

Навчальне видання

МИГАЛЬ Василь Дмитрович

ТЕХНІЧНА КІБЕРНЕТИКА ТРАНСПОРТУ

Навчальний посібник

Підписано до друку 30.04.2007 р. Формат 70 x 100/16. Папір офсетний.
Гарнітура WarnockPro. Друк ризографічний. Ум.-друк. арк. 53,3.
Обл.-вид. арк. 20,5. Наклад 500 прим. Зам. № 201.

Видавничий Дім «ІНЖЕК»
61001, Харків, пр. Гагаріна, 20. Тел. (057) 703-40-21, 703-40-01.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру України суб'єктів
видавничої діяльності ДК № 2265 від 18.08.2005 р.
Надруковано у ВД «ІНЖЕК», Харків, пр. Гагаріна, 20.

ВИДАВНИЧИЙ ДІМ «ІНЖЕК»



MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
KHARKIV NATIONAL AUTOMOBILE AND HIGHWAY
UNIVERSITY

V. D. MIGAL

ENGINEERING CYBERNETICS OF TRANSPORT

Study guide

33. Соколов Е. Н., Вайткявичус Г. Г. Нейроинтеллект от нейрона к нейрокомпьютеру.– М.: Наука, 1989.– 238 с.
34. Комашинский В. И., Смирнов Д. А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи.– М.: Горячая линия; Телекс, 2003.– 94 с.
35. Терехов В. А., Ефимов Д. В., Тюкин Н. Ю. Нейросетевые системы управления: Учеб. пособ. для вузов.– М.: Высш. шк., 2002.– 183 с.
36. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика.– М.: Мир, 1990.
37. Anderson J. A., Rosenfeld E. Neurocomputing: Foundation of Research.– Mit Press, Cambridge, Mass. 1988.
38. Astrom K. J., Wittenmark B. Adaptive control, Reading M. A: Addison Wesley, 1989.
39. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multi-layer feed-forward networks are universal approximators. Discussion paper, Department of Economics, University of California.– San Diego, La Jolla, CA, 1988.
40. Колгин А. В. Датчики средств диагностирования машин.– М.: Машиностроение, 1984.– 120 с.
41. Како Н., Яманэ Я. Датчик и микроЭВМ.– Л.: Энергоатомиздат, 1986.– 120 с.
42. Карпиевич Ю. Д. Бортовое диагностирование тормозных систем автомобилей.– Минск, 2002.– 210 с.
43. Пойда А. М. Розробка систем діагностування транспортних машин / Звіт про НДР. Розробка проекту науково-обґрунтованої концепції державної транспортної політики.– Харків, ХНАДУ, 2005.– С. 12 – 18.

16. Мигаль В. Д. Цели и задачи диагностирования машин в жизненном цикле // Вестн. Хар. нац. автом.-дорож. ун-та.– Х.: ХНАДУ, 2003.– Вып. 23.– С. 39 – 41.
17. Мигаль В. Д. Вибрационные принципы доводки машин на заданный ресурс // Вісн. Східн. нац. ун-ту ім. В. Даля.– Луганськ, 2004.– № 7, ч. 1.– С. 186-192.
18. Сергеев А. Г. Метрологическое обеспечение эксплуатации технических систем: Учеб. пособ.– М.: Изд-во МГОУ, 1994.– 286 с.
19. Карпов Ю. Г. Теория автоматов.– СПб.: Питер, 2003.– 208 с.
20. Марк Серридж, Торбен Р. Лихт Справочник по пьезоэлектрическим акселерометрам и преусилителям.– Дания: Изд-во «Ларсен и сын»; Глоструп, 1987.– 186 с.
21. Мигаль В. Д. Вибрационные методы и средства распознавания дефектов машин.– Х., ХГПУ, 1995.– 235 с.
22. Калявин В. П., Мозгалецкий А. В. Технические средства диагностирования.– Л.: Судостроение, 1984.– 208 с.
23. Фон А. Восприятие и распознавание образов: Пер. с фр. А. В. Серединского / Под ред. Г. П. Катуса.– М.: Машиностроение, 1989.– 272 с.
24. Кузнецов Е. С. Управление техническими системами: Учеб. пособ.– М.: МАДИ(ТУ), 1997.– 202 с.
25. Мигаль В. Д. Теорія і методи наукової творчості: Навч. посіб.– Х.: ВД «ІНЖЕК», 2007.
26. Мишек Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: Пер. с нем.– М.: Мир, 1990.– 208 с.
27. Хубка В. Теория технических систем: Пер. с нем.– М.: Мир, 1987.– 218 с.
28. Данов Б. А. Электронные системы управления иностранных автомобилей.– М.: Горячая линия; Телеком, 2004.– 224 с.
29. Шевченко А. И. Актуальные проблемы теории искусственного интеллекта.– К.: ИПШ «Наука і освіта», 2003.– 228 с.
30. Головки В. А. Нейроинтеллект: Теория и практика. Кн. 2: Самоорганизация, отказоустойчивость и применение нейронных сетей.– Брест: Изд-во БПИ, 1999.– 228 с.
31. Нейроинформатика и ее приложения // Матер. 3-го Всерос. семинара, 3-5 октября 1997 г. / Под ред. А. Н. Горбаня.– Красноярск: Изд-во КГТУ, 1995.– 230 с.
32. Горбань А. Н. Обучение нейронных сетей.– М.: СП «Para Graph», 1990.– 160 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

В. Д. МИГАЛЬ

ТЕХНІЧНА КІБЕРНЕТИКА ТРАНСПОРТУ

Навчальний посібник

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів*

Харків
ВД «ІНЖЕК»
2007

УДК 629.113 + 62-50:65

ББК 39.3

М 57

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(Лист 1.4/18-Г-709 від 09.08.2006 р.)*

Рецензенти: **Невлюдов І. Ш.** – д-р техн. наук, професор, зав. кафедри технології і організації виробництва радіоелектронних засобів Харківського національного університету радіоелектроніки;

Куценко А. С. – д-р техн. наук, професор, зав. кафедри системного аналізу Національного технічного університету «ХПІ»;

Ігуменцев Є. А. – д-р техн. наук, професор кафедри систем управління Української інженерно-педагогічної академії

Мигаль В. Д.

М 57 Технічна кібернетика транспорту: Навчальний посібник. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2007. – 328 с. Укр. мова

ISBN 978-966-392-133-4

У посібнику розглянуто теоретичні й практичні питання: керування рухом, моделювання в кібернетичі, кібернетичні системи управління, інформаційне проектне забезпечення управління технічним станом машин, ентропія передачі сигналів у каналах виміру, діагностування й управління, кодування інформації й програмування, автоматизовані системи управління підприємствами та технологічними процесами, кібернетичні системи «людина – машина – середовище», штучний інтелект у системах управління і технічні засоби кібернетичних систем.

Для студентів-магістрів, які навчаються за спеціальністю «Автомобілі та автомобільне господарство».

ББК 39.3

ISBN 978-966-392-133-4

© Мигаль В. Д., 2007

© ВД «ІНЖЕК», 2007

Література

1. Говорущенко Н. Я., Варфоломеев В. Н. Техническая кибернетика транспорта: Учеб. пособ. – Х.: ХГАДТУ, 2001. – 271 с.
2. Говорущенко Н. Я., Туренко А. Н. Системотехника проектирования транспортных машин: Учеб. пособ. – Х.: ХНАДУ, 2002. – 166 с.
3. Сига Х., Мидзутани С. Введение в автомобильную электронику: Пер. с япон. – М.: Мир, 1989. – 230 с.
4. Энциклопедия кибернетики. В 2-х томах. – К.: Главн. ред. укр. сов. энциклопедии, 1974.
5. Ерофеев А. А. Теория автоматического управления. – СПб., 2001. – 302 с.
6. Мигаль В. Д., Бажинов А. В., Олискевич М. С. Модели оценки технического состояния и управления ресурсом и надежностью машин // Автомобильный транспорт: Сб. науч. тр. Хар. нац. автом.-дорож. ун-та. – Х., 2003. – Вып. 13. – С. 30 – 34.
7. Введение в кибернетику: Учеб. пособ. / Под ред. проф. В. В. Глуздовского. – Калинин: КГУ, 1984. – 78 с.
8. Вишневский В. А., Калмыков Б. М., Павлов Л. А., Стыненко В. Г. Теоретические основы кибернетики: Текст лекций / Чебоксары: Чуваш. ун-т, 1987. – 52 с.
9. Говорущенко Н. Я., Туренко А. Н. Системотехника транспорта. В 2-х ч. Часть 2. – Х.: РИО ХГАДТУ, 1998. – 219 с.
10. Иносос С. В. Теория информации: Конспект лекций. – К.: КНУБА, 2001. – 20 с.
11. Жураковский Ю. П., Полторак В. П. Теория информации та кодування: Підр. – К.: Вища шк., 2001. – 255 с.
12. Игнатов В. А. Теория информации и передачи символов: Учебник для ВУЗов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 280 с.
13. Шенон К. Э. Работы по теории информации и кибернетики. – М.: Иностран. лит., 1963. – 830 с.
14. Серебринский П. Г., Схиртладзе А. Г. Программирование для автоматизированного оборудования: Учебник / Под ред. Ю. М. Соломенцева. – М.: Высш. шк., 2003. – 592 с.
15. Мигаль В. Д. Принципы и алгоритмы проектирования транспортных машин на заданный ресурс по вибрационным характеристикам // Вестн. Хар. нац. автом. -дорож. ун-та. – Х.: ХНАДУ, 2004. – Вып. 24. – С. 21 – 24.

Система автоматичного управління – 80	Технічна кібернетика – 17
Система запалювання – 291	Технічна система – 172
Система зворотного зв'язку – 239	Технічне діагностування – 153
Система самозбереження – 239	Типовий спектр вібрації – 181
Система управління – 58,77	Точність виміру – 153
– – гальмами – 306	Точність діагностування – 153
– – двигуном – 299, 303	Точність міри – 160
– – замкнута – 78	Управління – 33
– – комбінована – 81	– зі зворотним зв'язком – 252, 253
– – мікрокліматом – 308	– рухом – 191
– – підприємством – 19	– системою – 64
– – розімкнута – 81	– станом – 133
– – трансмісією – 303, 305	– якістю проектування – 120
Система числення – 97	Фізична модель – 32
Системний аналіз – 57	Форма вхідних і вихідних сигналів – 273
Системотехніка – 57	Форми інформації – 67
Синаптичне гальмування – 240	Формування інтелекту людини – 234
Сіткове моделювання – 56	Формування штучного інтелекту – 235, 236
Сітковий графік – 54, 56	Функціональні моделі – 45
Соціальні системи – 57	Функція перетворення – 264
Співвідношення моделей – 41	Ціль управління – 24, 125
Спостережливість – 33	«Чорна шухляда» – 44
Сталість – 31	Швидкість – 180
Стан об'єкта управління – 25	Швидкість потоку інформації – 185
Структура системи – 61	Штучна нейронна мережа – 237, 238
Структурна схема – 40, 41	Штучна свідомість – 231, 238
– – мотор-тестера – 294	Штучна система – 231
Система управління – 59	Штучний інтелект – 231
Теорія	Штучний нейрон – 238, 239
– інформації – 58	Якість вимірів – 168
– кібернетики – 17	Якість інформації – 172
– кодування – 97	Якість проектування – 119
– розпізнавання образів – 189	Якість управління – 23
– штучних нейронних мереж – 248	

ЗМІСТ

Вступ	15
Розділ I. Теорія кібернетики.....	17
Глава 1. Предмет, задачі, класифікація й методологія кібернетики	17
1.1. Предмет кібернетики.....	17
1.2. Об'єкти кібернетики	19
1.3. Задачі кібернетики.....	20
1.4. Класифікація кібернетики.....	20
1.5. Методологія кібернетики.....	21
Контрольні питання і завдання.....	22
Глава 2. Основні поняття теорії управління об'єктами технічних систем.....	23
2.1. Об'єкт і цілі управління.....	23
2.2. Математична модель об'єкта управління	24
2.3. Стан об'єкта управління і керуючого впливу	25
2.4. Збуджуючі впливи і вимірювальна інформація	28
2.5. Сталість і керованість.....	31
2.6. Спостереження. Якість управління та її показники.....	33
Контрольні питання і завдання.....	35
Глава 3. Моделі й моделювання в кібернетиці	36
3.1. Поняття про модель і моделювання	36
3.2. Фізична модель.....	38
3.3. Математична модель.....	39
3.4. Кібернетична модель	43
3.5. «Чорна шухляда».....	44
3.6. Моделювання автоматичних систем управління (АСУ).....	45
3.7. Побудова граф-моделей в інформаційних технологіях і функціонування машин.....	46
3.8. Імітаційне моделювання	51
3.9. Сіткові граф-схеми управління виробництвом.....	55
Контрольні питання і завдання.....	55
Глава 4. Кібернетична система й управління.....	57
4.1. Система, підсистема, структура, елемент, зв'язок.....	57
4.2. Керована кібернетична система	61
4.3. Рух системи і динамічні властивості.....	63
4.4. Управління системою.....	64
Контрольні питання і завдання.....	66

Глава 5. Інформація в кібернетичі	67	Мікропроцесорні засоби – 290	П'єзоелектричний акселерометр – 164,165
5.1. Поняття, джерела й форми інформації	67	Мікроконтролер – 275, 278	Підсистема – 57
5.2. Кількість інформації.....	68	Модель – 36	Підсилювач – 270
5.3. Інформація в системі управління.....	70	Моделювання – 36	Помилка I роду – 167
5.4. Передача інформації	72	– функцій мозку – 247	Помилка II роду – 167
5.5. Модуляція переносників інформації.....	75	Модуляція переносників інформації – 75	Посилення сигналів – 270
5.6. Пам'ять.....	75	«Мозковий штурм» – 132	Потоки інформації – 202
Контрольні питання і завдання.....	76	Морфологічний аналіз – 133	Похибка виміру – 154
Глава 6. Системи автоматичного управління об'єктами технічних систем	77	Морфологічний опис об'єкта – 125	– – абсолютна – 155
6.1. Задачі управління.....	77	Мотор-тестер – 292	– – випадкова – 157
6.2. Замкнута система управління.....	78	Мультиплікативна похибка – 163	– – груба – 158
6.3. Розімкнута система управління.....	80	Навігаційні маяки – 191	– – систематична – 157
6.4. Комбінована система управління	81	Навігаційні системи інформації – 190	Представлення кодів – 109
6.5. Зміст задачі управління.....	82	Нейроінформатика – 248	Прикладна програма – 117
Контрольні питання і завдання.....	83	Нейрокомп'ютер – 251, 292	Принципи роботи ЕОМ – 246
Глава 7. Інформаційна теорія ентропії передачі повідомлень і оцінки результатів вимірів	84	Нейронна мережа – 2238, 244, 248	Прискорення – 179
7.1. Ентропія інформації.....	84	– – архітектура – 244	Програмування – 97
7.2. Ентропія результатів діагностичних вимірів.....	87	– – багаточарова – 246	Промахи – 159
Контрольні питання і завдання.....	95	Нейромережні системи управління – 248, 250	Процедура побудови граф-моделі – 48
Глава 8. Кодування інформації й програмування	96	Об'єкт кібернетики – 19	Процесор – 89
8.1. Поняття, мета й задачі кодування.....	96	Об'єкт управління – 23	Прямування системи – 63
8.2. Види кодування повідомлень у задачах управління робочими процесами	98	Обробка інформації – 199	Регулювання дорожнього руху – 188
8.3. Способи представлення кодів.....	101	Обробка сигналів – 271	Робот – 237
8.4. Кодування сигналів у задачах діагностування.....	109	Обчислювальні машини – 231	Робототехнічні системи – 187
8.5. Кодування сигналів для підвищення швидкості передачі і перешкодостійкості інформації.....	114	Оптимізація маршрутів – 189	Розпізнавання образів – 187
8.6. Логічне й машинне програмування.....	117	Пам'ять – 75	– – візуальне – 186
Контрольні питання і завдання.....	118	Передача інформації – 73, 205	Рух системи – 63
Розділ II. Кібернетичні системи управління технічним станом і рухом транспортних машин	119	Переміщення – 180	Самокерована система – 64
Глава 9. Інформаційне забезпечення управління якістю проектування	119	Переносні комп'ютери (ПЕОМ) – 288	Самоорганізація – 250
9.1. Проектування з позицій теорії пізнання	119	Перетворення сигналів – 271	Свідомість – 231,233
9.2. Цілі управління і керуючі показники якості машин.....	122	Перетворювачі – 255, 256, 259	Сигнали-переносники – 187
		Перешкодостійкість – 177	Синектика – 133
		Перцативне розпізнавання – 250	Система – 57

Ентропія – 85	Класифікація
Задачі кібернетики – 120	– вимірювальних перетворювачів – 257
Задачі управління – 77	– кібернетики – 20
Засоби вимірювань – 147	– кодів – 97
Засоби індикації	– нейронних мереж – 242, 256
– – візуальної – 280	– об'єктів – 138
– – звукової – 280	– похибок виміру – 153
– – світлової – 280	– технічного стану – 187
Збуджуючий вплив – 28	Кодування інформації – 97
Зворотний зв'язок – 62	Компоненти проектування – 127
Зв'язок – 57	Комп'ютерна навігаційна система – 192
Змішане діагностування – 181	Конструкція датчиків систем – 262
Зовнішні засоби діагностування – 297	Критерій оптимальної похибки – 170
Імітаційна модель – 51, 52	Логічне програмування – 117
Імітаційний комплекс – 51	Людина-машина – 225
Імітація – 51	Людина-оператор – 225, 226
Інтелект людини – 224, 228, 233	Людський розум – 231, 232
Інформація – 29	Математична модель – 24,37
Інформаційний зміст – 183	Математичне забезпечення – 202
Інформаційний опис – 123	Матеріальні системи – 56
Інформаційні потоки – 181	Машина як система – 127
Інформаційні системи – 200	Машина-середовище – 225,228
Інформаційні технології – 201	Машина фон Неймана – 227
Інформаційно-обчислювальна мережа – 280	Машинне кодування – 120
Канальні сигнали – 182	Машинне програмування – 127, 128
Керуючі впливи – 27	Мета діагностування – 51
Кібернетична модель – 43	– – при проектуванні – 133
Кібернетична система – 61,224	Метод гірлянд – 132
Кібернетичні системи-роботи – 196	Метод Дельфі – 132
Кібернетична характеристика точності – 173	Методологія кібернетики – 20
Кількість інформації – 69	Методологія проектування – 121
Клас точності – 160	МікроЕОМ – 286,287
	Мікроконтролер – 178
	Мікропроцесор – 275
	Мікропроцесорна обробка – 290

9.3. Інформаційний опис машини як кібернетичної системи.....	124
9.4. Діагностика як основа управління станом машин	133
9.5. Класифікація об'єктів і нормування їх технічних характеристик.....	138
Контрольні питання і завдання	141

Глава 10. Вимір параметрів машин як спосіб одержання діагностичної інформації 142

10.1. Цілі й задачі діагностичних вимірів.....	142
10.2. Класифікація видів і методів вимірів.....	143
10.3. Засоби вимірювань.....	147
10.4. Функціональна залежність виміру	151
Контрольні питання і завдання.....	152

Глава 11. Точність і вірогідність одержання інформації при діагностуванні 153

11.1. Поняття точності й вірогідності діагностування	153
11.2. Похибка вимірів, класифікація. Обробка результатів вимірів	154
11.3. Виявлення й виключення грубих похибок (промахів)	159
11.4. Точність міри і вимірювальних приладів	160
11.5. Точність і вірогідність контрольно-діагностичних операцій	161
11.6. Якість вимірів.....	168
Контрольні питання і завдання.....	170

Глава 12. Інформаційна пропускна здатність передачі сигналів у каналах вимірювання й управління технічними системами 172

12.1. Параметри, які характеризують інформацію	172
12.2. Інформаційна пропускна здатність вимірювального ланцюга і кібернетична характеристика точності	173
12.3. Збереження інформаційного змісту сигналів	176
12.4. Інформаційні потоки в каналах зв'язку й способи їх поділу	181
Контрольні питання і завдання.....	184

Глава 13. Сприйняття, розпізнавання й управління рухом машин на дорогах 185

13.1. Візуальне розпізнавання образів	185
13.2. Розпізнавання образів і стану машин за нормованими ознаками і класами	186
13.3. Автоматичне управління траєкторією руху автомобіля по дорозі	189
13.4. Навігаційні системи інформації про місце розташування автомобіля.....	191

13.5. Автоматичне регулювання швидкості й забезпечення високої безпеки руху автомобіля	193
13.6. Автомобілі з кібернетичними системами-роботами	195
Контрольні питання і завдання.....	196

Глава 14. Системи управління підприємствами та технологічними процесами.....198

14.1. Автоматизовані системи управління.....	198
14.2. Людина-оператор як об'єкт управління.....	199
14.3. Інформаційні системи АСУ	200
14.4. Типи автоматизованих систем управління.....	202
14.5. Автоматизовані системи управління технологічними процесами.....	204
14.6. Автоматизована система управління виробництвом.....	206
14.7. Експертні методи прийняття управлінських рішень в умовах недостатньої інформації.....	207
14.8. Процедура пошуку оптимального варіанта прийняття технічного рішення.....	210
14.9. Методи прийняття інженерних рішень при оптимізації умов технічної експлуатації машин.....	220
Контрольні питання і завдання.....	223

Глава 15. Кібернетична система «людина – машина – середовище»224

15.1. Задачі й основні ознаки системи.....	224
15.2. Людина-водій як ланка складної кібернетичної системи «людина – машина – середовище»	225
15.3. Керовані системи «автомобіль – водій – умови експлуатації»	226
15.4. Інтелект, досвід і судження людини в управлінні автомобілем	228
Контрольні питання і завдання.....	229

Розділ III. Технічні системи управління і штучний інтелект230

Глава 16. Штучний інтелект у системах управління.....230

16.1. Стан проблеми.....	230
16.2. Людський розум, особистість і ЕОМ.....	231
16.3. Свідомість і інтелект людини. Штучний інтелект і штучна свідомість	237
16.4. Властивості й характеристики створених штучних нейронних мереж	238
Контрольні питання і завдання.....	241

Предметний покажчик

Абсолютна похибка – 163	– сукупні виміри – 146
Автоматизовані системи – 203	Вимірювальна інформація – 28
Автоматична коробка передач – 304	Вимірювальна система – 149
Автоматичне управління – 190	Вимірювальний ланцюг – 144
Автомобіль-водій – 226	Високочастотні перешкоди – 179
Автомобільний дисплей –280	Візуальна інформація – 185
Автономна бортова система – 291	Вірогідність діагностування – 154
Адаптивність нейромережних структур – 230	Властивості нейромережних систем – 245
Адитивна похибка – 163	Генерація імпульсу – 240
Акселерометри – 267	Граф цілей – 129
Амплітуда вібрації – 178	Граф-модель – 47
Амплітуда вібропереміщення – 178	Граф-схеми – 54
Аналогово-цифровий перетворювач – 281	Грубі похибки – 159
Антиентропійність – 139	Датчики в електронних системах – 256
Арифметико-логічний пристрій – 279	Декомпозиція – 207
Біологічна нейронна система – 232	Джерело інформації – 68
Біологічний нейрон – 240	Діагностична інформація – 142
Бортові вимірювальні мережі – 296, 298	Діагностична система – 292
Вбудовані засоби діагностування – 296	Діагностичні виміри – 142
Види управління – 59	Діагностичні випробування – 134
Вимір – 143	Діагностування – 233
– абсолютний – 145	Діагностування автомобілів – 136
– вимірювальний ланцюг – 145	Досвід – 228
– диференціальний метод – 144	Економічні моделі – 46
– класифікація видів – 144	Електронний блок – 271
– метод збігів – 145	Електронна пам'ять мікропроцесорів – 279
– непрямий метод – 146	Електронні обчислювальні машини – 286
– нульовий вимір – 145	Елемент – 57
– прямий вимір – 145	

Технічне діагностування – визначення технічного стану об'єкта з означеною (заданою) точністю. Завданнями технічного діагностування є: контроль технічного стану; пошук місця та визначення причин відмови (несправності); прогнозування технічного стану. Термін «технічне діагностування» застосовують у назвах та визначеннях понять, коли вирішувані завдання технічного діагностування рівнозначні або основним завданням технічного діагностування є пошук місця та визначення причин відмови (несправності). Термін «контроль технічного стану» застосовується, якщо основним завданням технічного діагностування є визначення виду технічного стану.

Технічний стан об'єкта – стан, який характеризується в певний момент часу за певних умов зовнішнього середовища значеннями параметрів, що встановлені технічною документацією на об'єкт.

Точність виміру – характеристика виміру, яка відбиває ступінь близькості його результатів до фактичного значення вимірюваної величини. Чим менша погрішність виміру, тим вища точність.

Точність діагностування – властивість діагностування, яка характеризується близькістю результатів діагностування до дійсних значень характеристик об'єкта у визначених умовах діагностування.

Узагальнення – логічна дія, у процесі якої здійснюється перехід від одиночного до загального. Узагальнення відбуваються шляхом абстрагування при створенні понять, суджень, теорії, результатів експерименту.

Універсальний засіб діагностування – засіб, призначений для діагностування (контролю) об'єктів різних типів.

Уніфікована апаратура діагностування – апаратура, яка входить до складу спеціалізованих і (або) універсальних засобів діагностування (контролю).

Характеристика контролепридатності – конструкторський документ, який містить інші відомості про пристосованість об'єкта до діагностування (контролепридатність). До відомостей про пристосованість об'єкта до діагностування (контролепридатність) належать: задавання діагностування, перелік діагностичних (контрольованих) параметрів, стимулюючих та контрольованих сигналів, алгоритм діагностування (контролю), норми показників діагностування (контролю) тощо.

Ціль управління визначається функціональним призначенням об'єкта управління і полягає у зміні бажаним чином його стану.

Глава 17. Застосування нейромережних систем в управлінні технічними системами	242
17.1. Класифікація штучних нейронних мереж.....	242
17.2. Властивості нейромережних систем	245
17.3. Область функцій, виконуваних нейронною мережею.....	247
17.4. Практичне застосування	251
Контрольні питання і завдання.....	254
Розділ IV. Технічні засоби кібернетичних систем транспорту	255
Глава 18. Первинні засоби одержання інформації про стан технічних систем.....	255
18.1. Призначення й класифікація вимірювальних перетворювачів	255
18.2. Структурні схеми основних типів застосовуваних перетворювачів	259
18.3. Функції перетворення	263
18.4. Посилення, обробка й перетворення сигналів	270
Контрольні питання і завдання.....	274
Глава 19. Основні засоби й компоненти управління технічними системами.....	275
19.1. Мікропроцесори й мікроконтролери	275
19.2. Засоби візуальної, звукової і світлової індикації інформаційно-обчислювальної мережі автомобілів	280
19.3. Засоби електронних систем керування двигуном.....	282
19.4. Електронні обчислювальні машини.....	286
19.5. Інформаційні контрольно-діагностичні системи	290
Контрольні питання і завдання	298
Глава 20. Системи автоматичного управління транспортними машинами	299
20.1. Системи управління двигуном	299
20.2. Системи управління трансмісією	303
20.3. Системи управління гальмуванням	306
20.4. Система управління мікрокліматом у салоні автомобіля.....	308
20.5. Комп'ютерна система діагностування автомобільних двигунів на стенді з біговими барабанами.....	310
Контрольні питання і завдання.....	314
Терміни і поняття в кібернетичі.....	315
Предметний покажчик	321
Література	325

CONTENTS

Introduction	15
SECTION I. Theory of cybernetics	17
Chapter 1. Subject, tasks, classification and methodology of cybernetics	17
1.1. Subject of cybernetics	17
1.2. Objects of cybernetics.....	19
1.3. Tasks of cybernetics.....	20
1.4. Classification of cybernetics	20
1.5. Methodology of cybernetics	21
Control questions and tasks	22
Chapter 2. Basic concepts of the theory of control of objects of engineering systems	23
2.1. Objects and objectives of control.....	23
2.2. Mathematical model of the object of control	24
2.3. Condition of the object of control and control action.....	25
2.4. Exciting influence and measuring data.....	28
2.5. Endurance and control.....	31
2.6. Power of observation .Quality of control and indicators of quality of control.....	33
Control questions and tasks	35
Chapter 3. Models and modelling in cybernetics	36
3.1. Concepts of models and modelling	36
3.2. Physical model	38
3.3. Mathematical modelь.....	39
3.4. Cybernetic modelь.....	43
3.5. «Black box».....	44
3.6. Modelling of automatic control systems (ACS).....	45
3.7. Building of graph-models in information technologies and functioning of machines.....	46
3.8. Imitation modelling	51
3.9. Network graph-schemes of production control	55
Control questions and tasks	55
Chapter 4. Cybernetic system and control.....	57
4.1. System, subsystem, structure, element, connection	57
4.2. Controlled cybernetic systema.....	61
4.3. Direction of the system and dynamic properties.....	63

Системи технічного діагностування – сукупність засобів, об'єкта та виконавців, необхідних для проведення діагностування (контролю) за правилами, встановленими технічною документацією.

Системний аналіз – сукупність методологічних засобів, які використовуються для підготовки й обґрунтування рішень зі складних проблем економіки, науки, технічного характеру та ін.

Системний підхід – напрямок методологічного наукового пізнання й соціальної практики, в основі якого лежить розгляд об'єктів як систем; цей напрямок орієнтує дослідника на розкриття цілісності об'єкта, виявлення різноманітних типів зв'язків в ньому і зведенні їх у єдину теоретичну картину.

Системотехніка – науковий напрямок, який охоплює проектування, створення, випробування й експлуатацію складних систем.

Спеціалізований засіб діагностування – засіб, призначений для діагностування (контролю), одного об'єкта чи груп однотипних об'єктів.

Спостереження – якісна виглядова властивість вимірювальної системи, розглянутої у сукупності з об'єктом управління як джерело інформації про стан об'єкта управління. Властивістю спостереження визначаються можливості вимірювальної системи з повного чи часткового відтворення інформації про стан об'єкта управління шляхом спостереження значень вимірюваних параметрів в умовах відсутності шумів вимірів.

Стандарти – нормативні документи, що встановлюють єдині вимоги щодо основних властивостей будь-якої продукції або виду робіт.

Стимульований сигнал – сигнал, який подають на вхід об'єкта з метою отримання інформації про його технічний стан.

Структура системи – сукупність усіх елементів чи підсистем, що забезпечує цілісність, стійкість і тотожність системи самій собі при різних зовнішніх і внутрішніх змінах.

Теорія інформації – розділ кібернетики, у якому за допомогою математичних методів вивчаються способи виміру кількості інформації, що міститься в будь-яких повідомленнях, способи кодування для представлення повідомлень і надійності передачі їх за каналами зв'язку з перешкодами.

Теорія кодування – розділ теорії інформації, який вивчає способи ототожнення повідомлень із сигналами, які їх відображають.

Технічна кібернетика – наука про загальні закони функціонування різних технічних систем одержання, збереження, передачі й перетворення інформації у складних системах управління динамічними об'єктами і технологічними процесами.

Об'єкт кібернетики – процеси управління складними динамічними технічними системами: транспортні засоби, машини, поточкові лінії, агрегати, станції й системи діагностування й управління машинами, транспортні підприємства обслуговування й ремонту.

Об'єкт технічного діагностування – виріб та (або) його складові частини, які підлягають діагностуванню (контролю).

Обґрунтування керуючої дії – це, насамперед, обґрунтовано обране найкраще рішення серед декількох можливих, що ведуть до досягнення мети.

Повідомлення – сукупність відомостей, створюваних джерелом і підлягаючих передачі. Повідомлення – форма представлення інформації з послідовності (комбінації) знаків і сигналів.

Повнота технічного діагностування – характеристика, яка визначає можливість виявлення відмов (несправностей) в об'єкті за умови обраного методу його діагностування (контролю).

Показники якості управління – велика кількість показників якості системи управління, які характеризують властивості керованих процесів і ступінь досконалості застосовуваних методів і систем управління в цілому з погляду досягнення поставленої мети управління.

Пристосованість об'єкта до діагностування (контролепридатність) – властивість об'єкта, яка характеризує його придатність до діагностування.

Прогнозування технічного стану – визначення технічного стану об'єкта із заданою ймовірністю на наступний інтервал часу.

Самодіагностування – діагностування (контроль) об'єкта діагностування (контролю) за допомогою вмонтованих засобів діагностування (контролю) чи спеціальних програм.

Синтез – поєднання раніше виділених частин предмета дослідження в одне ціле.

Система – безліч елементів, що знаходяться у відношеннях і зв'язках один з одним та створюють визначену цілісність, єдність.

Система «людина-машина» – складна система, у якій «людина-оператор» (група операторів) взаємодіють із технічним обладнанням у процесі виробництва матеріальних цінностей, управління, обробки інформації та ін.

Система управління – сукупність керованого об'єкта і пристроїв управління – засобів збирання, обробки, передачі інформації й формування керуючих сигналів чи команд, дії яких спрямовано на підтримку чи поліпшення роботи технічної системи.

4.4. System management.....	64
Control questions and tasks	66
Chapter 5. Information in cybernetics	67
5.1. Concepts, sources and forms of information	67
5.2. Amount of information.....	68
5.3. Information in the control system.....	70
5.4. Information transfer	72
5.5. Modulation of Information carriers.....	75
5.6. Memory.....	75
Control questions and tasks	76
Chapter 6. Automatic control systems of objects of engineering systems	77
6.1. Tasks of control.....	77
6.2. Closed-loop control	78
6.3. Feedforward control system.....	80
6.4. Combined system of control.....	81
6.5. Composition of the task of control.....	82
Control questions and tasks	83
Chapter 7. Information theory of entropy of transmission of messages and assessment of results of measurements.....	84
7.1. Entropy of information	84
7.2. Entropy of the results of diagnostic measurements.....	87
Control questions and tasks	95
Chapter 8. Coding of information and programming	96
8.1. Concepts, objective and tasks of coding.....	96
8.2. Types of coding of messages in the tasks of control of working processes	98
8.3. Ways of presentation of codes.....	101
8.4. Coding of signals in the tasks of diagnosis.....	109
8.5. Coding of signals for increasing the speed of transfer and noise immunity of data.....	114
8.6. Logical and machine programming.....	117
Control questions and tasks	118
SECTION II. Cybernetic systems of control of technical state and movement of vehicles.....	119
Chapter 9. Information support of designing quality control.....	119
9.1. Designing from the position of the theory of cognition.....	119
9.2. Objectives of control and leading indicators of quality of vehicles.....	122

9.3. Information description of vehicle as a cybernetic system.....	124
9.4. Diagnostics as a basis of control of the state of vehicles	133
9.5. Classification of objects and rating of their technical characteristics	138
Control questions and tasks	141
Chapter 10. Measurement of parameters of vehicles as the method of obtaining diagnostic information	142
10.1. Objectives and tasks of diagnostic measurements.....	142
10.2. Classification of types and methods of measurements	143
10.3. Instruments of measurements.....	147
10.4. Functional dependence of measurement	151
Control questions and tasks	152
Chapter 11. Accuracy and probability of obtaining information when doing diagnostics	153
11.1. Concept of accuracy and probability of diagnostics	153
11.2. Inaccuracy of measurements, classification. Processing of the results of measurements	154
11.3. Identification and deletion of gross errors (blunders).....	159
11.4. Accuracy of measure and measuring instruments.....	160
11.5. Accuracy and probability of control-diagnostic operations.....	161
11.6. Quality of measurements	168
Control questions and tasks	170
Chapter 12. Information carrying capacity of signaling in the channels of measurement and control of engineering systems.....	172
12.1. Parameters which characterize information	172
12.2. Information carrying capacity of measuring chain and cybernetic characteristic of accuracy.....	173
12.3. Saving of information content of signals.....	176
12.4. Information flows in communication channels and ways of their division	181
Control questions and tasks	184
Chapter 13. Identification, recognition and control of road traffic	185
13.1. Visual recognition of images.....	185
13.2. Recognition of images and state of vehicles by standardized signs and classes	186
13.3. Automatic control of the trajectory of movement of vehicle on the road	189
13.4. Navigation systems of information about the location of the vehicle	191

Зовнішній засіб діагностування – засіб діагностування (контролю), який конструктивно виконано окремо від об'єкта.

Імовірність невиявленої відмови (несправності) – умовна імовірність того, що за наявності відмови (несправності) у результаті діагностування приймається рішення про відсутність відмови (несправності) у даному елементі (групі).

Імітація – відтворення процесу, режимів роботи, інших умов на моделях чи натурних зразках технічних систем за програмою дослідження.

Керуючі впливи – такі впливи на об'єкт управління, що піддаються бажаній зміні і спрямовані на досягнення мети управління. Керуючі впливи можуть бути силовими, тепловими, електричними та ін. Для більшості об'єктів основним видом керуючих впливів є сили й моменти, сформовані за допомогою органів управління.

Кодування – процес перетворення повідомлення в упорядкований набір символів, елементів, знаків. Кодування застосовують при передачі, збереженні й перетворенні інформації, в задачах діагностування.

Контроль технічного стану – перевірка відповідності значень параметрів об'єкта вимогам технічної документації та визначення на цій основі одного з заданих видів технічного стану в даний момент часу. Видами технічного стану є, наприклад, «справний», «працездатний», «несправний», «непрацездатний» тощо, в залежності від значень параметрів у даний момент часу.

Контроль функціонування – контроль виконаних об'єктом частини або всіх властивих йому функцій.

Контрольна точка – місце розташування первинного джерела інформації про діагностований (контрольований) параметр.

Контрольний прилад – сукупність вхідних сигналів, які необхідно подати на вхід об'єкта, та сукупність вихідних даних, які має бути сформовано об'єктом.

Контрольований сигнал – сигнал, який надходить до засобу діагностування (контролю) і несе інформацію про технічний стан об'єкта.

Метод дослідження – засіб досягнення мети, пізнання явищ дійсності в їх взаємозв'язку й розвитку. Це – спосіб відтворення досліджуваного об'єкта або предмета.

Модель – об'єкт будь-якої фізичної природи, який здатен замінити досліджуваний об'єкт – оригінал – таким чином, що вивчення моделі як більш доступного об'єкта дає нові знання про оригінал.

Вмонтований засіб діагностування – засіб діагностування (контролю), який є складовою частиною об'єкта.

Глибина пошуку місця відмови (несправності) – характеристика, задана зазначенням складової частини об'єкта, із точністю до якої визначається місце відмови (несправності).

Джерело інформації – будь-який матеріальний об'єкт, основною особливістю якого є те, що в ньому створюється сукупність відомостей про його стан та про діючі процеси, явища, події.

Діагностований параметр – параметр об'єкта, використовуваний при його діагностуванні (контролі).

Діагностична модель – формалізований опис об'єкта, необхідний для вирішення завдань діагностування (контролю). Опис може бути подано в аналітичній, табличній, графічній та інших формах.

Діагностичне забезпечення – комплекс взаємно погоджених правил, методів, алгоритмів і засобів, необхідних для здійснення діагностування на всіх етапах життєвого циклу об'єкта.

Допуск параметра – різниця між верхнім і нижнім гранично припустимими значеннями параметра.

Достовірність технічного діагностування – ступінь об'єктивної відповідності діагноза (результата контролю) дійсному технічному стану об'єкта.

Експеримент – апробація досліджуваних явищ у контрольованих, штучно створених умовах.

Ентропія – міра хаотичності, невизначеності, випадковості повідомлення. В інформатиці ентропію можна точно визначити як математичне співвідношення питомої кількості інформації.

Засіб діагностування – апаратура та програми, за допомогою яких здійснюється діагностування (контроль).

Зворотний зв'язок в управлінні об'єктом – передача відомостей про стан об'єкта управління, а отже, і про результати управління, у керуючу частину. Зворотний зв'язок дозволяє коректувати управління в залежності від дійсного стану об'єкта управління.

Зворотний зв'язок у системі діагностування – слугує для отримання інформації про реакцію об'єкта діагностування після управління, перевірки результатів управління шляхом порівняння очікуваних оптимальних значень показників машини з фактичними показниками й коригування впливів із метою досягнення заданих чи нормативних результатів технічного стану.

13.5. Automatic regulation of speed and assurance of high safety of movement of the vehicle.....193

13.6. Vehicles with cybernetic systems –robots195

Control questions and tasks196

Chapter 14. Systems of management of enterprises and technological processes198

14.1. Automated control systems198

14.2. Human operator as a control object.....199

14.3. Information systems of ACS.....200

14.4. Types of automated control systems.....202

14.5. Automated control systems of technological processes.....204

14.6. Automated control system of production.....206

14.7. Expert methods of making managerial decisions under conditions of insufficient information.....207

14.8. Procedure of search of optimal variant of making engineering solution210

14.9. Methods of making engineering solutions when optimizing the conditions of technical maintenance of vehicles220

Control questions and tasks223

Chapter 15. Cybernetic system «human being-machine-environment»224

15.1. Tasks and basic characteristics of the system.....224

15.2. Human driver as a link of complex cybernetic system «human being – machine – environment»225

15.3. Controlled systems «vehicle – driver – conditions of operation»226

15.4. Intellect, experience and judgments of a human being in driving a motor vehicle.....228

Control questions and tasks229

SECTION III. Engineering systems of control and artificial intelligence230

Chapter 16. Artificial intelligence in control systems230

16.1. State of the problem230

16.2. Human mind, personality and computers231

16.3. Consciousness and human intellect. Artificial intellect and artificial consciousness237

16.4. Properties and characteristics of created artificial neuronal networks.....238

Control questions and tasks	241
Chapter 17. Use of neuronet systems in control of technical systems	242
17.1. Classification of artificial neuronal networks.....	242
17.2. Properties of neuronet systems.....	245
17.3. Sphere of functions performed by neuronal network	247
17.4. Practical application	251
Control questions and tasks	254
SECTION IV. Engineering means of cybernetic systems of transport.....	255
Chapter 18. Primary ways of obtaining data about technical state of vehicles.....	255
18.1. Purpose and classification of measuring transformers	255
18.2. Structural schemes of main types of the used transformers	259
18.3. Function of transformation.....	263
18.4. Amplification of signals, processing and transformation of signals	270
Control questions and tasks	274
Chapter 19. Main ways and components of control of engineering systems.....	275
19.1. Microprocessors and microcontrollers	275
19.2. Means of visual, sound and light indication of data-processing net of motor vehicles.....	280
19.3. Means of electronic systems of engine control	282
19.4. Computers.....	286
19.5. Informational control and diagnostic systems.....	290
Control questions and tasks	298
Chapter 20. Systems of automatic control of transport vehicles.....	299
20.1. Systems of engine control.....	299
20.2. Transmission control systems	303
20.3. Braking control systems.....	306
20.4. Microclimate control in passenger compartment of motor cars	308
20.5. Computer system of diagnostics of car engines on test rig with chassis dynamometers.....	310
Control questions and tasks	314
Terms and concepts.....	315
Subject index.....	321
Literature	323

Терміни і поняття в кібернетиці

Абстрактні системи – поняття, гіпотези, теорії, наукові знання про системи, логічні системи та ін.

Автоматичний засіб діагностування – засіб діагностування (контролю), який функціонує без участі оператора.

Автоматизований засіб діагностування – засіб діагностування (контролю), який функціонує з частковою участю оператора.

Алгоритм діагностування (контролю) – сукупність приписів, які визначають послідовність дій у процесі діагностування (контролю).

Аналіз – розчленування цілого на складові частини (сторони, ознаки, властивості, відносини) із метою їх детального вивчення.

Безперервне діагностування – діагностування (контроль), за якого надходження інформації про технічний стан об'єкта відбувається безперервно.

Вірогідність діагностування – здатність методів і засобів вимірювань правильно відбивати фактичний технічний стан об'єкта діагностування. Вона залежить, з одного боку, від повноти одержаної у процесі діагностування інформації, що, у свою чергу, зумовлюється вибором контрольованих параметрів, а з іншого – від можливих втрат інформації внаслідок недосконалості методів діагностування.

Вимірювальна система – комплекс засобів вимірювання і допоміжних пристроїв із компонентами зв'язку (провідні, телевізійні та ін.), призначений для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для автоматичної обробки, передачі і (чи) використання в автоматичних системах управління.

Вимірювальна установка – сукупність функціонально об'єднаних засобів виміру і допоміжних пристроїв, розташованих в одному місці

Вимірювальний прилад – засіб виміру, призначений для переробки сигналу вимірювальної інформації в іншій, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем, формі.

Вимірювальні перетворювачі – засоби вимірів, призначені для вироблення сигналу вимірювальної інформації у зручній для передачі формі, подальшого перетворення, обробки, збереження, але недоступної для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

рівного опору, защемленої одним кінцем. На балці наклеєно чотири тензорезистори (по два з кожного боку), які включено до схеми моста, що живиться постійним струмом, і схеми підсилювача комп'ютерної системи зчитування інформації.

Керуючі впливи на вимірювальні модулі M1 і M2 здійснюються за допомогою схеми керування модулями. Вона дозволяє включати й виключати перетворювач напруги ПН стробоскопічного ліхтаря, у необхідні моменти часу включати пристрій блокування іскри, керувати форсунками при їх перевірці і т. д.

Результати виміру діагностичних параметрів у графічному й цифровому виді виводяться на екран для аналізу оператором. За наявності достатньої кількості додаткової інформації процес діагностування можна автоматизувати аж до постановки діагнозу й рекомендацій щодо усунення несправностей [43].

Контрольні питання і завдання

1. Наведіть схему системи автоматичного управління автомобільним двигуном.
2. Наведіть схему системи автоматичного управління трансмісією.
3. Наведіть схему системи автоматичного управління гальмуванням.
4. Наведіть схему системи автоматичного управління мікрокліматом у салоні автомобіля.

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку науки й техніки спостерігається тенденція глобальної математизації й кібернетизації знань.

