

# **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1.**

## **ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУТП)**

### **2.1. Общие положения**

Отличительными признаками сложных АСУТП являются :

- многоканальность, т. е. наличие нескольких каналов, каждый из которых вычисляет определенную функцию, частную по отношению к общей задаче системы;
- многосвязность, т.е. большое количество связей между элементами системы;
- наличие вспомогательных и дублирующих устройств.

Исходя из вышеперечисленных особенностей, сложная АСУТП может находиться в нескольких рабочих состояниях, так как выход из строя отдельных её элементов не вызовет полного отказа системы, т. е. прекращения выполнения ею заданных функций, но ухудшит в той или иной степени качество функционирования. Следовательно, отказ какого-либо элемента приведёт функционирующую систему в состояние частичной работоспособности.

С этой точки зрения АСУТП оценивают по критериям функциональной и эффективной надёжности.

Под функциональной надёжностью  $P_f$  понимают вероятность того, что данная система будет удовлетворительно выполнять свои функции в течение заданного времени.

Эффективную надёжность  $P_e$  оценивают по среднему значению (математическому ожиданию) величины, характеризующей относительный объём и полезность выполняемых системой функций в течение заданного времени по сравнению с её предельными возможностями. Введение критерия эффективной надёжности связано с тем, что каким-либо отдельным показателем функциональной надёжности не удаётся оценить функционирование сложной системы. Сложная система кроме надёжности каждого блока и всей системы характеризуется ещё относительной важностью потери системой тех или иных качеств. Поэтому под  $P_e$  понимается некоторая количественная мера, оценивающая качество выполняемых системой функций.

## **2. Оценка функциональной надёжности системы**

Прежде чем произвести оценку надёжности системы в целом, необходимо найти показатели надёжности отдельных её звеньев (подсистем). Для этого следует определить их состав на основе анализа структурной схемы данной (или проектируемой) системы. Необходимо также выделить комплекс устройств (подсистем), всякий отказ в работе которых приводит к отказу всей системы. В АСУТП таким устройством (основным), как правило, является ЭВМ (вычислительное и запоминающее устройство).

После этого необходимо установить функциональные связи основного устройства с дополнительными, которые в процессе работы системы время от времени подключаются к основному устройству на время  $\tau_i$  для обмена и обновления информации. Очевидно, что влияние таких устройств будет определяться главным образом тем, какова вероятность нахождения этих устройств в рабочем состоянии в любой произвольный момент времени  $t$ .

Таким образом, функциональная надёжность системы зависит от безотказной работы как основного устройства (комплекса) в заданное время, так и до-

полнительных устройств, работающих совместно с основным в течение времени  $\tau$ :

$$P_{\phi} = f \{ P_0(t); \kappa_i; P_i(\tau_i) \}, \quad (1)$$

где  $P_0(t)$  – вероятность безотказной работы основного элемента;  $\kappa_i$  – коэффициент готовности  $i$ -го устройства;  $P_i(\tau_i)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го дополнительного устройства при совместной работе с основным за среднее время при решении основной задачи.

Так как вся система работает в основном режиме, то её функциональная надёжность определяется по зависимости

$$P_{\phi} = P_0(t) \prod_{i=1}^m \kappa_i \cdot P_i(\tau_i), \quad (2)$$

где  $m$  – количество дополнительных устройств в системе.

Если резервирования в системе нет, то

$$P_0(t) = e^{-\lambda_0 t}; \quad P_i(t) = e^{-\lambda_i t}; \quad \kappa_i = \frac{1}{1 + \rho_i} \left( 1 + \rho \cdot e^{-\frac{1+\rho_i}{\rho_i} \tau_i} \right), \quad (3)$$

где  $\lambda_0, \lambda_i$  – соответственно средняя интенсивность отказов основного и дополнительного устройств;  $\rho = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ ;  $\mu^{-1} = \theta_i$  – среднее время восстановления рабочего состояния устройства;  $\lambda_i^{-1} = T_i$  – среднее время безотказной работы.

