Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУТП)

Методические указания к практическим работам по дисциплине
«Управление системами и процессами»
для студентов направления

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»,

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2025

1. ПОНЯТИЕ О СИСТЕМАХ И ИХ УПРАВЛЕНИИ

1.1. Свойства и характеристики систем

Впервые системный подход к анализу чего-либо был применён Аристотелем (третий век до н.э.), предложившим классификацию, построенную на иерархии общего и частного: вид - род - класс.

В современном понимании система – это совокупность элементов или подсистем, находящихся во взаимодействии и образующих определённую целостность. Системы бывают различной сложности: объединение, состоящее из ряда предприятий; машиностроительный завод, состоящий из ряда служб, цехов, участков; станок, состоящий из ряда агрегатов, и т. д.

Различают системы технические (например, металлорежущий станок, автоматическая линия), человеко-машинные (автоматизированные системы управления технологическим процессом - обслуживающий персонал, станок - человек), производственно-экономические (завод, фирма), социальные

Таким образом, управление реальными системами носит многошаговый, итеративный характер, когда к достигнутой цели приходят не за один, а за несколько шагов, последовательно корректируя действия с учётом достигнутых результатов.

Одна из типичных ошибок управления на разных уровнях – это попытка достичь цели за один ход, что для многих, а особенно больших систем является просто нереальным по следующим причинам:

- мы не располагаем, как правило, всей информацией о состоянии системы и действующих на неё факторов;
- реализация решения происходит во времени, иногда значительном, при этом ряд факторов, действующих в системе и на систему, изменяются;
- большие системы инерционны и для изменения их состояния требуется значительное время;
- главный действующий субъект управления – человек – консервативен, и требуется адаптация к новым целям и методам их достижения.

Примерами медленного изменения состояния систем являются трудная и продолжительная приспособляемость большинства людей к рыночным условиям, чрезвычайно длительное освоение специалистами персональных компьютеров и др.

Таким образом, при выработке и принятии управленческого решения, необходимо учитывать дефицит информации, значительный разрыв между моментами принятия и реализации решения и те последствия, которые могут возникнуть (социальные, технические, экономические) в результате реализации этого решения.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1.

2. Общие положения

Отличительными признаками сложных АСУТП являются [1]:

- 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 $P_ф$ понимают вероятность того, что данная система будет удовлетворительно выполнять свои функции в течение заданного времени.

Эффективную надёжность $P_э$ оценивают по среднему значению (математическому ожиданию) величины, характеризующей относительный объём и полезность выполняемых системой функций в течение заданного времени по сравнению с её предёльными 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 $P_э$ 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 τ_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 τ:

$$P_ф = f\{P_0(t); к_i; P_i(\tau_i)\}, \quad (1)$$

где $P_0(t)$ – вероятность безотказной работы основного элемента; $к_i$ – 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 [1]

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

где m – количество дополнительных устройств в системе.

Если резервирования в системе нет, то

$$P_0(t) = e^{-\lambda ot}; \quad P_i(t) = e^{-\lambda i\tau i}; \quad к_i = \frac{1}{1+\rho_i}\left(1+\rho\cdot e^{-\frac{1+\rho_i}{\rho_i\cdot r_i}}\right), \quad (3)$$

где λ_0, λ_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 $t \to \infty$, коэффициент готовности i-го устройства

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

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

3. Оценка эффективной надежности 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]:

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

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 $0 \le E_j \le 1$. 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 А (решающее устройство) и вспомогательных устройств В (датчик давления) и С (насос с электроприводом) (рис. 1).