Кібернетика як наука про загальні закони функціонування різних технічних систем одержання, передачі й перетворення інформації є теоретичною і методологічною основою аналізу й оптимального синтезу складних керованих систем будь-якої фізичної природи. Кібернетика розглядає технічні й нетехнічні об'єкти абстрактно, поза залежністю від їх матеріальної природи. Розвиток кібернетики в теоретичному й прикладному аспектах пов'язаний з прогресом створення систем автоматичного управління динамічними об'єктами, технологічними процесами й системами автоматизації розумової праці.

Технічна кібернетика – це базова дисципліна, у якій викладаються основи сучасної теорії систем. Вона розглядає машини й механізми не з погляду їх конструкції, а як об'єктів управління й послідовності впливу один на одного визначених фізичних параметрів системи. Кібернетика інтерпретує роботу системи (об'єкта) з інформаційної точки зору, глибоко не вникаючи в сутність реальних фізичних явищ, вона розглядає тільки інформацію, яку переносять вхідні й вихідні сигнали, і встановлює залежність вихідної величини від вхідної. Під інформацією розуміється цілеспрямоване повідомлення про зміну якого-небудь фізичного параметра.

Курс технічної кібернетики покликаний дати студентам поняття в області управління транспортом, навчити їх методам аналізу й синтезу технічних систем оптимального управління, змусити студента творчо й системно аналізувати проблему, показати, що існує багато методів вирішення поставлених перед ним задач, що від нього залежить вибір найкращого рішення для даних конкретних задач, що вибір керуючих впливів залежить від достатності використаної інформації, прийнятих моделей і припущень при рішенні задач і що один він відповідає за прийняте ним рішення.

Посібник складається з 20 глав, систематизованих у чотирьох розділах, у яких викладено основи технічної кібернетики транспорту.

Для формування у студента теоретичних знань в області кібернетики транспорту в першому розділі посібника (глави 1 – 8) наведено основні поняття про теорію управління технічними системами, розглянуто методологію кібернетики, моделі й моделювання в кібернетиці, роль інформації у кібернетиці, кібернетичні системи управління технічними системами, інформаційна ентропія передачі повідомлень у каналах зв'язку, а також результатів вимірів параметрів машин, кодування інформації й елементи

програмування. Ця частина книги готує студента до розвитку творчої думки в постановці вирішення практичних задач.

Особливістю проблеми оптимального управління транспортом є її зв'язок з усіма етапами життєвого циклу транспортних засобів: проектування, виготовлення, експлуатація, технічне обслуговування (СТО, АТП) й використання. Тому в іншому розділі (глави 9 – 15) основну увагу приділено інформаційному забезпеченню управління якістю проектування й збереження проектної якості транспортних засобів при експлуатації, оцінці точності й вірогідності вимірів параметрів машин, інформаційної пропускну здатності передачі сигналів у каналах виміру й зв'язку в системах управління підприємствами і технологічними процесами, розробці алгоритмів і розпізнаванню образів технічного стану машин.

Важливим об'єктом вивчення технічної кібернетики транспорту є автоматичні системи управління машинами й підприємствами, які розглядають людину як об'єкт управління і як керуючу ланку. У зв'язку з цим у главах 14 і 15 розглянуто кібернетичні системи: людина – машина – середовище, людина – оператор, автомобіль – водій – умови експлуатації, роль інтелекту й досвіду людини в управлінні транспортом.

З урахуванням актуальності подальшого розвитку систем автоматичного управління складними динамічними системами на базі штучних нейронних мереж з'явилася необхідність у третьому розділі (глави 16, 17), у якому розглянуто функції інтелекту людини, характеристики створених штучних нейронних мереж, застосування нейромереж систем в управлінні технічними системами.

Для формування у студентів практичних знань про засоби автоматичного управління й засоби одержання, передачі й перетворення інформації, про обчислювальну техніку і розроблені бортові системи автоматичного управління й діагностування автомобілів в останньому четвертому розділі (глави 18 – 20) розглянуто: основні типи й функції застосовуваних перетворювачів сигналів, підсилювачі сигналів, будова і характеристики мікропроцесорів, мікроконтролерів, мікроЕОМ, аналогових перетворювачів, ЕОМ загального призначення й комп'ютерів; наведено розроблені електронні системи автоматичного керування автомобілями.

Викладений у навчальному посібнику матеріал може бути використано не тільки студентами, що відповідно до навчальної програми вивчають дисципліну «Технічна кібернетика транспорту», а й при підготовці випускних робіт бакалаврів і магістрів, для аспірантів, що працюють над проблемами розробки кібернетичних систем управління й організації процесів проектування й експлуатації транспортних машин.

використанням установленної на модулі двоходової пам'яті типу FIFO. У такому режимі забезпечується безперервність оцифровки вхідного сигналу тривалий час без прояву часової нестабільності моменту запуску. Це дозволяє формувати вибірки великих обсягів, що особливо важливо при виявленні в автомобільних двигунах несправностей, пов'язаних із пропусками спалахів і ін.

Перераховані операції здійснюються під програмним управлінням через схему управління модулем АЦП.

До складу діагностичних параметрів входять кілька однотипних фізичних величин: витрати рідин і газів, тиск, оптична щільність, електрична напруга й сила струму. У процесі поглибленого чи повузлового діагностування вимірюють такі параметри:

- у системі *запалювання* – напруги в первинній і вторинній обмотках котушки запалювання, кут випередження та силу струму іскрового розряду;
- у системі *впуску повітря* – витрату повітря та розрідження у впускному колекторі;
- у системі *впорскування бензину* – тривалість упорскування, тиск, температуру й витрату палива;
- у системі *випуску* – склад та оптичну щільність газів;
- у *циліндро-поршневій групі* – тиск у циліндрі та витрату картерних газів.

За перерахованими параметрами за видами фізичних величин контролюють:

- а) тиск (розрідження) у впускному колекторі, динамічний тиск відпрацьованих газів, тиск палива в рампі й тиск у циліндрі;
- б) витрату палива, повітря, картерних газів;
- в) температуру палива;
- г) час – тривалість упорскування й випередження запалювання;
- д) напругу в первинному й вторинному ланцюзі системи запалювання;
- е) силу струму у вторинному ланцюзі системи запалювання;
- ж) склад та оптичну щільність відпрацьованих газів;
- з) частоту обертів колінчатого валу та коліс автомобіля;
- и) крутний момент на бігових барабанах стєнда.

Крутний момент, який передається від (або до) лівого та правого коліс, на стєнді з біговими барабанами здійснюється за допомогою тензобалки

Таблиця 20.1

Перелік діагностичних модулів

Найменування модуля	№ датчика	Фізична величина
Модулі М1 контролю параметрів системи запалювання	1.1	Сила струму в ланцюзі розряду (ідентифікація циліндра, ip)
	1.2	Напруга вторинного ланцюга (U2m)
	1.3	Напруга первинного ланцюга (U2m)
	1.4	Кут випередження запалювання (фоз)
Модулі М2 контролю параметрів системи впорскування бензину	2.1	Тривалість впорскування (твп)
	2.2	Тиск палива в рампі (Рт)
	2.3	Витрата палива (Gт)
	2.4	Температура палива (tt)
Модулі М3 контролю параметрів системи впуску	3.1	Розрідження у впускному колекторі (Рвп)
	3.2	Витрата повітря (Gв)
Модулі М4 контролю параметрів системи випуску	4.1	Динамічний тиск (ВГ P _{ig})
	4.2	Склад ВГ: СО, СН, NO
	4.3	Оптична щільність (ВГ–ОЩ)
Модуль М5 контролю циліндро-поршневої групи	5.1	Тиск стиснення в циліндрі (Pc)
	5.2	Витрата картерних газів (Gкг)
Модуль М6 контролю потужності на бігових барабанах	6.1	Частота обертів лівого колеса
	6.2	Частота обертів правого колеса
	6.3	Крутний момент на барабанах

Технічні характеристики модуля:

кількість вхідних каналів – 32;

кількість розрядів вихідного коду – 12 двійкових розрядів;

Час перетворення – 1,4 мкс;

ОЗП – FIFO, 2048 слів, 16 біт;

базовий діапазон вхідної напруги – від -5 В до +5 В.

Модуль АЦП дозволяє:

- вимірювати значення напруги за 32 каналами із загальним проводом у довільному порядку з електронним переключенням коефіцієнта підсилення;
- здійснювати програмне опитування заданої кількості каналів за сигналами вбудованого таймера з записом-читанням результатів із

РОЗДІЛ 1 ТЕОРІЯ КІБЕРНЕТИКИ

Глава 1. ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧІ, КЛАСИФІКАЦІЯ Й МЕТОДОЛОГІЯ КІБЕРНЕТИКИ

1.1. Предмет кібернетики.

1.2. Об'єкти кібернетики.

1.3. Задачі кібернетики.

1.4. Класифікація кібернетики.

1.5. Методологія кібернетики.

XXI століття характерне переходом людської цивілізації від постіндустріального суспільства до інформаційного, тобто до інформатизації й кібернетизації всіх сфер людської діяльності. Інформатизація – це процес створення, розвитку і загального застосування інформаційних засобів і технологій, що забезпечують досягнення й підтримку рівня інформованості всіх членів суспільства, необхідного й достатнього для кардинального поліпшення якості праці й умов життя в суспільстві. При цьому інформація стає найважливішим стратегічним ресурсом у суспільстві і займає ключове місце в економіці, освіті й культурі. Неминучість інформатизації суспільства зумовлена різким відновленням ролі й значення інформації. Інформаційне суспільство характеризується високорозвиненим інформаційним середовищем, що включає діяльність людини зі створення, переробки, збереження, передачі й нагромадження інформації.

1.1. Предмет кібернетики

Технічна кібернетика – наука про загальні закони функціонування різних технічних систем одержання, збереження, передачі і перетворення інформації в складних системах управління динамічними об'єктами і технологічними процесами.

Усі процеси управління, де б вони не протікали і якими б різноманітними не були, підкоряються тим самим найзагальнішим об'єктивним законам, вивченням яких займається кібернетика. Кібернетика як наука є

теоретичною і методологічною основою аналізу й оптимального синтезу складних керованих систем будь-якої фізичної природи.

Межі й зміст цієї науки ще не цілком встановилися. Усе рішучіше претендує на самостійність інформатика як наука й технологія збирання, збереження, передачі, переробки й відображення інформації.

Кібернетика ввела в науку як найважливіші загальнонаукові категорії поняття «управління» і «інформація», розкрила їх взаємозв'язок.

Кібернетичні підходи й методи разом з ЕОМ плідно охоплюють усі галузі знання і всю людську практику. Завдяки успіхам кібернетики людина все більш звільняє себе від рутинної (як фізичної, так і розумової) праці для роботи творчої.

Під технічною кібернетикою розуміють використання ідей і методів кібернетики до того чи іншого технічного напрямку, наприклад, транспорту. Кібернетика є теоретичною базою, на основі якої зважуються проблеми автоматичного управління технічними системами.

Предметом технічної кібернетики є процеси одержання, обробки, збереження інформації й процес управління в складних динамічних технічних системах. Аналіз і синтез інформаційних процесів і алгоритмів управління якістю проектування машин, створення систем управління, що реалізують ці алгоритми в процесі використання й функціонування машин.

Основною метою технічної кібернетики є вивчення й оптимізація систем управління технічними системами.

Змістом теоретичної частини кібернетики є вивчення сукупності теоретичних проблем, що належать до систем і процесів управління в них.

Кібернетика у своїх теоретичних основах – наука високого ступеня абстрагування. У ній багато абстрактних понять і образів. Тому її вивчення вимагає визначених навичок абстрактного мислення. З погляду кібернетики технічна система являє собою комплекс взаємозалежних технічних засобів, що забезпечують перетворення маси, енергії й інформації для досягнення мети (рис. 1.1).

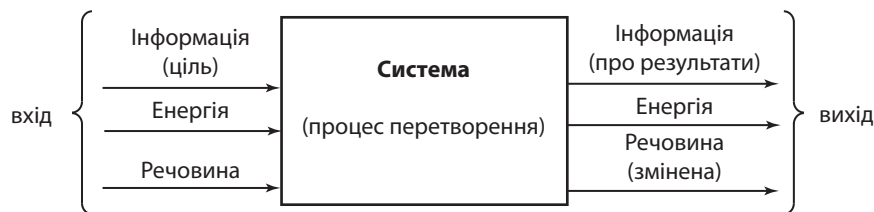


Рис. 1.1. Технічна система

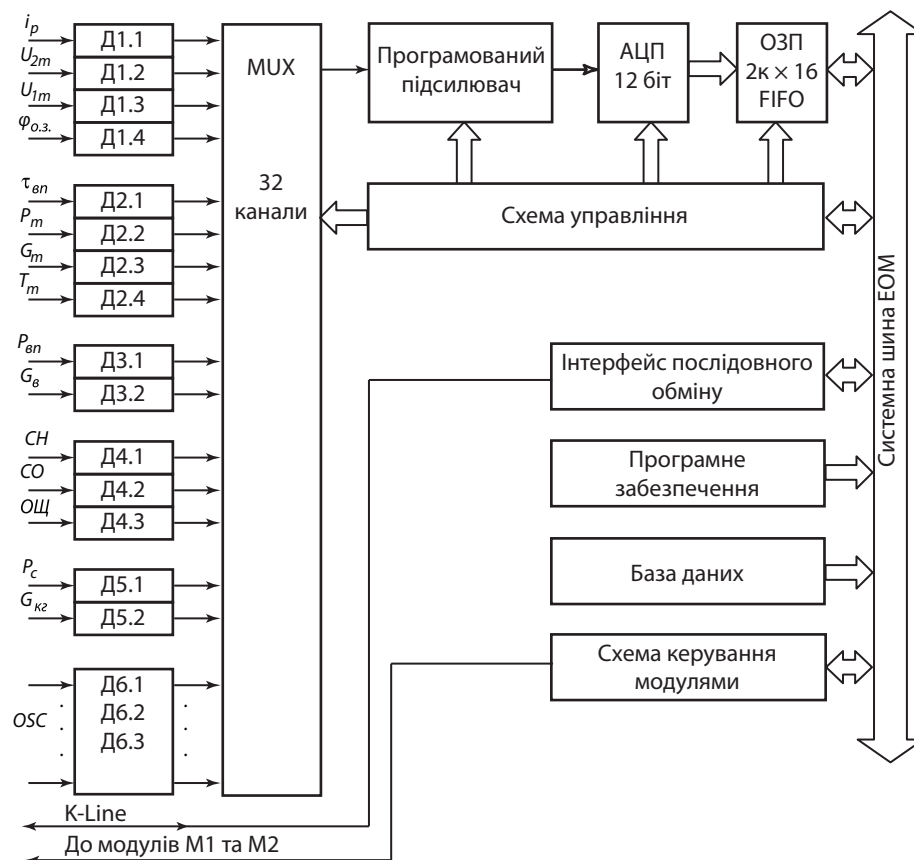


Рис. 20.11. Структурна схема комп'ютерної системи діагностування автомобільних двигунів на стенді з біговими барабанами

Модулі АЦП, що сполучаються з ЕОМ, випускаються різними фірмами різної структури, швидкодії і з різною кількістю каналів. При синтезі системи важливо правильно визначити структуру і технічні характеристики модуля, щоб обрати потрібний з числа наявних на ринку.

При розробці схеми діагностичної системи відповідно до зазначеної структури й вимог було обрано модуль АЦП типу SDI-AD12-128H, призначений для роботи з ПЕОМ типу IBM PC/AT з ISA-шиною.

На рис. 20.11 позначено: OSC – багатоканальний цифровий осцилограф, ОЗП – оптикоелектронний перетворювач.

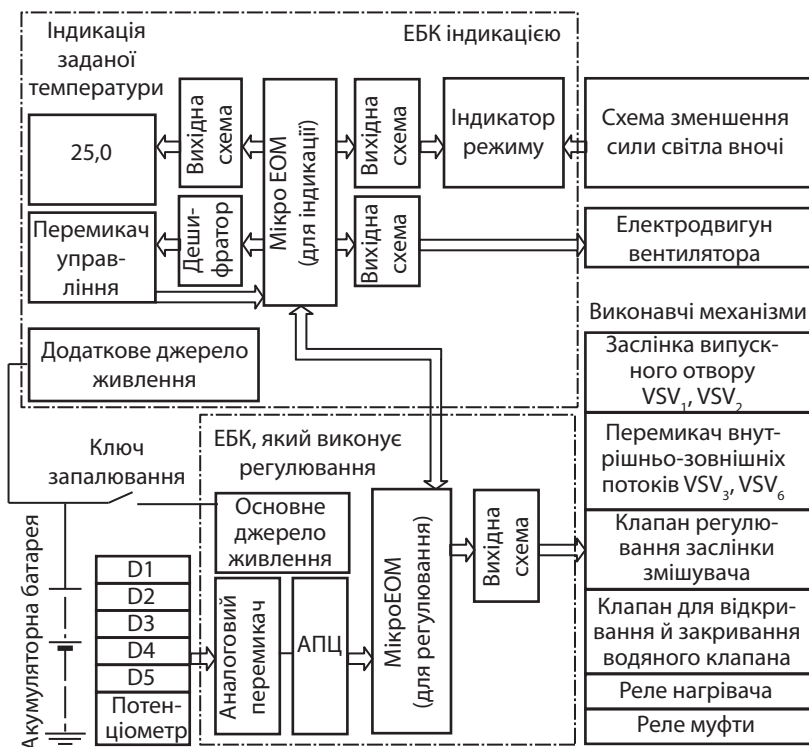


Рис. 20.10. Структура ЕБК автоматичного кондиціонера:

D1 і D2 – датчики температури повітря відповідно у салоні і поза ним; D3 – датчик інтенсивності сонячного випромінювання; D4 – датчик випарника; D5 – датчик температури охолоджуючої рідини

20.5. Комп'ютерна система діагностування автомобільних двигунів на стенді з біговими барабанами

Структурну схему комп'ютерної системи діагностування автомобільних двигунів на стенді з біговими барабанами, розроблену професором А. Н. Пойдою, наведено на рис. 20.11 [43]. У наведеній схемі модуль АЦП представлено аналоговим комутатором MUX (32 канали), програмованим підсилювачем, 12-бітним АЦП, двохпортовим оперативним запам'ятовуючим пристроєм (ОЗП) ємністю 2048 слів (типу FIFO) і схемою керування АЦП.

Перелік діагностичних модулів M1...M5, що входять до складу діагностичної системи та їх фізичних величин, наведено в табл. 20.1, де ВГ – відпрацьований газ, ОЩ – оптична щільність.

У кібернетиці розглядаються системи машин, агрегати й механізми не з погляду їх конструкції, а з погляду об'єктів управління й послідовності впливу один на одного визначених фізичних параметрів. Кібернетика інтерпретує роботу об'єкта (системи) з інформаційної точки зору, глибоко не вникаючи у сутність реальних фізичних явищ. Вона розглядає тільки інформацію, що переноситься вхідними й вихідними сигналами, і встановлює залежність вихідної величини від вхідної.

Кібернетика, як і будь-яка наука, має свою систему понять, термінологію, методологію. Вона оперує такими термінами, як «велика система», «кібернетична система», «управління» і «оптимальне управління», «інформація», «зворотний зв'язок», «моделювання», «чорна шухляда», «розпізнавання образів», «штучний інтелект», «штучні нейрони», «нейронні мережі», «нейроінформатика» і т. д.

1.2. Об'єкти кібернетики

Основним об'єктом вивчення кібернетики є процес управління складними динамічними технічними системами: транспортні засоби, машини, потокові лінії, агрегати, станції й системи діагностування й управління машинами, транспортні підприємства обслуговування й ремонту. Як суб'єкт експлуатації й обслуговування виступає людина-оператор, людина-водій, що використовує й обслуговує машини.

До кібернетичних систем можна віднести різні автоматичні регулятори в техніці (регулятори тиску й температури), діагностичне устаткування, автомати, ЕОМ і т. д. Кібернетичні системи поділяються на безупинні й дискретні, для їх вивчення застосовуються різні математичні апарати. Для безперервних систем (автомобілі й інші машини) основним математичним апаратом є звичайні диференціальні рівняння, варіаційне числення, теорія графів, теорія ймовірності, програмування. Для дискретних систем (ЕОМ і мікропроцесори) – теорія алгоритмів і теорія автоматів. Загальним математичним апаратом є теорія інформації. У прикладних задачах розробка робочих систем і апаратів часто буває набагато складнішою за розробку математичного методу.

Технічна кібернетика займається технічними, штучно створеними, керованими системами, наприклад: оцінка динамічних властивостей систем управління, стійкість, точність управління, надійність функціонування.

Важливим об'єктом вивчення технічної кібернетики є автоматичні системи управління з розглядом людини як елемента системи управління: людина-машина-середовище, робототехнічні системи, гнучкі автоматизовані технічні системи виробництва, автоматичне розпізнавання образів та ін.

1.3. Задачі кібернетики

Кібернетика має дві основні загальні задачі: 1) видавати для практики рекомендації про те, як щонайкраще організувати одержання, переробку інформації й управління в керованих технічних системах; 2) вдосконалювати власну теорію й методологію, встановлюючи й накопичуючи все нові наукові факти в області одержання інформації й процесів управління.

Кожна область знання й практики, у яку впроваджується кібернетичний підхід, висуває свої конкретні наукові й технічні задачі. Найважливішими задачами теоретичної кібернетики є розвиток методів аналізу й синтезу керованих систем.

1.4. Класифікація кібернетики

Кібернетику можна розділити на теоретичну, чи загальну, і прикладну, які у свою чергу розділяються на окремі теорії і напрямки. Фрагмент такої класифікації представлено на *рис. 1.2*.



Рис. 1.2. Класифікація кібернетики

Теоретична кібернетика займається вдосконалюванням наукового й методичного апарату кібернетики, розробляє методи аналізу й синтезу систем управління будь-якої фізичної природи. Апаратом технічної кібернетики є математична логіка, теорія графів, теорія ймовірності й математичної статистики, теорія випадкових процесів, чисельні методи, теорія формальних мов і граматик як основа загальної теорії знакових систем,

вихідними сигналами. Індикаційний ЕБК обробляє вхідні сигнали від різних перемикачів заслінок і забезпечує індикацію заданої температури. ЕБК, який виконує регулювання, за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) перетворює аналогові сигнали різних датчиків температури, встановлених усередині й зовні автомобіля, у цифрові сигнали, а також за допомогою мікроЕОМ обчислює необхідну температуру повітря на впуску і, відповідно до умов усередині й зовні автомобіля, виробляє сигнали для різних виконавчих механізмів.

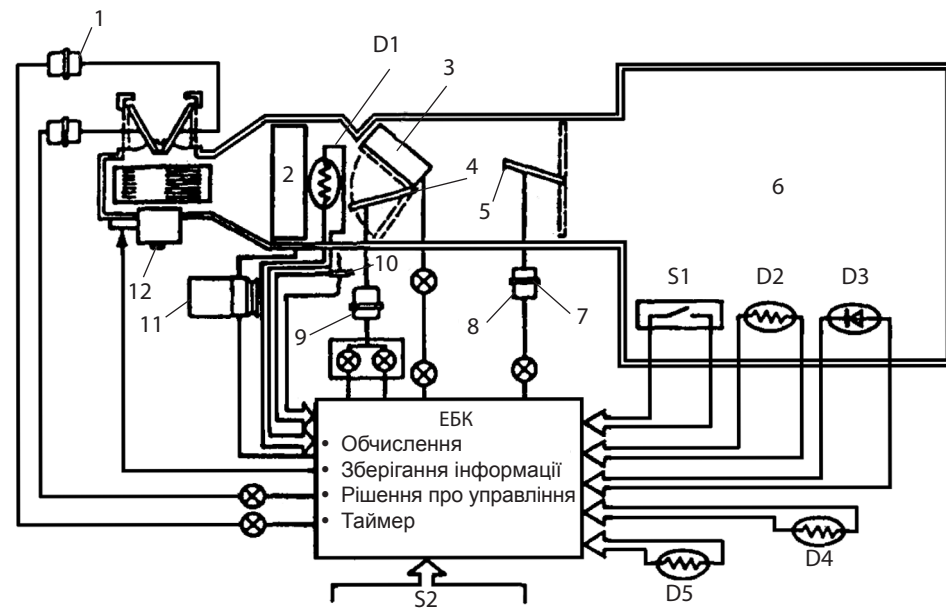


Рис. 20.9. Система автоматичного кондиціонування:

1 і 5 – заслінки відповідно впускного й випускного (2 шт.) отворів; 2 – випарник; 3 – підігрівач; 4 – заслінка повітряного змішувача; 6 – внутрішнє приміщення салону; 7 – мембрана випускного отвору; 8 – водяний клапан; 9 – силовий сервомеханізм; 10 – потенціометр; 11 – компресор; 12 – електродвигун вентилятора; D1 – датчик температури випарника; D2 і D4 – датчики температури повітря відповідно у салоні і поза ним; D3 – датчик інтенсивності сонячного випромінювання; D5 – датчик температури охолоджуючої рідини двигуна; S1 – вимикач установки температури; S2 – перемикач режиму

агрегатів і систем автомобіля за допомогою спеціальних бортових систем. Об'єднання електронних блоків управління в загальну мережу дозволяє користуватися загальною інформацією і взаємною діагностикою.

Розробляються системи з передачею функцій водіння електронним системам: «автопілот», «думаючий автомобіль», «розумна дорога», «боротьба з дрімотою», фіксації «рівня пильності», спеціальні протипожежні сенсори температури, відеокамери, радары, спеціальні системи безпеки – «подушка безпеки» і інші системи автоматизації управління транспортними машинами [1, 3].

20.4. Система управління мікрокліматом у салоні автомобіля

Існує багато різних типів автоматичних систем кондиціонування салону автомобіля. Вони автоматично регулюють температуру й повітрообмін на основі даних про зовнішню температуру, інтенсивність сонячного випромінювання й температуру повітря в салоні.

У залежності від умов усередині і поза автомобілем за допомогою автоматичних кондиціонерів звичайно вирішують такі задачі:

- регулювання температури повітря на випуску – зміною ступеня відкриття повітряного змішувача;
- регулювання інтенсивності потоку повітря – зміною частоти обертання вала двигуна вентилятора;
- управління впускним і випускним отворами – переключення випускних отворів охолоджувача й нагрівача, переключення надходження повітря з атмосфери або салону;
- управління компресором – включення й вимикання електромагнітної муфти компресора.

Одночасно з охолодженням повітря в теплообміннику за допомогою охолоджувача (випарника) відбувається конденсація й видалення з нього вологи. Підігрітий і охолоджений потоки змішуються в камері змішувача, здобувають відповідну температуру і надходять через випускний отвір у салон, забезпечуючи задану температуру.

Систему автоматичного кондиціонування й структуру ЕБК автоматичного кондиціонера показано на *рис. 20.9* [28]. Блок-схему алгоритму управління мікрокліматом у салоні автомобіля представлено на *рис. 20.10*.

У системі використовуються індикаційний ЕБК та ЕБК, який виконує регулювання. Обидва блоки виконано на основі однокристалічних мікроЕОМ і забезпечують управління шляхом обміну між собою вхідними й

теорія розпізнавання образів, теорія навчаючих систем і систем, що самоорганізуються, та ін.

Результати, одержувані теоретичною кібернетикою, використовуються в прикладних напрямках. Прикладну кібернетику, у залежності від типу систем управління, підрозділяють на технічну, економічну, біологічну, медичну, військову, правову, педагогічну та ін. Подібний поділ дуже умовний, тому що у прикладних напрямках також розробляються теоретичні питання, пов'язані зі специфікою досліджуваних об'єктів. Закони раціонального управління й передачі керуючих сигналів однакові в техніці, у живих організмах, у суспільстві. При цьому головне, що ріднить керуючі системи будь-якої фізичної природи, це – інформація, особливості її руху.

1.5. Методологія кібернетики

Кібернетика ввела в розгляд нову наукову категорію «управління» – формально-логічний метод досліджень. Кібернетичний підхід проникає у всілякі питання практики. Можна говорити, що ми живемо у світі, що все більш формалізується, кібернетизується й алгоритмується. Першорядну роль у кібернетизації світу відіграють мікропроцесорна техніка й ЕОМ.

Схематично методологію кібернетики можна представити такою послідовністю дій:

- 1) виділення з різноманіття речей підлягаючої вивченню керованої системи, взаємодіючої із середовищем, тобто іншим світом;
- 2) формалізація об'єкта дослідження, розробка математичної (кібернетичної) моделі;
- 3) алгоритмізація процесів дослідження, «прив'язка» до ЕОМ;
- 4) проведення «машинного» моделювання, виявлення властивостей і характеристик досліджуваного об'єкта; виявлення умов оптимального функціонування;
- 5) аналіз результатів моделювання;
- 6) формулювання залежності властивостей і характеристик системи від її параметрів, керуючих дій і умов функціонування.

Незважаючи на застосування «жорсткої» формалізації і алгоритмізації, кібернетика, разом з тим, «демократичніша» за класичну методологію теоретичної науки. Вона не пов'язує себе будь-якими аксіомами (крім фундаментальних законів природи) і сміливо вводить у розгляд за ходом досліджень будь-які фактори, якщо вони відносяться до вирішення поставленої задачі.

Так у кібернетиці діалектично уживаються формально-логічне і нелогічне.

Контрольні питання і завдання

1. Що таке кібернетика?
2. Що є предметом кібернетики?
3. Які основні цілі кібернетики?
4. Які задачі кібернетики?
5. Що вивчає теоретична і прикладна кібернетика?
6. Яким є апарат технічної кібернетики?
7. Яка методологія кібернетики?

за допомогою модулятора EM_{BC}). Коли прискорення (похідна швидкості за часом) досягне найбільшого значення й зчеплення колеса з дорогою буде відновлено, система управління подає сигнал переходу від фази «відсічення» до фази «збільшення» тиску. Таким чином, розглянута система управління працює за трифазним циклом. Описаний трифазний процес гальмування при русі автомобіля багаторазово повторюється.

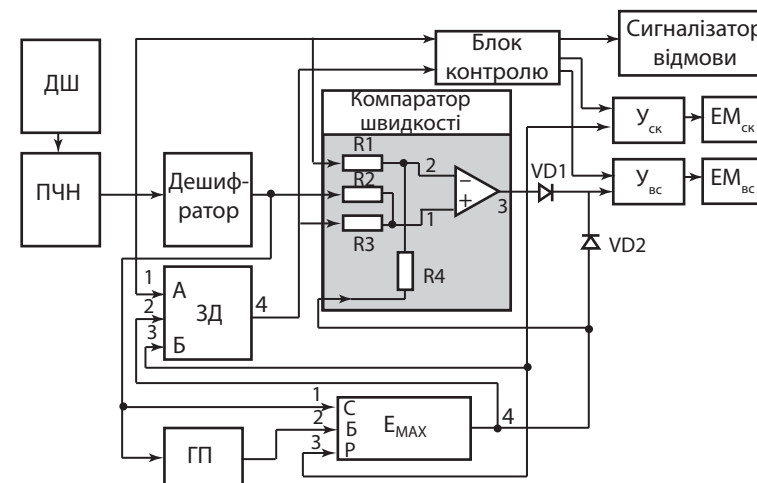


Рис. 20.8. Структурна схема електронної антиблокувальної системи управління гальмами:

ДШ – датчик швидкості; ПЧН – перетворювач частота-напруга; ГП – граничний пристрій; ЗД – задатчик «опорного» рівня швидкості; R1...R4 – резистори; VD1, VD2 – розподільні діоди (стабілітрони); $EM_{СК}$, $EM_{ВС}$ – модулятори скидання і відсічення

Важливими елементами системи управління є задавальник «опорної» швидкості ЗД, що працює в одному з трьох режимів (коло не блокується, уповільнення, розгін), і блок контролю справності. Цей блок виключає електромагнітні модулятори скидання й відсічення з появою якої-небудь несправності в системі управління і включає систему оповіщення (сигналізації) для водія. Відключення відбувається в тому випадку, коли більш ніж 1 секунду порушено нормальне співвідношення між напругами ПЧН і ЗД.

Знаходять успішне застосування електронні системи для безперервного контролю й видачі інформації про експлуатаційні показники функціонування машин (витрата палива, вибір і включення передач, підтримка оптимального режиму руху), а також для діагностування технічного стану

містить дешифратор, який здійснює перетворення сигналів на виході підсилювачів у сигнали включення електромагнітів системи управління.

Вузол захисту виключає аварійне включення ГМП при виникненні несправностей (відключаються від бортової мережі підсилювачі живлення електромагнітів).

20.3. Системи управління гальмуванням

При русі автомобіля може настати блокування коліс, яке приводить до втрати стійкості й керованості. Антиблокувальні пристрої (АБП), котрі одержали широке поширення, призначено для підтримки у процесі гальмування такого гальмового моменту, який у конкретних дорожніх умовах (тип і стан покриття) виключив би можливість блокування коліс і забезпечив високу ефективність гальмування.

Антиблокувальні системи повинні забезпечувати швидкодію в зміні тисків у гальмових циліндрах і гальмових камерах за допомогою модуляторів тиску (клапани з електромагнітним приводом). Здійснювати такі суворі вимоги можна тільки у випадку застосування електронних систем управління.

У даний час на багатьох пасажирських і вантажних автомобілях серійно випускаються АБП на базі електронних блоків із твердою логікою і мікропроцесорними комплектами. Управління процесом гальмування може здійснюватися для кожного колеса й одночасно для декількох коліс.

При нормальному функціонуванні системи відбувається безперервне порівняння швидкості руху автомобіля V_a і частоти обертання коліс V_k у точці їх зіткнення з дорогою. За величиною цих швидкостей можна визначити безрозмірну величину прослизання коліс за формулою $\delta = (1 - V_k/V_a)$. При $V_k = 0$ маємо $\delta = 1$, при $V_k = V_a - \delta = 0$.

Існують різні алгоритми АБП. Найбільше поширення одержали алгоритми, в яких зіставляються реальні частоти обертання коліс з опорною частотою обертання, яку фіксує в даний момент часу система управління.

На *рис. 20.8* [1] показано схему електронної АБП для автомобілів із пневмоприводом гальмових механізмів.

У визначений момент гальмова камера відключається від джерела тиску і з'єднується з атмосферою (фаза «скидання» тиску за допомогою модулятора $EM_{СК}$). При падінні тиску зменшується гальмовий момент і знижується уповільнення коліс. При зміні уповільнення з'являється сигнал на припинення зниження тиску в гальмовій камері (фаза «відсічення»

Глава 2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

2.1. *Об'єкт і цілі управління.*

2.2. *Математична модель об'єкта управління.*

2.3. *Стан об'єкта управління і керуючого впливу.*

2.4. *Збуджуючі впливи і вимірjuвальна інформація.*

2.5. *Сталість і керованість.*

2.6. *Спостереження. Якість управління та її показники.*

Теорії управління транспортом, літальними апаратами та іншими складними технічними системами присвячено багато робіт, наприклад [1 – 5].

До основних показників ефективного функціонування транспортних засобів належать тягово-швидкісні якості, коефіцієнт корисної дії, продуктивність і собівартість, витрата палива, плавність ходу, маневреність і прохідність. Оптимізацію цих параметрів машин при проектуванні автомобілів описано у роботі [2].

У вихідних поняттях теорії управління складними транспортними об'єктами є багато спільного. До основних загальноживаних понять теорії управління, які відіграють визначальну роль у формуванні її наукової мови, належать такі терміни: об'єкт управління; математична модель об'єкта управління; стан об'єкта управління; цілі управління; керуючі впливи (управління); впливи (збудження); інформація; стійкість; управління; спостереження; якість управління, показники якості процесів і систем управління.

Наведені нижче формулювання розкривають лише зміст перерахованих понять на описовому рівні [5]. Призначення цих формулювань полягає в тому, щоб уточнити зміст, що буде вкладатися в розглянуті поняття в наступному викладі, відбити існуючі між ними зв'язки й аналогії, а також ввести й уточнити супутню термінологію.

2.1. Об'єкт і цілі управління

Об'єкт управління. Поняття «об'єкт управління», «керуючий вплив» на об'єкт управління і «цілі управління» взаємозалежні і вони не можуть

бути визначені незалежно одне від одного. Ця обставина знаходить висвітлення у визначенні об'єкта управління як такого матеріального об'єкта, що піддається впливу, спрямованому на досягнення певної мети.

Акт цілеспрямованого впливу на об'єкт управління називається управлінням, а якщо цей вплив триває у часі, це є процес управління.

За ознакою наявності чи відсутності управління всі матеріальні об'єкти може бути розподілено на два класи – керовані й некеровані. Далі терміни «об'єкт управління» і «керований об'єкт» використовуються як синоніми.

Поряд із керованими й некерованими об'єктами розглядаються також керовані й некеровані процеси, при цьому під процесом розуміється зміна стану об'єкта в часі.

Відзначимо, що всі керовані об'єкти підрозділяються на об'єкти штучного (технічні) та природного (біологічні) походження. До останнього належать усі види тварин, а також людина.

Ціль управління. Поняття цілі управління є ключовим у теорії управління, оскільки будь-який керований процес підлеглий якійсь меті. Ціль управління визначається функціональним призначенням об'єкта управління і полягає у зміні бажаним чином його стану.

Якщо об'єкт багатофункціональний, ціль управління не є єдиною. Крім того, поряд з головною кінцевою метою управління можуть існувати окремі проміжні цілі, при цьому у процесі управління пріоритети цілей можуть змінюватися.

2.2. Математична модель об'єкта управління

Поняття математичної моделі надзвичайно загальне і виходить далеко за рамки теорії управління. Це поняття означає, що деякому матеріальному об'єкту, що має визначені фізичні властивості, ставиться у відповідність його формалізований образ у вигляді математичного об'єкта, що піддається опису в рамках тієї чи іншої формально-математичної теорії (теорії множин, теорії графів, теорії диференціальних рівнянь, теорії ігор тощо). Вибір математичної моделі диктується задачами проведених досліджень і, як правило, неоднозначний. При цьому до математичної моделі часто висувають суперечливі вимоги адекватності, точності, простоти, наочності та ін. Тому остаточний вибір моделі звичайно є результатом компромісу і багато в чому залежить від досвіду й умінь дослідника.

У теорії управління рухомими об'єктами найбільше практичне застосування знайшли моделі у вигляді систем диференціальних рівнянь, розроб-

Широке поширення одержали автоматичні трансмісії на базі гідромеханічних передач (ГМП), що складаються з гідротрансформатора (перетворювача моменту) і передач, які переключаються за допомогою фрикціонів із гідро- або пневмоприводом.

Впровадження електронних систем управління дозволяє підвищити надійність ГМП, а в деяких випадках і спростити конструкцію. Ці системи здійснюють не тільки переключення передач за заданим законом, але і забезпечують захист ГМП від аварійних режимів, наприклад, при помилкових діях водія або відмовленні якого-небудь елемента управління.

На *рис. 20.7* показано структурну схему управління триступінчастою гідромеханічною передачею міського автобуса з гідротрансформатором, що блокується. При блокуванні коефіцієнт трансформації наближається до одиниці, підвищується КПД і поліпшується економічність автобуса за рахунок виключення втрат у гідротрансформаторі.

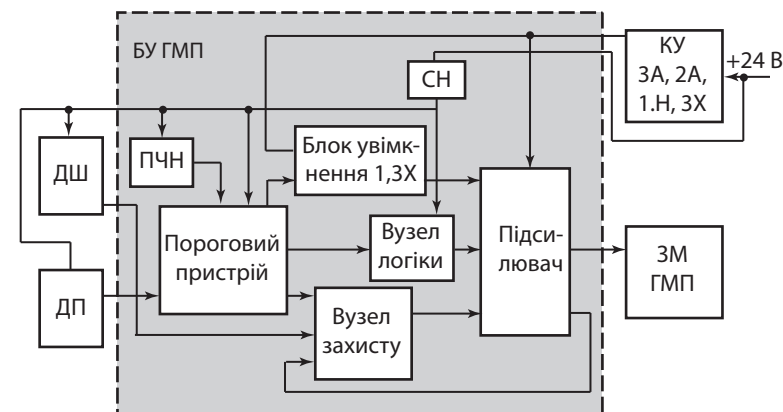


Рис. 20.7. Структурна схема електронної системи управління ГМП:

ДН – датчик навантаження; ДШ – датчик швидкості; СН – стабілізатор напруги;
ПЧН – перетворювач частота-напруга

Датчиком швидкості ДШ є індукційний датчик, частота зміни ЕРС на виході пропорційна частоті обертання веденого вала ГМП. Датчик навантаження ДН складається з перемикачів, які приводяться в дію від педалі подачі палива. Граничний пристрій у залежності від рівня напруги на виході ПЧН і перемикача датчика навантаження ДН видає команду на переключення передач або блокування гідротрансформатора.

Блок включення передбачає примусове включення першої передачі або заднього ходу, незалежно від швидкості руху автобуса. Вузол логіки

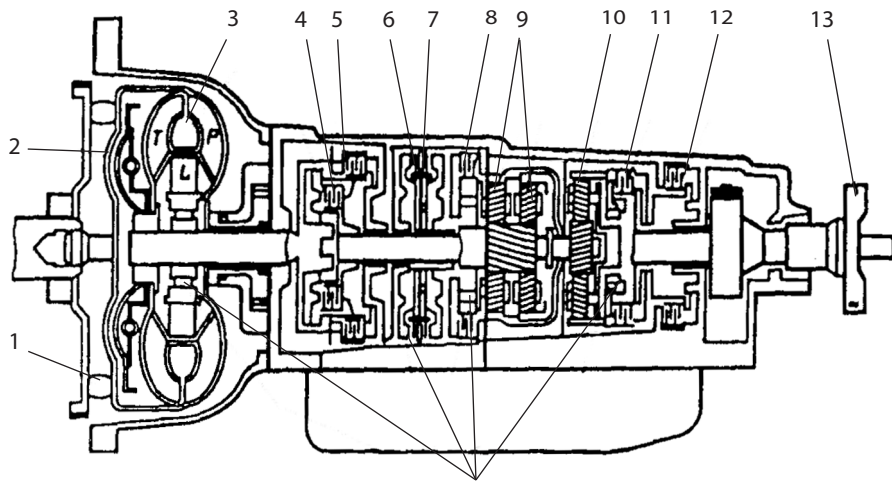


Рис. 20.5. Автоматична коробка передач:

1 – ведучий диск; 2 – муфта блокування гідротрансформатора крутячого моменту; 3 – гідротрансформатор крутячого моменту; 4, 5, 7 і 11 – обертові дискові фрикціони відповідно «А», «В», «Е»; 6 – нерухомий дисковий фрикціон (гальмо) «С»; 8 – нерухомий дисковий фрикціон (гальмо) «Д»; 9 – блок планетарних шестірень; 10 – блок планетарних шестірень 4-ї передачі; 12 – нерухомий дисковий фрикціон (гальмо) «F»; 13 – фланець вихідного вала; 14 – муфти вільного ходу; P – насос; L – реактор; T – турбіна

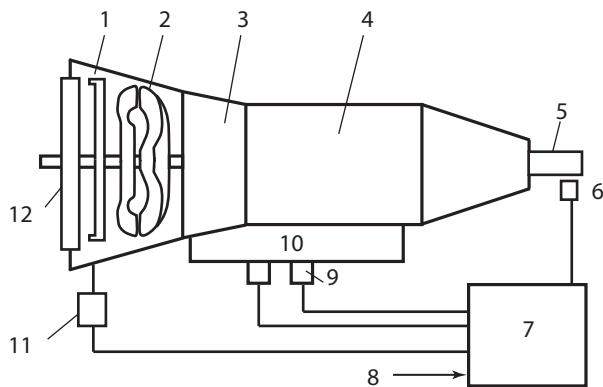


Рис. 20.6. Приклад системи управління трансмісією:

1 – зчеплення; 2 – диски зчеплення; 3 – механізм прискорюючої передачі; 4 – механізм зміни передаточного числа; 5 – вихідний вал; 6 – датчик швидкості автомобіля; 7 – ЕБК; 8 – кут відкриття дросельної заслінки; 9 – електромагнітний клапан зміни передаточного числа; 10 – гідравлічна система; 11 – електромагнітний клапан зчеплення; 12 – маховик двигуна

лені в рамках теоретичної й прикладної механіки, які мають зміст рівнянь руху. Звичайними диференціальними рівняннями описується багато фізичних і електричних процесів, тому моделі цього типу є основними в теорії автоматичного управління. Поряд із цим широке застосування мають моделі у вигляді диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Розробка математичної моделі об'єкта управління починається з його схематизації, яка полягає в тому, що реальному фізичному об'єкту (чи класу таких об'єктів) ставиться у відповідність його ідеалізований образ, наділений більш простими геометричними й фізичними властивостями, який піддається опису у рамках відповідного класу математичних моделей. При цьому конкретизується й формалізується поняття стану об'єкта управління, здійснюється вибір придатної сукупності незалежних параметрів, що відіграють роль параметрів стану.

Одночасно зі схематизацією об'єкта управління здійснюється схематизація зовнішнього середовища, яке є джерелом силового чи іншого впливу на об'єкт управління. При цьому відповідні впливи формалізуються у рамках розроблюваної математичної моделі. Аналогічна процедура схематизації й формалізації здійснюється відносно керуючого й збуджуючого впливів.

2.3. Стан об'єкта управління і керуючого впливу

Стан об'єкта управління. Поняття «стан» відноситься як до керованих, так і некерованих об'єктів та процесів. У залежності від виду й властивостей розглянутих об'єктів це поняття може мати як якісний зміст (наприклад, агрегатний стан речовини), так і кількісне вираження. В останньому випадку стан визначається сукупністю незалежних величин, названих параметрами стану, що можуть приймати ті чи інші числові значення. Кількість цих величин має бути достатньою для того, щоб однозначно і вичерпно описати досліджуваний об'єкт.