В случае, когда  $t \rightarrow \infty$ , коэффициент готовности  $i$ -го устройства

$$\kappa_i = \frac{1}{1 + \lambda_i \theta_i} = \frac{T_i}{T_i + \theta_i}.$$

Из сказанного следует, что функциональная надёжность учитывает временные функциональные связи между дополнительными и основными устройствами системы.

### 3. Оценка эффективной надёжности систем

Для определения эффективной надёжности системы следует рассмотреть все комбинации состояний устройств, составляющих полную группу событий. Так как каждое из  $m + 1$  рассматриваемых устройств (включая основное) может иметь два состояния (исправно или нет), то число комбинаций, составляющих полную группу событий, будет равно  $n = 2^{m+1}$ . Тогда эффективная надёжность системы определяется выражением [1]:

$$P_{\phi} = \sum_{j=1}^n P_j(t) \cdot E_j, \quad (4)$$

где  $P_j(t)$  – вероятность  $j$ -го состояния системы в какой-либо момент времени  $t$ ;  $E_j$  – коэффициент эффективности; определяется как весовой коэффициент важности выполняемых задач в  $j$ -м состоянии системы по сравнению с полным объёмом задач, решаемых в системе.

Коэффициент эффективности  $E_j$  показывает, насколько снижается работоспособность системы при отказе данного элемента, т. е. характеризует в системе вес элемента по надёжности и может принимать значения  $0 \leq E_j \leq 1$ . Для элементов, отказ которых не влияет на выполнение системой основных функций,  $E_j = 0$ . Для элементов, отказ которых приводит к полному отказу системы,  $E_j = 1$ . Для вычисления коэффициентов эффективности системы  $E_j$  необходимо вычислить  $E_i$  по каждой частной задаче с учетом её относительной важности. При этом соблюдается условие

$$\sum_{i=1}^M E_i = 1 ,$$

где  $M$  – общее число задач, решаемых системой.

Коэффициент  $E_j$  в этом случае определяется как сумма весовых коэффициентов частных задач, решаемых системой в  $j$ -м состоянии:

$$E_j = \sum_{i=1}^R E_i ,$$

где  $R$  – количество частных задач, решаемых в  $j$ -м состоянии.

Таким образом, эффективная надёжность характеризует относительный объём и полезность выполняемых системой функций в течение заданного времени по сравнению с её предельными возможностями.

#### **4. Пример расчёта функциональной и эффективной надёжности системы управления (СУ)**

Задана система управления гидроприводом, состоящая из основного устройства  $A$  (решающее устройство) и вспомогательных устройств  $B$  (датчик давления) и  $C$  (насос с электроприводом) (рис. 2).

Исходные данные: время работы системы  $t = 1000$  ч; коэффициент готовности вспомогательных устройств  $k_B = 0,95$ ;  $k_C = 0,85$ ; весовые коэффициенты:  $E_1 = 0,2$  – приём информации в устройстве  $B$ ;  $E_2 = 0,2$  – передача информации из устройства  $B$  в устройство  $A$ ;  $E_3 = 0,3$  – обработка информации в устройстве  $A$ ;  $E_4 = 0,2$  – выдача информации из устройства  $A$  в устройство  $C$ ;  $E_5 = 0,1$  – вывод информации из устройства  $C$ . Интенсивность отказов основного устройства  $A - \lambda_A = 0,07 \cdot 10^{-6}$ .