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

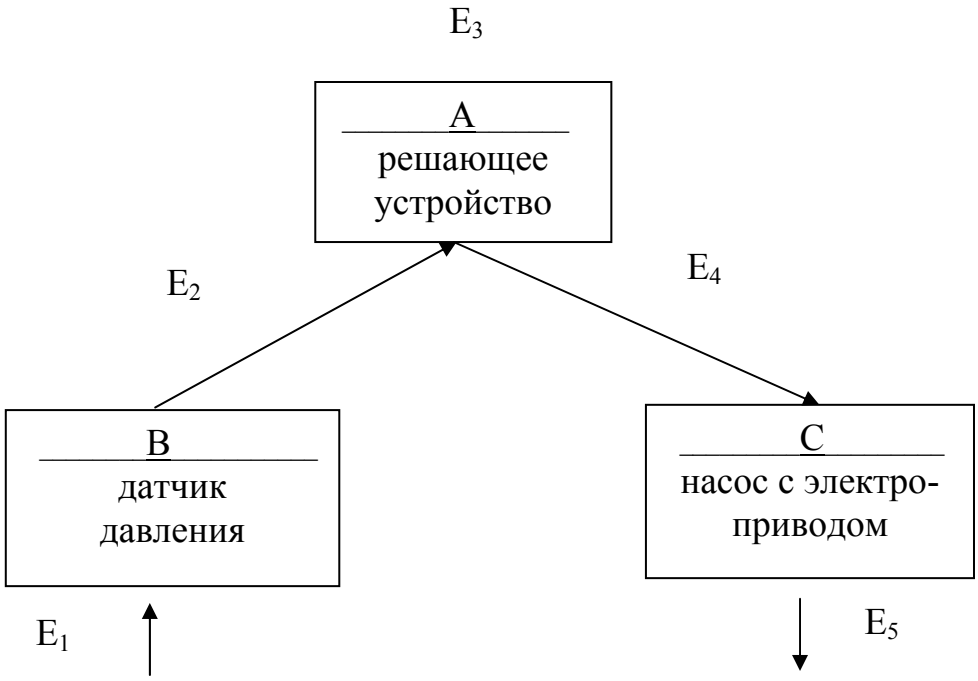

Рис. 1. Блок-схема системы управления

Требуется рассчитать функциональную и эффективную надёжность системы при максимальной интенсивности отказов устройств λ (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):

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

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

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

$$+ 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 + 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot 0,4 + 6,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 + 1 \cdot 10^{-7} \cdot 0 = 0,994.$$

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
$AB\overline{C}$	$P_A \cdot P_B \cdot (1 - P_C) = 2{,}7 \cdot 10^{-2}$	$E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = 0{,}9$
$A\overline{B}C$	$P_A \cdot (1 - P_B) \cdot P_C = 6 \cdot 10^{-3}$	$E_1 + E_3 + E_4 + E_5 = 0{,}8$
$\overline{A}BC$	$(1 - P_A) \cdot P_B \cdot P_C = 9{,}6 \cdot 10^{-4}$	$E_1 + E_2 + E_5 = 0{,}5$
$A\overline{B}\overline{C}$	$P_A \cdot (1 - P_B)(1 - P_C) = 1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$E_3 + E_4 = 0{,}5$
$\overline{A}B\overline{C}$	$(1 - P_A) \cdot P_B \cdot (1 - P_C) = 2{,}7 \cdot 10^{-5}$	$E_1 + E_2 = 0{,}4$
$\overline{A}\overline{B}C$	$(1 - P_A) \cdot (1 - P_B) \cdot P_C = 6{,}8 \cdot 10^{-6}$	$E_5 = 0{,}1$
$\overline{A}\overline{B}\overline{C}$	$(1 - P_A) \cdot (1 - P_B) \cdot (1 - P_C) = 1 \cdot 10^{-7}$	0
Примечание: A – устройство исправно; $\overline{A}$ – 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	$A\overline{B}CD\overline{E}$	17	$AB\overline{C}\overline{D}E$	25	$\overline{A}\overline{B}C\overline{D}E$
2	$ABCD\overline{E}$	10	$\overline{A}BCD\overline{E}$	18	$A\overline{B}C\overline{D}\overline{E}$	26	$\overline{A}\overline{B}\overline{C}DE$
3	$ABC\overline{D}E$	11	$AB\overline{C}\overline{D}E$	19	$\overline{A}BC\overline{D}\overline{E}$	27	$A\overline{B}\overline{C}D\overline{E}$
4	$AB\overline{C}DE$	12	$A\overline{B}C\overline{D}E$	20	$A\overline{B}\overline{C}D\overline{E}$	28	$\overline{A}\overline{B}\overline{C}D\overline{E}$
5	$A\overline{B}CDE$	13	$\overline{A}BC\overline{D}E$	21	$\overline{A}B\overline{C}D\overline{E}$	29	$\overline{A}BC\overline{D}\overline{E}$
6	$\overline{A}BCDE$	14	$A\overline{B}\overline{C}DE$	22	$\overline{A}\overline{B}CD\overline{E}$	30	$\overline{A}B\overline{C}\overline{D}\overline{E}$
7	$ABC\overline{D}\overline{E}$	15	$\overline{A}B\overline{C}DE$	23	$A\overline{B}\overline{C}\overline{D}E$	31	$\overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D}E$
8	$AB\overline{C}D\overline{E}$	16	$\overline{A}\overline{B}CDE$	24	$\overline{A}B\overline{C}\overline{D}E$	32	$\overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D}\overline{E}$