Для ілюстрації поняття «стан» наведемо такий приклад. Розглянемо процес обертально-поступального руху транспортного об'єкта як твердого тіла. Як відомо з механіки, у загальному випадку тверде тіло має шість ступенів свободи (три ступені свободи обертального і три ступені свободи поступального руху), а сам рух описується системою звичайних диференціальних рівнянь 12-го порядку, де як перемінні (залежні від часу, але незалежні одне від одного) використовуються координати центру мас тіла, компоненти його вектора швидкості, параметри орієнтації (наприклад, кути Ейлера) й компоненти вектора кутової швидкості. При відомих

силах і моментах, прикладених до тіла, така система диференціальних рівнянь замкнута, причому знання значень цих 12 величин у будь-який момент часу є достатнім для повного опису наступного руху. Таким чином, ці величини слід розглядати як параметри стану об'єкта у процесі його руху.

При вивченні інших процесів і явищ (теплових, електричних, хімічних) залежно від властивостей цих процесів і сутності досліджуваних явищ як параметри стану можуть розглядатися тиск, температура, напруга й сила електричного струму та інші необхідні величини.

Систему звичайних диференціальних рівнянь, що моделюють досліджуваний процес, прийнято записувати у так званій нормальній формі Коші, при цьому в загальному випадку вона має такий стандартний вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= f_1(t, x_1, \dots, x_n); \\ \dot{x}_2 &= f_2(t, x_1, \dots, x_n); \\ &\dots \\ \dot{x}_n &= f_n(t, x_1, \dots, x_n), \end{aligned} \quad (2.1)$$

де час t – незалежна змінна; x_1, \dots, x_n – залежні від часу, $\dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n$ – перші похідні від відповідних змінних за часом. У цьому випадку величини x_1, \dots, x_n і є параметрами стану того об'єкта, поведження якого описується системою рівнянь (2.1).

Об'єкт, стан якого можна описати скінченною кількістю параметрів, називається скінченновимірним. Поряд з цим існують процеси й об'єкти, стан яких не може бути описано скінченним набором числових величин і які з цієї причини прийнято називати нескінченновимірними. Поведження нескінченновимірних об'єктів описується, як правило, диференціальними рівняннями в частинних похідних. Прикладами подібних процесів можуть служити коливання пружних тіл (стрижнів, мембран, інших елементів конструкції), коливання вільних поверхонь рідин (наприклад, компонентів палива в баках), процеси теплопередачі, дифузії і т. п. У цих випадках стан чи процес об'єкта описується за допомогою функцій стану. У наведених вище прикладах ними є функції, що визначають форму тіл у процесі пружних коливань, форму вільної поверхні рідин, форму ізотермічної поверхні у процесах теплопередачі та ін.

З поняттям стану об'єкта управління тісно пов'язане більш загальне поняття простору станів, що є математичним узагальненням загально-відомого представлення про тривимірний фізичний простір і поширює поняття координати точки в тривимірному просторі на більш загальне по-

заслінки, 13 – подача палива, 14 – контрольна лампа, 15 – розподільник запалювання). Електронний блок управління, одержавши сигнал від датчика тиску у впускному трубопроводі 5, потім коректує склад робочої суміші залежно від режиму роботи двигуна.

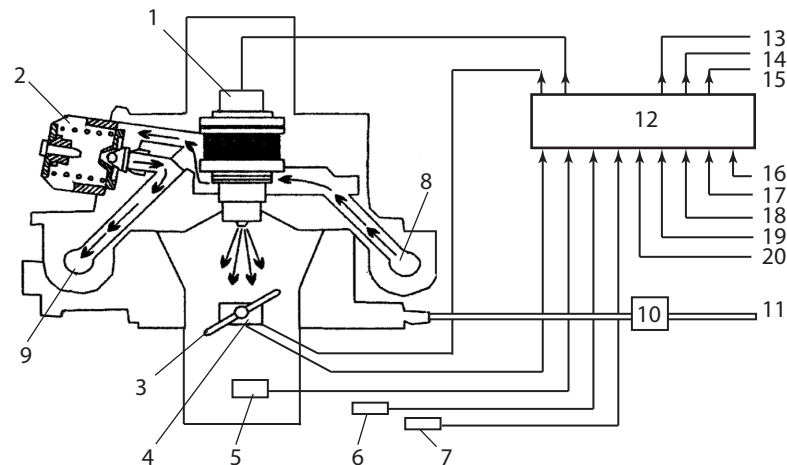


Рис. 20.4. Схема системи впорскування «Opel-Multec»:

- 1 – форсунка; 2 – регулятор тиску палива; 3 – потенціометр дросельної заслінки;
- 4 – кроковий двигун регулятора холостого ходу; 5 – датчик тиску у впускному трубопроводі; 6 – датчик температури охолоджуючої рідини; 7 – лямбда-зонд;
- 8 – підведення палива; 9 – злиття палива в бак; 10 – поворотний паливний клапан;
- 11 – вентиляція паливного бака; 12 – електронний блок управління; 13 – подача палива;
- 14 – контрольна лампа; 15 – розподільник запалювання; 16 – вимикач запалювання;
- 17 – від розподільника запалювання; 18 – «+» акумуляторної батареї;
- 19 – частотний датчик пройденого шляху; 20 – вимикач паркування (нейтралі)

20.2. Системи управління трансмісією

У системі управління трансмісією (рис. 20.5) об'єктом регулювання є автоматична трансмісія (рис. 20.6) [1,3]. Електронний блок управління 7 (рис. 20.5) з урахуванням сигналів датчика швидкості руху автомобіля і датчика кута відкриття дросельної заслінки 8 обирає оптимальне передаточне число коробки передач і час вклучення зчеплення. За допомогою електромагнітних клапанів 9 і гідравлічної системи 10 здійснюється переклучення передач при виключеному за допомогою електромагнітного клапана 11 зчепленні 1.

На рис. 20.3 наведено систему управління двигуном автомобіля «Тойота» з електронним блоком управління [1, 3]. Систему управління двигуном пояснюють підписи під малюнком.

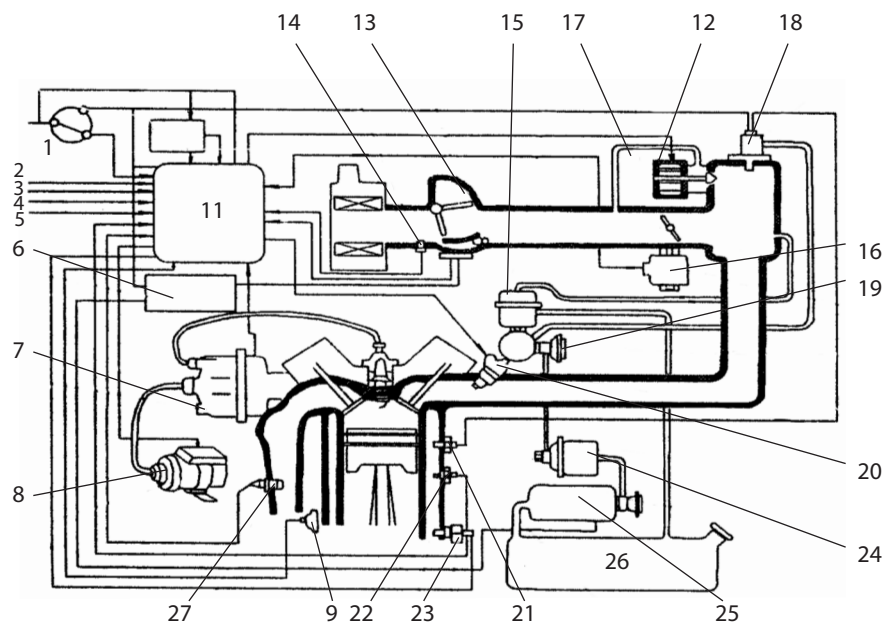


Рис. 20.3. Приклад електронної системи управління двигуном («Тойота»):

1 – ключ запалювання; 2 – рознімання для підключення зовнішніх засобів діагностики; 3 – сигнал включення нейтральної передачі; 4 – сигнал включення кондиціонерів; 5 – сигнал швидкості автомобіля; 6 – реле включення; 7 – розподільник запалювання; 8 – котушка запалювання; 9 – датчик аварійного падіння тиску олії; 10 – реле; 11 – ЕБК; 12 – кроковий двигун системи управління частотою обертання колінчатого вала на холостому ходу; 13 – датчик витрати повітря; 14 – датчик температури повітря, що надходить у двигун; 15 – регулятор тиску; 16 – датчик кута відкриття дросельної заслінки; 17 – клапан холостого ходу; 18 – форсунка холодного пуску; 19 – редукційний клапан; 20 – форсунка; 21 – таймер прогріву; 22 – датчик температури охолоджуючої рідини; 23 – датчик детонації; 24 – паливний фільтр; 25 – паливний насос; 26 – бак для палива; 27 – датчик кисню

На рис. 20.4 показано загальну схему системи однократного переривчастого впорскування «Opel-Multec». В електронний блок управління 12 на вхід надходить дев'ять різних сигналів (4, 5, 7, 16, 17, 18, 19, 20). На виході п'ять керованих сигналів (1 – форсунка, 3 – потенціометр дросельної

няття фазової координати. Для скінченновимірних об'єктів, поведінку яких описується диференціальними рівняннями виду (2.1), простір станів виглядає як n -вимірний координатний простір, де усі величини x_1, \dots, x_n цілком рівноправні незалежно від їх фізичного змісту і фізичної розмірності. При цьому параметри стану розглянутого об'єкта називають фазовими координатами об'єкта, а простір станів – фазовим простором. Залежно від прикладного змісту розв'язуваних задач цей простір може надіятися спеціальними властивостями і здобувати структуру лінійного, метричного, топологічного, евклідового просторів. Для нескінченновимірних об'єктів, поведінку яких описується диференціальними рівняннями в часткових похідних, простір станів утвориться сукупністю функцій, що є розв'язками відповідних диференціальних рівнянь, і є нескінченновимірним (у тому сенсі, що в ньому відсутній скінченновимірний базис). З цієї причини даний простір не може розглядатися як координатний і термін «фазовий простір» до нього не застосовується. Але він, як і скінченновимірний простір, може бути при необхідності наділений властивостями лінійного, метричного чи евклідового простору.

Керуючі впливи. Керуючими називаються впливи на об'єкт управління, що піддаються бажаній зміні і спрямовані на досягнення мети управління. Залежно від фізичних властивостей об'єкта управління керуючі впливи можуть бути силовими, тепловими, електричними та ін. Для більшості об'єктів основним видом керуючих впливів є сили й моменти, сформовані за допомогою органів управління. Математична формалізація керуючих впливів здійснюється одночасно з формалізацією об'єкта управління в рамках розробки його математичної моделі. Як правило, керуючі впливи піддаються параметризації, тобто їх можна виразити у вигляді функцій декількох незалежних величин, названих параметрами управління. Фізичний зміст параметрів управління навіть для того ж самого об'єкта управління може бути різним, при цьому вибір тих чи інших величин як параметрів управління визначається головним чином поняттями зручності аналізу й розв'язання відповідних задач управління. Для транспортних засобів і літальних апаратів у якості параметрів управління розглядаються кутові чи лінійні відхилення органів управління від їх нейтрального положення, величина сили тяги рухової установки, кути просторової орієнтації вектора тяги, параметри орієнтації та інші величини.

У математичній моделі об'єкта управління, записуваної у вигляді системи диференціальних рівнянь, параметри управління вводяться до складу правої частини цих рівнянь як сукупність декількох незалежних величин:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= f_1(t, x_1, \dots, x_n; u_1, \dots, u_m); \\ \dot{x}_2 &= f_2(t, x_1, \dots, x_n; u_1, \dots, u_m); \\ &\dots \\ \dot{x}_n &= f_n(t, x_1, \dots, x_n; u_1, \dots, u_m), \end{aligned} \quad (2.2)$$

де u_1, \dots, u_m – параметри управління.

Важливою обставиною, що враховується при формалізації керуючих впливів, є обмеженість їх максимальних значень, що визначається як умовами функціонування об'єктів управління, так і їх конструктивними особливостями. Ці обмеження формалізуються у вигляді припустимих меж зміни параметрів управління і записуються у вигляді нерівностей:

$$u_j^{\min} \leq u_j \leq u_j^{\max}; \quad j = 1, \dots, m \dots \quad (2.3)$$

Іншим видом обмежень є такі, що пов'язані з економією енергетичних ресурсів управління: обмеженість запасу палива та інтервалу часу, протягом якого може бути реалізовано процес управління.

2.4. Збуджуючі впливи і вимірювальна інформація

Збуджуючі впливи. Збуджуючими називаються такі впливи на об'єкт управління, що впливають на зміну його стану і викликані відхиленнями характеристик зовнішнього середовища, у якому функціонує об'єкт управління, та характеристиками самого об'єкта управління від їх середніх значень, прийнятих при розробці його математичної моделі як номінальні (нормальні) значення. Збуджуючі впливи називаються зовнішніми, якщо вони викликані відхиленнями характеристик зовнішнього середовища, і внутрішніми, якщо вони визначаються відхиленнями характеристик самого об'єкта управління.

Головною причиною, що змушує виділяти збуджуючі впливи в окремий клас впливів та перешкоджає безпосередньому їх обліку в загальній моделі об'єкта управління, є їх випадковий характер. Ця обставина вимагає застосування спеціальних методів обліку збуджуючих впливів та оцінки їх впливу на процес управління.

При розробці математичної моделі об'єкта управління та середовища його функціонування збуджуючі впливи параметризуються і виражаються у вигляді функцій скінченного числа збуджуючих параметрів, що є випадковими величинами, про закони розподілу яких є повна чи часткова інформація. При цьому в більшості випадків збуджуючі параметри мають

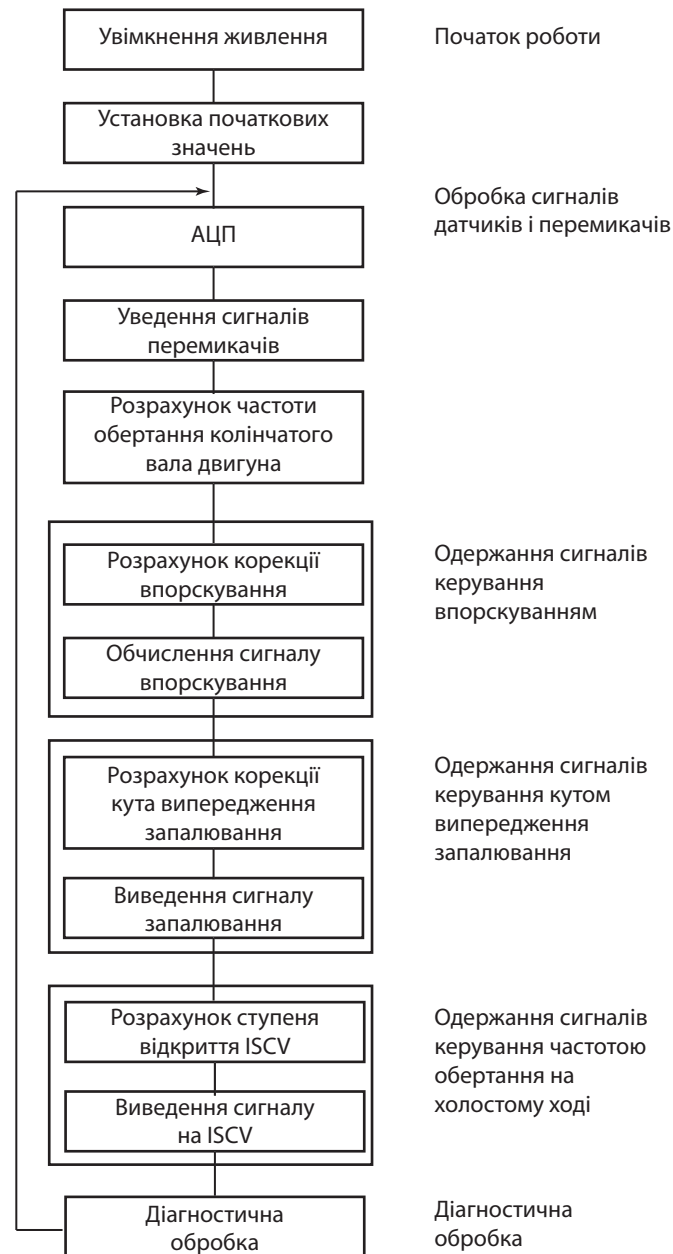


Рис. 20.2. Послідовність роботи блоків мікроЕОМ

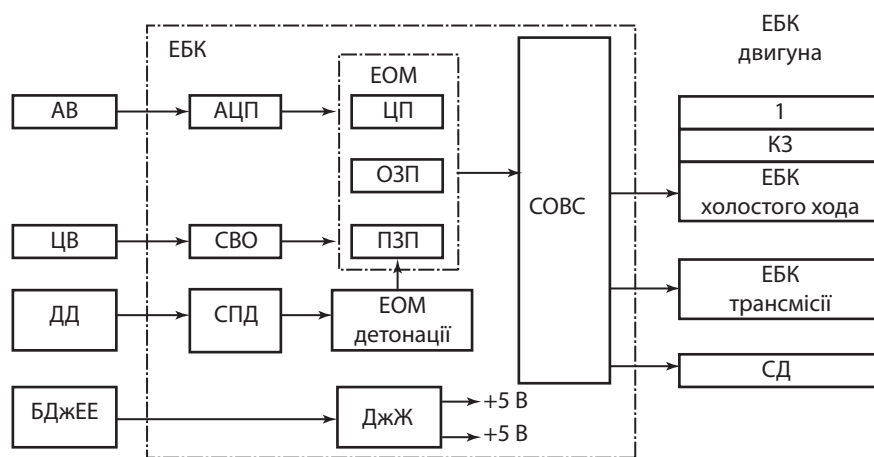


Рис. 20.1. Схема системи управління автомобілем з бензиновим двигуном:

БДжЕЕ – бортове джерело електроенергії; ДД – датчик детонації; ЦВ – цифрові входи; СВО – схема вхідної обробки (схема обробки вхідних сигналів); ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій; АВ – аналогові входи; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ЕОМ – 8-розрядна однокристалічна ЕОМ; ЦП – центральний процесор; СОВС – схеми обробки вихідних сигналів; І – інжектор; КЗ – комутатор запалювання; СД – система інформації контролю діагностики; ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій; ЕОМ детонації – 4-розрядна однокристалічна ЕОМ для виявлення детонації; СПД – схема перетворення сигналу детонації; ДжЖ – джерело живлення

Сигнал датчика детонації обробляється 4-розрядною мікроЕОМ і потім подається в 8-розрядну мікроЕОМ. На основі вхідних сигналів ця мікроЕОМ розраховує для даного стану двигуна оптимальні значення кількості палива, яке впорскується, кут випередження запалювання, частоти обертання колінчатого вала на холостому ході й інші параметри. Потім керуючі сигнали, пройшовши СОВС, впливають на форсунки, комутацію запалювання, клапан управління частотою холостого ходу і т. д. Послідовність роботи такої ЕОМ показано на рис. 20.2.

Вихідні сигнали часу впорскування палива й кута випередження запалювання видаються в оптимальній часовій послідовності за рахунок обробки, при якій пріоритет віддається запалюванню, а не впорскуванню. Якщо під час розрахунку корекції впорскування необхідно видати вихідний сигнал про кут випередження запалювання, то розрахунок корекції впорскування зупиняється, виробляється розрахунок і видається сигнал про зміну кута випередження запалювання. Потім продовжується розрахунок корекції впорскування.

цілком конкретний фізичний зміст (наприклад, відхилення від номінальних значень характеристик об'єкта управління – маси об'єкта, моментів інерції, тяги рушійної установки, аеродинамічних характеристик; відхилення від середніх значень параметрів атмосфери – щільності, тиску, температури та ін.). В інших випадках параметризація збуджуючих впливів, які є випадковими функціями, може здійснюватися формально в рамках загального методу канонічних розкладань випадкових функцій. Включення збуджуючих параметрів у праву частину диференціальних рівнянь, що задають математичну модель об'єкта управління, приводить до більш загальної у порівнянні з (2.2) моделі, яку запишемо в такому формалізованому вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= f_1(t, x_1, \dots, x_n; u_1, \dots, u_m); \\ \dot{x}_2 &= f_2(t, x_1, \dots, x_n; u_1, \dots, u_m); \\ &\dots \\ \dot{x}_n &= f_n(t, x_1, \dots, x_n; u_1, \dots, u_m), \end{aligned} \quad (2.4)$$

де ξ_1, \dots, ξ_q – збуджуючі параметри; x^1 – збуджені значення параметрів стану. Зв'язок між моделями (2.2) і (2.4) полягає в тому, що якщо в (2.4) збуджуючі параметри прийняти рівними їх середнім значенням (математичним очікуванням), то моделі (2.2) і (2.4) стають тотожними.

Стандартна (але не єдина з існуючих) методологія обліку впливу збуджень на процес управління полягає в тому, що розглянута задача (наприклад, задача синтезу системи управління) розв'язується в рамках моделі вигляду (2.2) без урахування збуджень, а потім за допомогою моделі (2.4) робиться оцінка впливу збуджень на характеристики якості процесу управління існуючими для цього методами (наприклад, методами лінійної теорії збуджень, методом статистичних дослідів та ін.), після чого в разі потреби в отримане раніше рішення вводяться відповідні корективи. Поряд із цим розроблено і широко застосовуються методи безпосереднього обліку дії збуджень та інших факторів випадкового характеру в рамках процедур стохастичного синтезу законів управління й систем управління в цілому [5].

Інформація. Поняття інформації є загальноживим у теорії управління, теорії зв'язку, теорії статистичних рішень і власне в теорії інформації, причому в залежності від області застосування в це поняття вкладається різний зміст. Для подальшого викладення нам буде досить мати інтуїтивно ясне уявлення про інформацію як про сукупність відомостей щодо характеристик об'єкта управління й середовища його функціонування, необхідних для реалізації процесу управління й виражених у кількісній формі.

У теорії статистичних рішень розрізняють апіорну (переддослідну) і апостеріорну (післядослідну) інформацію. Скористаємося цією термінологією, розуміючи під апіорною інформацією всю сукупність вихідних даних, які відомі до початку реалізації процесу управління. Під апостеріорною інформацією будемо розуміти дані, одержувані в ході процесу управління шляхом спостережень і вимірів. Інакше цю інформацію можна назвати вимірювальною. Джерелом такої інформації служить вимірювальна система, що складається із сукупності датчиків первинної інформації та засобів обробки й перетворення інформації до вигляду, зручного для використання у процесі управління. Основне призначення вимірювальної системи полягає в одержанні інформації про поточні параметри стану об'єкта управління, яка необхідна при виробленні керуючих впливів на об'єкт управління. У більш загальному випадку можуть здійснюватися виміри деяких збуджуючих впливів, а також тих характеристик об'єкта управління, що змінюються у процесі управління.

Математична модель вимірювальної системи записується у вигляді функціональних зв'язків між параметрами, що визначаються (ними раніше за всіх є параметри стану об'єкта), і вимірюваними параметрами, значення яких фіксуються на виході вимірювальної системи й утворюють вимірювальну інформацію. Позначивши вимірювані параметри через y_1, \dots, y_k , зазначені функціональні зв'язки виразимо в такий спосіб:

$$\begin{aligned} y_1 &= \varphi_1(t, x_1, \dots, x_n); \\ y_2 &= \varphi_2(t, x_1, \dots, x_n); \\ &\dots \dots \dots \\ y_k &= \varphi_k(t, x_1, \dots, x_n). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Ця модель є ідеалізованою, оскільки не враховує внутрішні збудження вимірювальної системи, називані в теорії зв'язку й передачі інформації шумами. Основними складовими шумів є похибки вимірів, а також перешкоди в каналах перетворення й передачі інформації. Модель вимірювальної системи з урахуванням адитивних шумів може бути записано у вигляді:

$$\begin{aligned} y_1 &= \varphi_1(t, x_1, \dots, x_n) + \eta_1(t); \\ y_2 &= \varphi_2(t, x_1, \dots, x_n) + \eta_2(t); \\ &\dots \dots \dots \\ y_k &= \varphi_k(t, x_1, \dots, x_n) + \eta_k(t), \end{aligned} \quad (2.6)$$

Глава 20. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ МАШИНАМИ

20.1. Системи управління двигуном.

20.2. Системи управління трансмісією.

20.3. Системи управління гальмуванням.

20.4. Система управління мікрокліматом у салоні автомобіля.

20.5. Комп'ютерна система діагностування автомобільних двигунів на стенді з біговими барабанами.

20.1. Системи управління двигуном

Системи автоматичного управління агрегатами автомобілів описано в роботах [1, 3, 28, 43]. Основними серед них є: регулятори напруги, пристрої управління трансмісією, впорскуванням палива, гальмовою системою, рульовим управлінням, підвіскою.

Схему системи управління автомобільним бензиновим двигуном показано на рис. 20.1 [28].

Мікропроцесори, які входять до складу ЕБК, живляться постійною напругою 5В. Оскільки бортова мережа автомобіля живиться напругою 12 або 24 В, у ЕБК є стабілізоване джерело живлення, яке перетворює напругу бортової мережі в джерело живлення, на виході якого напруга – 5 В. Звичайно це джерело має два виходи (рис. 20.1): основний (робочий) і додатковий (резервний).

МікроЕОМ, звичайно, виконується на одному кристалі, який містить основні функціональні елементи: ПЗП, ЦП, ОЗП та ін. Ці ЕОМ класифікуються на ЕОМ загального застосування і замовлені. Оскільки від датчиків можуть надходити такі електричні сигнали, які у мікроЕОМ вводити не можна, розроблені кілька типів спеціальних однокристалічних мікроЕОМ із необхідними вхідними й вихідними функціями, призначених для застосування в системах управління автомобілем.

В АЦП надходять аналогові сигнали від датчиків витрати повітря, напруги бортової мережі, температури охолоджуючої рідини, температури повітря, яке надходить у двигун, кута відкриття дросельної заслінки та ін. Ці сигнали перетворюються на цифрові [28].

сконалих системах видача даних має забезпечуватися на режимах холодного ходу, пускових і передпускових, а в екстрених випадках – синхронно з виконанням контролю в процесі руху.

Подальший розвиток системи функціонального діагностування вимагає надання водію інформації про основні експлуатаційні характеристики автомобілів: паливну економічність, динамічність, гальмову ефективність, рівень забруднення навколишнього середовища. Першочерговою вимогою до функціонального діагностування є можливість управління режимами руху автомобіля для досягнення максимальної паливної економічності при створенні безпечного транспортного процесу.

Контрольні питання і завдання

1. Що таке мікропроцесор?
2. Які функції можуть виконувати мікропроцесори в системах автоматичного управління технічними системами?
3. Які електронні компоненти включають у мікропроцесорні блоки управління?
4. Яку пам'ять можуть містити мікропроцесори?
5. Що таке мікроконтролери і для чого їх призначено?
6. Які операції можуть виконувати алфавітно-цифрові перетворювачі?
7. Перелічте засоби візуальної індикації в інформаційно-обчислювальних системах сучасних автомобілів.
8. Назвіть основні засоби електронних систем управління двигуном.
9. Які бувають мікроЕОМ? З яких електронних компонентів вони складаються і де застосовуються в системах керування автомобілем?
10. Охарактеризуйте роль ЕОМ загального призначення в кібернетичних системах управління.
11. Вкажіть переваги нейрокомп'ютерів.
12. Які вбудовані засоби діагностування застосовуються в сучасних автомобільних бортових системах? Наведіть їх можливості й недоліки.
13. Які можливості контролю технічного стану автомобілів мотортестерами? Які можливості їх використання в АТП?

де шуми $\eta_q(t)$ є випадковими функціями чи функціями випадкової величини, закони розподілу яких звичайно припускаються відомими, і зведення про їх включаються до складу апіорної інформації.

2.5. Сталість і керованість

Сталість. Поняття сталості є дуже загальним і широко використовується як у теорії управління, так і у багатьох інших наукових дисциплінах. Залежно від особливостей досліджуваних об'єктів і задач досліджень розрізняють сталість за Ляпуновим, за Лагранжем, за Пуассоном, а також використовують різні окремі варіанти цих понять (структурна й параметрична сталість, сталість у малому, у великому й у цілому, абсолютна сталість).

У теорії управління найбільше застосування одержало фундаментальне поняття асимптотичної сталості за А. М. Ляпуновим: така властивість досліджуваної динамічної системи (чи об'єкта, процесу), при якій досить малі зміни початкових умов функціонування системи і досить малі збудження не приводять із часом до необмежено великих відхилень параметрів стану системи від їх номінальних значень, а при зникненні збуджень система повертається до вихідного незбудженого стану. Сталість є найважливішою вимогою, якій має задовольняти будь-яка керована система, тому що у випадку несталості успішне виконання нею свого функціонального призначення й досягнення мети управління стає, як правило, неможливим.

У теорії управління існує багатий арсенал методів і алгоритмів дослідження сталості, основою для яких слугують дві групи методів, розроблених А. М. Ляпуновим і відомих у літературі як перший і другий методи Ляпунова (див. [5]).

Перший метод Ляпунова прямо або побічно пов'язаний з аналізом коренів характеристичних рівнянь відповідних лінійних або лінеаризованих диференціальних моделей керованих систем, він одержав найбільший розвиток і застосування у вигляді різноманітних критеріїв сталості. Зокрема, у практиці синтезу керованих систем широко використовуються як алгебраїчні, так і частотні критерії сталості, засновані на застосуванні операторного методу інтегральних перетворень Фур'є й Лапласа. *Другий метод* Ляпунова, що має найбільший ступінь спільності і придатний для дослідження широкого класу нелінійних систем, заснований на застосуванні апарата так званих функцій Ляпунова, процедури побудови яких являють собою окрему проблему, загальних методів вирішення якої дотепер не знайдено.

Відзначимо, що сталість є якісною, видовою властивістю досліджуваної системи і за своїм первісним визначенням не має потреби в кількіс-

ній оцінці. Однак у даний час у технічних додатках, у тому числі й у теорії управління, широке застосування одержали характеристики ступеня сталості, які називають запасами сталості і які мають відповідне кількісне вираження.

Керованість. Властивість керованості поряд зі властивостями сталості й спостереження належить до якісних видових властивостей об'єкта управління. Цією властивістю характеризується здатність об'єкта управління змінювати свій стан у тих чи інших межах під дією управління. У реальних технічних об'єктів межі зміни їх стану під дією управління завжди обмежені у фазовому просторі, при цьому будь-якому початковому стану об'єкта управління відповідає певна область фазового простору, не досяжна з даного початкового стану при будь-яких можливих управліннях. У зв'язку з цим очевидно, що задачі управління можуть ставитися й вирішуватися тільки в межах областей досяжності. Повна автоматизація управління на існуючій дорожній мережі поки неможлива. Значно спрощується автоматизація управління рухом транспортних засобів при наявності рейкових шляхів, заводських внутрішньоскладських перевезеннях, русі в кар'єрах, на полігонах і т. д. Актуальною й складною проблемою технічної кібернетики є безпілотне управління літальними апаратами.

Дослідження керованості об'єкта управління зводиться до аналізу й побудови областей управління й досяжності, розміри й конфігурація яких визначаються обмеженнями на управління, а також структурні властивості самого об'єкта управління, які відбиваються в його математичній моделі.

Найпростіша методика аналізу структурної керованості (тобто без обліку обмежень на управління) полягає у застосуванні відомих критеріїв управління Р. Калмана, сформульованих стосовно лінійних моделей об'єкта управління. При цьому задача аналізу управління є змістовною тільки в тому випадку, коли кількість параметрів управління менша за кількість параметрів стану, оскільки у випадку їх рівності очевидний висновок про повну структурну керованість об'єкта управління. Однак для реальних об'єктів кількість незалежних параметрів управління звичайно менша за кількість підлягаючих керованій зміні параметрів стану, тому задача аналізу структурної керованості таких об'єктів і побудови областей досяжності не є тривіальною.

У загальному випадку нелінійної моделі виду (2.2) і з урахуванням обмежень на управління ця задача є дуже складною задачею якісної теорії диференціальних рівнянь і загальних аналітичних методів її розв'язання не існує. Тому побудова областей досяжності здійснюється головним чи-

оцінки стану автомобіля й систем у комплексі зі стаціонарними засобами АСУ, адресованих насамперед механікам, майстрам і керівникам АТП.

На сучасному етапі найбільш характерним є об'єднання різних автомобільних систем контролю й діагностування на структурному й алгоритмічному рівнях у єдину інформаційну систему автомобіля з загальною мережею датчиків і мікропроцесорним блоком із нагромаджувачем у комплексі зі стаціонарними АСУ АТП.

Поряд із цим є тенденція введення блоків і функцій ВСД до складу мікропроцесорних систем автоматичного управління автомобілем із задачею контролю їх працездатності. Об'єднання різних автономних бортових систем реєстрації показників роботи і технічного стану автомобіля, витрати палива, наробітку основних агрегатів, виконаних ремонтно-технічних впливів, працездатності водія дає найбільш повне використання результатів контролю, бортової вимірювальної мережі, обчислювальних можливостей і пам'яті мікропроцесорних блоків обробки інформації. Забезпечується не тільки раціональна побудова бортового комплексу, але і новий, якісно більш високий рівень оптимізації оперативного управління в технічній і комерційній експлуатації [23].

У даний час ведуться розробки програм для ВСД з тим, щоб, крім числових значень, видавалися конкретні рекомендації. По закінченню зміни (рейса) і перед ТЕ механік АТП повинен мати можливість за запитом одержати з системи повні відомості про зафіксовані несправності, а також про наробіток агрегатів на міжконтрольному пробігу.

Перспективним також є розвиток діагностування стаціонарними й зовнішніми засобами, бортового діагностування вмонтованими в автомобіль засобами, мобільного діагностування на базі мобільних станцій і тимчасових пунктів діагностики. Для цього розробляються відповідні технології повнокомплектного діагностування, що містить у собі нормативні значення діагностичних і контрольних параметрів, систему вмонтованих датчиків, багатоконтактні штепсельні роз'єми, сигналізатори.

Контроль функціональних і діагностичних параметрів у сучасних діагностичних системах має виконуватися на фіксованих навантажувально-швидкісних режимах діагностування за спеціальними програмами. Рекомендується заносити в бортовий нагромаджувач результати контролю не тільки технічного стану, але і частоти виходу з ладу агрегатів і систем машин на екстремальних режимах як найбільш об'єктивній характеристиці ефективності роботи автомобіля.

Контрольовані стаціонарними або бортовими системами параметри технічного стану машин повинні видаватися за запитом на дисплей. У до-

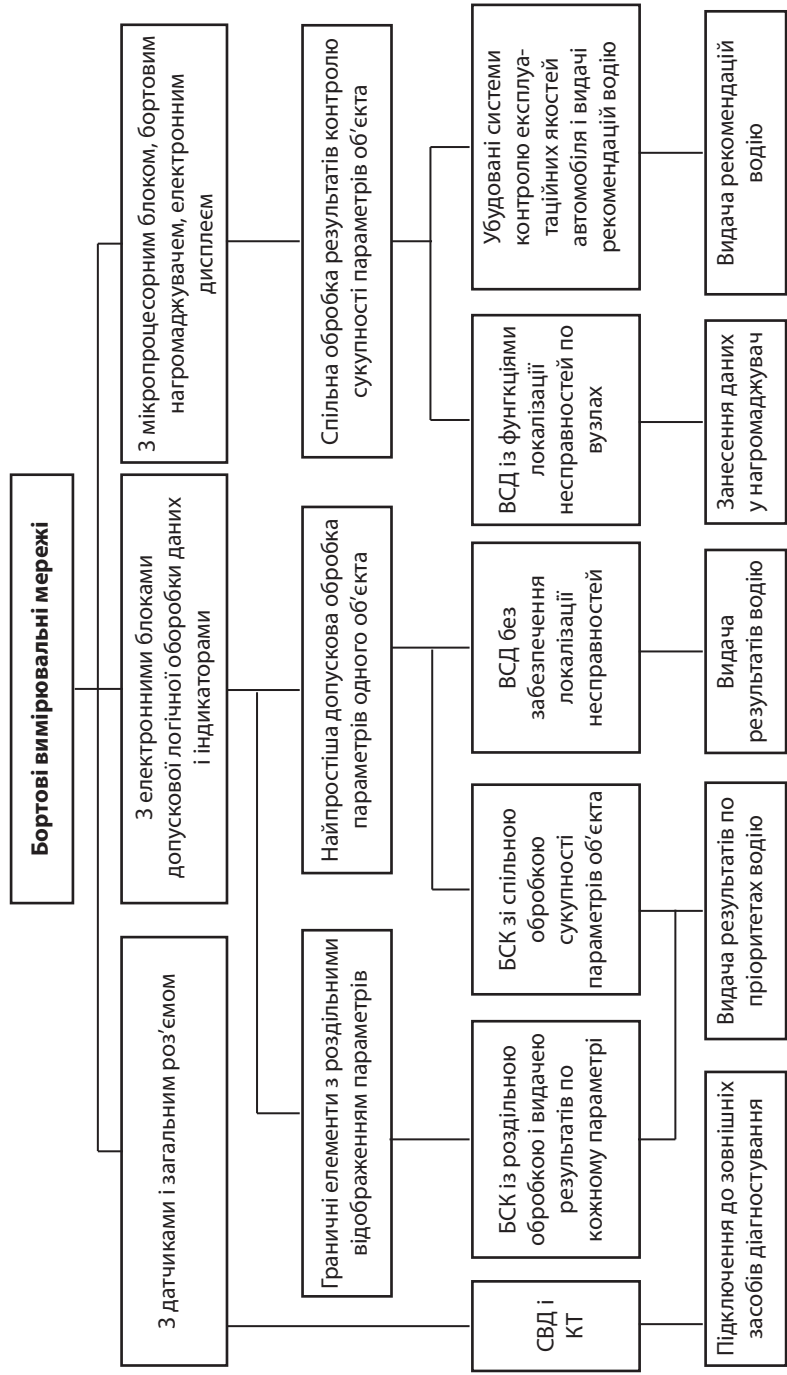


Рис. 19.9. Класифікація вбудованих засобів діагностування:

СВД – система вбудованих датчиків; КТ – контрольні точки; БСК – бортові системи контролю;

БСК – вбудовані системи діагностування

ном чисельними методами з урахуванням випадкового характеру діючих на об'єкт управління збуджень.

2.6. Спостереження. Якість управління та її показники

Спостереження. Поняття «спостереження» характеризує якісну виглядову властивість вимірювальної системи, розглянутої у сукупності з об'єктом управління як джерело інформації про стан об'єкта управління. Властивістю спостереження визначаються можливості вимірювальної системи з повного чи часткового відтворення інформації про стан об'єкта управління шляхом спостереження значень вимірюваних параметрів в умовах відсутності шумів вимірів.

У тих випадках коли існує принципова можливість однозначного визначення параметрів стану за вимірами, об'єкт управління називається цілком спостережуваним. Якщо ж визначенню піддається тільки частина параметрів стану, то об'єкт управління спостерігається не цілком. У цьому випадку потрібен спеціальний аналіз можливості розв'язання розглянутої задачі управління в умовах неповної спостережуваності і при необхідності – видозміна вимірювальної системи.

Питання про спостережуваність розв'язується порівняно просто, коли кількість вимірюваних параметрів дорівнює кількості обумовлених параметрів стану і зводиться до з'ясування можливості однозначного розв'язання системи алгебраїчних рівнянь (2.5) щодо невідомих x_1, \dots, x_n . Якщо ж кількість вимірюваних параметрів менша за кількість обумовлених параметрів, то для розв'язання питання про спостережуваність потрібен спільний аналіз моделей (2.5) і (2.2). З цією метою застосовуються відомі методики, включаючи критерії Р. Калмана для лінійних систем, а також узагальнення цих критеріїв на клас нелінійних систем [5].

Відзначимо, що для класу лінійних моделей поняття спостережуваності і керованості в математичному плані дуже близькі, що знаходить своє вираження в алгебраїчній тотожності формулювань критеріїв спостережуваності і керованості. Ця обставина у свій час стала для Р. Калмана підставою для введення цих понять у теорію управління як алгебраїчно двоїсті. Однак для нелінійних моделей подібна подвійність не має місця. З цієї причини методики аналізу властивостей спостережуваності і керованості для нелінійних систем докорінно розрізняються.

Якість управління, її показники. Якість є категорією загальнофілософського рівня і не піддається універсальному формально-логічному визначенню. Це поняття конкретизується й наповнюється різним значен-

невим змістом у залежності від області його застосування (наука, мистецтво, військова справа, сфера матеріального виробництва і т. д.).

У техніці під якістю розуміється сукупність об'єктивних властивостей, які відбивають ступінь відповідності технічного об'єкта чи системи своєму функціонально-цільовому призначенню. Ці властивості піддаються кількісному вираженню за допомогою показників якості.

У теорії управління використовується велика кількість показників якості, які характеризують властивості керованих процесів і ступінь досконалості застосовуваних методів управління й систем управління в цілому. Основними з цих показників є ті, що характеризують керовану систему з погляду досягнення поставленої мети управління. До них належать показники точності управління, що задаються як у детермінованих, так і у ймовірній формі, показники рівня енергетичних витрат на управління, потрібну витрату енергії, витрату палива, потрібну характеристичну швидкість, показник тимчасових витрат на управління, що визначає швидкодію керуючої системи, та ін.

Не меншу роль відіграють показники, що характеризують керовану систему як динамічний об'єкт, здатний успішно виконувати свої функції при зміні умов його застосування й дії збуджень. Найважливішими з таких показників є запаси сталості, а також характеристики якості перехідних процесів.

До показників якості, що характеризують керовану систему як об'єкт виробництва й експлуатації, належать: надійність, ресурс роботи і низка інших. Задача оцінки цих показників виходить за рамки теорії управління і вирішується відповідними методами на стадії технічного проектування й досліджень промислового зразка.

При вирішенні різних питань управління показники якості можуть відігравати різну роль залежно від механізму їх впливу на отримване рішення. Зокрема, якщо задаються так звані необхідні значення деяких показників якості, такі показники відіграють роль обмежень, що їм має задовольняти шукане рішення. Наприклад, синтезована система повинна забезпечити точність управління не гірше заданої, мати запаси сталості не нижче заданих і т. д. В інших випадках показник якості може відігравати роль критерія оптимізації, коли шукається таке розв'язання задачі, при якому відповідний показник приймає екстремальне (максимальне чи мінімальне) значення. Наприклад, управління може визначатися за умови мінімуму енергетичних витрат, максимальної швидкодії і т. п. Очевидно, що залежно від змісту й постановки задачі багато з перерахованих вище

тягових якостей автомобілів, а в деяких випадках – і з мотор-тестерами або дизель-тестерами. При цьому забезпечується перевірка систем на всіх навантажувально-швидкісних режимах, що полегшує виявлення несправностей. Досягається також можливість забезпечення системою команд і сигналів елементної бази тестерів і пультів управління стендами, а також включення в їх конструкцію спеціальних роз'ємів і забезпечення синхронізації при їх загальній роботі.

Різноманіття функціональних можливостей, апаратурної побудови й форм видачі результатів віддзеркалює класифікація вбудованих засобів діагностування за функціональними і структурними ознаками (рис. 19.9) [28].

Кількість датчиків визначає вартість і надійність БСК, ефективність якої залежить насамперед від умов використання результатів допускового контролю, адресованих винятково водію. Через це подальший розвиток мікропроцесорних БСК пов'язано не з нарощуванням кількості контрольованих параметрів, як колись, а зі вдосконаленням обробки даних, одержуваних у результаті вимірів, їх нагромадження, вторинної переробки за варійованими обчислювальними алгоритмами і видачею результатів не тільки водію, але і через нагромаджувач – персоналу технічної служби після повернення автомобіля в АТП. Такі автономні або функціонуючі в комплексі зі стаціонарними інформаційно-керуючими центрами АСУ мікропроцесорні системи для непрямого контролю, нагромадження й переробки результатів доцільно іменувати «вбудованими системами діагностування ВСД» на відміну від найпростіших БСК. Замість контролю структурних параметрів, які безпосередньо й однозначно відбивають рівень зносу деталі або працездатності вузла, у них за результатами вимірів функціональних параметрів обчислюються узагальнені змінні комплексні показники працездатності агрегатів і експлуатаційних якостей автомобіля (паливної економічності, гальмової ефективності), що в цілому відбиває його стан. Такі ВСД забезпечують формування рекомендацій водію й команд автоматичним регуляторам з обмеження швидкості руху, частоти обертання колінчатого вала двигуна, зі своєчасності постановки автомобіля на ТР і ТЕ, заміни конкретних вузлів і агрегатів, а разом зі стаціонарними комплексами АСУ визначають їх залишковий ресурс [28]. Ці системи, власне кажучи, автоматизують процедуру узагальненої оцінки стану автомобіля, його агрегатів, звичайно виконувану водієм і механіком суб'єктивно навіть при оснащенні бортовими системами контролю.