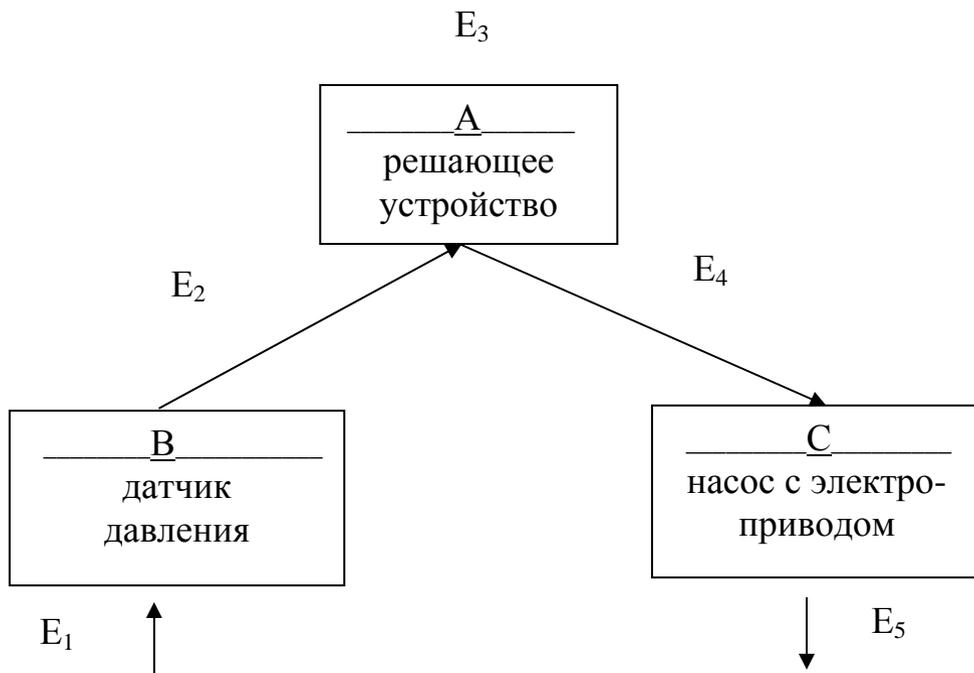


Рис. 2. Блок-схема системы управления

Требуется рассчитать функциональную и эффективную надёжность системы при максимальной интенсивности отказов устройств  $\lambda$  (табл. 1).

Определяют вероятность безотказной работы элементов по зависимости (3):

$$P_A = e^{-\lambda_A \cdot t} = e^{-0,07 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,999;$$

$$P_B = e^{-\lambda_B \cdot t} = e^{-6,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,993;$$

$$P_C = e^{-\lambda_C \cdot t} = e^{-27,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,972.$$

Определяют функциональную надёжность системы по зависимости (2):

$$P_{\Phi} = P_A \cdot (K_B \cdot P_B) \cdot (K_C \cdot P_C) = 0,999 \cdot (0,95 \cdot 0,993) \cdot (0,85 \cdot 0,972) = 0,778.$$

Определяют эффективную надёжность системы по зависимости (4), для чего составляют таблицу состояний системы (табл. 2).

$$P_{\Theta} = \sum_{j=1}^8 P_j \cdot E_j = 0,964 \cdot 1 + 2,7 \cdot 10^{-2} \cdot 0,9 + 6,0 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 + 9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 + \\ + 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 + 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot 0,4 + 6,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 + 1 \cdot 10^{-7} \cdot 0 = 0,994.$$

После расчёта функциональной и эффективной надёжности системы управления проверяют правильность полученных результатов с помощью ЭВМ по программе МРОМ1 (приложения 1, 2), а распечатку результатов по заданию № 1 представляют вместе с отчётом преподавателю.

## 1. Интенсивность отказов устройств

Наименование устройства	Интенсивность отказов $\lambda \times 10^{-6}$ , ч		
	Максимальная (max)	Средняя (med)	Минимальная (min)
Датчики: - уровня жидкости	3,73	2,60	1,47
- давления	6,60	3,50	1,70
- температуры	6,40	3,30	1,50
Насосы: - с электроприводом	27,4	13,5	2,90
- с механическим приводом	31,5	13,5	3,33
- с гидроприводом	45,0	14,0	6,40
Регуляторы: - расхода жидкости	5,54	2,14	0,70
- давления	5,26	2,03	0,65
Переключатели: - плунжерный	0,112	0,054	0,041
- кулачковый	0,12	0,075	0,048
Катушки: - индуктивности	0,031	0,020	0,011
- соленоидные	0,091	0,040	0,020
Реле электромагнитное	0,50	0,11	0,03
Термореле	1,0	0,40	0,12
Муфта электромагнитная	0,93	0,60	0,45
Электродвигатель	0,58	0,30	0,11

