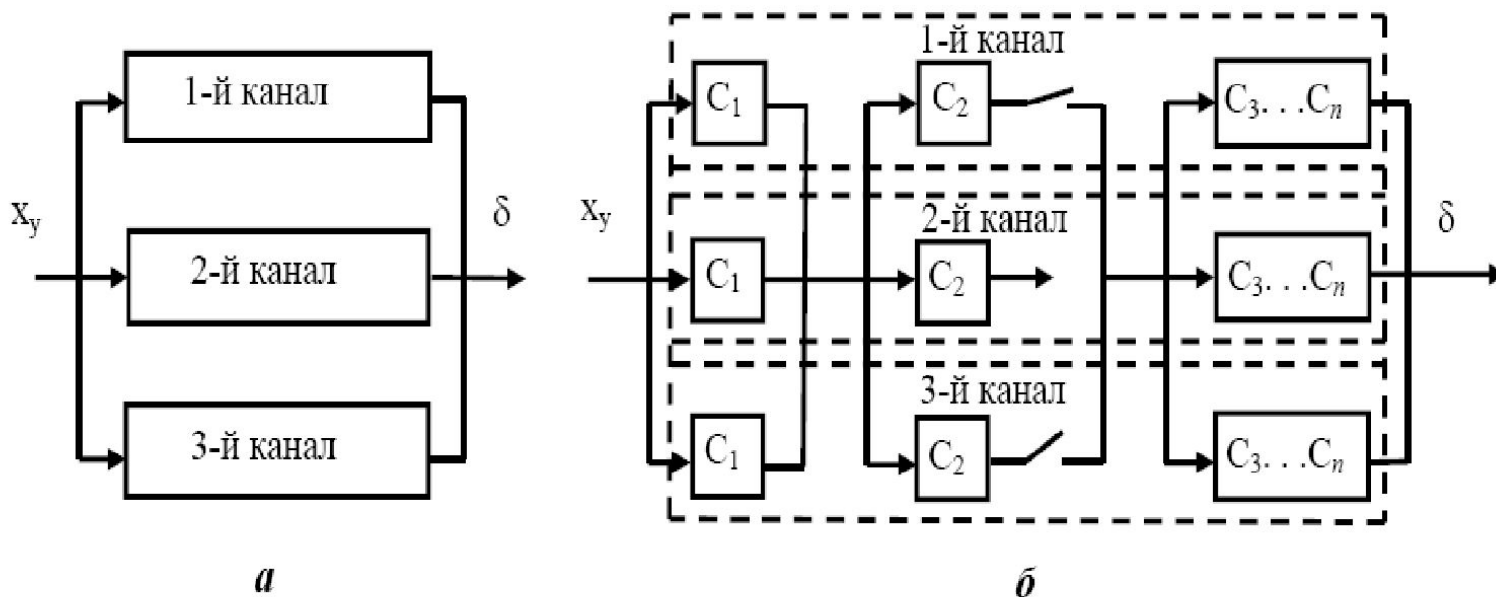
Способы обеспечения надежности ЭДСУ

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.