Конструювання ВСД ведеться за двома основними напрямками: створення автономних цілком орієнтованих на водіїв систем для узагальненої

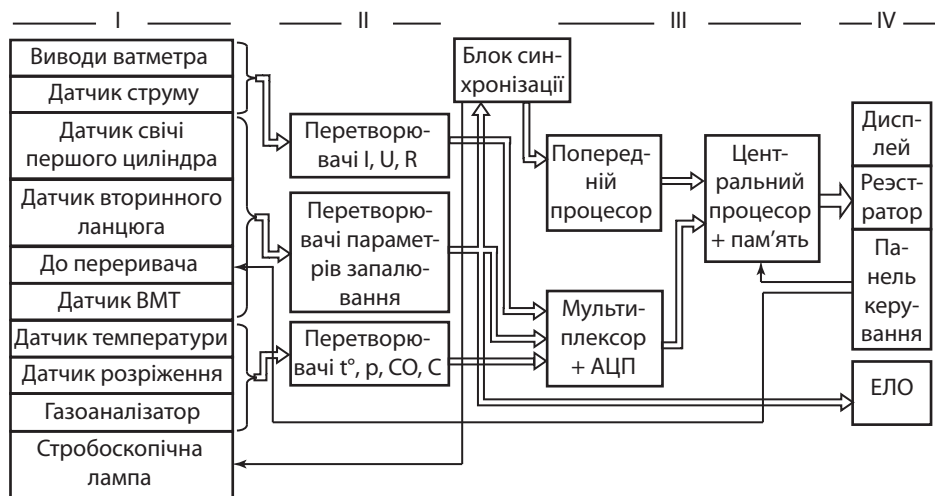


Рис. 19.8. Структурна схема мотор-тестера з мікропроцесором

системи управління оснащують спеціальним «діагностичним розніманням» і підключають до них вторинні переносні тестери. Прикладом може слугувати діагностичне забезпечення антиблокувальних мікропроцесорних гальмових систем, яке включає «діагностичне рознімання», найпростіші вбудовані елементи самоконтролю і вторинні переносні тестери для перевірки пневмоапаратів та електронних блоків антиблокувальних систем, яке виготовляється фірмою WABCO. Зокрема, застосовується тестер моделі 44600070010 для перевірки 4- і 2-контурних антиблокувальних систем із додатковою ASp-функцією управління розгоном (Antriebs Shlupf Regelung) вантажних автомобілів, автопоїздів і автобусів. Тестер забезпечує перевірку електричних сигналів 14-16 блоків антиблокувальних систем фірми WABCO шляхом підключення через 35-контактний і два 7-контактних роз'єми. Крім того, вбудований блок контролю дає можливість водію за двома індикаторними лампами на приладовій панелі стежити на режимах пуску двигуна, зрушення й у процесі руху за загальним станом і справністю системи в цілому.

Однак «діагностичне рознімання» у комплексі з використовуваними разом із ним вторинними тестерами відноситься, скоріш, до зовнішніх засобів діагностування з властивими їм можливостями.

Для загальної перевірки роботи антиблокувальних систем, комплексних систем управління двигуном дуже важлива можливість спільної роботи тестерів із стаціонарними біговими стендами для перевірки гальм і

показників можуть грати роль як обмеження, так і критерія оптимізації. У кожному з цих випадків показник якості відіграє активну роль у розв'язанні задачі.

Як найбільш загальні вихідні принципи теорії управління рухом і побудови відповідних систем управління розглядаються принцип зворотного зв'язку, принципи управління початковим, поточним та кінцевим станом об'єкта управління, а також принцип декомпозиції.

Контрольні питання і завдання

1. Охарактеризуйте поняття «об'єкт управління» і «мета управління» у кібернетичі.
2. Які математичні моделі знаходять найбільше застосування на практиці при розробці систем управління?
3. Охарактеризуйте поняття «стан систем управління».
4. Які можуть бути види керуючих впливів на керований об'єкт і на їх цілі?
5. Як оцінити вплив збуджуючих впливів на об'єкт управління?
6. Яке значення має інформація в управлінні технічними об'єктами?
7. Що таке апріорна й апостеріорна інформація?
8. Охарактеризуйте поняття «стійкість об'єкта» і «керованість об'єкта».
9. У яких випадках об'єкт управління називають спостережуваним цілком?
10. Які є якісні видові властивості спостережуваного стану об'єкта?
11. Наведіть показники якості управління, які характеризують властивості керованих процесів і експлуатації технічних об'єктів.

Глава 3. МОДЕЛІ Й МОДЕЛЮВАННЯ В КІБЕРНЕТИЦІ

- 3.1. *Поняття про модель і моделювання.*
- 3.2. *Фізична модель.*
- 3.3. *Математична модель.*
- 3.4. *Кібернетична модель.*
- 3.5. *«Чорна шухляда».*
- 3.6. *Моделювання автоматичних систем управління (АСУ).*
- 3.7. *Побудова граф-моделей в інформаційних технологіях і функціонування машин.*
- 3.8. *Імітаційне моделювання.*
- 3.9. *Сіткові граф-схеми управління виробництвом.*

3.1. Поняття про модель і моделювання

Метою глави є демонстрація деяких зв'язків між продуктивним мисленням людини, що породжує нове знання, і алгоритмічним функціонуванням комп'ютерів, загальної уяви про побудову й використання моделей для вирішення інженерних проблем. Поняття «модель», «моделювання» ґрунтуються на наявності певної подібності між двома об'єктами вивчення та, явно чи неявно, вводяться у всіх науках. У визначенні інформатики модель поставлено на перше місце. Між двома об'єктами існують відносини оригіналу й моделі, якщо між ними може бути встановлено подібність хоча б у будь-якому одному визначеному смислі.

Модель – це об'єкт будь-якої фізичної природи, що здатен замінити досліджуваний об'єкт (оригінал) таким чином, що вивчення моделі, як більш доступного об'єкта, дає нові знання про оригінал. Саме якість моделі визначає технічну цінність усього подальшого процесу обробки інформації. Опис кібернетичних технічних систем загалом називається вербальним описом.

Модель (в аналітичній, табличній, векторній, графічній чи іншій формі) завжди в тому чи іншому відношенні є простішою, доступнішою за оригінал. Вона має дозволяти проводити експерименти не на реальній фізичній моделі досліджуваного об'єкта, а за його описом. У цьому – зміст моделі. Вона повинна відбивати лише деякі риси й властивості об'єкта (оригіналу), істотні для одержання відповіді на питання, що цікавлять дослідника. З того самого оригіналу може бути зроблено безліч моделей, що відбивають ті чи інші властивості оригіналу. Модель дозволяє вивчати властиво-

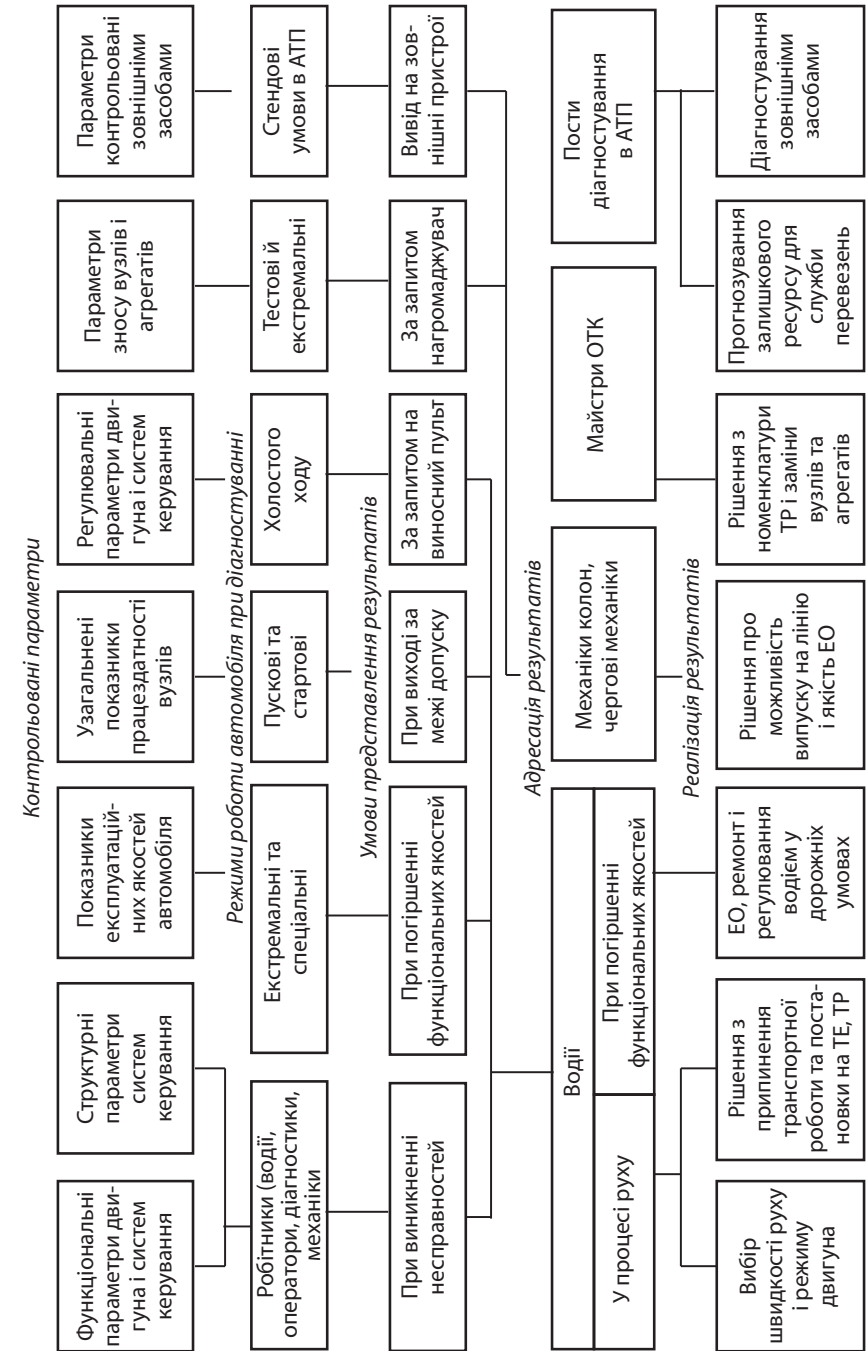


Рис. 19.7. Можливості і сфера контролю технічного стану вбудованими засобами

систему. При цьому основна відмінність БСК від комплексу індикаторів стандартної панелі полягає не стільки в розширенні номенклатури контрольованих параметрів, скільки в обов'язковій допусковій обробці результатів, можливостях аналізу доцільності їх запам'ятовування або відображення за пріоритетами.

У даний час розгалужені мікропроцесорні БСК дозволяють контролювати 15 – 20 допускових параметрів, забезпечуючи контроль стану зчеплення, віброізоляторів, акумуляторної батареї, системи запалювання, компресії по циліндрах та ін. (рис. 19.7) [28].

Діагностична система за допомогою мікроЕОМ контролює значення параметрів вхідних сигналів, які надходять від різних датчиків, стежить за правильністю спрацьовування виконавчих механізмів і ходом виконання програм мікроЕОМ.

З появою в якому-небудь пристрої неполадок діагностична система підтримує характеристики пристрою у припустимих межах, що дозволяє уникнути зупинки автомобіля. При цьому характеристики пристрою відрізняються від оптимальних. Якщо діагностична система оцінює роботу програми мікроЕОМ і значення вхідних/вихідних сигналів як ненормальні, то виконується заміна їх на заздалегідь встановлені значення для продовження руху.

Мотор-тестери. Впровадження мікропроцесорних систем управління й діагностування зробили автомобілі вкрай низько контролепридатними в умовах традиційного оснащення ремонтних зон АТП, гаражів і СТО. Перевірка автомобілів із такими системами за найбільш загальними вихідними показниками ефективності забезпечується на відповідним чином оснащених мотор(дизель)-тестерах і стендах із біговими барабанами. Структуру такого мотор-тестера представлено на рис. 19.8.

Так, наприклад, легкові автомобілі з мікропроцесорними й електронними системами управління карбюраторними двигунами можуть перевірятися сучасним мікропроцесорним мотор-тестером MOT-500 фірми «Bosch», а з антиблокувальними гальмовими системами – на стенді з біговими барабанами P3 фірми «Schenck» (ФРН).

У тестерах передових фірм заходу передбачено можливість перепрограмування шляхом заміни касети довгострокового запам'ятовуючого пристрою, яка містить програму роботи приладів, еталонів і нормативні дані. Така заміна вимагає приблизно хвилину часу.

Для поелементної перевірки, визначення характеру несправностей і пошуку елементів, які відмовили, найбільш складні мікропроцесорні

сті об'єкта-оригінала (процеса, явища), коли вивчення природи неможливо, незручно, дорого, небезпечно, довгостроково і т. д. За сутністю, будь-яке наше знання про предмет є моделлю, воно завжди в якомусь ступені неповне. Разом з тим воно безперервно збільшується в результаті побудови усе більш повних, точних моделей реального об'єкта.

Серед багатьох вимог, що пред'являються до моделі, найбільш важливою є вимога адекватності: модель має адекватно відображати досліджуваний фрагмент об'єктивної реальності. Іншими основними характеристиками моделі можна назвати точність, гнучкість, компактність, системну незалежність.

Вивчення яких-небудь властивостей об'єкта шляхом побудови його моделі й вивчення її властивостей називають моделюванням. Моделювання – один із найбільш розповсюджених способів вивчення різних процесів і явищ. Наприклад, діагностична модель – це формальний опис об'єкта діагностування, який враховує можливі зміни його технічного стану. Від того, наскільки вдало обрано модель, залежить успіх дослідження, вірогідність отриманого за допомогою моделі результату. На жаль, не існує однозначних і вичерпних рекомендацій з побудови адекватних моделей, тобто таких, що добре відбивають властивості оригіналу. Тому розробка «гарних» моделей залишається значною мірою мистецтвом дослідника.

При вивченні об'єктів кібернетичних систем використовуються три методи: математико-аналітичний, експериментальний і метод математичного моделювання (математико-машинний експеримент), тобто фізичні й математичні моделі.

Наприклад, аналітичну модель може бути побудовано у фізичній області. Вона являє собою абстрактну систему, що складається з точечної маси (m), яка спирається на безінерційну лінійну пружину (k) і пов'язану з в'язкісним демпфером (c). Масу встановлено таким чином, що вона може переміщуватися тільки в одному напрямку (x), тобто система має один ступінь свободи (рис. 3.1).

Структурну модель об'єкта може бути виражено графічно, у вигляді матриці, графів, номограм та інших мов моделювання структур. Часто використовують ситуаційне, кібернетичне й імітаційне моделювання.

Математичну модель у часовій області може бути отримано шляхом додатка другого закону Ньютона до аналітичної моделі (рис. 3.1). Порівнюючи внутрішні (інерції, загасання й пружності) і зовнішні (збудження) сили, одержимо таку модель:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = f(t).$$

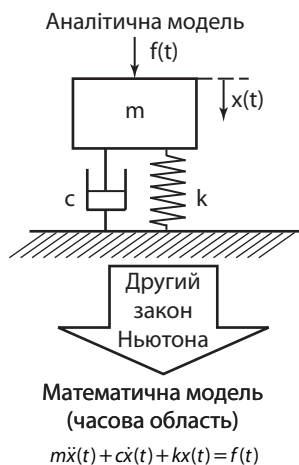


Рис. 3.1. Моделі аналітична й математична

Ця модель представлена у вигляді диференціального рівняння другого порядку. Більш просту в математичному відношенні модель може бути отримано в частотній області.

3.2. Фізична модель

При фізичному моделюванні модель відтворює досліджуваний об'єкт, процес (оригінал) зі збереженням його фізичної природи. Так, макет автомобіля дозволяє при випробуваннях оптимізувати конструкцію, робочі процеси й режими управління в експлуатації. Макет гідроелектростанції дозволяє моделювати водяні режими. Військові навчання дають можливість реальніше представити ймовірні ситуації у війні. Слідчий експеримент відтворює обставини зробленого злочину. Ділова гра моделює управління підприємством. Лабораторна установка як маломасштабна модель дозволяє відробити технологічний процес.

Між процесом-оригіналом і процесом-моделлю зберігаються якісь відносини подоби, що впливають із закономірностей фізичної природи явищ. Це питання вивчає спеціальна теорія, що називається теорією подоби.

Діагностику окремих вузлів і автомобіля в цілому можна розглядати як особливий вид фізичного моделювання, що сполучає фізичні моделі з натурними приладами. Прикладами такого моделювання є стенди для випробування машин, тренажери для людей і т. д. В основі моделювання лежить теорія подоби чи аналіз розмірностей. Фізична подоба вимагає сталості співвідношень між параметрами, істотними для розглянутого фі-

нагромаджувач і на штекерний роз'єм, які несуть функції всіх трьох зазначених різновидів. Такі системи призначено для використання водієм або механіком АТП і видачі даних в ЕОМ стаціонарного комплексу АСУ роботою і технічним станом парку.

Наявні в даний час розробки показують доцільність діагностування вбудованими засобами двигуна й вузлів, основних функціональних якостей автомобіля за функціональними параметрами агрегатів і руху автомобіля, узагальнених показників працездатності найважливіших агрегатів.

Мікропроцесорні вбудовані системи діагностування повинні з випередженням виявляти передвідмовні стани вузлів, які забезпечують найбільшу частоту звертань у ремонтну зону АТП або на СТО, а також зниження функціональних якостей, що представляє погрозу для безпеки руху. Зокрема, потрібно контролювати паливну економічність, стан акумуляторної батареї, нерівномірність дії гальм і сумарну гальмову ефективність із видачею рекомендацій водію з обмеження швидкості руху та ін.

Автомобільні системи мають бортову мережу вбудованих у конструкцію автомобілів датчиків і контрольних точок системи електроустаткування, яке підключається при діагностуванні до зовнішньої вторинної діагностичної апаратури.

Автономні бортові системи контролю (БСК) забезпечують допусковий прямий контроль роздільно за 10-12 параметрами з синхронною видачею результатів на приладову панель, виконують перевірку технічного стану вузлів за структурними параметрами, правильність функціонування – за вихідними параметрами, які прямо й однозначно відображають контрольований процес. Установлювані на БСК пристрої поєднуються на мікропроцесорній основі в одне ціле з іншими пристроями контролю (економетром, маршрутним комп'ютером, електронною панеллю, покажчиком доцільності переключення передач) і зв'язуються з автоматичними регуляторами (впорскування, запалювання, роботи трансмісії та ін.). Подібні зв'язки виникають як при використанні загальних датчиків одночасно для декількох компонентів, так і при виконанні функцій обробки, відображення й нагромадження даних загальними для них блоками. Мікропроцесорні БСК містять у собі вбудовані датчики, аналого-цифрові перетворювачі або перетворювачі сигналів датчиків у стандартну імпульсну форму, пульт управління з дисплеями, блоки пам'яті, арифметико-логічний пристрій з оперативними запам'ятовуючими пристроями й інтерфейсом (мікропроцесор), стабілізовані блоки живлення.

Сучасні БСК легкових автомобілів часто конструктивно поєднуються традиційною приладовою панеллю в єдину автомобільну інформаційну

пов'язані із синхронізацією, вирішуються комп'ютером, на якому реалізуються нейронні мережі.

На основі нейронних мереж можна створювати реально діючі системи для розпізнавання образів, звукових сигналів, мови, нових сотових систем радіозв'язку, стиску інформації, автоматичного управління, систем роботів, що самонавчаються, військової техніки, які здатні адаптуватися до навколишнього оточення і приймати оптимальні рішення, проводити динамічну діагностику, експертні оцінки й інші додатки. Нейронні мережі – один з основних архітектурних принципів побудови ЕОМ шостого покоління. Сьогодні розробками в цій області займаються більш ніж 300 закордонних компаній, причому їх кількість постійно збільшується. Серед них – такі гіганти, як Intel, DEC, IBM і Motorola.

Разом із тим головним у розвитку нейроінформаційних технологій є інтелектуалізація обчислювальних систем, додання їм властивостей людського мислення й сприйняття. Багато вітчизняних і закордонних фахівців припускають, що нейрокомп'ютери стануть основною платформою для розвитку обчислювальної техніки ХХІ століття.

19.5. Інформаційні контрольні-діагностичні системи

Вбудовані засоби діагностування стали невід'ємною частиною електронного оснащення автомобілів. Мікропроцесорним вбудованим засобом передається задача контролю за технічним станом усіх агрегатів, вузлів і автомобіля в цілому.

Вбудовані засоби підрозділяються на:

- системи датчиків і контрольних точок, які забезпечують виведення сигналів на зовнішні засоби діагностування;
- бортові системи контролю для допускового контролю параметрів функціонування і технічного стану з виводом результатів тільки на дисплеї у кабіні водія;
- вбудовані системи діагностування – автономні або функціонуючі комплексно зі стаціонарними інформаційно-керуючими центрами. Ці системи призначено для непрямого узагальненого контролювання працездатності вузлів і агрегатів із видачею результатів на дисплей водія й у бортовий нагронадзвувач для наступного прогнозування, обліку ресурсу й наробітків вузлів, коректування режимів ТЕ стаціонарними ЕОМ [28].

Найбільше поширення одержали вбудовані системи з мікропроцесорною обробкою, нагронадзвувачем і видачею інформації водію, у бортовий

зичного явища (силами, моментами, швидкостями, температурами і т. д.). Існують способи повного й неповного (наближеного) моделювання.

3.3. Математична модель

Для кібернетики найбільшого значення набули математичні моделі і математичне моделювання. Процес визначення математичної моделі об'єкта з метою оцінки його динамічних характеристик часто називають ідентифікацією об'єкта його математичною моделлю.

Математичною моделлю називають систему математичних співвідношень, які описують досліджуваний об'єкт.

Під математичним моделюванням розуміють розробку математичних моделей і вивчення з їх допомогою деяких властивостей оригіналу. Опис у вигляді логічних систем і алгоритмів формальної моделі називається формалізованим. З формальною моделлю можна виконувати різні перетворення й експерименти, спрощувати структуру моделі, застосовувати схеми заміщення і т. д. На цій моделі, не торкаючись самого об'єкта, можна досліджувати різні режими роботи об'єкта при зміні його параметрів і знайти керуючі впливи. У кібернетиці великий розвиток одержали функціональні, чи феноменологічні, моделі, які імітують поведінку оригіналу, тому що сутність динамічного об'єкта виявляється в способі його поведінки або функціонуванні.

Математичні моделі можуть являти собою аналітичні залежності, графіки, диференціальні рівняння, що описують рух систем, або таблиці чи графіки переходів систем з одних станів в інші і т. д. З математичними моделями зустрічається кожна людина уже зі шкільної лави. Будь-яка математична формула в механіці, фізиці, хімії є математичною моделлю якого-небудь процесу чи явища. Так, якщо V – постійна швидкість, скажімо, автомобіля, t – час руху, то формула

$$S = V \cdot t \quad (3.1)$$

є математичною моделлю процесу наростання пройденого автомобілем шляху (S).

Іншим, більш складним, прикладом є управління й прогнозування надійності машини. Покажемо це на прикладі структурної схеми математичної моделі (рис. 3.2). Для наочності представимо цю структурну схему деяким набором конструктивних, технологічних і експлуатаційних параметрів 1...10, що визначають технічний стан машини (рис. 3.3). На цих малюнках $\bar{F}(t)$ – вектор зовнішніх впливів; $\bar{H}(t)$ – вектор середньої кількості відмов за час t ; $\bar{P}(t)$ – вектор перешкод, викликаних відхиленнями в процесі конструювання, виробництва й доведення конструкції,

$\bar{D}(t), \bar{B}(t)$ – вектор експлуатаційних впливів, які приводять до зменшення шкідливого впливу низки факторів (профілактика, діагностика, ремонт, регулювання і т. д.). Дослідження надійності об'єкта полягає в тому, щоб за відомими векторами $\bar{F}(t), \bar{P}(t), \bar{B}(t)$ визначити вектор $\bar{H}(t)$:

$$\bar{H}(t) = Q[\bar{F}(t), \bar{P}(t), \bar{B}(t)], \quad (3.2)$$

де Q – певний оператор у загальному випадку різного виду (диференціальний, інтегральний, нелінійний, із випадковими параметрами, функціями і т. д.).

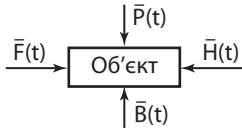


Рис. 3.2. Структурна схема математичної моделі надійності

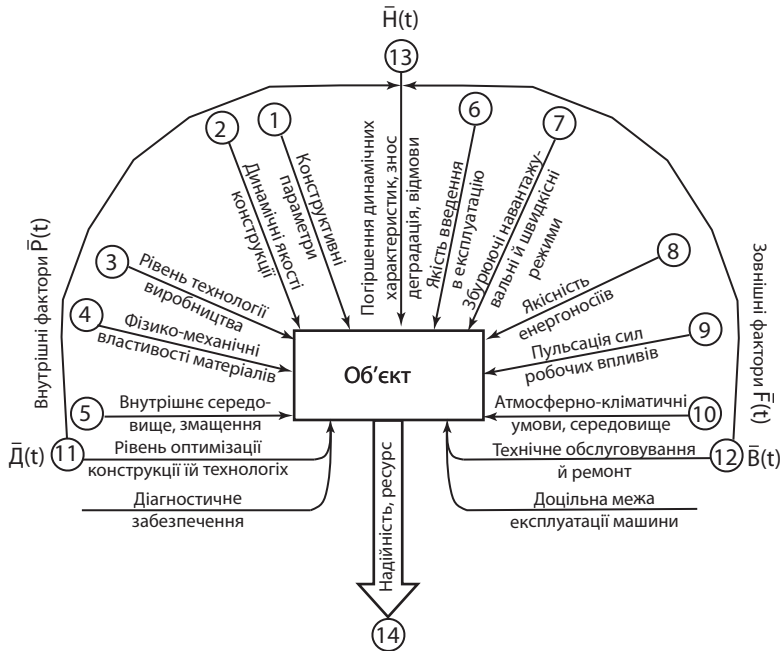


Рис. 3.3. Структурна схема моделі управління надійністю машин

Такими складними кібернетичними об'єктами (див. рис. 3.2 і 3.3) при використанні класичної теорії надійності керують за допомогою процесу навчання-доведення машин, що триває 7 – 10 років. Структурна схема такого процесу навчання зі зворотним зв'язком має вигляд, показаний на рис. 3.4 [6].

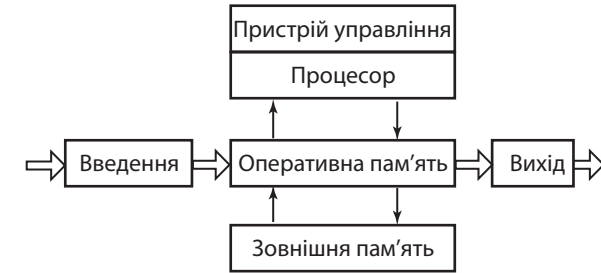


Рис. 19.6. Загальна схема зв'язків між основними пристроями ЕОМ

Переносні комп'ютери (ПЕОМ) виконуються у виді єдиного блоку, як правило, у вигляді книги, на одній «сторінці» якої розміщено клавіатуру, а на іншій – екран. Функціонально вони нічим не відрізняються від стаціонарних і складаються з тих же основних елементів: процесора, пам'яті, нагромаджувачів на дисках.

Центральну частину ЕОМ складає системний блок, який компонується з процесора, постійної й оперативної пам'яті, пристрою для збереження інформації на магнітних дисках, блоку живлення, динаміка, адаптера – пристрою для управління зовнішніми пристосуваннями (дисплеєм, принтером, мишею та ін.). Процесор забезпечує виконання операцій над вхідними даними. Він одержує вихідні дані з пам'яті, за ними виробляє проміжні й остаточні результати, які знову відправляються в пам'ять, і виконує тільки ті операції, що визначені для даної машини її конструктивними можливостями. Характерна риса процесорів – висока швидкодія. В ЕОМ високого класу вона визначається мільйонами операцій на секунду.

Нейрокомп'ютери. У даний час існує велике розмаїття нейрокомп'ютерів – від спеціалізованих інтегральних схем, у які вводиться заздалегідь визначена структура нейронної мережі, до універсальних програмувальних співпроцесорів до обчислювальних машин, на яких можна реалізовувати будь-які нейронні мережі. Існує також ціла низка проміжних типів нейрокомп'ютерів із тим або іншим ступенем спеціалізації.

Особливістю нейрокомп'ютерів є можливість сформуванню стандартний спосіб розв'язання багатьох стандартних задач. Замість програмування в нейрокомп'ютерах застосовуються різні процедури навчання. При цьому робота програміста замінюється працею «вчителя». У деяких випадках замість вчителя може виступати імітаційна або аналітична модель. Для програмних імітаторів нейронних мереж на цифрових ЕОМ питання,

мації. Вони дозволяють прискорити обчислювальний процес у мільйони разів і переробляти інформацію.

У процесах управління ЕОМ може виконувати такі функції: 1) обробку інформації про стан об'єкта, представлення її у вигляді, зручному для управління; 2) побудову (синтез) математичної моделі об'єктів, процесів, за допомогою якої обирається управління; 3) розрахунок управління, яке приводить модель (об'єкт) у необхідний стан відповідно до заданої мети; 4) корекцію (адаптацію) моделі на базі нової інформації про дійсний стан об'єкта.

Утім, віддавати таку хвалу ЕОМ беззастережно – несправедливо й просто невірно. ЕОМ стає «інтелектуалом» лише завдяки програмі, що закладається в неї. Без програми ЕОМ – просто перемикальна схема, швидкодіючий перемикальний пристрій. Програма – це «мозок» для ЕОМ, її «розум», яким з нею поділилася людина.

Принципи роботи ЕОМ показано на рис. 19.5, а загальну структурну схему представлено на рис. 19.6. Технічні можливості сучасних ЕОМ з електромагнітними системами (машин фон Неймана) описано в главі 16. Архітектура й устрій ЕОМ, представлення інформації, організація запам'ятовування й вибірки інформації, організація введення й виводу інформації, обробка її у центральному процесорі, стандартні підпрограми й мікрооператори, алгоритмічні мови й операційні системи, системи управління базами даних описано в спеціальній літературі.

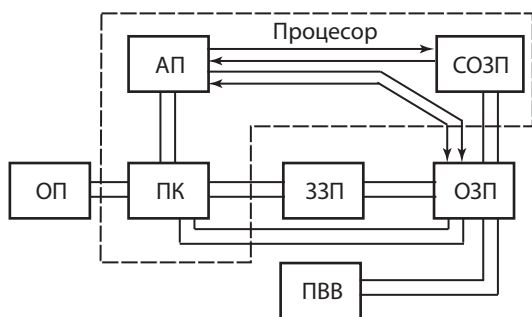


Рис. 19.5. Узагальнена структурна схема ЕОМ:

АП – арифметичний пристрій; ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій;
 ЗЗП – зовнішній запам'ятовуючий пристрій; СОЗП – супероперативний ЗП;
 ПК – пристрій керування; ПВВ – пристрої введення-виводу; ОП – обчислювальний процесор

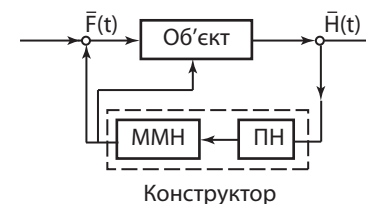


Рис. 3.4. Структурна схема процесу доведення з прогнозом (ПН) і математичною моделлю надійності (ММН)

Оскільки всі абстракції неповні й неточні, можна говорити тільки про наближену відповідність до реальності тих результатів, які отримано дослідженням на моделях. Процес конструювання моделі не є механічним, він вимагає інтуїції, розуміння природи явища і розв'язуваної проблеми. Відповідність законів руху, зв'язків і відносин об'єктів моделі елементам реального об'єкта називається адекватністю, ступінь адекватності визначає, чи можна застосувати такі результати до конкретної проблеми в реальному об'єкті. Часто адекватність моделі визначається низкою умов і обмежень на сутності реального об'єкта, і для того щоб використати результати аналізу, отримані на моделі, необхідно ретельно перевіряти ці обмеження й умови. Достатня формалізація процесу повинна знаходитися в більш простих формулах. Перевірка може здійснюватися двома шляхами: 1) одержання шуканого результату безпосереднім виконанням перетворень об'єктів у світі речей; 2) одержання результату спочатку виконанням операції «абстрагування» та переходом у світ моделей, потім виконанням операції «перетворення моделей» і, нарешті, виконанням операції «конкретизація» із поверненням у світ реальних об'єктів із реалізацією шуканого результату на основі аналізу й перетворення моделі.

Відзначимо, що на рис. 3.5 ясно видно розходження в задачах фундаментальних і інженерних наук.

Теоретики займаються внутрішніми проблемами теорій: розробкою абстрактних моделей, методів їх перетворення й аналізу. Вони цікавляться проблемами, що належать на рис. 3.5 області «світу ідей». Часто вони будують формальні структури взапас, для можливого використання в майбутньому. У значно меншому ступені їх цікавлять питання абстрагування й адекватності моделей, їх інтерпретація в різних додатках.

Перед інженерами стоїть задача побудови й аналізу реальних об'єктів, але замість вирішення її безпосередньо, вони спочатку абстрагуються від усіх несуттєвих для розв'язання поставленої проблеми деталей реальності, обирають модель, що відбиває істотні деталі реальності, користуються

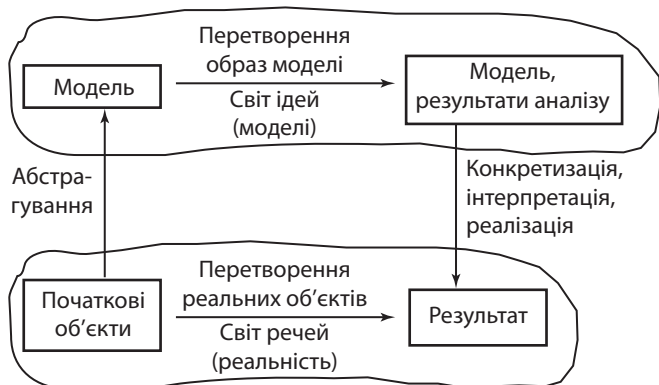


Рис. 3.5. Співвідношення моделей і реальних явищ

розробленими теоретиками методами перетворення й аналізу моделей, після чого розв'язують вихідну задачу за допомогою інтерпретації й застосування цих теоретичних результатів у реальному об'єкті. Для інженерів проблема перевірки й забезпечення адекватності використовуваних моделей є визначальною. Важливою є також проблема вибору серед безлічі формальних моделей такої, у рамках якої вихідна проблема має розв'язку. Найчастіше рамки моделі накладають істотні обмеження на застосовність результатів цього підходу в реальному об'єкті. На рис. 3.5 область головних інтересів інженерів – це проблеми зв'язку світу реального і світу ідей, тобто питання адекватного використання існуючих моделей для вирішення конкретних задач практики.

Отже, у сучасній науці склався розумний поділ праці: теоретики, звичайно, не займаються питаннями використання своїх теоретичних конструкцій, а інженери, звичайно, не будують нові формальні моделі.

Логіка вивчає форми мислення й способи їх вираження в мові. Формальна математична логіка розв'язує проблеми перевірки правильності міркувань у природній мові (реальний світ), будуючи свої моделі і правила їх перетворення. Для цього логіка вводить свої мови – систему формальних позначень (формули) і правила їх перетворення. Тому логіку можна розглядати як безліч правил маніпулювання формулами, що описують твердження природної мови.

Математична модель є кінцевим продуктом процесу абстракції, формалізації досліджуваного явища. На рис. 3.6 представлено схему побудови математичної моделі. Першою стадією розробки математичної моделі є

специфікації проводиться детальне вивчення проекту, у тому числі звертається увага на терміни розробки, витрати на неї, розміри ЕБК, і приймається рішення про доцільність використання мікроЕОМ. Після цього відбирається кілька типів мікроЕОМ, придатних для даної системи, і на них проводиться попереднє проектування схеми управління.

На етапі попереднього проектування аналізуються способи управління введенням-виводом, необхідний обсяг ПЗП й ОЗП та складається блок-схема, яка дає уявлення про функції управління в цілому. Оскільки вибір мікроЕОМ в остаточному підсумку визначає характеристики системи, необхідний ретельний аналіз схем управління, виконаних на базі тієї або іншої мікроЕОМ, і на його основі вибір оптимального варіанта.

МікроЕОМ можна класифікувати за розрядністю, кількістю використовуваних кристалів і технологією виготовлення. За кількістю розрядів ОЗП мікроЕОМ поділяються на 1-, 4-, 8- і 16-розрядні моделі. Існують ще й 32-розрядні мікроЕОМ, однак в автомобільній апаратурі вони поки не використовуються. Як правило, 1- і 4-розрядні мікроЕОМ являють собою однокристалічні пристрої, більшість 16- і більш розрядних мікроЕОМ реалізуються як багатокристалічні. 8-розрядні мікроЕОМ бувають як однокристалічні, так і багатокристалічні.

МікроЕОМ складається з логічних елементів, що оперують двійковими числами, тому програма, що визначає порядок дії мікроЕОМ, також повинна представляти набір двійкових чисел. Для зручності сприйняття процес складання програм здійснюється в мнемонічному коді з використанням спеціалізованого асемблера, який враховує особливості швидкодії, використовуваних апаратних засоби, можливості перетворення в машинну мову.

ЕОМ загального призначення широко застосовуються в системах збирання й обробки інформації (див. главу 13), автоматизації систем управління транспортними підприємствами і транспортними процесами (див. главу 14).

Роль ЕОМ у кібернетичі настільки велика, що поширилася думка, начебто теорія й практика створення й застосування ЕОМ – це і є кібернетика. Потрібно відзначити помилковість таких представлень. Дійсно, теорія й практика ЕОМ, цього універсального настроюваного автомата, є зараз великим і дуже важливим науково-технічним напрямком. Але цей напрямок – тільки частина кібернетики і, отже, її не вичерпує: адже кібернетика – наука про загальні закони функціонування будь-яких керованих систем, а ЕОМ – окремий приклад такої системи.

Застосування ЕОМ дозволяє автоматизувати й оптимізувати різноманітні процеси управління, пов'язані з обробкою великого обсягу інфор-

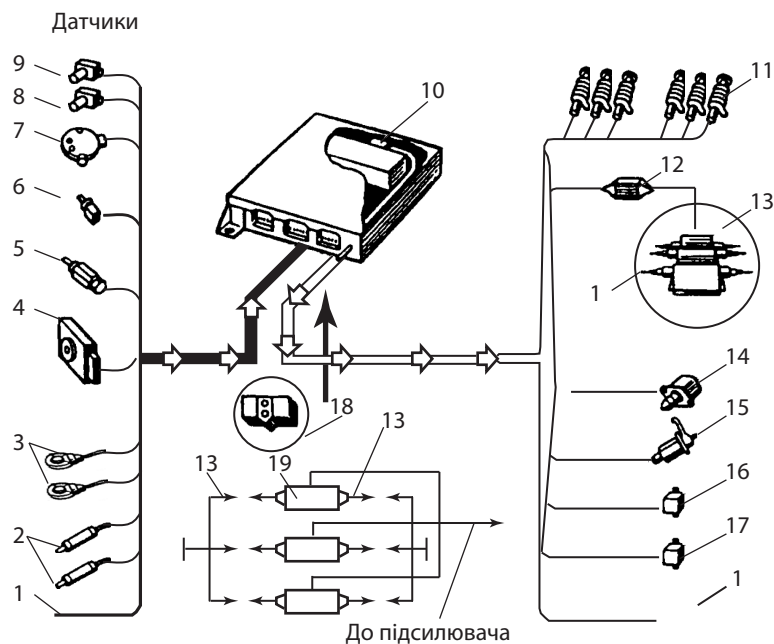


Рис. 19.4. Система MPFI:

1 – додаткові виводи схеми з'єднання; 2 – кисневі датчики; 3 – датчики детонації; 4 – датчик положення дросельної заслінки й вимикач холостого ходу; 5 – датчик температури подаваного повітря; 6 – датчик температури охолоджуючої рідини; 7 – датчик Холу; 8 – датчик моменту запалювання; 9 – датчик частоти обертання колінчатого вала; 10 – датчик тиску у впускному трубопроводі; 11 – форсунки; 12 – каскад підсилювача; 13 – здвоєні свічі; 14 – клапани стабілізації холостого ходу; 15 – електромагнітний клапан резервуара з активованим вугіллям; 16 – блок управління підігрівом кисневого датчика; 17 – реле паливного насоса; 18 – датчик тиску; 19 – котушка запалювання

19.4. Електронні обчислювальні машини

МікроЕОМ. ЕОМ загального призначення для автомобілів малопридатна. У транспортних машинах застосовуються одно- і багатокристалічні мікроЕОМ. Важливим моментом при розробці автомобільної електронної системи на основі мікроЕОМ є її вибір. Для цього необхідно мати коротку специфікацію системи, де описано функції, що ЕОМ повинна виконувати, її структура, типи вхідних і вихідних пристроїв (датчиків і виконавчих механізмів), функції схем управління і послідовність дії. На основі цієї

побудова зміцненого, схематизованого образу, «образної» моделі. Такими моделями-образами є, наприклад, у механіці образи матеріальної точки, абсолютно твердого тіла; в астрономії – планетна система як система матеріальних точок; у фізиці – планетарна модель атома та ін. Вдала схематизація об'єкта значною мірою визначає успіх дослідження й побудови теорії явища. Так, представлення Сонячної системи у вигляді системи матеріальних точок, що мають визначену масу тяжіння, дозволило з високою точністю розраховувати рух планет.

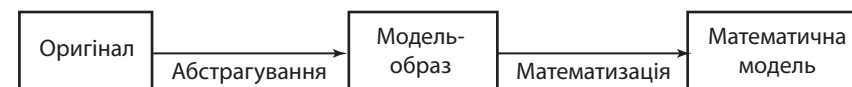


Рис. 3.6. Схема побудови математичної моделі

Наступна стадія – математизація моделі-образа, встановлення необхідної сукупності параметрів і характеристик, встановлення визначених зв'язків між ними. Тут, звичайно, використовуються деякі фундаментальні закони природи, інші встановлені раніше закономірності, які обмежують можливі значення параметрів об'єкта.

У результаті проведеної математизації й утворюється те, що прийнято називати математичною моделлю. Математичні моделі, чисельні методи й ЕОМ дали можливість проектувати складні технічні системи й одержувати характеристики, близькі до розрахункових.

Математична модель має бути за можливістю простою у використанні і зрозумілою для тих, хто нею користується, представницькою у всьому діапазоні застосування, досить адекватною, щоб із необхідною точністю відображати досліджуваний об'єкт, а також орієнтованою на обчислювальні можливості, що є в розпорядженні дослідника.

Застосування математичної моделі в дослідженнях часто називають обчислювальним експериментом.

3.4. Кібернетична модель

Поширеним є вживання слів «модель», «моделювання» разом із деяким визначенням чи доповненням, що характеризує предметну приналежність моделі чи яку-небудь іншу її особливість. Говорять: «економіко-математична модель», «екологічна модель», «моделювання на суцільних середовищах», «модель нервової клітини», «імітаційна модель», «статистичне моделювання» і т. п.

Коли говорять «кібернетична модель», то мається на увазі, що за допомогою цієї моделі будуть вивчатися процеси управління.

Кібернетична модель відбиває процеси управління. Вона може бути математичною чи змішаною. Змішана модель може містити, крім математичних, фізичні моделі і навіть натурні блоки. Це пов'язано з тим, що, на жаль, не всі об'єкти поки може бути вірогідно описано математично.

Побудова кібернетичної моделі та її наступне дослідження називається кібернетичним моделюванням (див. рис. 3.3).

Якісні методи використовуються, в основному, при постановці задачі, розробці варіантів, обранні підходу до оцінки. Вони використовують досвід людини, його переваги, які не завжди може бути виражено в кількісній оцінці. Кількісні методи більше уваги приділяють аналізу варіантів, висувають на перший план кількісні характеристики з оцінкою їх коректності, точності, помилок і т. п. Наприклад, процес проектування й доведення машини (див. рис. 3.2 – 3.4) можна значно прискорити і краще оптимізувати, якщо за критерії технічного стану $\bar{D}(t)$, $\bar{F}(t)$, $\bar{P}(t)$, $\bar{B}(t)$ прийняти вібраційні параметри [6].

При моделюванні поведінки (руху) керованих систем широко користуються поняттям «чорної шухляди».

3.5. «Чорна шухляда»

Під методом «чорної шухляди» у кібернетиці розуміють метод дослідження (вивчення) системи, внутрішня структура якої недоступна для спостереження. При цьому зовнішньому спостерігачеві доступні лише вхідні й вихідні величини досліджуваної системи (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Схема «чорної шухляди»

«Чорна шухляда» для автомобіля – оманна простота, а входи – нетривіальна задача. Входи – це кермове колесо, педалі, важіль коробки передач, перемикачі сигналізації й освітлення. Тип і стан дороги, видимість, температура повітря, вітер, дощ, інтенсивний рух на дорозі – теж вхідні дії. На

палювання. На відміну від механічних систем типу вакуумного регулятора вона дозволяє реалізувати оптимальний закон управління, який враховує частоту обертання двигуна.

Для управління детонацією використовуються високочутливі резонансні й нерезонансні датчики детонації, які прикріплюються до блоку циліндрів двигуна, виявляють детонацію і змінюють кут випередження запалювання. Резонансні датчики звичайно мають найвищу чутливість близько 6 кГц. Датчик детонації часто застосовується у двигунах із наддуванням, де підвищений ступінь стиску і часто виникає детонація, а також у двигунах, які працюють на неетилованому високооктановому бензині. Датчик виявлення запалення в камері згорання дизельного двигуна, виконаний з використанням світлодіодів, дозволяє усунути зсув моменту запалення, викликаною зміною тиску повітря і різних складів паливної суміші.

Карбюраторний пристрій за допомогою електромагнітів керує шляхами проходження палива й повітря в карбюраторі, підтримує склад суміші близьким до стехіометричного. У загальному випадку управління здійснюється регулюванням надходження палива за допомогою дозувального жиклера й подачі повітря за допомогою електромагнітів.

Функціонування системи МРФІ управління двигуном, установлюваної на шестициліндрових двигунах автомобілів «Audi», представлено на рис. 19.4 [28]. Складові частини системи МРФІ такі: датчик частоти обертання колінчатого вала двигуна 9, датчик моменту запалювання 8, датчик температури охолоджуючої рідини 6, датчик температури подаваного повітря 5, потенціометр дросельної заслінки 4, вимикач холостого ходу, кисневі датчики 2, датчик тиску у впускному трубопроводі (розташований у блоці управління).

Виконавчі органи: форсунка 11, потужний кінцевий каскад підсилювача 12 і, крім того, здвоєні котушки запалювання 19, клапан резервуара з активованим вугіллям 15, блок управління підігрівом кисневого датчика 16, реле паливного насоса 17.