## 2. Возможные состояния системы управления гидроприводом

Состояние системы	Расчётные формулы	
	$P_j$	$E_j$
ABC	$P_A \cdot P_B \cdot P_C = 0,964$	1
$ABC\bar{C}$	$P_A \cdot P_B \cdot (1 - P_C) = 2,7 \cdot 10^{-2}$	$E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = 0,9$
$A\bar{B}C$	$P_A \cdot (1 - P_B) \cdot P_C = 6 \cdot 10^{-3}$	$E_1 + E_3 + E_4 + E_5 = 0,8$
$\bar{A}BC$	$(1 - P_A) \cdot P_B \cdot P_C = 9,6 \cdot 10^{-4}$	$E_1 + E_2 + E_5 = 0,5$
$A\bar{B}\bar{C}$	$P_A \cdot (1 - P_B) \cdot (1 - P_C) = 1,9 \cdot 10^{-4}$	$E_3 + E_4 = 0,5$
$\bar{A}\bar{B}C$	$(1 - P_A) \cdot P_B \cdot (1 - P_C) = 2,7 \cdot 10^{-5}$	$E_1 + E_2 = 0,4$
$\bar{A}BC$	$(1 - P_A) \cdot (1 - P_B) \cdot P_C = 6,8 \cdot 10^{-6}$	$E_5 = 0,1$
$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$	$(1 - P_A) \cdot (1 - P_B) \cdot (1 - P_C) = 1 \cdot 10^{-7}$	0

Примечание: А – устройство исправно;  $\bar{A}$  – устройство неисправно

## 5. Задание к практическому занятию № 1

**Задание:** рассчитать функциональную и эффективную надёжность одной из систем, блок-схемы которых представлены на рис. 3. Составить таблицу возможных состояний системы управления. Проверить результаты расчёта с помощью ЭВМ по программе МРОМ1 (приложения 1, 2).

Коэффициенты готовности вспомогательных устройств  $K_B = 0,8$ ;  $K_C = 0,85$ ;  $K_D = 0,9$ ;  $K_E = 0,95$ . Интенсивность отказов основного устройства  $\lambda_A = 0,05 \cdot 10^{-6}$  ч. Время работы системы  $t = 1000$  ч. Возможные состояния системы представлены в табл. 3. Задание, согласно номеру варианта по табл. 4, выдаёт преподаватель.

### 3. Возможные состояния системы

№	Состояние	№	Состояние	№	Состояние	№	Состояние
1	ABCDE	9	$\overline{A}BCDE$	17	$ABC\overline{D}E$	25	$\overline{A}BC\overline{D}E$
2	$ABC\overline{D}E$	10	$\overline{A}BC\overline{D}E$	18	$\overline{A}BCDE$	26	$\overline{A}BCDE$
3	$ABCDE$	11	$ABC\overline{D}E$	19	$\overline{A}BC\overline{D}E$	27	$\overline{A}BCDE$
4	$ABCDE$	12	$\overline{A}BCDE$	20	$\overline{A}BCDE$	28	$\overline{A}BCDE$
5	$\overline{A}BCDE$	13	$\overline{A}BCDE$	21	$\overline{A}BCDE$	29	$\overline{A}BCDE$
6	$\overline{A}BCDE$	14	$\overline{A}BCDE$	22	$\overline{A}BCDE$	30	$\overline{A}BCDE$
7	$ABC\overline{D}E$	15	$\overline{A}BCDE$	23	$ABC\overline{D}E$	31	$\overline{A}BCDE$
8	$ABC\overline{D}E$	16	$\overline{A}BCDE$	24	$\overline{A}BCDE$	32	$\overline{A}BCDE$

### 4. Исходные данные к практическому занятию № 1

№ варианта	Схема (рисунок 2)	Интенсивность отказов вспомогательных устройств			
		Вспомогательные устройства			
		B	C	D	E
1 (17)	Схема а	min	med	max	min (med)
2 (18)				max	med (max)
3 (19)				max	max (min)
4 (20)				min	min (med)
5 (21)	Схема б	med	max	min	med (max)
6 (22)				min	max (min)
7 (23)				med	min (med)
8 (24)				med	med (max)
9 (25)	Схема в	max	min	med	max (min)
10 (26)				max	min (med)
11 (27)				max	med (max)
12 (28)				max	max (min)
13 (29)	Схема г	min	med	min	min (med)
14 (30)				min	med (max)
15 (31)				min	max (min)
16 (32)				med	min (med)