4. Исходные данные к практическому занятию № 1

№ вари-анта	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)

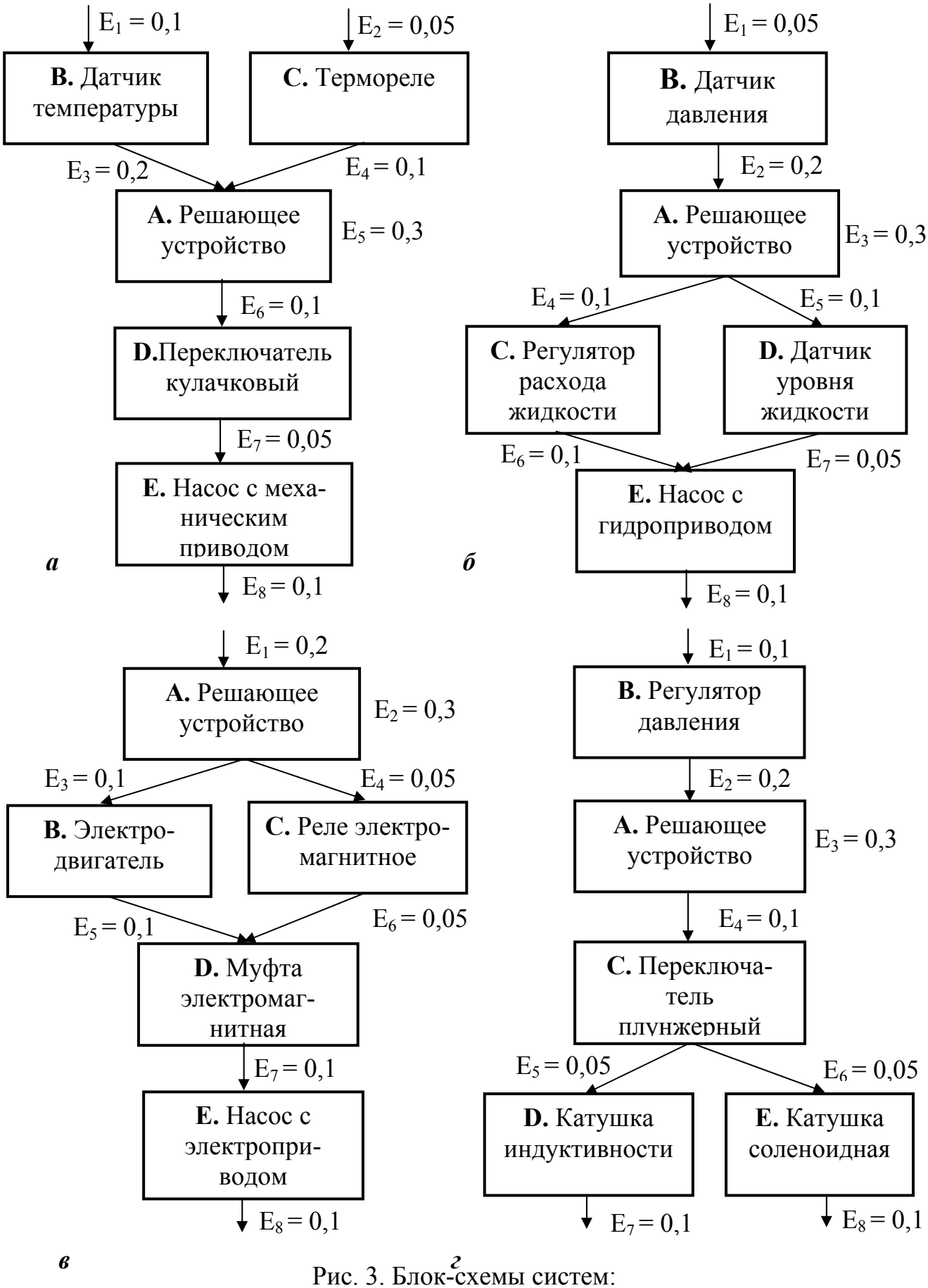

Рис. 3. Блок-схемы систем:
а – г – варианты схем согласно табл. 4

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вайрадян Л. С. Надёжность автоматизированных систем управления / Л. С. Вайрадян, Ю. Н. Федосеев; Под ред. Я. А. Хетагурова. Ч. 1, 2. – М.: МИФИ, 1974.

2. Вальков В. М. Автоматизированные системы управления технологическими процессами / В. М. Вальков, В. Е. Вершин. – Л.: Политехника, 1991. – 269 с.

3. Трапезников В. А. Автоматическое управление и экономика // Автоматика и телемеханика. – 1966. № 1. – С. 5 – 22.

4. Алексеев Г. Н. Энергия и энтропия / Г. Н. Алексеев. – М.: Знание, 1988. – 192 с.

5. Смирнов С. В. Управление машиностроительным предприятием / С.В. Смирнов, С. Н. Ефимушкин, А. А. Колобов / Под ред. С. Г. Пуртова, С. В. Смирнова. – М.: Высшая школа, 1989. – 240 с.

6. Родионов Б. Н. Организация, планирование и управление машиностроительным производством: Учеб. пособие для студентов машиностроительных вузов / Б. Н. Родионов, Н. А. Соломатин, Л. Г. Осадчий / Под ред. Б. М. Родионова. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.

7. Советов Б. Я. Автоматизированное управление современным предприятием / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 168 с.

8. Организация, планирование и управление машиностроительным предприятием: Учебник в 2 ч. Ч. 1. Организация и управление машиностроительным предприятием / Под ред. В. А. Летенко, Б. М. Родионова. – М.: Высшая школа, 1979. – 296 с.

9. Худобин Л. В. Разработка технологических процессов сборки в курсовых и дипломных проектах: Учебное пособие / Л. В. Худобин, В. Ф. Гурьянихин, В. Р. Берзин. – Ульяновск: УлГТУ, 1995. – 80 с.

10. Гурьянихин В. Ф. Проектирование технологических процессов обработки заготовок в ГПС: Учебное пособие / Под ред. Л. В. Худобина. – Ульяновск: УлПИ, 1994. – 108 с.

11. Рязанов С. И. Технологические процессы отраслей. 4.3. Нормирование и организация технологических процессов: Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Технологические процессы отраслей» для студентов направления 521500 – Менеджмент / С. И. Рязанов, Ю. В. Псигин. – Ульяновск: УлГТУ, 1999. – 28 с.