ЕБК на основі отриманих даних розраховує кількість впорскуваного палива, моменти запалювання та впорскування. На основі отриманої інформації мікроЕОМ розраховує керуючі параметри для форсунок, запалювання, стабілізації холостого ходу і магнітного клапана резервуара з активованим вугіллям. Основний сигнал – тиск у впускному трубопроводі.

Система діагностики апаратури багатоточечного впорскування палива МРФІ при запуску й роботі двигуна стежить за всіма сигналами датчиків, регулюванням детонації й стабілізацією холостого ходу, а також за електричним ланцюгом резервуара з активованим вугіллям.

Оптимальна частота обертання колінчатого вала двигуна на холостому ходу встановлюється відповідно до температури охолоджуючої рідини й навантаження двигуна. Існує дві системи управління – керування кількістю повітря, яке надходить в обхід дросельної заслінки, і безпосереднє управління дросельною заслінкою.

При забезпеченні оптимального кута випередження запалювання в електронний блок управління *рис. 19.3* надходять електричні сигнали від відповідних датчиків Д, у яких ці сигнали обробляються (відбувається алгебраїчне додавання) і результуючий сигнал подається як керуючий на транзисторний комутатор ТК, який і перериває струм у котушці запалювання.

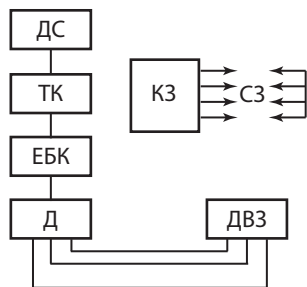


Рис. 19.3. Схема системи запалювання з електронним управлінням:

Д – датчики; ЕБК – електронний блок керування впорскуванням палива;
ТК – транзисторний комутатор; ДС – датчик імпульсів, синхронних із частотою обертання колінчатого вала; КЗ – котушка запалювання; СЗ – свічі запалювання;
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання

Як датчики в системі безпосереднього виміру кількості повітря, всмоктуваного двигуном, застосовують пластину, яка повертається повітрям, провідник, який нагрівається струмом, гарячий наконечник і т. п.

Датчик складу суміші містить цирконієвий твердий електроліт. В області більш бідної робочої суміші в порівнянні зі стехіометричним значенням струм датчика майже лінійно залежить від складу суміші. Оскільки датчик чутливий до температури, для підтримки його постійної температури використовують нагрівач.

Система запалювання, на відміну від системи з розподілом вторинної напруги котушки запалювання, за рахунок обертання ротора розподільника не містить розподільника. За допомогою однієї котушки запалювання система забезпечує двополярний розряд (позитивний і негативний) у двох циліндрах. Електронна система випередження запалювання регулює тривалість пропускання струму через котушку запалювання й момент за-

вхід також впливає працездатність, стомлюваність і пильність водія. Регулюючий вплив здійснюється не тільки при русі, але й у процесі технічних впливів (заправлення паливом і змащенням, контрольно-регулювальні й профілактичні роботи).

Маніпулюючи входами «чорної шухляди» і спостерігаючи за реакцією вихідних величин на зміну вхідних, можна робити важливі висновки про поведінку й структуру досліджуваної системи.

Поняття «чорної шухляди» дуже широко використовується не тільки в кібернетичі, але й взагалі в науці й техніці. Власне кажучи, «чорною шухлядою» є будь-який об'єкт, про який ми судимо на основі вивчення його зовнішніх властивостей, не конкретизуючи його внутрішню структуру і не розглядаючи властивості його дрібних елементів.

Метод «чорної шухляди» особливо плідний для вивчення поведінки складних систем. Ми прагнемо побудувати модель складної реальної системи, що відтворювала б усе істотне, але в той же час була б більш доступна для експериментування.

Виникає питання, наскільки при цьому припустимо спростувати задачу?

«Чорна шухляда», що є задовільною моделлю керованого об'єкта, має надавати таку кількість інформації, яка була б здатна відобразити динамічні властивості об'єкта.

Метод «чорної шухляди» може бути використано для розв'язання задач ідентифікації об'єктів управління.

3.6. Моделювання автоматичних систем управління (АСУ)

Моделювання широко використовується для дослідження й проектування систем автоматичного управління. У теорії управління один з основних розділів присвячено ідентифікації систем управління – побудові оптимальних у деякому сенсі моделей за результатами спостережень над вхідними й вихідними перемінними системами. Системи ідентифікації (ідентифікатори) входять як елементи в структуру багатьох АСУ технологічних процесів і АСУ підприємств. При розробці різних АСУ застосовують функціональні, економічні й процедурні моделі.

Функціональні моделі описують функції, виконувані основними складовими частинами підприємства.

Для сталих технологічних процесів часто розробляються моделі за допомогою методу регресійного аналізу.

Економічні моделі визначають залежності між досліджуваними економічними факторами і конкретизують економічні цілі (через цільову функцію й обмеження). Економічні моделі, представлені у виді математичних рівнянь, зручні для аналізу, дозволяють одержувати рішення для низки умов, що задовольняють вимогам економічних цілей. Вони здавна застосовуються в області обліку, розрахункових операцій, фінансової справи й економіки.

Процедурні моделі описують порядок дій з управління роботою підприємства (установки) і ЕОМ. Сюди відносять інформаційні моделі, що визначають зміст, формат і швидкість потоку інформації, контроль і перевірку, облік і звітність за нею та ін. Моделі режимів і забезпечення безпеки роботи описують дії з пуску, зупинки устаткування й зміни навантаження.

Усі ці моделі, звичайно, взаємозалежні й утворюють загальну модель підприємства чи технологічного процесу.

Варто підкреслити велике значення моделей у проблемі оптимізації. Вони встановлюють зв'язок між перемінними стану і перемінними управлінням, дозволяючи тим самим шляхом застосування відповідних методів знайти їх оптимальні значення [7].

Кінцевою метою досліджень при створенні АСУ є розробка алгоритму управління. На рис. 3.8 наведено приклад структури АСУТП, до складу якої також входять система ідентифікації керованого процесу і система оптимізації режиму процесу. Система ідентифікації за результатами обробки вимірів відновлює вектор параметрів моделі процесу α . Якщо параметри не залежать від часу, процедуру ідентифікації можна виконати один раз; якщо ж процес нестационарний, процедуру необхідно періодично повторювати. Керуючий пристрій формує керуючий вплив u , використовуючи для цього виходи u , завдання $u_{зад}$, $u_{зад}$, одержувані в результаті оптимізації, і вектор параметрів K . Останні можуть визначатися чи попередньо настроюватися за вектором виходу y і за параметрами моделі процесу α .

3.7. Побудова граф-моделей в інформаційних технологіях і функціонування машин

Графові моделі знаходять широке застосування в операторних схемах програм, обчислювальних процесах і кінцевих автоматах [1, 8, 9].

Серед багатьох вимог, що пред'являються до моделі, найбільш важливю є вимога адекватності: модель має адекватно відобразити досліджуваний фрагмент об'єкта. Серед інших основних характеристик моделі можна назвати точність, гнучкість, компактність, системну незалежність.

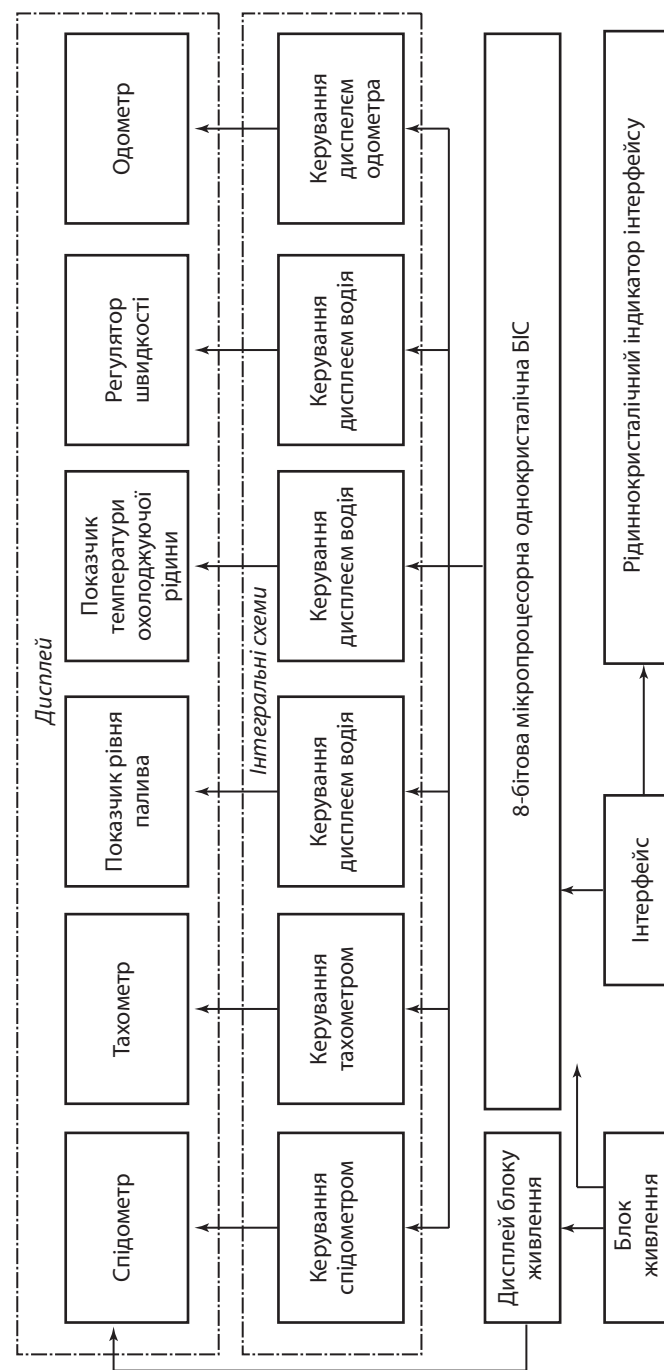


Рис. 19.2. Блок-схема мікропроцесорної приладової панелі «Soager» автомобіля

систем і вузлів автомобіля. Сигнали про несправності передаються в центральний інформаційний процесор, а після обробки – на алфавітно-цифровий дисплей. Дисплей мікропроцесорної приладової панелі «Soarer» представлено на *рис. 19.2*. Цифровий індикатор використано у спідометрі, а умовні графічні дисплеї – у тахометрі, у показниках рівня палива й температури охолоджуючої рідини [28].

Широко використовуються миготливі дисплеї. У системі застосовано 8-бітовий мікропроцесор і інтегральні схеми управління дисплеями.

19.3. Засоби електронних систем керування двигуном

У системах управління бензиновим двигуном встановлюється понад десяти вимірювальних перетворювачів, які може бути об'єднано в такі групи: витратоміри повітря, перетворювачі температури, кута відкриття дросельної заслінки, кута повороту колінчатого вала й детонації (див. табл. 18.1).

Електронна система управління двигуном дозволяє керувати складом пальної суміші, кутом випередження запалювання, частотою обертання колінчатого вала двигуна на холостому ходу й рециркуляцією відпрацьованих газів із метою зменшення токсичності відпрацьованих газів, підвищення паливної економічності й поліпшення тягово-швидкісних властивостей автомобіля.

Система впорскування палива визначає кількість усмоктуваного повітря, температуру охолоджуючої рідини двигуна, частоту обертання колінчатого вала двигуна і керує впорскуванням палива через електромагнітну форсунку. У системах електромагнітного впорскування палива замість електромагнітного клапана використовується механічний жиклер. Система керує паливним клапаном відповідно до кількості всмоктуваного повітря і під тиском помпи впорскує визначену кількість палива.

Дизелі з електронним управлінням кількості впорскуваного палива і моменту впорскування мають систему непрямого вимірювання кількості повітря, яку засновано на обчисленнях із використанням значень тиску у впускному трубопроводі, й частоти обертання колінчатого вала двигуна. Як датчик тиску можна використовувати датчик, який має діафрагму, однак звичайно застосовують напівпровідникові датчики, що працюють на п'єзоефекті.

Зміна кута випередження запалювання здійснюється залежно від частоти обертання колінчатого вала, зміни температури холодного й гарячого двигуна.

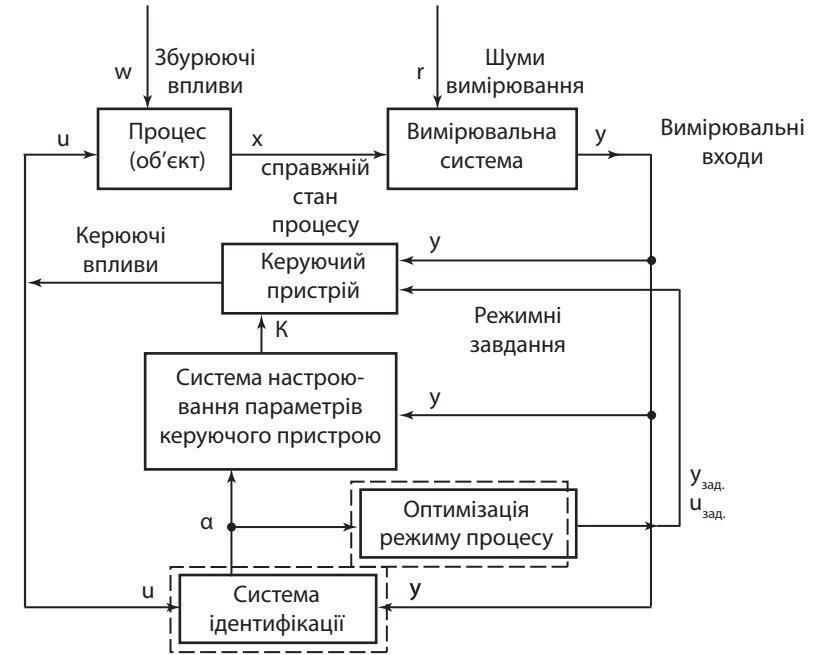


Рис. 3.8. Структура автоматизованої системи управління технологічним процесом

Найважливішим засобом інформаційної моделі є її структура чи, говорячи математичною мовою, сукупність бінарних відносин на наборах елементарних одиниць даних і дій. Ці структури даних і структури дій є єдиними іпостасями програм та оброблюваної ними інформації, у яких вони можуть існувати в уяві програміста й пам'яті комп'ютера.

От чому графи є основною конструкцією, застосовуваною в інформаційній технології. У рамках теорії графів добре моделюються математичною мовою задачі, пов'язані з розробкою технічних пристроїв і систем із дискретним принципом дії, проектуванням і побудовою машинних алгоритмів, діагностуванням, плануванням, ідентифікацією і т. д.

Багато задач аналізу програм, що виникають при оптимізації, перевірці правильності, тестуванні і т. д., значно спрощуються, якщо їх розглядати на теоретико-графових моделях.

Основу операторної схеми складає граф переходів, вершинами якого є оператори програм, а дуги (прямі) означають можливі передачі управління від одного оператора (вершини) до іншого. Вершини поділяються на два типи: перетворювачі, з яких виходять дві чи більше дуг і які є предикатами,

що змінюють хід обчислень. Окремі випадки операторних схем: схеми без упізнавачів – лінійні і схеми без циклів, не утримуючих контурів у графі переходів [8].

Усі оператори мають певну кількість аргументів і результатів. Кожен аргумент і результат поименовані, тобто для них зроблено розподіл пам'яті. Крім того, є зв'язки за керуванням між операторами одних операторів і аргументами інших. Інформаційні зв'язки в операторній схемі групуються у зв'язку. В одну інформаційну зв'язку входять всі інформаційні зв'язки, що виходять із деякого результату. При розподілі пам'яті зв'язуванню присвоюється унікальне ім'я, тобто результат і імена аргументів повинні співпадати [8].

Представлення об'єкта за допомогою граф-моделей є частиною теорії розпізнавання образів у задачах технічного діагностування, у яких сполучаються алгебраїчні методи розпізнавання і топологічні властивості об'єкта.

Топологія (грец. *topos* місце і *...логія*) – розділ математики (геометрії), що вивчає топологічні простори і складає основу сучасного теоретико-множинного методу. Множина, на якій задано топологічну структуру, називається *топологічним простором*.

У транспортних задачах широко поширені графи зважені, у яких кожній дузі x відповідає деяке число, назване її вагою. До таких задач належать задачі про найкоротший шлях, максимальний потік та ін.

Граф – система об'єктів довільної природи (вершин) і зв'язувань (ребер), що з'єднують деякі пари цих об'єктів. Граф вважається заданим, якщо є безліч вершин, безліч ребер і тримісний предикат (інцидектор), що означає висловлення: «ребро x_i з'єднує вершину x_n із вершиною x_m ».

На *рис. 3.9* [1] показано процедуру побудови граф-моделі у просторі властивостей функціонування гальмової системи вантажного автомобіля з пневматичним приводом.

Спочатку при синтезі моделі робиться вибір безлічі найбільш істотних властивостей функціонування об'єкта. На функціональній схемі об'єкта циф-рами позначаються основні функціональні елементи, а символами $x_{01}, x_{02}, x_1, \dots, x_{06}$ зв'язку між ними (*рис. 3.9, а, б*). Основні функціональні властивості об'єкта представлено на моделі величинами x_i у вигляді вершин графа (*рис. 3.9, в*).

На другому етапі здійснюється виділення причинно-наслідкових зв'язків між властивостями об'єкта. Якщо з'єднати ребрами вершини з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків, одержимо граф-модель функціонування об'єкта у просторі властивостей.

них параметрів приладової панелі і для сенсорного виклику необхідних даних про стан автомобіля. Інформація видається в цифровому й знаковому вигляді, причому конкретна форма відображення обирається автоматично в розрахунку на максимальну ймовірність сприйняття. Так, при первісному виявленні небезпечних несправностей на обмежений період часу може включатися миготливий режим індикації, який відбиває характер несправності, з одночасним мовним підтвердженням. Потім, до появи нових відмов, залишається увімкненою лише загальна індикація наявності несправностей без їх конкретизації або періодично виконується нагадування водію.

Автомобільні дисплеї являють собою централізовану систему, здатну відображати дані практично про все, що пов'язано з автомобілем, його станом і рухом. Дисплей є засобом відображення інформації, яка збирається й обробляється системою контролю. Тому завдання полягає не тільки в тому, щоб відпрацювати схеми й технології виготовлення й вибору дисплея, скільки у тому, щоб створити алгоритми відображення інформації.

Головна перевага дисплеїв перед іншими засобами відображення інформації полягає в тому, що склад інформації та її кількість можна змінювати в залежності від потреб. Ця інформація може бути кількісною (швидкість руху, пройдений шлях, частота обертання, температура, залишок палива в баці і його середня витрата), якісною, тобто оцінюючий стан тих або інших систем і агрегатів (включене-виключено) і діагностичною, тобто надає відомості про несправності системи (відмова гальмової системи, мало охолоджуючого мастила або гальмової рідини, низький тиск змазуючого мастила у системі, повітря в шинах і т. д.).

Існують дисплеї на вакуумних люмінесцентних (електронно-променевих) трубках, на рідких кристалах, а також електrolітичні дисплеї. Підвищення інформативності й зниження можливості різночитання досягається матрицями на рідких кристалах і синтезаторами мови.

У даний час конструкція дисплея базується на мікропроцесорній техніці, можливості якої досить великі. Тому контрольна система поступово переросла в централізовану інформаційну систему, здатну оцінювати інформацію, одержувану від інших систем управління, наприклад, управління двигуном, трансмісією, і потім видавати у відповідному вигляді водію. Централізована система бере на себе функції контролю й забезпечення відповідності режимів роботи автомобільних систем умовам руху. Дисплей тут стає засобом відображення неузгодженості цих режимів і умов, відображає результати роботи централізованої системи з діагностування

Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) SAB 80C517 містить 8-бітний АЦП із 12 вхідними каналами, які перемикаються мультиплексором. У цьому АЦП використовується метод послідовного наближення. Сім машинних циклів витрачається на порівняння вхідного аналогового сигналу з компенсуючими еталонними величинами (при цьому вхідний сигнал має бути присутнім протягом усього часу порівняння); сумарний час перетворення (включаючи час порівняння) складає 13 машинних циклів (13 мкс для версії з 12 МГц). АЦП можна запрограмувати на одне або на безперервне перетворення; по закінченню перетворення може бути генероване переривання [42].

Відмінність даного АЦП полягає в тому, що при бажанні можна програмувати внутрішній діапазон вимірюваної напруги. Обидва внутрішні діапазони вимірюваної напруги АЦП ($V_{INTAREF}$ і $V_{INTAGND}$) може бути запрограмовано на одну з 16 можливих комбінацій відповідно до зовнішнього діапазону вимірюваної напруги. Наявність цієї можливості дозволяє виконувати перетворення над малими діапазонами вимірюваної напруги, що підвищує точність обчислень. До того ж внутрішні напруження $V_{INTAREF}$ і $V_{INTAGND}$ може бути легко програмно адаптовано до необхідного вхідного аналогового діапазону напруги.

19.2. Засоби візуальної, звукової і світлової індикації інформаційно-обчислювальної мережі автомобілів

До застосовуваних в транспортних машинах засобів відображення інформації належать: лампи накалювання і світлові табло, газорозрядні прилади, електронно-променеві трубки, плазмові індикаторні панелі, індикатори на рідких кристалах, електролюмінесцентні індикатори, напівпровідникові індикатори.

Автомобільна локальна інформаційно-обчислювальна мережа поєднує розподілені за вузлами і агрегатами автомобіля компоненти всіх кібернетичних систем: мультиплексної, автомобільної (водійської), інформаційної та вбудованої системи діагностування.

Для видачі невідкладної інформації водію у вбудованих системах технічного стану використовуються автоматичні синтезатори мови в комплексі з автомобільною радіо- і звуковідтворюючою апаратурою. Як візуальні індикатори застосовуються рідкокристалічні, газорозрядні або світлодіодні, матричні багатфункціональні й спеціалізовані дисплеї з електронним управлінням. Ці ж дисплеї, як правило, слугують і для видачі інформації про функціонування автомобіля за номенклатурою традицій-

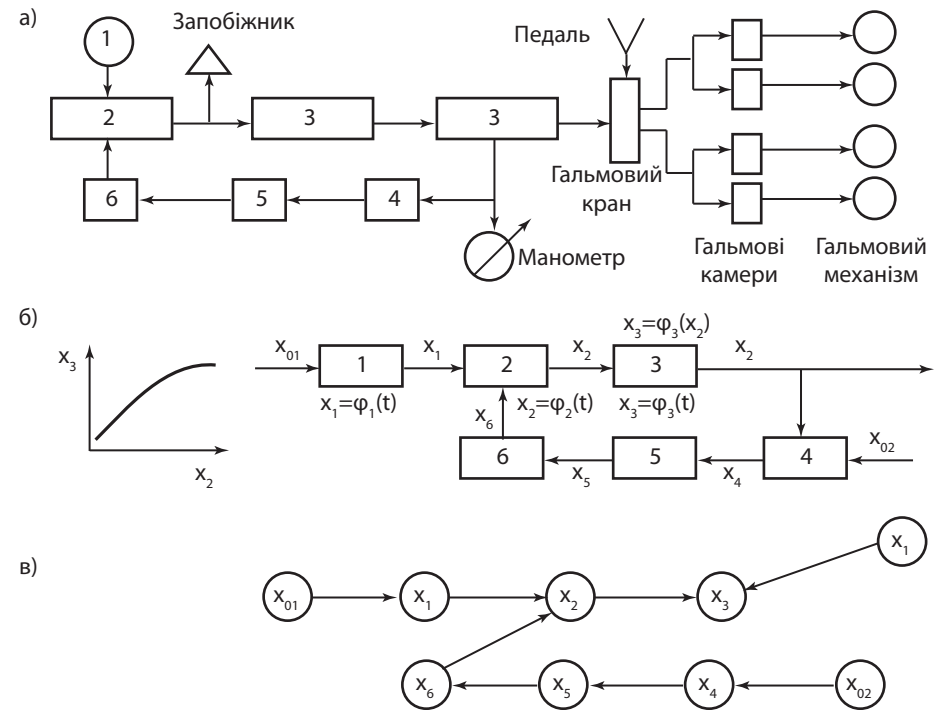


Рис. 3.9. Побудова граф-моделі у просторі властивостей:

а, б – функціональні схеми об’єкта; в – граф-модель об’єкта в просторі властивостей; 1 – привод компресора; 2 – компресор; 3 – балони ресивера; 4 – регулятор; 5 – камера діафрагми; 6 – розвантажувальні клапани; x_{01} – обертальний рух колінчатого валу двигуна; x_{02} – установка необхідного тиску в пневмосистемі; x_1 – передача обертання на компресор; x_2 – вироблення стиснутого повітря; x_3 – акумуляція тиску в ресивері; x_4 – вплив регулятора; x_5 – переміщення діафрагми; x_6 – вплив клапанів розвантаження на компресор; x_7 – негерметичність пневмосистеми

На третьому етапі синтезу моделі виконуються уточнення граф-моделі та більш детальний аналіз властивостей з урахуванням можливих несправностей (наприклад, наявність негерметичності системи x_7). При цьому будь-яка властивість x_i первісної моделі замінюється параметрами, які її характеризують (рис. 3.10, б) [1].

При розв’язанні задач діагностування необхідно переходити до моделі простору параметрів, що складає четвертий етап синтезу граф-моделі.

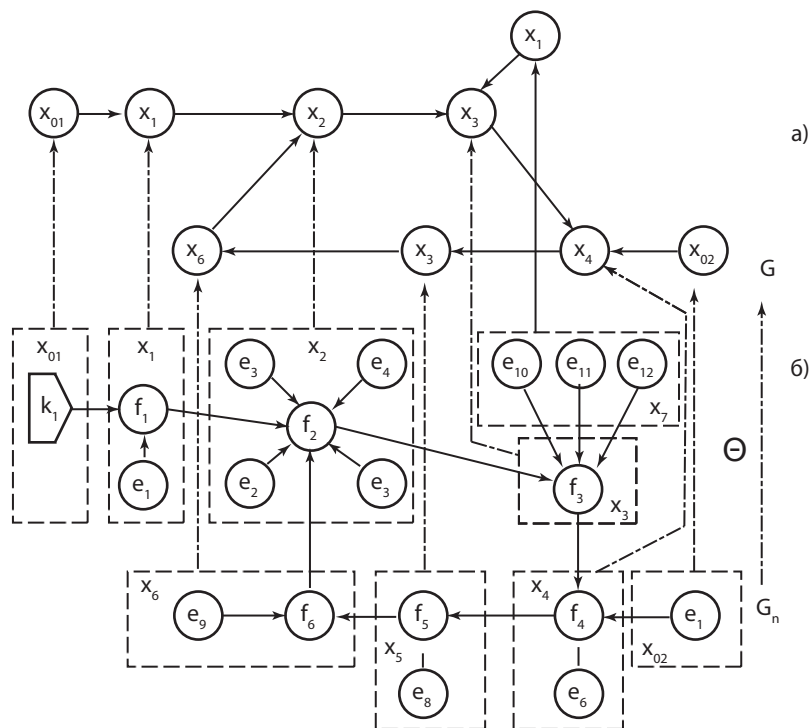


Рис. 3.10. Побудова граф-моделі у просторі параметрів:

а – у просторі властивостей; б – у просторі параметрів; x_{01} – обертальний рух колінчатого вала; x_{02} – установка необхідного тиску в пневмосистемі; x_1 – передача обертання на компресор; x_2 – виробництво стиснутого повітря; x_3 – акумуляція тиску в ресивері; x_4 – вплив регулятора; x_5 – переміщення діафрагми; x_6 – вплив клапанів розвантаження на компресор; x_7 – негерметичність пневмосистеми; f_1 – частота обертання вала компресора; f_2 – корисна продуктивність компресора в одиницю часу; f_3 – тиск повітря в системі; f_4 – ступінь спрацьовування регулятора; f_5 – переміщення діафрагми; f_6 – ступінь відкриття клапанів розвантаження; e_1 – натяг приводного ременя; e_2 – герметичність сполучення клапан-сідло розвантажувальних клапанів компресора; e_3 – герметичність задньої стінки картера компресора; e_4 – сумарний зазор поршень-циліндр; e_5 – стан нагнітальних клапанів; e_6 – технічний стан регулятора тиску; e_7 – номінал спрацьовування регулятора (уставки); e_8 – стан діафрагми; e_9 – регулювання, стан приводу розвантажувальних клапанів; e_{10} – регулювання, стан вентиля; e_{11} – герметичність сполучення клапан-сідло вентиля; e_{12} – герметичність сполучних трубопроводів; k_1 – частота обертання колінчатого вала двигуна

Контролер призначено для управління об'єктами, він повинен мати пристрої введення (різні датчики) і висновку – виконавчі механізми (реле, пускателі, електродвигуни).

Відносно задач автоматичного управління МК – це пристрої, які дозволяють реалізувати закони управління будь-якої складності. Вони відкрили можливість істотного ускладнення виконуваних функцій на основі збирання й обробки будь-якої інформації, необхідної для управління. Для мікропроцесорів, вбудованих у вимірювальні пристрої, введенням слугують кнопки і вимірювальні блоки, а висновком – індикатори, електронно-променеві трубки та ін.

Основна класифікаційна ознака мікроконтролерів – розрядність даних, оброблюваних арифметико-логічним пристроєм. За цією ознакою вони поділяються на 8-, 16-, 32- і 64-розрядні.

Мікроконтролер Intel80C51 (скорочено МК51) виконано на основі високорівневої n-МОП технології і випускається в корпусі БІС, який має 40 зовнішніх виводів. Для роботи МК51 потрібно одне джерело електроживлення +5 В. Через чотири програмувальних порти введення-висновку МК51 взаємодіє із середовищем у стандарті ТТЛ мікросхем із трьома стійкими станами виходу.

Арифметико-логічний 8-бітовий пристрій (АЛП) може виконувати арифметичні операції додавання, вирахування, множення і розподіли; логічні операції І, АБО, виключаюче АБО, а також операції циклічного зсуву, скидання, інвертування і т. п. В АЛП є програмно недоступні регістри Т1 і Т2, призначені для тимчасового збереження операндів, схема десяткової корекції й схема формування ознак.

Важливою особливістю АЛП є його здатність оперувати не тільки байтами, але і бітами. Окремі програмно-доступні біти можуть бути встановлені, скинуті, інвертовані, передані, перевірені й використані в логічних операціях. Ця здатність АЛП оперувати бітами настільки важлива, що в багатьох описах МК51 говориться про наявність у ньому «булевського процесора». Для управління об'єктами часто застосовуються алгоритми, які містять операції над вхідними й вихідними булевськими перемінними (істина/неправда), реалізація яких засобами звичайних мікропроцесорів сполучена з певними труднощами.

Таким чином, АЛП може оперувати чотирма типами інформаційних об'єктів: булевськими (1 біт), цифровими (4 біти), байтними (8 біт) і адресними (16 біт). В АЛП виконується 51 різна операція пересилання або перетворення цих даних.

Швидкість роботи МП визначається не тільки тактовою частотою, але і набором його команд, їх гнучкістю, розвиненою системою переривань.

Електронна пам'ять мікропроцесорів. Містить операнди і програму, яку виконує МП. Звичайно наявні слова, які відповідають розрядності шини даних МП і адресуються адресному просторові МП. Використовуються два типи електронної пам'яті: постійні запам'ятовуючі пристрої (ПЗП) і оперативні запам'ятовуючі пристрої (ОЗП).

Відносно мікропроцесорних систем автоматичного управління в ПЗП зберігається програма у вигляді кодів команд, а також деякі константи, калібровані дані й інша інформація, необхідна для роботи системи. Для реалізації ПЗП часто застосовують мікросхеми з перемичками, які пропалюються, ультрафіолетовим стиранням чи електричним записом К573РФ2 (2 Кбайти), К573РФ4 (8 Кбайт). У сучасних ЕОМ ємність ПЗП досягає сотень кілобайт.

Постійний запам'ятовуючий пристрій має енергонезалежну пам'ять: після вимикання живлення інформація в ньому зберігається. Інформація в ОЗП руйнується при вимиканні живлення. В ОЗП зберігаються оперативні дані, використовувані МП. Тому мікросхеми ОЗП за швидкодією має бути погоджено з МП, а ємність ОЗП (разом із ПЗП) повинна наближатися до межі, зумовленої адресним простором МП.

Бувають ОЗП статичні й динамічні. Статичні ОЗП побудовані на основі тригерів, легко сполучаються з шинами МП, але мають меншу ємність у порівнянні з динамічними. Динамічні ОЗП побудовані на основі зарядових ємностей, заряди яких схильні до витоків, тому вимагають періодичного звертання до пам'яті для відновлення зарядів і, отже, збереження інформації. Ця процедура називається регенерацією пам'яті і пов'язана з тим, що ОЗП на якийсь час виключається з процесу прийому-передачі даних. У системах реального часу це може привести до втрати інформації. Крім того, для сполучення динамічних ОЗП з МП потрібен спеціальний контролер. Динамічні ОЗП (у порівнянні зі статичними) мають велику інформаційну ємність, але з перерахованих причин у мікропроцесорних системах автоматичного управління в основному застосовуються статичні ОЗП [42].

Зв'язок МП із периферійними пристроями звичайно здійснюється через лінії виводу-введення-висновку під безпосереднім керуванням МП. Звичайно ці лінії згруповано у вигляді шин і називаються «портами виводу-введення-висновку».

Мікроконтролери. Мікропроцесор – це спеціалізований пристрій логічного керування. Він призначений для виконання конкретної задачі, зумовлені програмою, поміщеною у ПЗП.

У пневматичних гальмових системах нараховується близько 30 основних параметрів, які необхідно враховувати при діагностуванні системи. Будь-яка несправність впливає на ефективність роботи гальм.

Наприклад, тиск у балоні ресивера $x_3(f_3)$ залежить від стану вентиля (e_{10}), герметичності сполучення клапан-сідро вентиля (e_{11}), герметичності сполучних трубопроводів (e_{12}) і від продуктивності (справності) компресора в одиницю часу (f_2), що, у свою чергу, залежить від герметичності сполучення клапан-сідро розвантажувальних клапанів компресора (e_2), герметичності задньої стінки картера компресора (e_3), сумарного зазору поршень-циліндр (e_4), стану нагнітальних клапанів (e_5), частоти обертання вала компресора (f_1) і натягу приводного ременя (e_1).

З останнього приклада випливає, що несправність – поняття більш абстрактне, ніж дефект. Якщо під несправністю розуміти падіння тиску у пневмоприводі гальма, то причинами цієї несправності можуть бути поломка чи розрегулювання регулятора, знос циліндро-поршневої групи компресора, порушення герметичності з'єднань і т. д. Метою діагностування є управління технічним станом, але це можливо тільки в тому випадку, якщо буде виявлено й усунуто несправності та дефекти.

Задача діагностування полягає у виявленні безлічі несправностей (анормальних станів). Частина їх може бути виявлено безпосереднім виміром чи спостереженням. Велика частина дефектів визначається за діагностичними параметрами і у непрямих проявах. Більш докладно про інші методи діагностування див. роботу [1].

3.8. Імітаційне моделювання

Ефективним методом дослідження керованих систем, і зокрема АСУ й САУ, є метод імітаційного моделювання.

Імітація – це відтворення процесу, режимів роботи, інших умов на моделях чи натурних зразках технічних систем за програмою дослідження. У методі імітаційного моделювання як математична модель функціонування системи виступає моделюючий алгоритм, відповідно до якого в ЕОМ виробляється інформація, яка описує елементарні явища досліджуваного процесу при обов'язковому збереженні їх логічної структури і всієї необхідної інформації про стан системи. Методи досліджень, моделювання й аналізу конструкцій безперервно вдосконалюються. Разом із сучасною електронною апаратурою, ЕОМ і програмним забезпеченням новітні інформаційні технології, наприклад, проектування «Pro-Engineer», «ANSYS», «Cosmos», «Computer-Vision», забезпечують одержання необ-

хідної інформації для локалізації динамічних проблем і одержання оптимальних рішень в області динаміки механічних конструкцій і інших питань при внесенні визначених змін, дії зовнішніх сил.

У цьому відношенні дослідження систем методом імітаційного моделювання має деяку аналогію з натурним експериментом, з тією різницею, що моделювання проводиться з використанням ЕОМ і програмного забезпечення. Автоматизація процесу моделювання забезпечує необхідну кількість дослідів у набагато більш короткі терміни, ніж при натурному експерименті. Імітаційне моделювання, наприклад, вібраційних процесів, може прогнозувати реакцію (механічні коливання) конструкції при збудженні різними силами, які діють у різних точках (рис. 3.11). Завдяки високій швидкості ЕОМ і ефективності використовуваного програмного забезпечення, час, необхідний для виконання повного циклу імітаційного моделювання, складає не більш кількох хвилин.

Іншою особливістю методу є можливість опису системи й побудови її моделі на підставі розроблених для цієї мети алгоритмічних мов.

Слід зазначити, що останнім часом імітаційне моделювання розуміють у більш широкому сенсі – як будь-яке відтворення в ЕОМ складного динамічного процесу і наступний аналіз безлічі варіантів його перебігу. Основні етапи імітаційного моделювання і їх взаємозв'язків показано на рис. 3.12 [7].

Імітаційний комплекс, що складається з моделі АСУ підприємства й моделі об'єкта управління, може служити інструментом ознайомлення заводського персоналу з методами управління на основі АСУ, демонстрації можливостей нової системи управління, одержання практичних навичок з прийняття рішень в умовах автоматизованого управління.

На етапі розробки АСУ такий імітаційний комплекс дозволить знайти найкращий варіант побудови системи з безлічі можливих.

Нарешті, такий імітаційний комплекс можна використовувати для оцінки економічного ефекту від впровадження АСУ на даному підприємстві шляхом порівняння результатів моделювання і фактичних попередніх показників виробничо-господарської діяльності підприємства в умовах традиційного(неавтоматизованого) управління.

Слід зазначити, що імітаційні моделі широко використовуються для досліджень на ЕОМ складних об'єктів саме методом статистичних випробувань, називаним також методом Монте-Карло. Коли випадкові фактори численні й вагомі, детерміновані моделі непридатні або незручні. Використання датчика випадкових чисел для формування вхідних впливів і

но складаються з двох 8-розрядних регістрів, які створюють 16-розрядну шину, що адресує 64 Кбайт пам'яті. У 16-розрядних МП, як правило, використовуються 20-розрядні регістри, що адресують 1 Мбайт пам'яті. У 32-розрядних МП використовуються 24 і 32-розрядні адресні регістри, що адресують від 16 Мбайт до 4 Гбайт пам'яті.

Для вибірки команд і обміну даними з пам'яттю МП мають шину даних, розрядність якої, як правило, збігається з розрядністю внутрішньої шини даних, зумовленої архітектурою МП. Однак для спрощення зв'язку із зовнішньою апаратурою зовнішня шина даних може мати розрядність меншу, ніж внутрішня шина й регістри даних. Наприклад, деякі МП із 16-розрядною архітектурою мають 8-розрядну зовнішню шину даних. Вони являють собою спеціальні модифікації звичайних 16-розрядних МП і мають практично ту ж обчислювальну потужність.

Одним із важливих параметрів МП є швидкодія. Навігаційна мікропроцесорна система фірми «Karin» (див. рис. 19.1) може не більш ніж за 5 секунд вибрати найкращий маршрут до заданого водієм пункту. Швидкодія визначається тактовою частотою роботи мікропроцесора, яка звичайно задається синхросигналами. Для різних МП ця частота лежить у межах 4-50 МГц. Мікропроцесори сучасних персональних комп'ютерів мають тактову частоту 4 ГГц і більше. Виконання найпростіших команд (наприклад, додавання двох операндів із регістрів або пересилання операндів у регістрах МП) вимагає мінімально двох періодів тактових імпульсів (для вибірки команди і її виконання). Більш складні команди вимагають для виконання до 10-20 періодів тактових імпульсів. Якщо операнди знаходяться не в регістрах, а в пам'яті, додатковий час витрачається на вибірки операндів у регістри й записи результату в пам'ять.

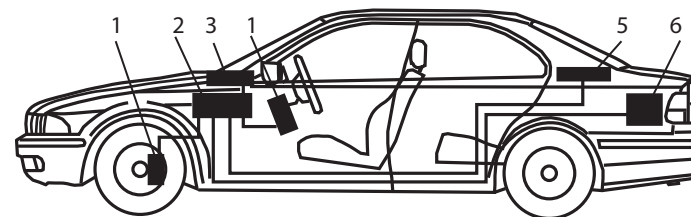


Рис. 19.1. Будова навігаційної системи:

1 – датчик пройденого шляху; 2 – процесорний блок; 3 – компас; 4 – інформаційний дисплей; 5 – антена приймача; GPS; 6 – накопичувач інформації

Мікропроцесор – це алгоритмічний універсальний пристрій обробки інформації. В АЛП робиться арифметична й логічна обробка даних, пристрій управління реалізує часову діаграму і виробляє необхідні керуючі сигнали для внутрішньої роботи МП і зв'язку його з іншою апаратурою через зовнішні шини МП.

Структури різних типів МП можуть істотно розрізнятися, однак з погляду користувача найбільш важливими параметрами є: архітектура, адресний простір пам'яті, розрядність шини даних, швидкодія. Архітектуру МП визначає розрядність слова і внутрішньої шини даних МП.

Мікропроцесори з 4- і 8-розрядною архітектурою використовували послідовний принцип виконання команд, при якому чергова операція починається тільки після виконання попередньої.

При побудові більшості мікропроцесорів і мікроконтролерів (наприклад, серії 8-розрядних мікроконтролерів МС-51) використовується традиційна, так звана акумуляторна, архітектура (CISC), коли один із регістрів спеціального призначення – акумулятор за замовчуванням – є джерелом одного з двох операндів і одночасно приймачем результату операції, виконуваної в арифметико-логічному пристрої. Такий підхід дозволяє істотно зменшити формат команди за рахунок адресації у полі операндів тільки одного з операндів.

Для виконання будь-якої дії у процесорах «класичної» акумуляторної CISC-архітектури в загальному випадку, крім власне команди, наприклад, додавання, потрібні, принаймні, ще дві операції пересилання даних: завантаження першого операнда в акумулятор і через нього – в один із портів арифметико-логічного пристрою, а також пересилання результату операції з акумулятора за місцем призначення вже після завершення операції. При цьому другий операнд витягається з оперативної пам'яті безпосередньо у процесі виконання операції. Також у процесі виконання операції результат прибуває до акумулятора.

У деяких МП із 16-розрядною архітектурою використовуються принципи рівнобіжної роботи, при якій одночасно з виконанням поточної команди виробляються попередня вибірка й збереження наступних команд. У МП із 32-розрядною архітектурою використовується конвеєрний метод виконання команд, при якому кілька внутрішніх пристроїв МП працюють паралельно, роблячи одночасно обробку декількох послідовних команд програми.