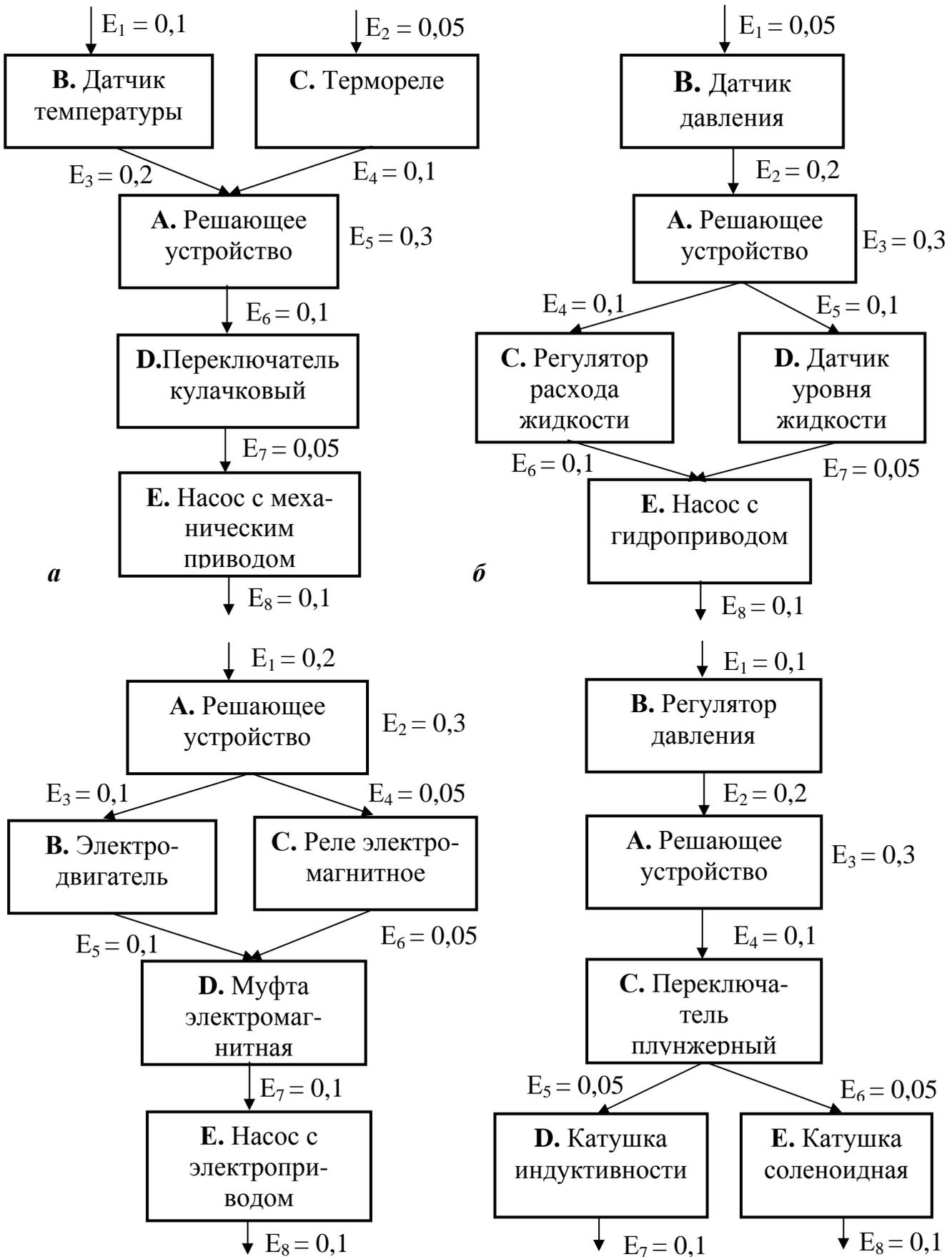


Рис. 3. Блок-схемы систем:

а – г – варианты схем согласно табл. 4