Адресний простір пам'яті визначається розрядністю адресних регістрів і адресної шини МП. У 8-розрядних МП адресні регістри звичай-

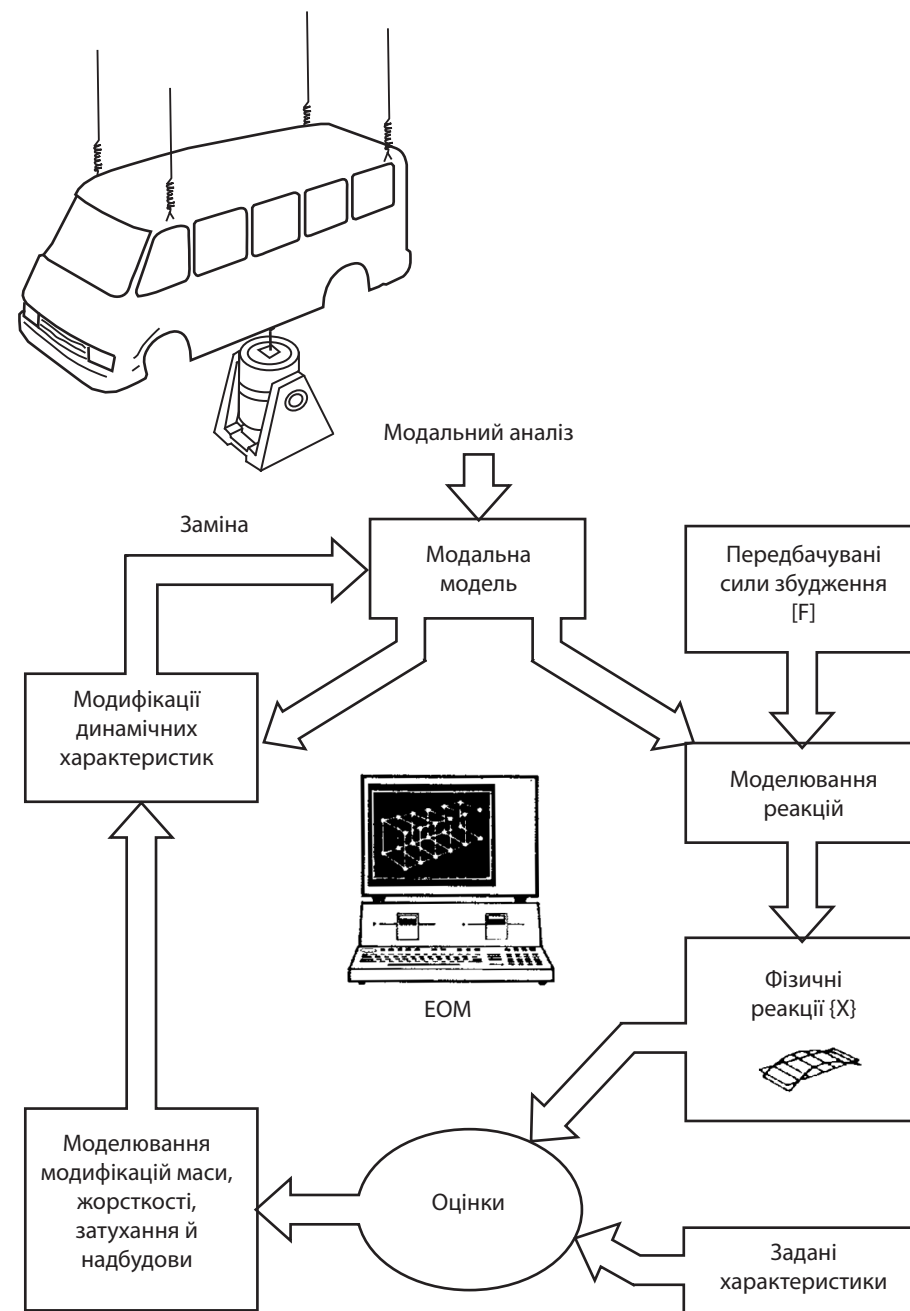


Рис. 3.11. Імітаційне моделювання на стадії проектування

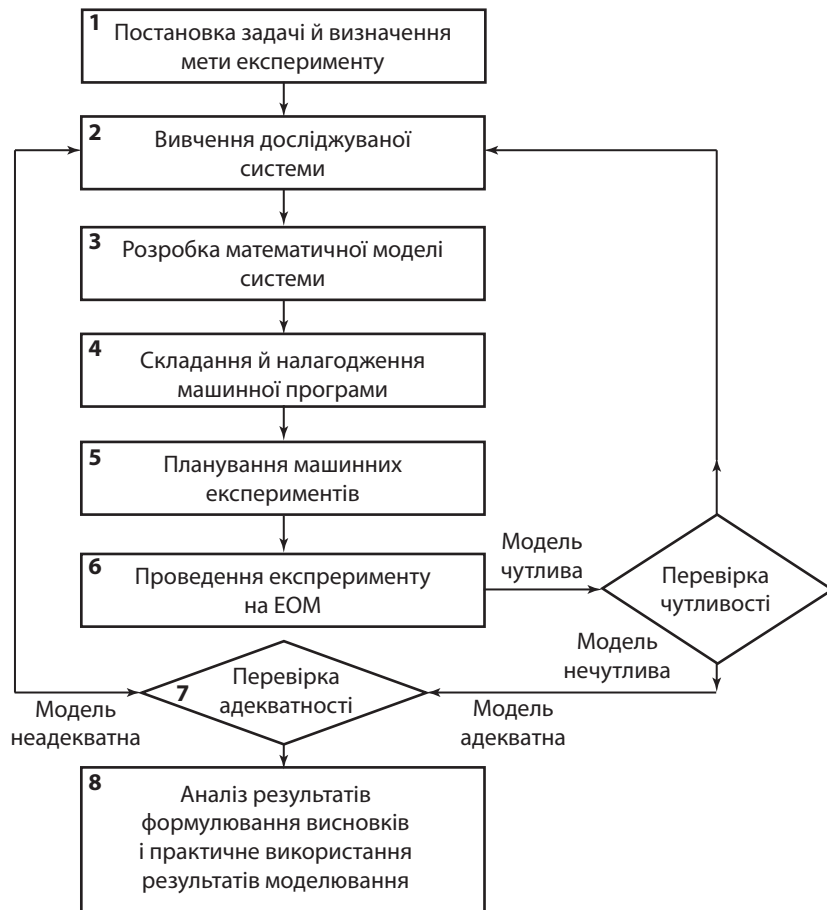


Рис. 3.12. Блок-схема етапів інформаційного моделювання

автоматизація всього процесу моделювання дозволяють швидко одержати прийнятний за точністю результат. Необхідна кількість реалізацій визначається методами математичної статистики. Для цього випадку замість виразу «імітаційне моделювання» часто використовується термін «статистичне моделювання».

Для полегшення опису і перекладу описів складних систем на машинну мову створено спеціальні мови системного моделювання: іноземні мови – сімуля, сімскрит; вітчизняні – сленг, недіс та ін.

Глава 19. ОСНОВНІ ЗАСОБИ Й КОМПОНЕНТИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

19.1. Мікропроцесори й мікроконтролери.

19.2. Засоби візуальної, звукової і світлової індикації інформаційно-обчислювальної мережі автомобілів.

19.3. Засоби електронних систем керування двигуном.

19.4. Електронні обчислювальні машини.

19.5. Інформаційні контрольно-діагностичні системи.

19.1. Мікропроцесори й мікроконтролери¹

Інтегральні мікросхеми на напівпровідникових елементах і мікропроцесори зробили революцію в автомобілебудуванні, особливо в управлінні агрегатами й автомобілем у цілому. Мікропроцесори є основним компонентом електронних бортових систем управління автомобілем. Мікропроцесорні блоки систем контролю містять у собі вбудовані датчики, аналогово-цифрові перетворювачі або перетворювачі сигналів датчиків у стандартну форму, пульт управління з дисплеями, блоки пам'яті, алфавітно-логічний пристрій з оперативними запам'ятовуючими пристроями й інтерфейсом (мікропроцесор), стабілізованими блоками живлення.

Сучасні блоки систем контролю й управління автомобілем часто конструктивно поєднуються на мікропроцесорній основі традиційною приладовою панеллю в єдину автомобільну інформаційну систему.

Мікропроцесор – це програмно керований цифровий автомат, виготовлений за мікроелектронною технологією, який виконує арифметичні й логічні операції над числовими даними. Основою для його виготовлення слугує кристал кремнію стандартного розміру (ЧІП). Мікропроцесори відносяться до засобів обчислювальної техніки й управління. Вони підрозділяються на мікроЕОМ і мікроконтролери.

Кожен мікропроцесор (МП) має певну кількість елементів пам'яті, названих регістрами, арифметично-логічний пристрій (АЛП) і пристрій управління. Регістри використовуються для тимчасового збереження виконуваної команди, адрес пам'яті, оброблюваних даних та іншої внутрішньої інформації МП [42].

¹ Підрозділ написано сумісно с проф. А. М. Пойдою.

Контрольні питання і завдання

1. Які можуть бути вихідні сигнали перетворювача залежно від енергетичних носіїв?
2. Охарактеризуйте генераторні (активні) і параметричні (пасивні) властивості перетворювачів.
3. Які типи перетворювачів застосовуються в електронних системах управління?
4. Наведіть основні типи перетворювачів.
5. Наведіть види функціональних залежностей між вхідними й вихідними сигналами вимірювального перетворювача.
6. Наведіть типи датчиків і пристроїв перетворення сигналів у системах управління двигуном.
7. Поясніть переваги застосування акселерометрів у системах діагностування.
8. Поясніть призначення механічних і електричних підсилювачів в електронних системах вимірювання й управління. Уякому ланцюзі управління вони застосовуються?
9. Навіщо виконується обробка й перетворення сигналів, які надходять від первинних датчиків, перед введенням їх в обчислювальні засоби?

3.9. Сіткові граф-схеми управління виробництвом

Системи сіткового планування й управління знаходять широке застосування в різних галузях народного господарства. Наприклад, підготовка до виробництва нового автомобіля, здійснюваного різними організаціями й заводами.

При сітковому плануванні й керуванні вихідні плани проектів представляються у виді сіткового графіка (сіткової моделі, сітки), що забезпечує наочність порядку виконання окремих операцій у часі. Сітковий графік – графічне відтворення сіткової моделі реалізації проекту, що дозволяє проводити експерименти, аналізувати окремі варіанти і знаходити оптимальне розв'язання при управлінні процесом реалізації проекту.

Основу сіткового моделювання складають сіткові графіки (граф-схеми), що складаються із заданих точок (вершин), з'єднаних визначеною системою ліній. Лінії, що з'єднують вершини, називаються ребрами чи дугами графа. В основу аналізу й побудови сіткових графіків покладено «теорію графів». Робота на графах зображується ребрами (орієнтованою стрілкою), а події – вершинами (кружками).

Усі роботи-операції на сітвовій моделі розподіляються в технологічній послідовності. Кожна робота починається й закінчується подією. Під подією мається на увазі закінчення того чи іншого етапу роботи (закінчення експериментальних робіт, складання автомобіля і т. д.). Кожній стрілці відповідає визначена робота, прийнята як процес, а не результат (наприклад, процес мийки автомобіля). Робота зашифровується двома числами, що відповідають початковій і кінцевій події, а під стрілкою вказується тривалість роботи в місяцях, днях, годинах, хвилинах. Одна подія може бути початком декількох робіт. Точно також одна подія може бути закінченням багатьох робіт [9].

Правила складання сіткових графіків розглянуто у роботі [9].

Контрольні питання і завдання

1. Охарактеризуйте поняття «модель» і «моделювання» у кібернетичі.
2. Вкажіть переваги фізичного моделювання об'єктів управління.
3. Яким основним вимогам властивостей оригіналу має задовольняти математична модель?
4. Уякому вигляді можна представляти результати математичного моделювання?
5. Наведіть схему побудови математичної моделі.

6. Що вивчають за допомогою математичних моделей?
7. Коли застосовується метод «чорної шухляди»?
8. Охарактеризуйте функціональну, економічну і процедурну моделі автоматичних систем управління.
9. Наведіть процедуру побудови граф-моделі в інформаційних технологіях функціонування машин.
10. У чому полягає сутність імітаційного моделювання складних динамічних процесів у машинах?
11. Наведіть сітьові граф-моделі управління підприємством і технологічними процесами.

пропорційна спаданню напруги (утвореної струмом I_0 через електромагніт) на резисторі для зміни струму, порівнюється в підсилювачі сигналу неузгодженості. Підсилювач, який містить інтегруючу схему на операційному підсилювачі, виробляє сигнал, скоригований таким чином, що при наявності неузгодженості через електромагніт завжди протікає струм, пропорційний швидкості [28].

Обробка й перетворення сигналів, які надходять від первинних датчиків, у цифрові необхідної форми й величини потрібні для введення їх у мікроЕОМ.

Справа в тому, що сигнали датчиків не можна подавати на вхід мікроЕОМ, тому що вона працює від стабілізованого джерела напруги +5 В, а сигнали датчиків мають різні значення напруги й форми, що перевищують припустимі (+12 В), або перемінної полярності, що у мікроЕОМ вводити не можна. Ці сигнали, пройшовши схеми вхідної обробки, перетворюються на сигнали, що їх може бути введено в мікроЕОМ (див. *рис. 18.7*) [28].

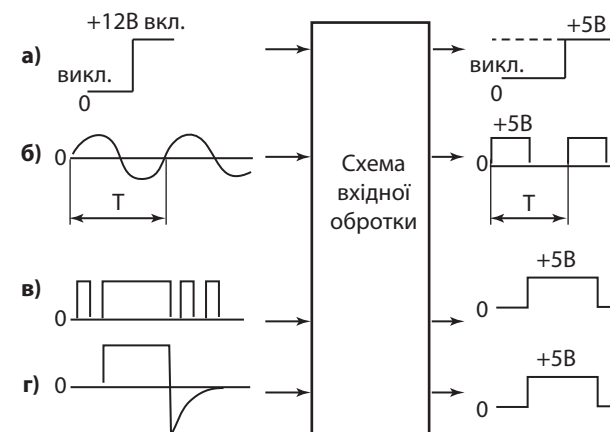


Рис. 18.7. Форми вхідних і вихідних сигналів:

- а – перевищуючої напруги; б – перемінної полярності; в – утримуючі перешкоди;
г – утримуючі пікові напруги

Вихідні сигнали мікроЕОМ у більшості випадків не може бути використано для приведення до дії виконавчих механізмів, тому що напруга на виході мікроЕОМ дорівнює 5 В, а номінальна напруга виконавчих механізмів – форсунок, транзисторних комутаторів, крокових електродвигунів – 14 В. Тому між мікроЕОМ і виконавчими механізмами встановлюється електронний підсилювач.

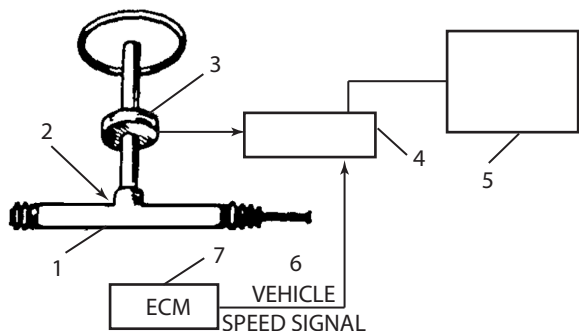


Рис. 18.5. Принципова схема системи регулювання підсилювача EVO:

1 – кермовий механізм; 2 – спеціальний клапан; 3 – датчик кутового переміщення кермового колеса; 4 – ЕБК; 5 – виконавчий механізм; 6 і 7 – відповідно сигнал і датчик швидкості руху автомобіля

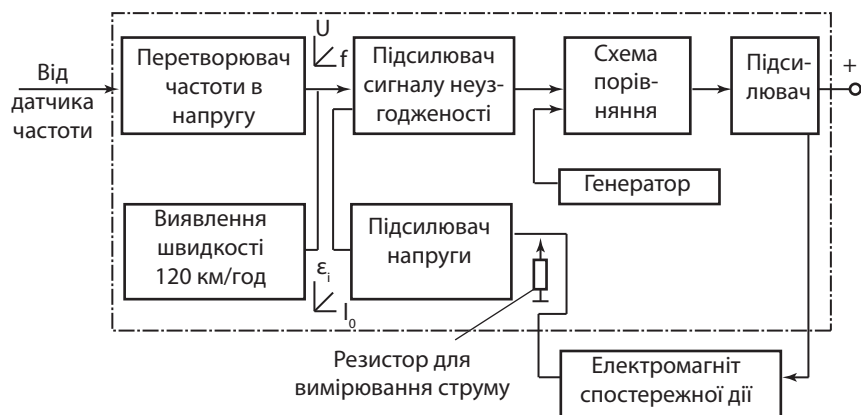


Рис. 18.6. Структурна схема ЕБК рульового керування

ної шпаруватості, який приводить у рух електромагніт наглядової дії. Сигнал від датчика швидкості за допомогою перетворювача частоти в напругу ($f - V$) перетворюється на напругу, пропорційну швидкості, що легко обробляється аналоговою схемою. На високій швидкості для збільшення кермового зусилля струм електромагніта має зростати. Але щоб не допускати надмірного збільшення кермового зусилля на великих швидкостях, значення струму залишається незмінним при швидкості вище 120 км/год. Для цього вводиться схема виявлення такої швидкості. Напруга U , отримана в результаті перетворення сигналу датчика швидкості, напруга e_1 ,

Глава 4. КІБЕРНЕТИЧНА СИСТЕМА Й УПРАВЛІННЯ

- 4.1. Система, підсистема, структура, елемент, зв'язок.
- 4.2. Керована кібернетична система.
- 4.3. Рух системи і динамічні властивості.
- 4.4. Управління системою.

4.1. Система, підсистема, структура, елемент, зв'язок

Слово «система» зараз дуже широко застосовується в науці, техніці, різних виробничих сферах. У науковій літературі є безліч визначень поняття «система». У науково-дослідному розумінні «система» являє собою загальну методологію досліджень процесів і явищ, віднесених до будь-якої області людських знань як об'єкт системного аналізу. У проектному розумінні «система» представляється як методологія проектування й створення комплексів методів та засобів для досягнення визначених цілей. У найбільш вузькому, інженерному, змісті система розуміється як взаємозалежний набір об'єктів і способів їх використання для вирішення визначених задач. Найбільш повне визначення має включати елементи, зв'язки, властивості, ціль, спостерігача (дослідника), а також мову, за допомогою якої відображається об'єкт чи процес.

Система – безліч елементів, що знаходяться у відносинах і зв'язках один з одним та створюють визначену цілісність, єдність. Об'єкти функціонують у часі як єдине ціле заради єдиної мети, поставленої перед системою в цілому.

Звичайно під системою мають на увазі все те, що певним чином пов'язане, підпорядковане загальним цілям і законам, може бути описане в рамках структури, яка відбиває стійкі відношення, зв'язки й взаємодії між окремими малими частинами, так званими елементами системи, та між відносно великими частинами, що поєднують кілька елементів і називаються підсистемами.

Виділяють матеріальні й абстрактні системи. Матеріальні системи розділяються на системи неорганічної природи (фізичні, геологічні, хімічні та ін.) і живі. Особливий клас матеріальних систем – соціальні системи. Абстрактні системи – поняття, гіпотези, теорії, наукові знання про систе-

ми, логічні системи та ін. В усіх конкретних системах і їх функціонуванні є щось загальне. Виявлення цього загального приводить до поняття абстрактної системи як сукупності взаємодіючих елементів. У сучасній науці дослідження систем різного роду проводяться в рамках системного підходу, різних соціальних теорій систем, у кібернетиці, системотехніці, системному аналізі і т. д. У науці й техніці системою називають деяку сукупність взаємодіючих елементів, здатну виконувати будь-яку функцію. Так, механіка розглядає систему матеріальних точок, механічну систему. Прикладом технічної системи може слугувати будь-який транспортний засіб. Керованими системами можуть бути станція технічного обслуговування, автомобіль, завод чи цех. Галузь, народне господарство країни – приклади економічних систем. Людина – приклад біологічної системи. В астрономії говорять про зоряні, планетні системи.

Жодна система не є абсолютно замкнутою. Взаємодія системи із середовищем представляється її зовнішніми зв'язками, що поділяються на вхідні та вихідні. На вході система щось одержує від середовища, на виході середовище одержує щось від системи – результат діяльності системи (рис. 4.1).

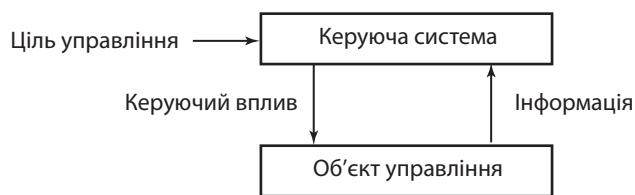


Рис. 4.1. Структура найпростішої системи управління

Складність кібернетичних систем визначається їх розмірністю (кількість параметрів, що характеризують стан усіх її елементів і обсяг системи), а також складністю структури, тобто загальною кількістю зв'язків між її елементами і їх розмаїтістю.

Транспортні машини як кібернетичні об'єкти технічного діагностування – дуже складні системи. Загальна кількість діагностичних параметрів – більш 200, а окремих підсистем і механізмів – близько 40. До цього ще варто додати набір структурних і функціональних зв'язків між окремими вузлами, деталями, їх динамічні характеристики, залежність чи незалежність елементів системи, тобто всіх зовнішніх і внутрішніх факторів.

Створення транспортних машин вимагає великої уваги до пророблення проектних рішень усіх систем і великих витрат на виконання проект-

передніх коліс автомобіля. Тут присутня основна ознака посилення: малий вхідний сигнал використовується для управління більш потужним вихідним сигналом. Додаткова потужність береться від якогось зовнішнього джерела енергії. У нашому прикладі таким джерелом є двигун автомобіля.

Прикладом посилення слабких електричних сигналів є електромагнітне реле. Реле дотепер використовують у потужних силових перемикаючих системах, але тепер вони, як правило, витісняються електронними пристроями. Транзистор є посилюючим пристроєм, керованим струмом: якщо невеликий струм прямує до бази, це приводить до появи набагато більшого струму протектора.

Для посилення напруги застосовуються резистори в електронних ланцюгах: перетворення струму в напругу. Вхідна напруга, прикладена до переходу база-емітер, приводить до збільшення струму бази, що залежить від опору переходу база-емітер.

Ефективність рульового управління базується на прогресі в області електронної техніки. Без застосування електроніки підсилювачі, як правило, мають постійний коефіцієнт підсилення, що негативно позначається при занадто великих і занадто малих швидкостях руху автомобіля: на малій швидкості потрібні великі зусилля на кермовому колесі, а на великій швидкості – малі. Забезпечити більш легке рульове управління можна двома напрямками: 1) створити управління, яке реагує на швидкість руху автомобіля; 2) управління, яке реагує на частоту обертання колінчатого вала двигуна.

Принципову схему системи регулювання підсилювача рульового управління EVO концерну «Дженерал Моторс» наведено на рис. 18.5. Виконавчий механізм може бути встановлено або в насосі підсилювача, або в рейковому кермовому механізмі. У виконавчому механізмі є дозуючий шток, переміщення якого відносно жиклера змінює витрату рідини від насоса підсилювача. Застосуванням дозуючого штока керує електронний блок управління, який одержує сигнали 6 про швидкість руху автомобіля від центрального електронного керуючого модуля (датчика) 7. Контролер дозуючого штока припускає ступінчасту зміну свого положення відносно жиклера, забезпечуючи в такий спосіб поступове збільшення зусилля на кермовому колесі у міру зростання швидкості руху автомобіля [23].

Електронний блок рульового управління з посиленням за швидкістю автомобіля (див. рис. 18.6) дозволяє зберігати оптимальне кермове зусилля. Блок виконано у вигляді аналогової схеми. На вхід системи надходить сигнал від датчика швидкості. Вихідним сигналом ЕБК є сигнал перемін-

У новітніх системах управління рухом і технічним станом машин потрібно застосування акселерометрів. У даний час акселерометри широко застосовуються для одержання інформації про технічний стан у системах діагностування та управління надуванням подушки безпеки для виміру ударного впливу. Акселерометри може бути використано в антиблокувальних системах, для регулювання тягового зусилля, в активних і напівактивних підвісках, навігаційних системах і системах контролю детонації у двигуні. Переваги застосування акселерометрів описано в роботах [6, 15, 16].

Оптичні датчики, засновані на волоконних оптичних технологіях, використанні інфрачервоних випромінювань (світловипромінюючих діодів) і детекторів, може бути використано для вимірювання швидкості автомобіля, його положення й висоти, рівнів рідин у гідросистемах, світлового потоку, для визначення складу робочої суміші.

Датчики, які виробляють цілком сумісний перетворений сигнал на виході, і п'єзорезисторний елемент із лінійною характеристикою являють собою нове покоління «інтелектуальних» датчиків тиску на базі інтегральних мікросхем. Такі датчики виконують основні функції перетворення сигналу для взаємодії із системою й компенсації впливу температури, мають пам'ять для автокалібрування, забезпечують автокомпенсацію, можливість адресування та інтерактивний зв'язок із мікропроцесором. Сполучення вдосконалених датчиків і мікропроцесорів забезпечує усі функції, необхідні для одержання дійсно «інтелектуального» датчика усього на двох напівпровідникових компонентах. Такі датчики звільняють центральний контролер від попередніх обчислень, розширюючи його можливості для реалізації алгоритму управління і розподілу інформації між системами. Елементи системи інтелектуального датчика споруджуються на 8-бітовому мікропроцесорі, аналого-цифровому перетворювачі, який складається з 8-бітового перетворювача з послідовною апроксимацією і 16-канального мультиплексора [28].

18.4. Посилення обробка й перетворення сигналів

Підсилювач – це пристрій, у якому здійснюється збільшення енергетичних параметрів сигналу за рахунок використання енергії допоміжного джерела. Відповідно до фізичної природи посилюваних сигналів розрізняють підсилювачі механічні, пневматичні, гідравлічні й електричні. Підсилювач – один з основних елементів пристроїв і інформаційних систем вимірювання, автоматики, телемеханіки, радіотехніки та ін.

Посилення є процесом, при якому потужність сигналу збільшується. Простим механічним прикладом посилення є система управління автомобілем, завдяки гідравліці якої малі зусилля, що прикладаються водієм до керма, перетворюються в значно більші зусилля, що прикладаються до

них робіт, необхідності застосування для формування й аналізу можливих варіантів проєктованих вузлів, агрегатів і модулів системного аналізу.

Система управління – це сукупність керованого об'єкта і пристроїв управління, дії яких спрямовані на підтримку чи поліпшення роботи технічної системи. До пристроїв управління належить комплекс засобів збирання, обробки, передачі інформації й формування керуючих сигналів, чи команд. Оскільки управління – це вплив на який-небудь об'єкт чи процес з метою виконання визначених дій, то поняття «управління» поєднує в собі ціль, об'єкт і керуючий орган чи систему з двома спрямованими назад зв'язками між ними: керуючим впливом і інформаційним зворотним зв'язком, що у сукупності створюють замкнутий контур управління, названий системою управління (див. рис. 4.1).

Елементи системи, наприклад, автомобіля, функціонально поєднуються у підсистеми: управління двигуном, трансмісією, підвіскою і т. д., тому будь-яку систему можна представити у вигляді об'єднання чи, як говорять, композиції підсистем. Композиція застосовується при синтезі систем (із підсистем різного функціонального призначення). Розбивку системи для зручності аналізу на підсистеми називають декомпозицією.

Важливо, що властивості системи не є просто сумою властивостей чи елементів підсистем. У системі завжди з'являються нові якості, нові функціональні можливості. Так, бензиновий двигун як елемент і інший елемент (віз) разом дають систему «вантажний автомобіль», тобто систему, здатну переміщати вантаж з великою швидкістю, – якість, що відсутня у кожного з цих елементів порізно.

Систему з великою кількістю елементів і різноманітним зв'язкам називають великою, чи складною, системою. Прикладом великої системи може слугувати автомобіль, трактор, сучасне підприємство чи автоматизована система управління таким підприємством (АСУП). АСУП – теж велика система, хоча і є частиною підприємства, його підсистемою.

Види управління. Якщо управління об'єктом здійснюється без участі людини, наприклад, за заданою програмою, то такі системи управління називають автоматичними (САУ). Системи управління, у яких людина чи група людей є самостійною ланкою управління, називають автоматизованими (АСУ).

З наведеного прикладу видно одну дуже важливу обставину: будь-яка система може розглядатися як підсистема ще більшої системи, суперсистеми. Так, АСУП – підсистема для підприємства, підприємство – підсистема для виробничого об'єднання, об'єднання – підсистема для галузі і т. д.

Таким чином, виділення в систему тієї чи іншої сукупності елементів носить не абсолютний, а відносний характер, воно значною мірою умовне. Усе залежить від тієї задачі, яку ставить перед собою дослідник.

Системі протистоїть зовнішнє середовище, тобто увесь інший світ. Процес виділення у систему з безлічі елементів світу деякої підмножини елементів називають локалізацією системи.

При локалізації системи, тобто встановленні меж, що відокремлюють систему від зовнішнього середовища, остання не просто відкидається, вона заміняється деякими зовнішніми впливами на систему (рис. 4.2). Подібний прийом – заміна відкинутої частини деяким впливом на розглянуту частину – використовується, наприклад, у теоретичній механіці, де відкинутий зв'язок заміняється силою. Аналогічний метод перетинів застосовується в опорі матеріалів.

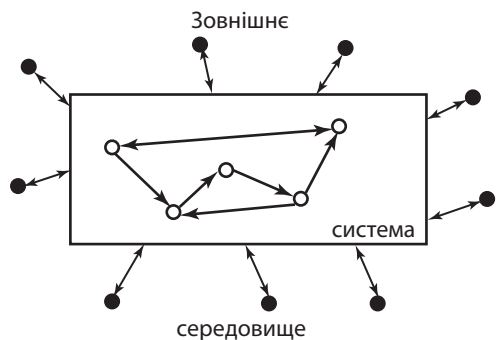


Рис. 4.2. Загальна схема взаємодії системи і навколишнього середовища:

○ – елементи системи; ● – елементи зовнішнього середовища; ↔ – взаємодія системи з елементами зовнішнього середовища

У свою чергу, система впливає на зовнішнє середовище і цей вплив становить першорядний інтерес.

Іноді локалізація системи за змістом проста. Але в загальному випадку локалізація системи – задача нетривіальна. З виділення системи починається системне дослідження. Задача локалізації замикається, а то й співпадає з побудовою моделі об'єкта. При встановленні меж системи дослідника підстерігають дві основні небезпеки, аналогічні тим, що зустрічаються при моделюванні:

- а) захарачення (тобто зайве ускладнення) абстрактної системи, включення до неї зайвих елементів і зв'язків, які не мають значення для даного дослідження, що може значно ускладнити аналіз;

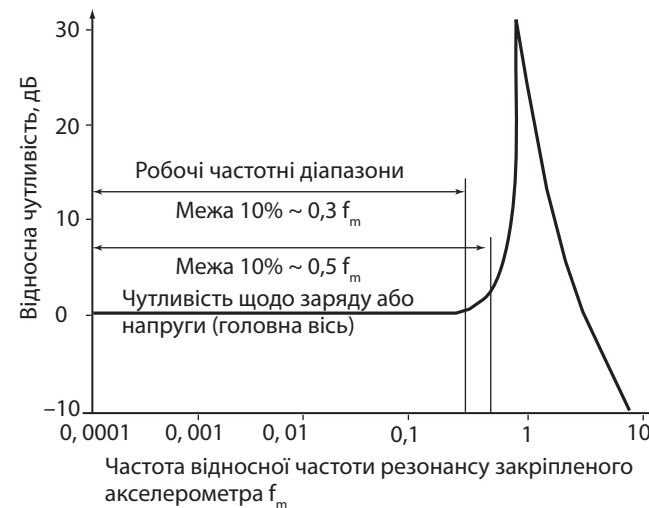


Рис. 18.4. Амплітудно-частотні характеристики (залежності чутливості від частоти) п'єзоелектричного віброперетворювача

вах вібрації, тряски, ударів і т. д. Вони утруднюють роботу, тому що внаслідок неминуче виникаючих власних коливань рухомої системи датчик дає неправильні показання або потрібен порівняно великий час на заспокоєння власних коливань. З динамічними похибками такого роду борються, як правило, за допомогою різного роду віброізоляторів і демпферів.

Проблеми розробки й застосування сучасних датчиків

Сучасні й майбутні датчики повинні мати здатність до самодіагностики, розпізнавання збоїв, помилкових сигналів, прогнозування технічного стану технічних систем. У зв'язку з цим багато з розглянутих датчиків (див. рис. 18.3) не може бути з достатньою ефективністю використано в сучасних кібернетичних бортових системах управління рухом і системах діагностики машин.

Сьогодні напівпровідникові датчики вважаються новим компонентом, їх перевагою є перетворення синусоїдального сигналу в серію прямокутних імпульсів. Мікропроцесори можуть сприймати тільки логічні одиниці й нулі. Тому на виході синусоїдальний сигнал необхідно порівнювати з граничною величиною й у період, коли його рівень перевищує граничну величину, вважати сигнал рівним нулю, а в період, коли рівень сигналу менший за граничне значення – одиниці. Частота імпульсів характеризує швидкість процесу.

1	2	3	4	5	6	7
8305	40	-	$\approx 0,125$ ($\approx 1,25$)	5,3 (межа 2%)	Кварцові п'єзоелементи, високостабільна конструкція, широкий діапазон робочих температур, абсолютна перевірка (похибка $\pm 0,6\%$)	Еталонний датчик для калібрування акселерометрів методом порівняння
8310	100 (без кабелів)	$\approx 1,0$ (≈ 10)	$1 \pm 2\%$ ($9,81 \pm 2\%$)	9	Невід'ємний броньований кабель, верхня межа температури $+400^\circ\text{C}$, нормалізована чутливість (Uni-Gain®)	Дослідження механічних коливань у несприятливих умовах навколишнього середовища, контроль і моніторизація механічних коливань, застосування в стаціонарних системах у промисловості і т. п.
8315	102	$\approx 2,5$ (≈ 25)	$10 \pm 2\%$ ($98,1 \pm 2\%$)	8,1	Симетричний вихід, ізольована конструкція Delta Shear®, висока стійкість відносно електромагнітних полів, нормалізована чутливість (Uni-Gain®)	Вбудований підсилювач, збудник лінії передачі, сертифікат вибухобезпечності, конструкція Delta Shear®, нормалізована чутливість (Uni-Gain®)
8317	112	$3,16 \pm 2\%$ мкА/м·с ⁻² ($31,0 \pm 2\%$ мкА/г)		7,5	Вбудований підсилювач, збудник лінії передачі, сертифікат вибухобезпечності, конструкція Delta Shear®, нормалізована чутливість (Uni-Gain®)	Вбудований підсилювач, збудник лінії передачі, сертифікат вибухобезпечності, конструкція Delta Shear®, нормалізована чутливість (Uni-Gain®)

б) зайве спрощення системи, неприпустиме для розв'язання даної задачі, виключення з системи деяких елементів і зв'язків, що приведе в остаточному підсумку до недостовірного результату. Однозначні рецепти з локалізації систем поки відсутні, так само, як і з побудови моделей об'єктів.

Загальна теорія інформаційних систем і нових інформаційних технологій розвивається на основі теорії інформації й передачі сигналів, загальної теорії систем, дослідження операцій, системного підходу, теорії статистичних рішень та інших дисциплін. Важливим системним поняттям є поняття зв'язку.

Зв'язки в системі – це ті ж елементи чи підсистеми, призначення яких – поєднувати інші елементи чи підсистеми в єдине ціле, у систему. Зв'язки можуть бути сильні, слабкі, підпорядкування й управління, внутрішні й зовнішні. Зв'язок – це який-небудь вплив одного елемента на інший. У кібернетичі та теорії систем звичайно мається на увазі інформаційний зв'язок (а не силовий чи енергетичний). Розрахунок і проектування конкретних виробів, вибір енергетичних і конструкційних характеристик реальних систем не розглядається. Це не є обов'язковою частиною теорії технічних систем.

Зв'язок може бути однобічний чи двосторонній, тобто взаємний. В останньому випадку говорять про взаємозв'язок. Система обов'язково має деяку структуру, під якою розуміється організація зв'язків між елементами й підсистемами.

Структура системи – сукупність усіх елементів чи підсистем, що забезпечує цілісність, стійкість і тотожність системи самій собі при різних зовнішніх і внутрішніх змінах.

Кібернетика займається не будь-якими системами, а тільки керованими чи кібернетичними. Коли деяку систему називають кібернетичною, то мається на увазі, що дана система розглядається з погляду організації у ній процесів управління.

4.2. Керована кібернетична система

У керованій системі завжди можна виділити дві функціонально різні підсистеми: керуючу й керовану (рис. 4.3). Між керуючою частиною й об'єктом управління обов'язково є хоча б один зв'язок. Загальним для будь-якої кібернетичної системи є: наявність регульованого (керованого) об'єкта, органа, який регулює (керує), та каналів прямого й зворотного зв'язку. У кожній такій системі відбувається обмін інформацією між її частинами (за каналами зв'язку).

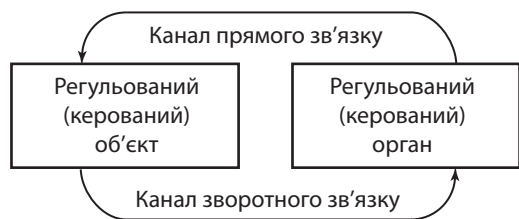


Рис. 4.3. Найпростіша структурна схема кібернетичної системи

Керуюча система, як правило, складається з декількох керованих об'єктів. Складність кібернетичних систем визначається розмірністю (кількістю параметрів, що характеризують стан усіх елементів) і складністю структури – загальною кількістю зв'язків між елементами і їх розмаїтістю. Засоби, що забезпечують управління керованою системою, називаються керуючою системою. Цей зв'язок дозволяє впливати керуючою частиною на об'єкт управління. Такий зв'язок називається прямим. У практиці такі системи називаються системами програмного управління, але системи, що не мають зворотного зв'язку, для кібернетики особливого інтересу не представляють. Кібернетика вивчає складні системи управління, у яких є не тільки прямий, але й зворотний зв'язок. Від того, наскільки ефективно переробляється інформація, залежить ефективність дії всієї системи.

Поняття зворотного зв'язку є найважливішою ознакою управління кібернетичною системою (див. рис. 4.1 і 4.3).

Зворотний зв'язок – це передача відомостей про стан об'єкта управління, а отже, і про результати управління, у керуючу частину. Зворотний зв'язок дозволяє коректувати управління в залежності від дійсного стану об'єкта управління. Внаслідок помилок управління або через вплив зовнішнього середовища стан об'єкта управління може не відповідати необхідному. Зворотний зв'язок дає можливість у програмно керованих ЕОМ значно поліпшити управління і додає нові якості керованим системам у порівнянні із системами прямого (твердого) програмного управління.

Ідея зворотного зв'язку при побудові систем автоматичного управління підказана людині самою природою, де в діях будь-якого живого організму, звіра, птаха, що носять цілеспрямований характер (пошук і добування їжі, вигодовування потомства, захист від природних ворогів і т. п.), спостерігається та сама стійка сукупність причинно-наслідкових зв'язків, що визначають механізм цілеспрямованого поведіння: наявність мети управління (що відчувається рефлекторно на рівні інстинкту), одержання інформації про власний стан і положення щодо навколишнього середовища (сприймається через органи почуттів), вироблення з урахуванням цієї інформації сигналів управління (у вигляді біострумів мозку у вищих тва-

Продовження табл. 18.2

1	2	3	4	5	6	7
4378	175	≈ 2,6 (≈ 260)	31,6 ± 2% (310 ± 2%)	3,9	Розташований зверху з'єднувач	Дослідження механічних коливань з малими амплітудами і низькими частотами
4379	175	≈ 2,6 (≈ 260)	31,6 ± 2% (310 ± 2%)	3,9	Розташований збоку з'єднувач	Дослідження механічних коливань з малими амплітудами і низькими частотами, вбудований фільтр нижніх частот з точно визначеною частотою зрізу
8318	470	316 ± 2% мкА/м·с ⁻² (3100 ± 2% мкА/г)		1	Вбудований підсилювач-збудник лінії передачі, конструкція Delta Shear®, надвисока нормалізована чутливість (Uni-Gain®)	Дослідження механічних ударів з великими амплітудами (макс. прискорення 10 ⁶ м/с ²), механічних коливань з великими амплітудами і високими частотами
8309	3 (без кабеля)	≈ 0,04 (≈ 0,4)	≈ 0,004 (≈ 0,04)	54	Малі розміри, невід'ємні крипильний гвинт (M5) і сполучний кабель	Дослідження механічних ударів з великими амплітудами (макс. прискорення 10 ⁶ м/с ²), механічних коливань з великими амплітудами і високими частотами
4321	55	≈ 0,8 (≈ 8)	1 ± 2% (9,81 ± 2%)	12	Три вібродатчики у загальному корпусі, конструкція Delta Shear®, ідентична нормалізована чутливість (Uni-Gain®)	Дослідження механічних коливань у трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Акселерометр 4322 використовується разом з віброметром 2512 при дослідженнях механічних коливань, що впливають на організм людини
4322	350	≈ 0,8 (≈ 8)	1 ± 2% (9,81 ± 2%)	0,1 (у гумовій подушці)	Три вібродатчики у загальному металевому корпусі і гумовій подушці, конструкція Delta Shear®, ідентична нормалізована чутливість (Uni-Gain®)	

1	2	3	4	5	6		7
					Розташований збоку з'єднувач	Розташований зверху з'єднувач	
4371	11	$\approx 0,8 (\approx 8)$	$1 \pm 2\%$ (9,81 \pm 2%)	12,6	Розташований збоку з'єднувач	Конструкція Delta Shear [®] , нормалізована на чутливість (Uni-Gain [®])	Загальні дослідження механічних коливань і ударів
4384	11	$\approx 0,8 (\approx 8)$	$1 \pm 2\%$ (9,81 \pm 2%)	12,6	Розташований зверху з'єднувач	Конструкція Delta Shear [®] , нормалізована на чутливість (Uni-Gain [®])	Загальні дослідження механічних коливань, можливість безпосереднього з'єднання з відповідною апаратурою фірми Брюль і Кьєр
4382	17	$\approx 2,6 (\approx 26)$	$0,316 \pm 2\%$ (31,0 \pm 2%)	8,4	Розташований зверху з'єднувач	Конструкція Delta Shear [®] , нормалізована чутливість (Uni-Gain [®])	
4383	17	$\approx 2,6 (\approx 26)$	$0,316 \pm 2\%$ (31,0 \pm 2%)	8,4	Розташований збоку з'єднувач	Конструкція Delta Shear [®] , нормалізована чутливість (Uni-Gain [®])	
4390	17	$3,16 \pm 2\%$ (31,0 \pm 2% мкА/г)		8,4	Вбудований підсилювач-збудник лінії передачі, конструкція Delta Shear [®] , нормалізована чутливість (Uni-Gain [®])		
4370	54	$\approx 0,8 (\approx 80)$	$10 \pm 2\%$ (98,1 \pm 2%)	4,8	Розташований зверху з'єднувач	Конструкція Delta Shear [®] , висока нормалізована чутливість (Uni-Gain [®])	Дослідження механічних коливань з малими амплітудами
4381	43	$\approx 0,8 (\approx 80)$	$10 \pm 2\%$ (98,1 \pm 2%)	4,8	Розташований збоку з'єднувач	Конструкція Delta Shear [®] , висока нормалізована чутливість (Uni-Gain [®])	

рин чи імпульсів збудження нервових волокон – у нижчих), реалізація керуючих впливів (через м'язи, кінцівки). Цілеспрямовані дії людини підлеглі тому ж ланцюжку зв'язків із тією тільки відмінністю, що ціль управління сприймається людиною усвідомлено. Розрив цього ланцюжка в будь-якій її ланці порушує процес управління, і цілеспрямовані дії (принаймні, із колишньою ефективністю) стають неможливими.

Підсистеми відносно одна одної можуть бути одного рівня (рівнозначені) або складати ієрархію. Якщо в деякій підсистемі виділяється, у свою чергу, підсистема більш низького рівня, то ці дві підсистеми утворюють ієрархію, співпідпорядкованість. Ієрархічна структура дуже характерна для керуючих систем. Організаційні системи, тобто керовані, у які включено колективи людей, завжди побудовано за ієрархічним принципом (начальник – підлеглий). Необхідність ієрархічної структури великих керованих систем підтверджена всією людською практикою. Класичними прикладами систем з яскраво вираженою ієрархічною структурою може служити армія, управління підприємством та ін.

4.3. Рух системи і динамічні властивості

Для керованої системи завжди є безліч можливих станів. Зміну стану системи з часом називають її рухом (поводженням). Причинами його можуть бути як вплив середовища, так і процеси, що протікають у самій системі. Вплив середовища на об'єкт називають вхідними впливами, «входами» (див. рис. 3.6). Розрізняють два види вхідних впливів: керуючі – «управління», як коротко говорять, та збуджуючі – перешкоди, «шуми». Так, при роботі радіоприймача керуючий вплив – це прийнятий корисний сигнал, керуючий, в остаточному підсумку, динаміком. Але, крім того, у динамік «просочуються» перешкоди, що динамік відпрацьовує у вигляді «трісків», «фонів» і т. п.

Виходами системи є змінні величини, які характеризують рух (поводження) системи. Спостерігаючи за вихідними величинами, можна судити про те, наскільки відповідає рух системи (об'єкта) необхідному, тому, якого ми домагалися. «Виходи» – це вплив системи на зовнішнє середовище.

Вивчення залежності вихідних величин системи від вхідних впливів і часу є найважливішою задачею кібернетичного дослідження системи, задачею встановлення її динамічних властивостей. Для порівняно простих технічних систем це питання докладно розглядає теорія автоматичного управління.

У загальному випадку теоретичне вивчення динамічних властивостей системи представляє великі труднощі. Тут на допомогу приходять мате-

матичне (кібернетичне, «машинне») моделювання. Іноді систему вдається описати добре вивченими математичними схемами, звести вивчення досліджуваної системи до вивчення системи диференціальних рівнянь, моделей масового обслуговування і т. д. Однак складні системи, як правило, не зводяться цілком до «типових» математичних конструкцій. Чим складніша, «більша» система, тим більше в ній різноманітних зв'язків, тим менш передбачуваним стає її поведіння. Поводження системи здобуває ймовірний, стохастичний характер. На допомогу приходять методи статистичного й імітаційного моделювання.

4.4. Управління системою

Класичний приклад технічної самокерованої системи – парова машин із відцентровим регулятором швидкості, запропонована Д. Уаттом майже 200 років тому. Регулятор містить масивні кулі, з'єднані за допомогою важелів із валом машини. При збільшенні швидкості обертання вала відцентрові сили розводять кулі і вони тягнуть із собою важелі, що опускають засувку на трубі, по якій підводиться пара. У машину починає надходити менше пари, і швидкість обертання вала знижується. Тут парова машина – керований об'єкт, а відцентровий регулятор – керуючий (регулюючий) орган (див. рис. 4.3). Через важелі й засувку (це – прямий зв'язок) регулятор посилає керованому об'єкту сигнали управління; через вісь регулятора, з'єднану з валом машини, здійснюється зворотний зв'язок – регулятор одержує сигнали про результат керуючого впливу.

Така схема самокерованої системи характерна і для багатьох інших технічних пристроїв регулювання швидкості руху автомобіля, подачі палива у двигунах, машин-автоматів; гірокомпаса, що стежить за правильністю курсу океанського лайнера; автопілота, що зберігає курс літака за рахунок одержання інформації про положення повітряного судна від гіроскопа, встановленого на літаку.

Управління системою полягає в такому впливі на «входи» системи (x), щоб одержувати необхідні значення вихідних характеристик (y). Принципова схема управління показана на рис. 4.4.

У реальних системах $x(t)$ і $y(t)$ є величинами векторними і можуть носити різноманітний характер: бути безупинними, розривними, імпульсними і т. д. Зворотні зв'язки також можуть бути дуже численними й різноманітними, охоплювати як систему в цілому, так і окремі її підсистеми.

Взаємодіючі керована й керуюча системи утворюють систему управління (рис. 4.5), яка характеризується різними групами перемінних [1]: збуд-

Таблиця 18.2

Перелік, основні параметри і короткий опис акселерометрів що виготовляються і постачаються фірмою «Брюль і Кьєр»

Акселерометр	Маса (г)	Чутливість за напруженою пружою мВ/м·с ⁻² (мВ/г)	Чутливість за зарядом пКл/м·с ⁻² (пКл/е)	Частотний діапазон, межа +10% (кГц)	Особливості	Області застосування
1	2	3	4	5	6	7
4374	0,65 (без кабелю)	≈ 0,18 (≈ 1,8)	≈ 0,11 (≈ 1,1)	26	Малі розміри і маса, висока резонансна частота, невід'ємний кабель, нормалізована чутливість (Uni-Gain®)	Дослідження механічних коливань з великими амплітудами і високими частотами, механічних ударів, коливань легких конструкцій, застосування у важкодоступних місцях
4393	2,4	≈ 0,48 (≈ 4,8)	0,316 ± 2% (3,10 ± 2%)	16,5	Конструкція Delta Shear®, малі розміри і маса, висока резонансна частота, нормалізована чутливість (Uni-Gain®)	
4375	2,4 (без кабелю)	≈ 0,48 (≈ 4,8)	0,316 ± 2% (3,10 ± 2%)	16,5	Конструкція Delta Shear®, малі розміри і маса, висока резонансна частота, невід'ємний кабель, нормалізована чутливість (Uni-Gain®)	
4391	16	≈ 0,8 (≈ 8)	1 ± 2% (9,81 ± 2%)	12	Конструкція Delta Shear®, нормалізована чутливість (Uni-Gain®), ізольовані підстава, з'єднувач ТМС	

Вид функціональної залежності перетворювача неелектричного параметра $U = f(X)$, як правило, визначається співвідношенням діючого й протидіючого зусиль на чуттєвий елемент і характеристиками перетворювача неелектричного параметра в електричний сигнал. Діюче зусилля створюється за рахунок енергій вимірюваної фізичної величини і сприймається чуттєвим елементом, що деформується пропорційно діючому зусиллю. Деформація чуттєвого елемента трансформується проміжним перетворювачем в електричний сигнал. Таким чином, функціональна залежність вихідного сигналу від вимірюваної фізичної величини визначається властивостями і геометричними розмірами чуттєвого елемента, а також електричними властивостями перетворювача і частково вимірювального ланцюга. Якщо перетворювач складається з одного перетворювача (див. рис. 18.3, а), то його характеристика визначається фізичними й електричними параметрами останнього. Характер залежності $U = f(X)$ у її остаточному сумарному вигляді, як правило, знаходиться шляхом градування перетворювача і представляється у вигляді таблиці або графіка. При градуванні для контролю значень, що задаються, вимірюваної неелектричної величини і вихідного сигналу застосовують зразкові засоби виміру з похибкою, що у 3 – 5 разів менша за похибку в нормальних умовах.

Залежно від властивостей складових конструктивних і схемних елементів перетворювача градувальна характеристика є або лінійною, або нелінійною. У більшості випадків бажано мати перетворювачі з лінійною характеристикою, тобто з характеристикою, похибка від нелінійності якої незначна в порівнянні з похибкою перетворювача, яка допускається у нормальних умовах. Лінійність характеристики особливо важлива для вимірювань коливальних процесів і інших динамічних вимірів (рис. 18.4) [15]. Технічні характеристики деяких віброперетворювачів (акселерометрів) представлено в табл. 18.2.

Через наявність сил тертя в рухомих елементах конструкції перетворювача при градуванні виявляється різниця в значеннях вихідного сигналу між прямим і зворотним ходом при одному і тому ж значенні вимірюваної величини. Основна частка варіаційних відхилень спричиняється властивостями пружних чутливих елементів.

При вимірюванні процесів, які повільно чи швидко змінюються, має місце динамічний режим роботи апаратури, що викликає появу додаткових динамічних похибок, а саме: амплітудних і фазових похибок вимірювання перехідних процесів. Ці похибки залежать від динамічних параметрів вимірюваних процесів і динамічних характеристик перетворювача. До динамічних відносять також похибки, які виникають при вимірюванні в умо-

жуючими впливами навколишнього середовища $f_1(t) \dots f_k(t)$, перемінними стану $x_1(t) \dots x_n(t)$, керуючими і спостережуваними перемінними відповідно $r_1(t) \dots r_m(t)$ і $z_1(t) \dots z_l(t)$. У даний момент часу стан керованої системи буде визначатися функцією початкового стану $\bar{x}(t_0)$ і векторів $\bar{f}(t_0)$.

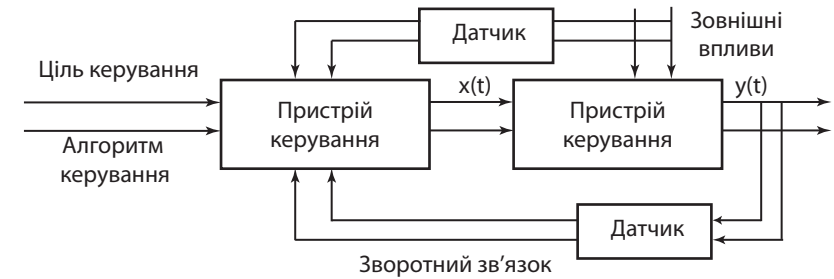


Рис. 4.4. Схема, що пояснює принцип управління зі зворотним зв'язком

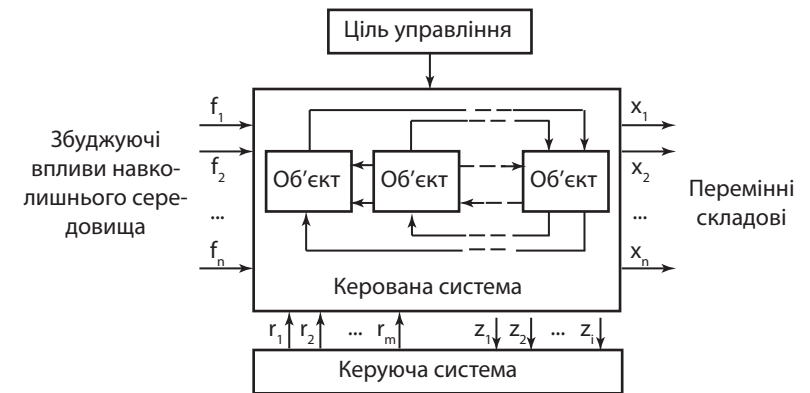


Рис. 4.5. Схема керованої системи:

r_1, r_2, \dots, r_m – керуючі впливи; z_1, z_2, \dots, z_l – спостережувані змінні

У найзагальнішому вигляді рівняння математичної моделі керованої системи може бути записано в такий спосіб:

$$\bar{x}(t_0) = \bar{X} \{ \bar{x}(t_0); \bar{r}(t_0); \bar{f}(t_0) \}. \quad (4.1)$$

Якщо ціль управління визначається екстремумом (показником) деякого функціонала $E = E \{ \bar{x}(t); \bar{r}(t); \bar{f}(t) \}$, то розв'язання рівняння полягає в тому, щоб визначити вектор управління $\bar{r}(t)$ за умови, що

$$E = E \{ \bar{x}(t); \bar{r}(t); \bar{f}(t) \} = \max. \quad (4.2)$$

Як вже згадувалося вище, практично завжди є різні шляхи приведення системи в необхідний стан. Тоді виникає питання про оптимальне управління, тобто про вибір кращого управління з безлічі можливих. З появою швидкодіючих ЕОМ відшукання оптимальних режимів управління безпосередньо за ходом управління стало реальністю.

Питанням оптимального управління й оптимізації систем присвячено величезну кількість вітчизняних і закордонних публікацій. Розроблено численні математичні методи оптимізації. Розглянуто системи переваги і, зокрема, так звані критерії оптимальності – величини, що дозволяють відрізнити «найкращі» рішення від інших можливих. Підкреслюючи значущість оптимальних рішень, іноді говорять, що кібернетика – це наука про оптимальне управління. І разом із тим для великих систем, адекватна формалізація яких складна, доводиться на практиці обмежуватися знаходженням припустимого управління, нехай не найкращого, але яке дозволяє за короткий час досягти цілей управління.

Контрольні питання і завдання

1. Поясніть, що таке «система», «підсистема», «структура», «елемент» і «зв'язок» у кібернетичних системах
2. Наведіть структурну схему найпростішої кібернетичної системи управління.
3. Які види управління об'єктами існують? Поясніть, що таке зворотний зв'язок у системах управління.
4. Які можуть бути зв'язки в керованій системі?
5. Які змінні величини характеризують рух системи?
6. Наведіть найпростішу схему, що пояснює принципи управління зі зворотним зв'язком у технічних системах і керуванні виробництвом.

Закінчення табл. 18.1

1	2
Датчик кута повороту колінчатого вала	Має 24 виступи і за один оборот подає 24 імпульси, тобто через 15° повороту розподільника і 30° – колінчатого вала
Датчик детонації	Являє собою п'єзоелемент, встановлюваний у твердому корпусі, частота власних коливань датчика дорівнює частоті коливань при детонації. У цей період п'єзоелемент виробляє максимальну напругу, тому що зазнає максимального навантаження
Датчик положення	Являє собою пристрій, в який інтегровано вимикач холостого ходу з механізмом керованого педаллю передачі палива струму. Цей прилад посиляє роздільні сигнали в електронний блок управління. Пристрій об'єднаний з датчиком положення педалі механічним зв'язком
Датчик кількості палива	Визначає коефіцієнт переломлення і діелектричну постійну палива, концентрацію ментолу. Складається з інфрачервоного діода з коліморними лінзами, який випромінює світловий потік, що проходить через стрижневу призму оптичного скла й паливо, яке надходить. Світловий потік, переломлюючись, фокусується конденсаторною лінзою на світлочутливому детекторі. Положення падаючого на детектор пучка співвідноситься з коефіцієнтом переломлення палива
Датчик якості палива	Чутливим елементом датчика є мініатюрний повітряний конденсатор. Принцип його роботи засновано на визначенні діелектричної постійної мастила, електронна схема перетворює зміну діелектричної постійної у зміну частоти. Датчик, реагуючи на хімічні або фізичні параметри моторного мастила, сповіщає водія про погіршення його властивостей, допомагає уникнути використання нестандартного мастила, контролює, чи не розведене мастило паливом або охолоджуючою рідиною

18.3. Функції перетворення

Функція перетворення – це залежність між вхідним і вихідним сигналами вимірювального перетворювача. Її називають також градуальною характеристикою, рівнянням перетворення, характеристикою перетворення. Цю функцію може бути представлено аналітично, графічно або у вигляді таблиці.

У табл. 18.1 представлено дані про датчики і їх пристрої перетворення для систем управління двигуном.

Таблиця 18.1

Призначення й конструкція датчиків систем управління двигуном

Типи датчиків або основні їх елементи	Призначення датчиків і пристроїв перетворення
1	2
Потенціометр заслінки	Керує заслінкою, яка повертається під впливом швидкісного напору повітря, що йде до двигуна. Витрата повітря перетворюється у співвідношення напруг пліч потенціометра, який безпосередньо з'єднаний з віссю заслінки
Кремнієвий кристал із містком опору	Вимір перепаду тиску у впускному трубопроводі. Струм, що проходить через місток змінюється під дією деформацій (п'єзорезисторний ефект), викликаних зміною тиску повітря
Генератор повітряних вихрів – завихрювач (датчик Кишені)	Встановлюється в потік споживаного двигуном повітря. Кількість вихрів пропорційна витраті усмоктуваного повітря. Датчик рахує ці вихори і перетворює їх у вихідні електричні сигнали – імпульси з резонансною частотою
Платиновий дротик, що нагрівається електричним струмом і охолоджується потоком повітря, який надходить у двигун	Кількість повітря, що надходить у двигун, визначається за зміною сили струму, що проходить через дріт. Опір дроту змінюється під дією температури пропорційно швидкості повітряного потоку
Датчик температури охолоджуючої рідини й температури	Складається з напівпровідникового елемента, опір якого змінюється майже лінійно
Датчик кисню – лямбда-зонд.	Встановлюється у впускній системі. Дає дані про концентрацію кисню у відпрацьованих газах, реагуючи на відхилення від стехометричного складу пальної суміші, яка надходить у циліндри
Датчик кута повороту колінчатого вала двигуна	Як правило, складається з двох котушок і двох роторів-магнітів запалювання, які розміщуються в корпусі розподільника. Ротор датчика швидкості має два виступи і за кожен оборот надходять два імпульси. Оскільки розподільник обертається у два рази повільніше, ті два імпульси дорівнюють кількості оборотів колінчатого вала

Глава 5.

ІНФОРМАЦІЯ В КІБЕРНЕТИЦІ

5.1. *Поняття, джерела й форми інформації.*

5.2. *Кількість інформації.*

5.3. *Інформація в системі управління.*

5.4. *Передача інформації.*

5.5. *Модуляція переносників інформації.*

5.6. *Пам'ять.*

5.1. Поняття, джерела й форми інформації

Інформація є основним поняттям кібернетики. Це – усе, що є відображенням яких-небудь фактів чи подій: певні відомості, сукупність деяких даних, знань та ін. Інформація – це відомості про що-небудь, вона є об'єктом збереження, передачі й перетворення. Інформація має дуже складну, багаторівневу ієрархічну структуру. На найвищому щаблі – розуміння людиною змісту й важливості повідомлення. Класична теорія інформації займається нижнім щаблем цієї ієрархії, яка пов'язана з передачею та збереженням інформації. Інтелектуальну діяльність людини на верхніх щаблях ієрархії інформації ми називаємо розумінням змісту інформації. Інформація потрібна людині у двох випадках: для задоволення його інформаційних потреб – приносити психологічне й моральне задоволення, естетичну насолоду, пізнання світу, навколишнього середовища і т. д., а також для вироблення визначених дій, прийняття яких-небудь рішень і одержання відомостей про результати цих дій, що є частиною процесу впливу на навколишнє середовище чи реакцію на нього.

Інформація виникає в тих випадках, коли встановлюються деякі загальні властивості предметів або явищ, з'являються нові знання. Передачею й переробкою інформації людство займається з давніх часів. Малюнки прадавніх людей, спроби створення мови й писемності, розшифровка слідів, звукова й світлова сигналізація – це приклади операцій зі збереження, передачі й обробки інформації.

В усіх матеріальних системах одержання інформації про об'єкти, процеси пов'язано зі взаємодією з ними, з відображенням властивостей процесів, об'єктів у характеристиках і властивостях органів взаємодії. Це дає підставу характеризувати інформацію як зміст, зміст відображення.

Теорія інформації – це розділ кібернетики, у якому за допомогою математичних методів вивчаються способи виміру кількості інформації, що міститься в будь-яких повідомленнях, способи кодування для представлення повідомлень і надійності передачі їх за каналами зв'язку з перешкодами.

Джерелом інформації може бути будь-який матеріальний об'єкт, основною особливістю якого є те, що в ньому створюється сукупність відомостей про його стан і діючі процеси, явища, події. Сукупність відомостей, створених джерелом і підлягаючих передачі, називають повідомленням. Тому джерело інформації нерідко називають джерелом повідомлень. Ним може бути: книга, водій, вимірювальні прилади, різні безперервні та імпульсні сигнали.

Безперервні та імпульсні сигнали можуть бути як детермінованими, тобто такими, у яких існує функціональна залежність значень сигналу від аргументу (часу), так і випадковими, у яких подібна залежність відсутня. У цьому випадку можна охарактеризувати лише деякі середні характеристики розглянутих процесів, але прогнозувати точне значення сигналу в кожен момент часу неможливо.

Будь-який сигнал може бути описано як функцію часу $S(t)$ чи частоти $F(\omega)$. Ці дві функції пов'язані між собою функціональним перетворенням і відіграють важливу роль у теорії сигналів. Чим коротший сигнал у часовому просторі, тобто чим менше його тривалість, тим ширше його частотний спектр. Якщо детермінований сигнал має вигляд послідовності імпульсів тривалості τ , то еквівалентну смугу займаних ним частот може бути в першому наближенні визначено як $\Delta f \approx 1/\tau$.

Для випадкового сигналу спектр тим ширше, чим швидше змінюється сигнал у часі.

Розглянуті способи представлення сигналу широко використовуються при аналізі систем передачі інформації.

5.2. Кількість інформації

Інформація є таким самим функціональним поняттям, як час і простір. Її неможливо остаточно визначити, а тільки пояснити. Інформації без відправника й одержувача не існує.

Кількість інформації прийнято оцінювати за кількістю можливих повідомлень.

Кількість інформації прийнято вимірювати в бітах, більш велика одиниця інформації – байт.

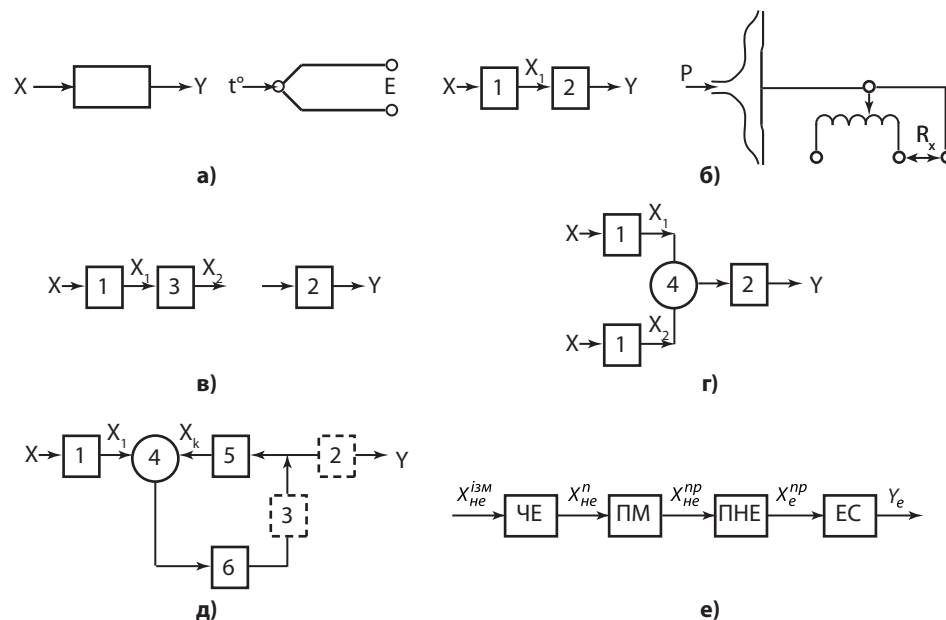


Рис. 18.3. Структурні схеми основних типів перетворювачів:

a – структурна одноканкова найпростіша схема й приклад перетворювача (термопар), яка складається тільки з одного перетворювача; *б* – структурна схема й приклад перетворювача (потенціометричний перетворювач тиску), який складається з чутливого елемента 1 і вихідного перетворювача 2; *в* – схема касадного з'єднання (3 – проміжний перетворювач); *г* – диференціальна схема (4 – віднімаючий елемент); *д* – компенсаційна схема (5 – підсилювач; 6 – генератор компенсуючої величини); *е* – узагальнена структурна схема перетворювача неелектричної величини: *ЧЕ* – пружний чутливий елемент (первинний перетворювач); *ПМ* – передавальний механізм (проміжний перетворювач); *ПНЕ* – перетворювач неелектричної величини в електричну (проміжний перетворювач); *ЕС* – електрична схема (вторинний перетворювач); X_{He}^{izm} , X_e й Y_e – відповідно вхідний неелектричний, вхідний електричний і вихідний електричний сигнали

У найбільш загальному вигляді переважну більшість неелектричних параметрів можна представити узагальненою структурною схемою (рис. 18.3, *е*). Показана на рис. 18.3 електрична схема *ЕС* виконує функцію додаткового перетворення електричного сигналу з виходу *ПНЕ* в електричний сигнал U_e . Наприклад, у деяких тензометричних датчиках електрична схема слугує для перетворення електричного опору тензорезистора в постійну напругу.

5. *Трансформаторні (взаємоіндуктивні)* – для вимірювання лінійних переміщень, тисків, витрат та ін.
6. *Магнітопружні* – для вимірювання обертаючих моментів, зусиль та ін.
7. *Індукційні* – для вимірювання витрат рідини й газу, частоти обертання та ін.
8. *П'єзоелектричні* – для вимірювання тисків, вібрацій, рівнів, витрат за рівнем та ін.
9. *Термоелектричні (термопари)* – для вимірювання температури вихлопних газів і температури в камері згорання двигуна, температури поверхні корпусних деталей та ін.
10. *Перетворювачі термоопору (термометри опору)* – для вимірювання температури рідких середовищ і поверхні корпусних деталей.
11. *Фотоелектричні* – для вимірювання частоти обертання, обертаючого моменту, лінійних розмірів та ін.
12. *Механотронні* – для вимірювання малих переміщень, зусиль, тисків та ін.
13. *Частотні стробоскопічні (стробоскопи)* – для вимірювання фазових параметрів роботи двигуна й частоти обертання деталей.

Основною характеристикою перетворювача є залежність вихідної величини (електричного сигналу) U від вхідної величини (контрольованого параметра) X , зумовлена градуївною характеристикою $U = f(X)$. На рис. 18.3 зображено найбільш розповсюджені залежності «вихід-вхід» для перетворювачів у залежності від структури їх побудови.

У найбільш простих випадках структурна схема перетворювача містить у собі один або два елементарних перетворювачі. У найпростішому випадку він може складатися тільки з одного перетворювача (рис. 18.3, а), який здійснює перетворення вимірюваної неелектричної величини X в електричну величину U . Однак у переважній більшості випадків перетворювачі будуються за структурною схемою, яка складається з чутливого елемента, який сприймає енергію X вимірюваного параметра і перетворює її у проміжну неелектричну величину X_1 , та перетворювача, призначеного для перетворення проміжної неелектричної (звичайно механічної) величини X_1 в електричний сигнал U (рис. 18.3, б). В окремих випадках між чутливим елементом і перетворювачем розташовується передавальний механізм або кілька проміжних перетворювачів (структура каскадного з'єднання, рис. 18.3, в). Часто зустрічаються більш складні структури: диференціальна схема (рис. 18.3, г), наприклад, в індуктивних перетворювачах тиску, і компенсаційна схема (рис. 18.3, д), наприклад, у трансформаторних перетворювачах лінійних переміщень.

Назва «біт» походить від англійського *bi (nary digi) t* – двійкова цифра. Біт – це мінімальна кількість інформації, своєрідний «інформаційний атом». Біт – це один сигнал чи його відсутність, це – «щось» чи «нічого».

Послідовність з 8 двійкових цифр одержала найменування байта, тобто 1 байт дорівнює 8 бітам. 8-бітовий байт (кількість бітів у байті – умовна) можна вважати сталим міжнародним стандартом, що широко використовується в обчислювальній техніці.

Наприклад, повідомлення про поломку деталі в автомобілі несе інформації тим більше, чим більша кількість деталей, що можуть виходити з ладу: кількість інформації зростає зі збільшенням невизначеності повідомлення (тобто кількості деталей).

Так, при одній деталі маємо два варіанти повідомлень: 1 – деталь ціла, 2 – вона зламалася. При двох деталях буде вже чотири варіанти: 1 – обидві деталі цілі; 2 – перша зламалася, друга ціла; 3 – перша ціла, друга зламалася; 4 – обидві деталі зламалися. Якщо деталей три, то, аналогічно перебираючи всі комбінації, одержимо вісім варіантів повідомлень, для чотирьох деталей – 16 варіантів. Збільшуючи на одну деталь, одержуємо подвоєння варіантів. А чим більше варіантів, тим вище невизначеність кожного повідомлення.

Щоб не мати справи з великими числами, прийнято невизначеність інформації оцінювати не за кількістю варіантів повідомлень, а за логарифмом з підставою два від цього числа. Наприклад, при рівноймовірній поломці n деталей невизначеність повідомлення H знаходять за формулою Хартлі:

$$H = \log_2 n. \quad (5.1)$$

При двох рівноймовірних повідомленнях (контролюється одна деталь) $H = \log_2 2 = 1$. Отриману одиницю прийнято за одиницю виміру кількості інформації і названо «біт». Кількості інформації, що дорівнює 2 бітам, відповідає чотири варіанти повідомлень, трьом бітам – вісім, чотирьом – 16. Кількість інформації, що дорівнює 8 бітам (256 варіантів), називають байтом, а похідні від нього – кіло-, мега- і гігабайтом, між якими існують такі співвідношення:

$$1 \text{ байт} = 8 \text{ біт};$$

$$1 \text{ Кб} = 1024 \text{ байт} (2^{10} \text{ байт});$$

$$1 \text{ Мб} = 1024 \text{ Кбайт} (2^{20} \text{ байт});$$

$$1 \text{ Гб} = 1024 \text{ Мбайт} (2^{30} \text{ байт}).$$

При знаходженні невизначеності нерівноймовірних узагальнень використовують поняття ентропії.

Така міра інформації, як біт і байт застосовна до будь-якого виду й змісту інформації. Однак ці одиниці не оцінюють зміст, корисність та цінність інформації для конкретного одержувача; вони не дозволяють оцінити кількість корисної інформації.

Щоб визначити кількісні характеристики виробничої й економічної інформації, як її елементарні одиниці використовують реквізит і економічний показник, а в ряді випадків просто конкретну кількість літерно-цифрових знаків.

5.3. Інформація в системі управління

Інформація є основним «продуктом», що циркулює в керуючих системах. Вихідна інформація від об'єкта управління і навколишнього середовища надходить у керуючий орган. На основі її виробляється керуючий вплив. Звідси випливає, що яка буде інформація чи інформаційне забезпечення, таке буде й управління. Тому будь-яка керуюча система – це насамперед інформаційна система. Маніпулюючи інформаційним забезпеченням, можна впливати на прийняті рішення. Функціональні ознаки інформаційної системи показано на *рис. 5.1*.



Рис. 5.1. Класифікація інформаційних систем

Процеси управління виявляються у всіх цілеспрямованих діях людини, підприємства, об'єднань, держави, суспільства чи будь-якої іншої системи. Людина, приймаючи рішення, реалізує його, керуючи своїми діями. Але щоб керувати, потрібна інформація з об'єкта управління й середовища, у якому функціонує цей об'єкт.

З погляду функціонального призначення пристроїв і систем можна виділити такі інформаційні процеси: одержання (добір, вимір), передача, обробка (перетворення), представлення (реєстрація, відображення) ін-

- потенціометричні (реостатні), які використовують залежність опору реостата від положення його движка, що може переміщатися під впливом контрольованого параметра;
- рідинні (електролітичні) перетворювачі, принцип дії яких засновано на зміні опору електропровідної рідини при взаємному переміщенні електродів або зміні геометричної форми корпусу чуттєвого елемента;
- механотронні (електролітичні) перетворювачі засновано на перетворенні вимірюваного параметра в переміщення електродів механотронної лампи і відповідно у зміну анодного струму;
- тензорезисторні (тензометричні) використовують властивість тензоперетворювача змінювати свій опір при пружних деформаціях. Вони підрозділяються в залежності від матеріалу тензорезистора на провідникові (дротові і фольгові) і напівпровідникові;
- перетворювачі контактного опору використовують залежність контактного опору між поверхнями двох твердих тіл від зусилля їх стиску;
- магнітотермічні являють собою пристрої, що містять магнітну систему й магнітометр, при взаємному переміщенні яких змінюється напруженість магнітного поля, яке пронизує магнітометр, і відповідно вихідний сигнал;
- перетворювачі термоопору, п'єзоопору, фотоопору та ін. використовують властивості ланцюга, у якому їх розміщено, відповідно змінювати свій опір у залежності від температури, механічної напруги, освітленості і т. д.

18.2. Структурні схеми основних типів застосовуваних перетворювачів

З усієї номенклатури типів перетворювачів, які розрізняються за принципом дії, у даний час знаходять найбільш широке застосування такі.

1. *Потенціометричні*, або *реостатні* – для вимірювання абсолютних, надлишкових тисків рідких і газоподібних середовищ і перепадів тисків; координат і відносних переміщень; лінійних прискорень; кутових швидкостей; швидкісного напору та ін.
2. *Тензорезисторні* (*тензометричні*) – для вимірювання тисків, зусиль, обертаючих моментів, відносних переміщень, лінійних прискорень та ін.
3. *Електроконтактні* – для вимірювання часових інтервалів і фазових параметрів роботи двигуна.
4. *Індуктивні* – для вимірювання тисків, лінійних переміщень та ін.

- фотоелектричні, які використовують залежність ЕРС фотоелемента із замикаючим шаром від освітленості;
- термоелектричні перетворювачі, які використовують явище термоелектричного ефекту, що виникає в ланцюзі термопари у залежності від різниці температур її робочого й вільного спаїв;
- перетворювачі електричних потенціалів, які використовують залежність концентрації водних розчинів від концентрації водневих іонів у розчині, яку можна визначити за потенціалом, який виникає на границі різних електродів, опущених у контрольований розчин;
- гальванічні, які використовують залежність ЕРС гальванічного елемента від складу й концентрації розчинів електролітів;
- електрокінетичні, які використовують явище електрокінетичного потенціалу, що виникає при вимушеному протіканні полярної рідини через пористу стінку;
- перетворювачі з час-імпульсним виходом, у яких змінюваний параметр перетворюється в пропорційний за тривалістю імпульсу струму;
- частотні перетворювачі (з частотним виходом), у яких вимірюваний параметр перетворюється в зміну частоти перемінного струму або в зміну частоти проходження електричних імпульсів.

У параметричних перетворювачах вимірювана величина перетворюється на параметр електричного ланцюга – опір, індуктивність, ємність і т. п., причому датчик живиться від зовнішнього джерела електричної енергії. До таких перетворювачів належать:

- ємнісні, які використовують залежність електричної ємності конденсатора від розмірів і взаємного розташування його обкладинок при впливі на нього вимірюваного параметра;
- електромагнітні й магнітоелектричні, котрі поєднують три типи датчиків – індуктивні, трансформаторні і магнітопружні. Індуктивні засновано на залежності індуктивності дроселя від довжини й площі перетину його сердечника, від взаємного розташування обмоток дроселя й частин магнітопроводу. Трансформаторні засновані на зміні взаємної індуктивності обмоток перетворювача під впливом механічних переміщень феромагнітного сердечника. Магнітопружні засновано на принципі зміни магнітної проникливості (або індукції) феромагнітних тіл під впливом прикладених до них механічних сил або напруг;
- електроконтактні, які комутують електричний ланцюг під впливом вимірюваного параметра;

формації, вироблення керуючих впливів (регулювання, управління). Проходження інформації й основні етапи її перетворення представлено на рис. 5.2. Як приклад показано комплекс технічних пристроїв, призначених для вирішення задачі управління автоматизованим об'єктом.

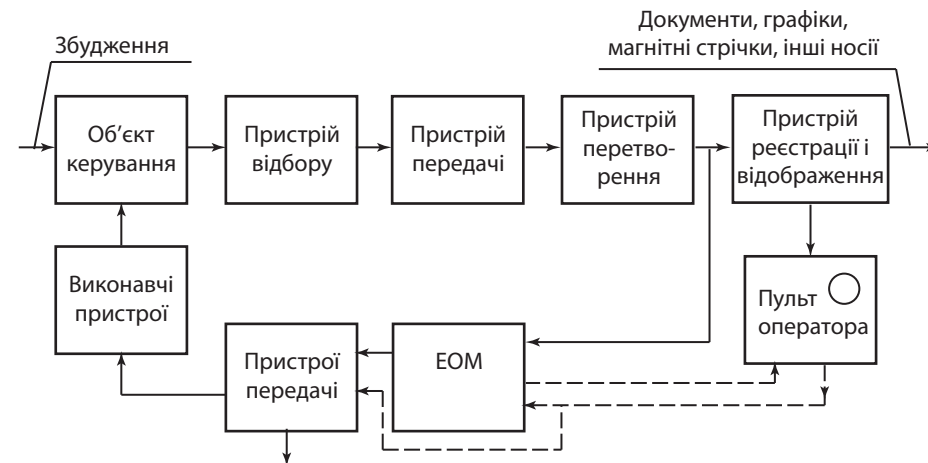


Рис. 5.2. Схема проходження й перетворення інформації в АСУ

Одержання інформації пов'язане зі сприйняттям і оцінкою об'єкта чи процесу. При цьому корисна інформація відокремлюється від так званих шумів, що в ряді випадків пов'язане зі значними труднощами. Результатом сприйняття є сигнал у формі, зручній для передачі чи обробки.

Передача інформації полягає в переносі її на відстань за допомогою сигналів різної фізичної природи за механічними, оптичними, акустичними, електромагнітними та іншими каналами зв'язку. Для передачі найчастіше використовують електричні, оптичні й електромагнітні канали зв'язку з добре розробленою технікою передачі сигналів на відстань.

Обробка інформації виконується за допомогою машин чи пристроїв, що здійснюють аналогові чи цифрові перетворення функцій та величин, що надходять. Проміжним етапом обробки є збереження інформації у запам'ятовуючих пристроях. Представлення інформації потрібно в тих випадках, коли в процесі управління бере участь людина. Воно полягає в демонстрації зображень, що містять якісні й кількісні характеристики інформації, яка циркулює в системі. Для цього використовуються різні пристрої відображення інформації та реєструючі пристрої, наприклад, цифро-літерні індикатори, електронно-променеві трубки, мнемосхеми й табло, графічні дисплеї і т. д.

Керуючий вплив полягає в тому, що сигнал, який несе інформацію, здійснює регулювання чи управління за допомогою виконавчих пристроїв, викликаючи зміни в об'єкті управління. Таким чином, можна говорити, що управління являє собою процес збирання, передачі й обробки інформації, а інформаційна система є обов'язковим елементом керуючої системи.

При включенні технічних засобів до складу комплексу завжди враховуються їх інформаційні характеристики, такі як інформаційна ємність, пропускна здатність, інформаційна продуктивність та ін., обумовлені використанням підходів і методів теорії інформації.

5.4. Передача інформації

Задачею пристроїв передачі інформації є своєчасна і достовірна передача необхідного обсягу інформації від джерела до споживача. Роль джерела можуть виконувати автоматизовані датчики інформації, обчислювальні пристрої, які вирішують задачі управління, пристрої введення даних, люди. Споживачами інформації є виконавчі пристрої, ЕОМ, пристрої реєстрації, люди.

Особливістю пристроїв передачі даних, використовуваних при побудові систем управління, є підвищені вимоги до швидкості передачі, надійності та перешкодостійкості.

Передача інформації від джерела повідомлення здійснюється за каналом зв'язку, який являє собою сукупність технічних засобів, використовуваних для передачі повідомлення. Цими засобами є середовище й сукупність засобів, за допомогою яких передається інформація: передавач, лінія зв'язку й приймач (рис. 5.3). Сукупність зв'язку джерела й одержувача інформації, яка характеризується визначеними способами перетворення й відновлення повідомлення, називається системою зв'язку.

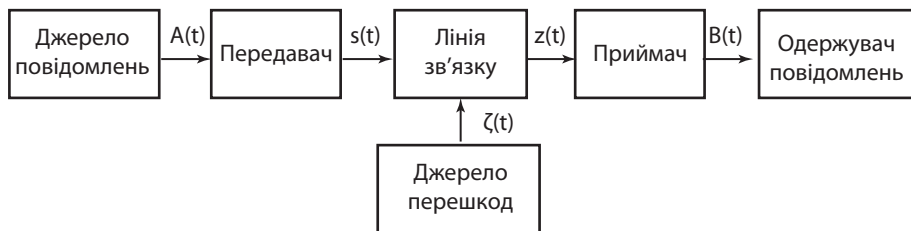


Рис. 5.3. Структурна схема одноканальної системи передачі інформації

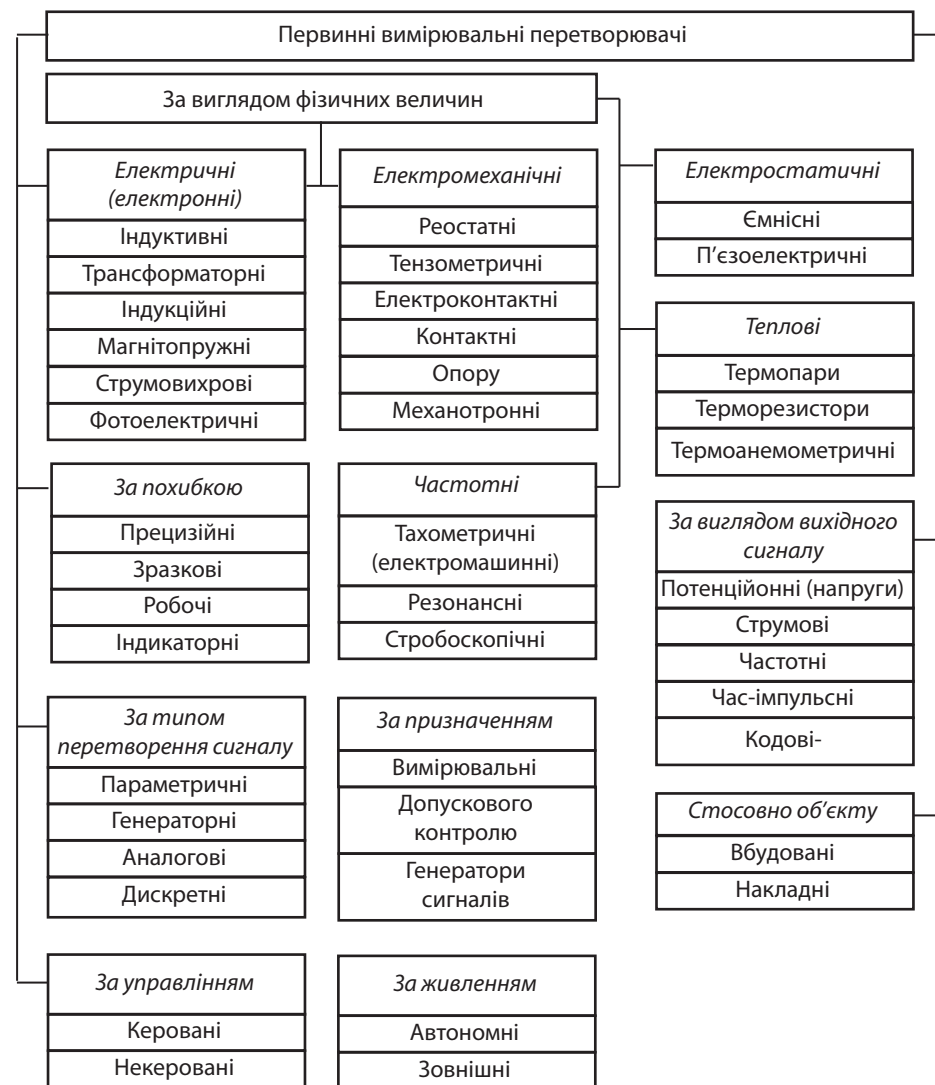


Рис. 18.2. Класифікація вимірювальних перетворювачів

- п'єзоелектричні, які використовують п'єзоелектричний ефект, що виникає в деяких кристалах (кварц, турмалін та ін.) залежно від значень і характеру прикладених до кристала пружнодеформуючих сил;
- індукційні (магнітоелектричні), які використовують явище електромагнітної індукції – наведення ЕРС в електричному контурі, у якому змінюється величина магнітного потоку;

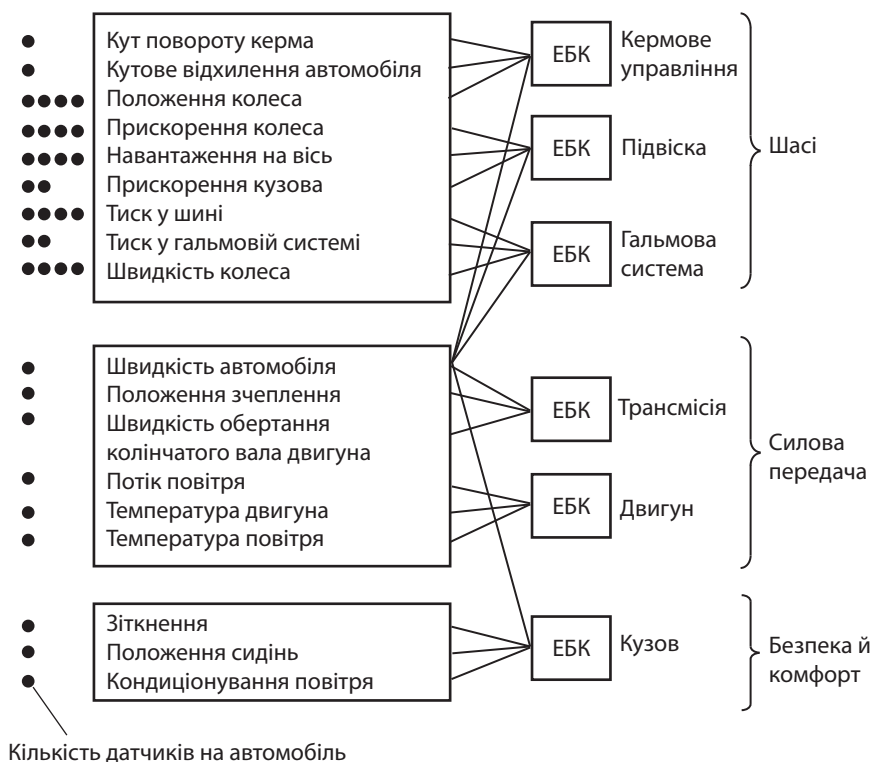


Рис. 18.1. Застосування датчиків в електронних системах управління

мають низку важливих переваг: швидкодію, можливість автоматизації процесів вимірювання, обробки, збереження на ЕОМ і у мікропроцесорних пристроях, оперативної перебудови структури інформаційних каналів. Класифікацію вимірювальних перетворювачів наведено на рис. 18.2 [40, 41].

За місцем, займаним в електричному ланцюзі, перетворювачі поділяються на первинні, проміжні і т. п. Конструктивно вони виконуються або окремими блоками, або складовою частиною засобів вимірювання.

Існує безліч типів і модифікацій перетворювачів, які відрізняються варіантами виконання схеми й конструкції. За типом перетворення сигналу перетворювачі з електричним вихідним сигналом можна поділити на дві великі категорії: генераторні, або активні, й параметричні, або пасивні (див. рис. 18.2) [40, 41].

У генераторних перетворювачах здійснюється перетворення вимірюваного параметра безпосередньо в електричний сигнал (тобто вони генерують електричну енергію). До таких перетворювачів належать:

До систем зв'язку пред'являється вимога високої швидкості передачі інформації, яка не може безмежно підвищуватися.

Максимально можлива швидкість передачі інформації каналом зв'язку при фіксованих обмеженнях називається пропускною здатністю каналу. Наприклад, пропускна здатність телевізійного каналу – 10^6 біт/с, телефонного – 10^3 – 10^4 біт/с, органів зору – 10^6 біт/с, органів слуху – 10^3 біт/с.

Для оптимального (найкращого) узгодження повідомлення з каналом зв'язку (його пропускною здатністю) застосовують кодування інформації. Кодування (код) – універсальний спосіб відображення інформації, що задається між елементами повідомлень і сигналами, за допомогою яких вони фіксуються.

У системах зв'язку передача інформації виконується за лініями зв'язку: повітряним (підвісним), кабельним, хвилепровідним, світлопровідним; радіолініями, радіорелейними лініями, супутниковими лініями. Для сучасних методів і засобів передачі інформації характерний перехід на все більш високі частоти (від сотень кГц до сотень тисяч мГц).

Найбільшу швидкість передачі інформації мають біологічні нейронні системи, які у мільйони разів швидші в порівнянні з електричними системами сучасних ЕОМ.

Первинним джерелом інформації про навколишній світ є експеримент як процес спостереження й виміру при заздалегідь визначених умовах. Процес експериментування складається з окремих дослідів. Дослід є актом однократного спостереження й виміру. Результат експерименту завжди випадковий, оскільки якщо він визначений, то проводити експеримент безглуздо. Результатом проведення серії дослідів, які складають експеримент, є деяка модель процесу чи явища, яка дозволяє формалізувати опис цього процесу чи явища та скласти прогноз їх поведінки при різних умовах.

Необхідність створення моделей у процесі наукового дослідження порозумівається тим, що об'єкт, як джерело інформації, невичерпний, але тільки невелика частина інформації про об'єкт відповідає потребам дослідника і визначається прийнятою в інформаційній системі мовою. Неважливо, наприклад, якого сорту чи кольору чорнило і папір, на якому знаходиться текст повідомлення, якщо нас цікавить зміст повідомлення. Розходження текстів у першу чергу визначається за розходженням написань, тобто станів об'єкта.

Під інформацією розуміють істотні й представницькі характеристики процесів і об'єктів, виділену сутність явищ матеріального світу. Поняття інформації припускає абстрагування від багатьох властивостей реальних

подій і об'єктів, причому межі абстрагування умовні і визначаються специфікою розв'язуваних задач.

Інформація нематеріальна, але вона виявляється у формі матеріальних носіїв – знаків і сигналів.

Знаки (символи) – реальні, помітні носії інформації, матеріальні об'єкти: букви, слова, цифри, предмети і т. п. Знаки частіше використовуються при збереженні інформації.

Символи – матеріальні носії інформації, як правило, динамічних (фізичних) процесів, які протікають у просторі і часі та характеризуються змінами фізичних величин будь-якої природи: звукових, механічних, оптичних, електричних, гідравлічних (напруга, тиск, яскравість) та ін. Один вид сигналів можна перетворити на інший (електричний на звуковий, оптичний на електричний та ін.). Будь-який сигнал характеризується тривалістю, шириною частотного спектра і динамічним діапазоном. Сигнали найчастіше використовуються при передачі інформації у просторі і часі.

Повідомлення будуються з послідовності (чи комбінації) знаків і сигналів. Повідомлення – це форма представлення інформації.

У матеріально-енергетичній формі інформація завжди виявляється у вигляді сигналів. Джерела й форми повідомлень і відповідні їм сигнали бувають дискретними й безперервними.

Дискретними називаються повідомлення, що складаються з окремих елементів (символів, букв, імпульсів), які приймають скінченну кількість різних значень. Прикладами дискретних повідомлень є команди в системах управління, вихідна інформація ЕОМ у вигляді кодових груп чи масивів чисел, телеграфні повідомлення. Такі повідомлення складаються зі скінченної кількості елементів, які надходять одне за одним у визначеній послідовності.

Безперервними називають безперервно мінливі величини – такі повідомлення, які можуть приймати в деяких межах будь-які значення і є безперервними функціями часу. Прикладами таких повідомлень є телефонні повідомлення, телеметрична інформація, функція розподілу яскравості в телевізійному зображенні.

У реальних умовах шляхом дискретизації (у часі) і квантування (за рівнем) можна безперервне повідомлення із заданою точністю замінити дискретним. На сучасному рівні розвитку кібернетики дискретна форма представлення інформації набула особливо важливого значення. На *рис. 5.4* представлено методологічну схему утворення безперервного й дискретного сигналів.

РОЗДІЛ IV ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ КІБЕРНЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУ

Глава 18. ПЕРВИННІ ЗАСОБИ ОДЕРЖАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

- 18.1. Призначення й класифікація вимірювальних перетворювачів.
- 18.2. Структурні схеми основних типів застосовуваних перетворювачів.
- 18.3. Функції перетворення.
- 18.4. Посилення, обробка й перетворення сигналів.

18.1. Призначення й класифікація вимірювальних перетворювачів

Первинні засоби вимірювання належать до вимірювально-інформаційних систем, використовуються для одержання інформації у кібернетичних системах управління технічним станом технічних систем і впливають на ефективність її роботи. Вони забезпечують абсолютні виміри того, чим треба керувати, або того, що варто вимірювати, будь це потік повітря у двигуні, температура або кількість палива в баці. Приблизну кількість датчиків на сучасному автомобілі наведено на *рис. 18.1*.

Залежно від енергетичного носія інформації вихідні сигнали перетворювачів можуть бути електричними, пневматичними, гідравлічними та ін. При прямому вимірюванні цих параметрів вихідними є механічні, теплові, оптичні, акустичні, а також хімічні, які відносяться до неелектричних величин. Засновані на прямому перетворенні вимірюваного параметра й переміщенні покажчика, вони створюють велику розмаїтість засобів контролю й діагностування, незручності при їх експлуатації й обслуговуванні (перевірка й ремонт), збільшують трудомісткість вимірювання й діагностування. Тому неелектричні фізичні величини перетворюють в електричні вихідні сигнали. Сьогодні датчики й перетворювачі – ніби «ахіллесова п'ята» у розвитку кібернетичних систем управління технічними системами.

У засобах технічного діагностування, передачі інформації й управління рухом та робочими процесами використовують перетворювачі з електричним вихідним сигналом, тому що електровимірювальні схеми цих засобів

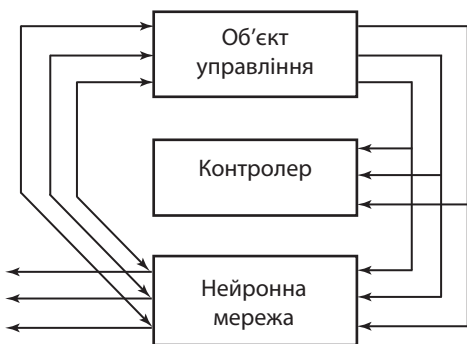


Рис. 17.7. Нейромережна система управління, заснована на «копіюванні» існуючого контролера

ролерів (інформацію про технічну базу нейрокомп'ютерних систем можна одержати, наприклад, Інтернетом: <http://www.ice.el.utwente.nl/Finished/Neuro/peterm.htm>) [35].

За даними американської фірми Business Communications Company річний світовий ринок нейромереж і нейрокомп'ютерів до початку 1993 р. оцінювався в 120 (hardware) і 50 млн доларів (software), а до 2000 р. ці обсяги стали відповідно дорівнювати 870 і 360 млн доларів, тобто зросли більш ніж у 7 разів. Спостерігається також деякий прогрес у російських вчених і фахівців в області нейроінформатики і, зокрема, із застосування штучних нейромереж і нейрокомп'ютерів для управління динамічними системами, в АСУТП, в області елементної бази нейрокомп'ютерів.

Контрольні питання і завдання

1. Наведіть приклади найпростіших структурних зв'язків у нейронних системах управління.
2. За рахунок чого в нейронних системах досягаються високі швидкості обробки, аналізу інформації й прийняття керуючих рішень?
3. Наведіть основні властивості нейромережних систем управління.
4. Наведіть приклади практичного застосування штучних нейронних мереж.

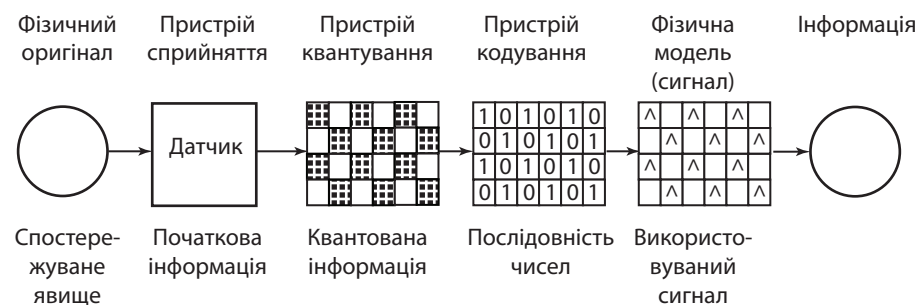


Рис. 5.4. Методологічна схема матеріалізації інформації

5.5. Модуляція переносників інформації

Передача повідомлень каналом зв'язку здійснюється за допомогою деяких фізичних процесів, які називаються переносниками. Як переносники звичайно використовуються гармонійні коливання чи імпульсні послідовності. Нанесення інформації на переносник здійснюється шляхом модуляції – зміни деяких його параметрів відповідно до переданого повідомлення. При даному виді переносника кількість можливих видів модуляції визначається кількістю його параметрів. Наприклад, якщо переносником обрано синусоїдальне височастотне коливання

$$f(t) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

то, впливаючи на його параметри – амплітуду, частоту й фазу – можна одержати відповідно амплітудну, фазову і частотну модуляції.

Зворотні операції з відновлення величин, що викликали зміну параметрів переносників при модуляції, називаються демодуляцією.

5.6. Пам'ять

Інформаційні ресурси – це сукупність знань і інформації про навколишній світ, накопичених і розміщених на будь-яких інформаційних носіях (документах, книгах, справах, базах даних та ін.), які може бути використано для реалізації яких-небудь цілей. Наявність інформаційних ресурсів у сучасному світі дозволяє домагатися набагато більших результатів у порівнянні з матеріальними, природними, енергетичними, трудовими, фінансовими й іншими ресурсами.

Для здійснення зв'язку між системами, розділеними в часі, у каналі зв'язку передбачають «резервуари» – «пам'ять», де може зберігатися інформація. Існування пам'яті в людини й тварин впливає зі спостережень.

Людина має здатність запам'ятовувати тривимірні образи, які змінюються в часі. Співвідношення між ємністю пам'яті й розмірами носія являє собою одну із загадок біологічної пам'яті.

Організація пам'яті у штучних системах є найважливішою задачею техніки зв'язку й управління.

У штучних запам'ятовуючих пристроях (ЗП), використовуваних у техніці управління, задачу запам'ятовування складних сигналів зводять до запам'ятовування більш простих, як правило, одномірних сигналів шляхом переходу від вихідних безперервних сигналів до їх дискретних відображень. Наприклад, передача рухомих зображень у телебаченні за допомогою одномірного радіосигналу заснована на скануванні й кадруванні зображень.

Запам'ятовування дискретних (двійкових) сигналів досягається шляхом дискретної зміни стану елементів ЗП – таких, як перфокарти чи стрічки, магнітні диски й барабани.

Таким чином, одержання, переробка, передача й використання інформації є, щонайменше, необхідними передумовами функціонування систем. У даний час широкого поширення набуло розуміння ролі інформації як організуючого початку будь-якої цілеспрямованої діяльності.

Контрольні питання і завдання

1. Які джерела інформації використовуються при виробленні керуючих впливів у технічних системах?
2. У яких одиницях прийнято вимірювати інформацію?
3. Що таке інформаційне забезпечення і яке його значення в системах управління?
4. Наведіть функціональні ознаки інформаційних систем.
5. Які існують пристрої відображення інформації?
6. Які існують методи й засоби передачі інформації?
7. Які носії інформації використовуються в каналах зв'язку?
8. Хто є споживачем інформації?
9. Наведіть приклади дискретних і безперервних форм повідомлення.
10. Які фізичні процеси використовуються для переносників інформації з каналів зв'язку?
11. Які носії застосовуються для нагромадження й використання інформації у задачах управління?

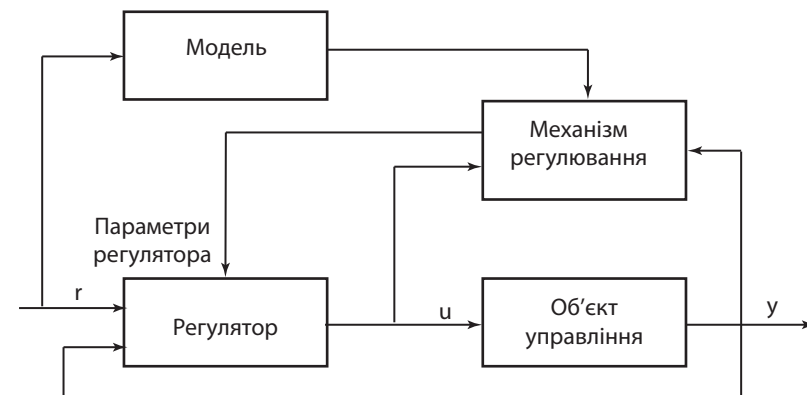


Рис. 17.6. Блок-схема адаптивного управління з еталонною моделлю

Системи управління, які так чи інакше використовують штучні нейронні мережі, є однією з можливих альтернатив класичним методам управління. Можливість використання нейронних мереж для розв'язання задач управління багато в чому ґрунтується на тому, що нейронна мережа, яка складається з двох шарів і має у схованому шарі довільно велику кількість вузлів, може апроксимувати будь-яку функцію дійсних чисел із заданим ступенем точності. Доказ цього положення, заснований на відомій теоремі Вейерштрасса, наведено в [39]. Таким чином, для розв'язання задач ідентифікації й управління може бути використано нейронні мережі навіть з одним схованим шаром.

Одним із перших використовуваних методів побудови нейромережних систем управління був метод, заснований на «копіюванні» існуючого контролера. Застосувавши цей метод у 1964 р., Удроу назвав його «методом побудови експертної системи за рахунок одержання знань від уже існуючого експерта». Архітектуру такої системи управління представлено на рис. 17.7 [34].

Реалізація нейромережних регуляторів або нейроконтролерів на основі багатошарових нейронних мереж, які навчаються, не викликає принципових труднощів. Існуючі мікропроцесорні засоби можуть цілком реалізувати функції нейроконтролерів при постановці на них відповідного програмного забезпечення. Однак більш перспективним слід вважати використання нейрочипів, архітектуру яких орієнтовано на виконання нейромережних операцій, замість стандартних мікропроцесорних конт-

Нейромережні системи управління відносяться до класу нелінійних динамічних систем. У складі таких систем штучна нейронна мережа може виконати різні функції: діагностику машин і технологічного устаткування, розпізнавання образів, оптимізацію, управління транспортними об'єктами, безпілотне управління літаками, технологічними і робочими процесами, прогнозування ситуацій.

Однією з класичних моделей систем управління є модель зі зворотним зв'язком з регульованими в реальному масштабі часу коефіцієнтами, наприклад самонастроювальний регулятор Астрома [38]. Коефіцієнти такого контролера регулюються в процесі кожного циклу управління відповідно до оцінки параметрів системи. Блок-схему управління зі зворотним зв'язком і регульованими в реальному масштабі часу коефіцієнтами наведено на *рис. 17.5* [31, 34].

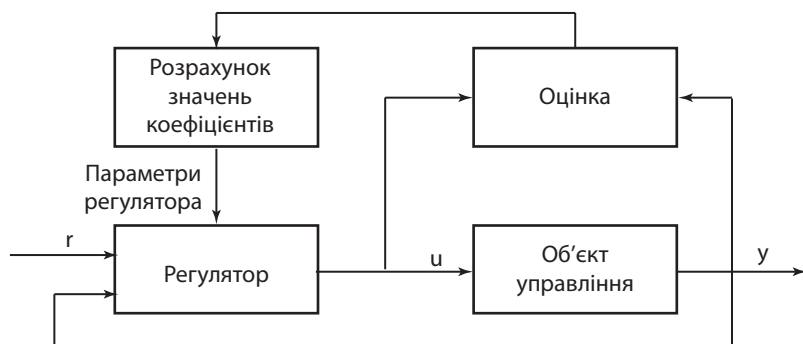


Рис. 17.5. Блок-схема управління зі зворотним зв'язком і регульованими коефіцієнтами:

r – число пар; *u* – вхід; *y* – вихід

Іншою добре відомою моделлю системи управління є модель Ляпунова. Системи адаптивного управління, які використовують цю еталонну модель, проектуються таким чином, щоб вихідний сигнал керованої моделі зрештою відповідав вихідному сигналу наперед визначеної моделі, яка має бажані характеристики. Така система має бути асимптотично стійкою, тобто керована система в підсумку відслідковує еталонну модель із нульовою помилкою. Більш того, перехідні процеси на етапі адаптивного або навчального управління мають гарантовані межі. Блок-схему адаптивного управління з еталонною моделлю представлено на *рис. 17.6* [34].

Глава 6. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

6.1. Задачі управління.

6.2. Замкнута система управління.

6.3. Розімкнута система управління.

6.4. Комбінована система управління.

6.5. Зміст задачі управління.

6.1. Задачі управління

У науці й практиці під управлінням розуміється сукупність обґрунтованих дій чи процесів, спрямованих на досягнення мети. Наприклад, водій керує автомобілем, автопілот – літаком. Скрізь є одна мета – доїхати до необхідного пункту, вести літак за заданим курсом.

Обґрунтувати керуючі дії – це, насамперед, обґрунтовано обрати найкраще рішення серед декількох можливих, що ведуть до досягнення мети. У загальному випадку це непросто, тому що часто заздалегідь невідомо, чи приведуть обрані дії чи програма дій до досягнення мети.

Будь-яка керуюча програма є «примус», сукупність «дисциплінуючих умов», обмеження «свободи» поведінки як у колективі людей, так і в технічно керованій системі. У технічних системах «дисципліна виконання» досягається матеріалізованою програмою, яка визначає поведінку системи. Наприклад, кулачковий (розподільний) вал в автомобільному двигуні «примушує» клапани у визначеному порядку відкриватися й закриватися. Балансировочний пристрій у годиннику «змушує» стрілки годин пересуватися зі строго визначеною швидкістю. Програма для ЕОМ жорстко визначає порядок обробки інформації.

До задач управління в автомобільному транспорті можна віднести оптимальне управління технічними показниками чи параметрами з визначення максимальної продуктивності автомобілів, мінімальної собівартості перевезення вантажів чи пасажирів, мінімальної витрати палива, максимального пробігу автомобіля до капітального ремонту, максимальної пропускної здатності дороги, мінімальний час доставки вантажу і т. д. При розгляді таких задач використовуються різні методи теорії оптимального управління: принципи максимуму, варіаційне числення з урахуванням обмежень на

керуючі впливи, динамічне програмування та ін. Цим питанням присвячено роботу [1].

До важливих задач управління належать: управління різними регуляторами, рухом інформації за каналами зв'язку «вхід-вихід» складних технічних систем; зміна – рух (поводження) системи з часом під впливом зовнішнього середовища і робочих процесів, тобто динамічних властивостей системи.

Управління рухом складає особливий напрямок в автоматизації робочих процесів і роботі механізмів у технічних системах. Будь-яка керована система, звичайно, складається з декількох керованих об'єктів (див. рис. 4.4). Для управління сучасні транспортні машини представляють раціональне сполучення механічних і гідропневмосистем з електронікою, різноманітних електронних систем. Їх системи управління можна розділити на замкнуті, розімкнуті й комбіновані [5].

6.2. Замкнута система управління

Система автоматичного управління будь-яким технічним об'єктом реалізує аналогічний ланцюг причинно-наслідкових і інформаційних зв'язків. На рис. 6.1 зображено схему подібної системи, яка складається з функціональних елементів (ланок) і з'єднює їх канали передачі сигналів інформації й управління [5].

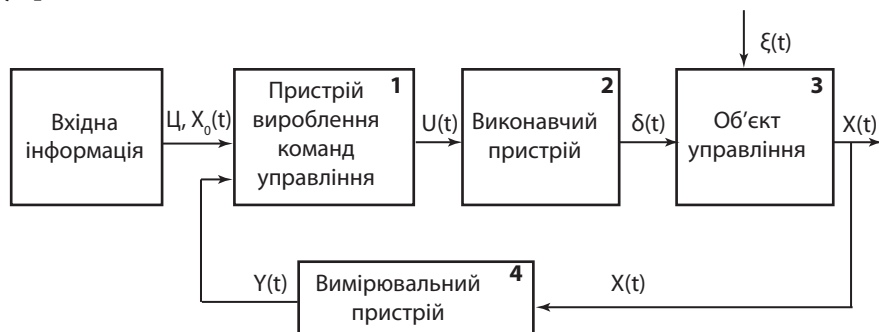


Рис. 6.1. Блок-схема САУ зі зворотним зв'язком

Як видно з наведеної схеми, інформація про параметри стану об'єкта управління виходить за допомогою вимірювального пристрою (аналог органів почуттів) і використовується потім у пристрої вироблення команд управління («мозок» системи управління). Далі команди управління впливають на виконавчий пристрій («м'язи»), що у свою чергу пускає в хід органи управління («кінцівки») об'єкта управління. На даній схемі через $X(t)$

й алгоритму настроювання. Було запропоновано методи синтезу нейромережних систем управління складними технічними системами, зокрема для розв'язання задач синтезу нейромережних автопілотів і систем управління кутівим рухом ракети.

Головною проблемою як алгоритмічного, так і структурного синтезу нейромережних систем управління є обґрунтований вибір змістовної інформації, необхідної для навчання багатошарових нейронних мереж з метою формування ними оптимального закону управління та встановлення умов існування розв'язки задачі управління для класу нелінійних об'єктів і необхідних цілей управління [35]. Алгоритмічний синтез містить у собі розв'язку задачі вибору алгоритму навчання нейромережі в реальному часі й аналіз умов досяжності цілей управління з їх допомогою, що важливо з практичної точки зору.

17.4. Практичне застосування

Актуальність досліджень штучних нейронних мереж підтверджується різноманіттям їх можливого застосування. Теорія нейронних мереж є алгоритмічним базисом розвитку сучасної інформатики і нейрокомп'ютерних технологій, створенням і використанням інтелектуальних систем.

Нейрокомп'ютер – це обчислювальна система з архітектурою апаратного й програмного забезпечення адекватною алгоритму, який підлягає виконанню, представлених у нейромережному логічному базисі. Системи, створені на стандартній мікропроцесорній елементарній базі, можуть бути ефективними програмними емуляторами нейромережних алгоритмів. Однак програмна емуляція нейромережних алгоритмів на обчислювальних засобах, які реалізуються на елементній базі, що не має відношення до нейромережного логічного базису, швидше за все є тимчасовим явищем. Для апаратної реалізації таких алгоритмів ефективно створювати архітектури, які виконують операції у нейромережному базисі – на основі логічної мережі нейронів при повній відмові від булевих елементів типу І, АБО, НЕ.

Існує велика кількість нейрокомп'ютерів – від спеціалізованих інтегральних схем, у які вводиться заздалегідь визначена структура нейронної мережі, до універсальних програмувальних співпроцесорів до обчислювальних машин, на яких можна реалізувати модель будь-якої нейронної мережі. Існує також ціла низка проміжних типів нейрокомп'ютерів із тим або іншим ступенем спеціалізації. Особливістю нейрокомп'ютерів є можливість сформулювати стандартний спосіб розв'язання багатьох нестандартних задач.

2. Нейронні мережі знаходять застосування як ідентифікатори для оцінювання вектора стану нелінійних систем і як розширені фільтри Калмана.

3. Нейронні мережі застосовуються також як оптимізатори для настроювання параметрів регуляторів із типовими законами регулювання і для настроювання параметрів алгоритмів адаптації, реалізованих на основі відомих методів теорії адаптивних систем.

Для позначення класу нелінійних систем із такого роду застосуванням штучних нейромереж використовується термін «нейромережні системи управління».

Основними трьома типами штучних нейромереж для виконання перерахованих функцій є [35]:

- багат шарові нейронні мережі прямого поширення, які навчаються, – багат шарові перцептони;
- рекурентні мережі Хопфилда передачі сигналів за каналами зворотного зв'язку як асоціативна пам'ять для розв'язання комбінаційних задач оптимізації;
- мережі карт Кохонена, які самоорганізуються.

Найбільше поширення для цілей управління з ряду причин знайшли багат шарові нелінійні нейронні мережі, менше – мережі Хопфилда і ще менше – мережі Кохонена; зокрема, «карта, яка самоорганізується» створює перший шар застосовуваних у системах управління мереж із «радіальними базисними функціями» активації (RBF-мережі від англ. *Radial Basis Function*) [30, 35]. Далі переважно розглядається застосування багат шарових мереж прямого поширення, які навчаються.

Перцептивне розпізнавання – це такі абстрактні образи і категорії як думка, дані опитування, а також образи, які виникають у результаті спостережень, оцінок і вимірів, класифікації ознак.

Самоорганізація – зменшення (згладжування) кількості існуючих перемінних, неоднорідностей і різких перепадів, які спонтанно відбуваються в якому-небудь процесі, що приводить до можливості одержати більш простий профіль. Його «простота» виражається в тому, що він досить точно задається, наприклад, зовсім невеликою кількістю коефіцієнтів a_k Фур'є. Задачу самоорганізації управління може бути поставлено на основі аналізу кооперативних властивостей популяції регуляторів, які, у свою чергу, можуть виступати елементами керуючої мережі з динамічними процесорними елементами. Ще в 1992 р. було розроблено процедуру синтезу системи управління нелінійними об'єктами з застосуванням RBF-мережі і досить докладно розглянуто питання синтезу її архітектури

позначено параметри стану об'єкта управління в його фазовому просторі, $Y(t)$ – результати вимірів параметрів стану, $U(t)$ – команди управління, $\delta(t)$ – переміщення органів управління, що приводить до зміни силового чи іншого керуючого впливу на об'єкт управління, $\xi(t)$ – впливи на об'єкт управління з боку зовнішнього середовища, які мають характер випадкових збуджень.

Відповідно до загальноприйнятої термінології ланки 1, 2 і 4 утворюють керуючий об'єкт (називаний у теорії автоматичного регулювання регулятором), а сукупність керуючого об'єкта й об'єкта управління складає систему автоматичного управління (САУ) чи, для стислості, систему управління. Об'єкт управління відіграє роль однієї з її ланок. Під вхідною інформацією розуміються дані, необхідні для забезпечення цілеспрямованого функціонування системи управління в конкретних умовах її використання. Ці дані можуть включати інформацію про ціль управління (параметри C), дані про початковий стан об'єкта управління (параметри X_0), дані, які задають режим роботи пристрою вироблення команд управління (у тому числі й алгоритми управління), а також іншу необхідну інформацію.

Характерною рисою системи управління, схему якої приведено на рис. 6.1, є наявність у ній замкнутого контуру проходження сигналів, що з'єднує ланки 1, 2, 3 і 4. Така система управління називається замкнутою, чи системою зі зворотним зв'язком. Зворотний зв'язок реалізується тут через вимірювальний пристрій і слугує для передачі інформації з виходу системи управління на її вхід, дозволяючи здійснювати вироблення команд управління з урахуванням реального стану об'єкта управління, який формується при спільному впливі керуючих і збуджуючих впливів. Такий зворотний зв'язок називається головним. Поряд із цим може використовуватися так званий місцевий зворотний зв'язок, яким охоплюються окремі ланки САУ чи сукупність ланок.

Системи автоматичного управління зі зворотним зв'язком одержали переважний розвиток і застосування в тих областях техніки, де наявні задачі управління складними динамічними об'єктами, які функціонують в умовах значних збуджуючих впливів. Такими об'єктами, у першу чергу, є автомобільний транспорт, літальні апарати, морські судна й інші рухомі об'єкти. Поряд із цим у величезній більшості відносно простих САУ використання зворотних зв'язків є необхідною умовою забезпечення необхідної якості функціонування систем управління за такими показниками, як точність, запаси стійкості, тривалість перехідних процесів, величина перерегулювання та ін.

Приклад системи управління складом пальної суміші зі зворотним зв'язком представлено на *рис. 6.2*. Для досягнення оптимального співвідношення повітря–паливо найближче до стехнометричного необхідне точне регулювання співвідношення між масами речовин, які вступають у хімічну реакцію. З цією метою за допомогою датчика, встановленого у випускній системі (лямбда-зонд), вимірюється концентрація кисню у відпрацьованих газах (надлишок повітря). Таким чином організується зворотний зв'язок у системі автоматичної стабілізації стехнометричного складу пальної суміші.

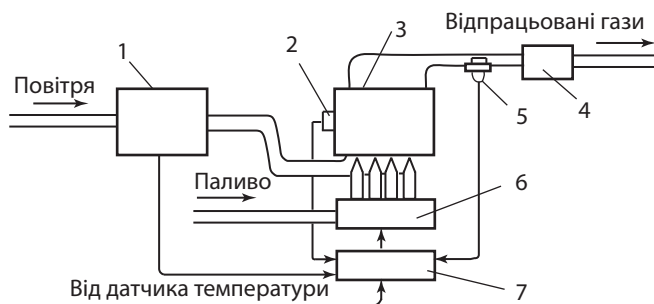


Рис. 6.2. Система управління складом пальної суміші зі зворотним зв'язком:

1 – датчик витрати повітря; 2 – датчик частоти обертання колінчатого вала; 3 – двигун; 4 – трикомпонентний нейтралізатор; 5 – датчик кисню; 6 – форсунки; 7 – ЕБУ

6.3. Розімкнута система управління

Якщо в системі управління замкнутий контур проходження сигналів відсутній, то така система називається розімкнутою, чи системою без зворотного зв'язку. Розімкнуті системи автоматичного управління знайшли застосування насамперед у тих областях техніки, де за умовами функціонування об'єкта управління впливом зовнішніх впливів (збуджень) можна знехтувати. Прикладами таких систем є: класичне авторегулювання, при якому підтримується постійне значення якого-небудь параметра, наприклад, температури повітря в салоні автомобіля; верстати з програмним управлінням в обробній промисловості; автоматичні роботи-маніпулятори, застосовувані на автоскладальних заводах, і інші подібні системи. Управління в них здійснюється відповідно до заданої програми і не коректується в процесі роботи системи управління в залежності від одержуваного результату. Такі САУ одержали назву розімкнутих систем програмного управління.

до так званих «інтелектуальних» систем, тобто до систем, за визначенням, із неповною інформацією, зі складною або немодульованою динамікою і неконтрольованими вимірюваннями власних властивостей об'єкта.

У нейромережних системах управління нейронною мережею виконуються:

1. Функції адаптивного регулятора нелінійного багатозв'язного об'єкта. Тут можливі два варіанти функціонування нейромережі: 1) нейромережа навчається й одночасно формує керуючий вплив на вході виконавчого пристрою – системи управління. Ціль навчання мережі й ціль управління об'єктом збігаються, що віддзеркалюється в задаванні спільної цільової функції системи; 2) мережа навчається в реальному часі, у темпі протікання процесів у системі (режим on-line). У другому варіанті робота мережі складається з двох етапів:

- попередній етап навчання мережі заданій оптимальній функції управління. Під навчанням штучної нейронної мережі розуміється процес настроювання вагових коефіцієнтів w_{ij} її базових процесорних елементів, результатом чого є виконання мережею конкретних задач – розпізнавання, оптимізації, управління;
- етап відтворення апроксимації цієї функції у режимі управління об'єктом за тих самих умов або близьких до них. Цільові функціонали навчання мережі й управління об'єктом можуть відрізнятися один від одного.

Такий варіант застосування нейронної мережі для управління – так зване супервізорне управління – дотепер знайшов переважне поширення, хоча процес синтезу нейромережного контролера й настроювання його параметрів у цьому випадку протікає не в реальному часі (режим off-line).

Вибір конкретного підходу до навчання мережі (on-line або off-line) залежить від специфіки задачі і, більш того, формулює конкретний вигляд алгоритму навчання мережі (безпошукові/пошукові схеми, глобальна/локальна оптимізація і т. д.). Так, наприклад, у галузях промисловості, де накопичено величезні масиви даних з поводження досліджуваного технічного об'єкта (наприклад, в автомобільній промисловості при проектуванні системи управління новим типом двигуна [35]), більш розумним уявляється використання off-line техніки навчання із застосуванням генетичних алгоритмів, алгоритмів з елементами випадкового пошуку або «статистичного» навчання [34, 35]. З іншого боку, для об'єктів, технічні характеристики яких змінюються у процесі експлуатації, найкращим для настроювання мережі стає застосування on-line алгоритмів.

З найзагальнішої точки зору обидва напрямки являють собою розв'язання проблеми ефективного паралелізму [35], відповідно до якої «для різних класів задач будуються максимально паралельні алгоритми розв'язання, які використовують яку-небудь абстрактну архітектуру (парадигму) «дрібнозернистого паралелізму», а для конкретних паралельних комп'ютерів створюються засоби реалізації паралельних процесів заданої ...архітектури». Така архітектура в нейроінформатиці представляється конкретним типом нейромережі, а її «дрібнозерниста» структура утворена базовими процесорними елементами – штучними нейронами.

У контексті цих двох напрямків у посібнику розглянуто задачу – управління нелінійними об'єктами, описуваними класом нелінійних диференціальних або різницевих рівнянь, а функції «універсальної дрібнозернистої паралельної архітектури» виконують багатoshарові нейронні мережі або багатoshарові перцептрони, побудовані на однотипних базових процесорних елементах або штучних нейронах.

Перцептивне розпізнавання – розпізнавання таких, абстрактних образів і категорій, як думка, дані опитування, а також образи, які виникають у результаті спостережень, оцінок і вимірів, класифікації ознак.

Загальне представлення про інші напрямки нейроінформатики дає діаграма (рис. 17.4) [35]. У силу своєї структури й алгоритмів навчання багатoshарові мережі дозволяють розв'язувати такі нелінійні задачі теорії управління, які традиційними аналітичними методами не завжди можна вирішити в повному обсязі. Можливість формувати керуючі впливи будь-якої форми робить штучні нейромережі засобом, адекватним рівню складності нелінійної задачі. Тому нейромережні системи управління відносять

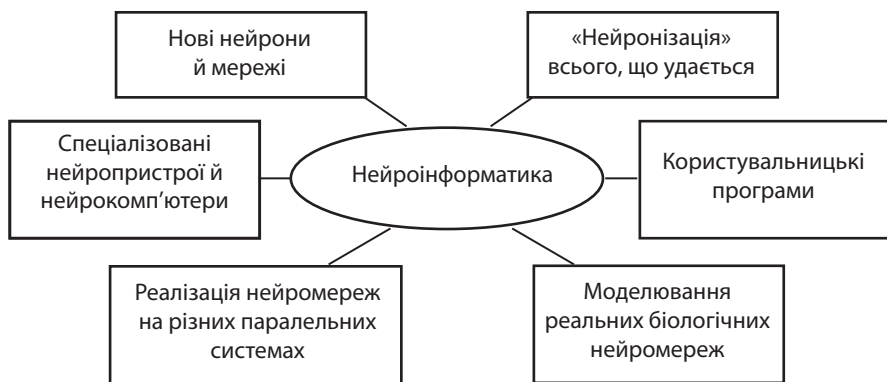


Рис. 17.4. Основні напрямки досліджень у нейроінформатиці

6.4. Комбінована система управління

Більш складним варіантом розімкнутих САУ є такі, де є можливість виміру збуджень, що впливають на об'єкт управління, з наступним обліком цієї інформації при здійсненні команд управління (рис. 6.3).

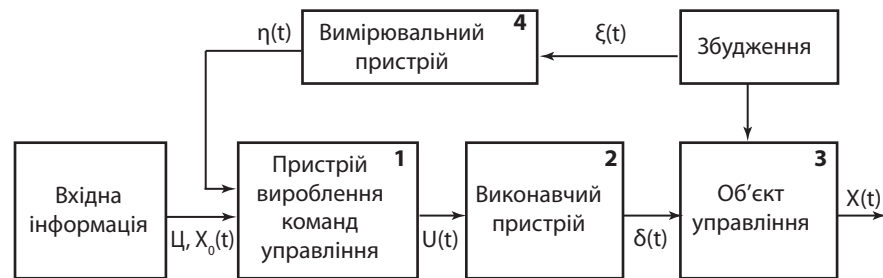


Рис. 6.3. Блок-схема САУ з контуром компенсації

Відповідна корекція команд управління за інформацією про величину діючих збуджень забезпечує компенсацію збуджень. З цієї причини такі системи одержали назву *систем компенсації*. Незважаючи на наявність вимірювального пристрою, замкнутий контур проходження сигналів у системах компенсації відсутній, тобто це є системи без зворотного зв'язку. У чистому вигляді системи компенсації використовуються нечасто, що пов'язане, головним чином, з труднощами прямого виміру діючих на об'єкт збуджень. Тому найбільш розповсюдженими є комбіновані замкнуті системи управління, де поряд з основним замкнутим контуром управління є розімкнутий контур компенсації одного чи декількох збуджуючих впливів.

Аналіз накопиченого до цього часу досвіду створення різноманітних систем управління дозволяє стверджувати, що ідея зворотного зв'язку відіграє фундаментальну роль у теорії й практиці управління. Тим самим принцип зворотного зв'язку варто розглядати як основну концепцію побудови й функціонування керованих систем як у техніці, так і живій природі. Відповідно до цієї концепції керуючі впливи на об'єкт управління виробляються з урахуванням його стану, зумовленого спільним збуджуючим впливом, і передують керуючим впливам. Коротко суть принципу зворотного зв'язку може бути, згідно з Р. Беллманом, сформульовано в такий спосіб: управління є функція стану. Характеризуючи значення принципу зворотного зв'язку для теорії й практики управління, Р. Калман називає його «великим відкриттям, яке склало основу всієї автоматики» [5].

Як видно зі змісту принципу зворотного зв'язку, його практична реалізація передбачає використання інформації про стан об'єкта управління,

яку може бути отримано шляхом спостережень і вимірів. У системах управління рухомими об'єктами для одержання такої інформації слугують бортові, наземні чи комбіновані навігаційно-вимірювальні системи. Рівень досконалості відповідної вимірювальної системи, обсяг і якість одержуваної вимірювальної інформації – найважливіші фактори, що визначають якість функціонування систем управління зі зворотним зв'язком.

6.5. Зміст задачі управління

Властивість керованості характеризує здатність об'єкта управління змінювати свій стан у тих чи інших межах під дією управління. У реальних об'єктів межі можливої зміни стану за допомогою припустимих управлінь завжди обмежені, ось чому задачі управління можуть ставитися й зважуватися тільки з урахуванням цих обмежень. Тому дослідження управління полягає у встановленні можливих меж зміни стану об'єктів управління. У рамках цього дослідження виділяють дві основні задачі: аналіз структурної керованості об'єкта управління та побудова областей управління й досяжності.

Задача аналізу структурної керованості розглядається при відсутності обмежень на параметри управління й інтервал часу процесу управління. Вона полягає у з'ясуванні того, чи існує у фазовому просторі системи некеровані й недосяжні стани системи. Представимо модель об'єкта управління у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь із перемінними коефіцієнтами, що у матричних позначеннях має такий стандартний вигляд [5]:

$$\dot{x} = A(t)x + B(t)u; \quad x \in R^n; \quad u \in R^m, \quad (6.1)$$

де x – n -вимірний вектор-стовпець параметрів стану об'єкта управління; u – m -вимірний вектор-стовпець параметрів управління; R^n і R^m – фазовий простір і простір управління динамічної системи (6.1); $A(t)$ і $B(t)$ – матриці відповідно розмірів $n \times n$ і $m \times n$.

Властивість структурної керованості полягає у принциповій можливості незалежного впливу керуючих впливів на всі параметри стану об'єкта управління і визначається структурою його математичної моделі. Задача аналізу структурної керованості зважується за допомогою відомих критеріїв Калмана для класу лінійних систем і їх узагальнень на нелінійні системи. На цьому етапі дослідження обмеження на управління не враховуються. Після встановлення структурної керованості аналізованого об'єкта (повної чи неповної) переходять до побудови областей керованості й досяжності з урахуванням обмежень на управління.

з цієї позиції розглядаються архітектура й алгоритми навчання (настроювання) багатосарових нейромереж.

Наведені основні властивості нейромереж (універсальні апроксимаційні властивості, адаптивність, паралелізм обробки багатомірної інформації, пам'ять після навчання) відіграють ключову роль у розв'язанні задач управління. Звідси виникає необхідність розглянути поводження настроюваної багатосарової нейронної мережі із застосуванням математичного апарата, використаного в теорії автоматичного управління. Це, у свою чергу, приводить до доцільності введення еквівалентного опису процесів у нейромережах, які навчаються, у вигляді векторних нелінійних диференціальних рівнянь і відповідних структурних схем. Функціонування нейромереж у замкнутих динамічних системах управління вимагає навчання нейромережі в реальному, поточному часі. Звідси випливає необхідність введення динамічних алгоритмів настроювання й дослідження умов сталості процесів у багатосарових нейронних мережах.

Базовими поняттями теорії штучних нейронних мереж є: «штучний нейрон», або «базовий процесорний елемент»; одно- і багатосарові штучні мережі; мережі прямої дії й мережі з петлями зворотних зв'язків. Мережу цілком визначено, якщо задано її архітектуру, тобто спосіб з'єднання базових елементів, і прийнято алгоритм її навчання відповідно до методу навчання. Апроксимуючі властивості багатосарових мереж, здатність запам'ятовувати результати навчання відіграють вирішальну роль при використанні їх для управління об'єктами.

Для більш детального вивчення теорії нейронних мереж і застосування нейроінформаційних технологій автори рекомендують ознайомитися з літературою [33 – 37].

17.3. Область функцій, виконуваних нейронною мережею

Застосування штучних нейронних мереж для цілей управління є однією з численних областей відносно нового розділу сучасної науки – нейроінформатики, вмістом якої слугує розробка й дослідження методів розв'язання задач за допомогою штучних нейронних мереж, побудованих на стандартних штучних нейронах. Основними теоретичними положеннями нейроінформатики є:

- 1) моделювання функцій мозку й дослідження механізмів мислення, пам'яті;
- 2) розв'язання проблеми ефективних обчислень, прийняття рішень у широкому сенсі цього слова, підпорядкованих конкретній меті і заснованих на конкретній моделі функцій мозку.

Це, *по-перше*, те, що універсальні апроксимаційні властивості багат шарових мереж відіграють ключову роль у формуванні нелінійних алгоритмів управління. На основі узагальненої апроксимаційної теореми Стоуна-Вейерштрасса [31] зроблено висновок про те, що за допомогою нелінійних нейронних мереж можна як завгодно точно рівномірно наблизити будь-яку безперервну функцію багатьох перемінних на будь-якій замкнутій обмеженій множині [30 – 32]. Висновок цей став теоретичним обґрунтуванням можливого застосування багат шарових нейромереж для формування оптимальних керуючих функцій у динамічних системах. У силу своєї структури й алгоритмів навчання багат шарові мережі дозволяють розв'язувати такі нелінійні задачі теорії управління, які традиційними аналітичними методами не завжди можна вирішити в повному обсязі. Можливість формувати керуючі впливи практично будь-якої форми робить штучні нейронні мережі засобом, адекватним рівню складності нелінійної задачі. Тому нейромережні системи управління відносять до так званих «інтелектуальних» систем, тобто, за визначенням, до систем з неповною інформацією, зі складною чи немодельованою динамікою і неконтрольованою зміною власних властивостей [35].

По-друге, адаптивність нейромережних структур унаслідок їх навчання у процесі функціонування. Ця властивість, у принципі, дозволяє коректувати в реальному часі функцію управління при неконтрольованих змінах динамічних і статичних характеристик об'єкта, використовуючи для цього поточну вимірювальну інформацію в системі.

По-третьє, здатність нейромереж до паралельної обробки сигналів, що робить закономірним їх застосування для управління багатомірними (або багатоканальними) об'єктами. Багат шарові нейронні мережі являють собою однорідне обчислювальне середовище. За термінологією нейроінформатики це – універсальні рівнобіжні обчислювальні структури, призначені для розв'язання найрізноманітніших класів задач.

Багат шарові нейронні мережі, що навчаються, або багат шарові перцептрони розглядаються як універсальні статистичні моделі функціонування мозку, як однорідні динамічні нелінійні перетворювачі багатомірної інформації з топологією спрямованих графів. У цьому змісті багат шарові нейромережі можуть сприйматися із погляду виконуваних функцій, як складні динамічні нелінійні пристрої у складі автоматичних систем управління. За своїм походженням й принципом перетворення вхідної інформації такі мережі, насамперед, може бути застосовано для формування нелінійних законів управління нелійними динамічними об'єктами. Саме

Контрольні питання і завдання

1. Які задачі управління в автомобільному транспорті вимагають оптимального управління технічними параметрами й показниками?
2. Наведіть приклади замкнутих систем.
3. Які характеристики замкнутих систем управління відмінні від інших систем управління?
4. Наведіть приклади розімкнутих систем управління. Яка характерна відмінність розімкнутих систем управління від систем зі зворотним зв'язком?
5. Охарактеризуйте комбіновану систему управління. Чи має вона замкнутий контур проходження сигналів і коли ця система використовується?

Глава 7. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕОРІЯ ЕНТРОПІЇ ПЕРЕДАЧІ ПОВІДОМЛЕНЬ І ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРІВ

7.1. Ентропія інформації.

7.2. Ентропія результатів діагностичних вимірів.

7.1. Ентропія інформації

Ентропія дає об'єктивну характеристику інформативних процесів у на-уці й техніці незалежно від змісту досліду, це є міра відсутності інформації про дійсний стан системи. Нагромадження інформації про зміст системи зменшує її ентропію.

Коли оцінюються статистичні властивості повідомлення, основним поняттям є ентропія. Ентропія – це міра хаотичності, невизначеності, випадковості повідомлення. Наприклад, якщо кинути несиметричну гральну кісточку, то результат передбачуваний. Швидше за все, випаде деяке одне число. При цьому ентропія мала. Якщо ж гральна кісточка симетрична, тобто ймовірність випадання всіх чисел від 1 до 6 однакова, то невизначеність результату максимально можлива. Це відповідає максимальній ентропії. Поняття «ентропія» прийшло з термодинаміки. Загальновідомий другий закон термодинаміки: в окремій системі ентропія не може зменшуватися з часом, а порядок руйнується. Наприклад, перемішування кісточок у лототроні приводить до їх рівномірного розміщення й порушення початкової упорядкованості. Аналогічно тепловий рух молекул приводить до їх випадкового переміщення, у результаті температура вирівнюється. Вихідна різниця тіл між гарячими й холодними вирівнюється. Зворотний процес, тобто прихід тепла від холодних тіл до гарячого, статистично неможливий. Тому ми не можемо використовувати великі запаси теплової енергії у навколишньому середовищі, рівномірно нагрітому до 273 градусів Кельвіна [10].

Якщо повідомлення складається з m рівноймовірних символів визначеного алфавіту, що з'являються незалежно один від одного, то ентропія досягає максимально можливого значення $\log_2 m$ (біт/символ). Якщо ж різні символи мають різну ймовірність появи p_1, p_2, \dots, p_m , ентропія буде меншою.

мереж прямого поширення мережі другого класу (рекурентні) є динамічними, тому що через зворотні зв'язки стан мережі в кожний момент часу залежить від попереднього стану. Наведемо найбільш повну класифікацію штучних нейронних мереж (рис. 17.3) за публікацією [21]. У ній зазначено також області їх застосування. Задачі, для розв'язання яких використовуються ШНС, можна розподілити на чотири категорії [35]:

A – розпізнавання й класифікація (кластерний аналіз; наприклад, розпізнавання символічної інформації й мови, класифікація електрокардіограм, кліток крові й інших видів інформації; у кластерному аналізі здійснюється процедурою групування значень вимірювальних даних і об'єднання груп даних із сильно схожими внутрішніми властивостями в підкласи – кластери);

B – обробка зображень: текстових, відео-, аерофотознімання;

C – системи ідентифікації й керування;

D – обробка сигналів, зокрема апроксимація функцій у задачах моделювання.

17.2. Властивості нейромережних систем

Багатошарова нейронна мережа може виконувати функцію оптимізації настроювання параметрів нелінійних технічних систем зі складною динамікою і промисловими регуляторами. Нелінійні об'єкти зі складною динамікою характеризуються [35]:

- багатовимірністю і багатозв'язністю об'єктів і систем;
- нелінійністю, нестационарністю й апіорною невизначеністю динаміки об'єкта управління (існування так званої «немоделюємої динаміки»);
- збуджуване середовище функціонування, системи управління.

Застосування нейромережної технології управління дозволяє значною мірою зняти математичні проблеми аналітичного синтезу й аналізу властивостей проектованої системи. Це пояснюється тим, що властивості, які досягаються, і якість процесів управління в нейромережних системах у більшому ступені залежать від фундаментальних властивостей багатошарових нелінійних нейромереж, а не від аналітично розрахованих оптимальних законів, звичайно реалізованих у вигляді комп'ютерної програми. Настроювані багатошарові нейромережі мають низку переваг, які виправдують їх застосування в задачах управління нелійними динамічними об'єктами. Перелічимо найбільш істотні з них.

у структурі і 2) рекурентні – зі зворотними зв'язками. У першому класі мереж найбільш відомими й використовуваними є багатощарові нейронні мережі (багатощарові перцептрони за Ф. Розенблаттом), де штучні нейрони розташовані шарами. Вибір структури нейронної мережі здійснюється відповідно до особливостей і складностей задачі (рис. 17.3).

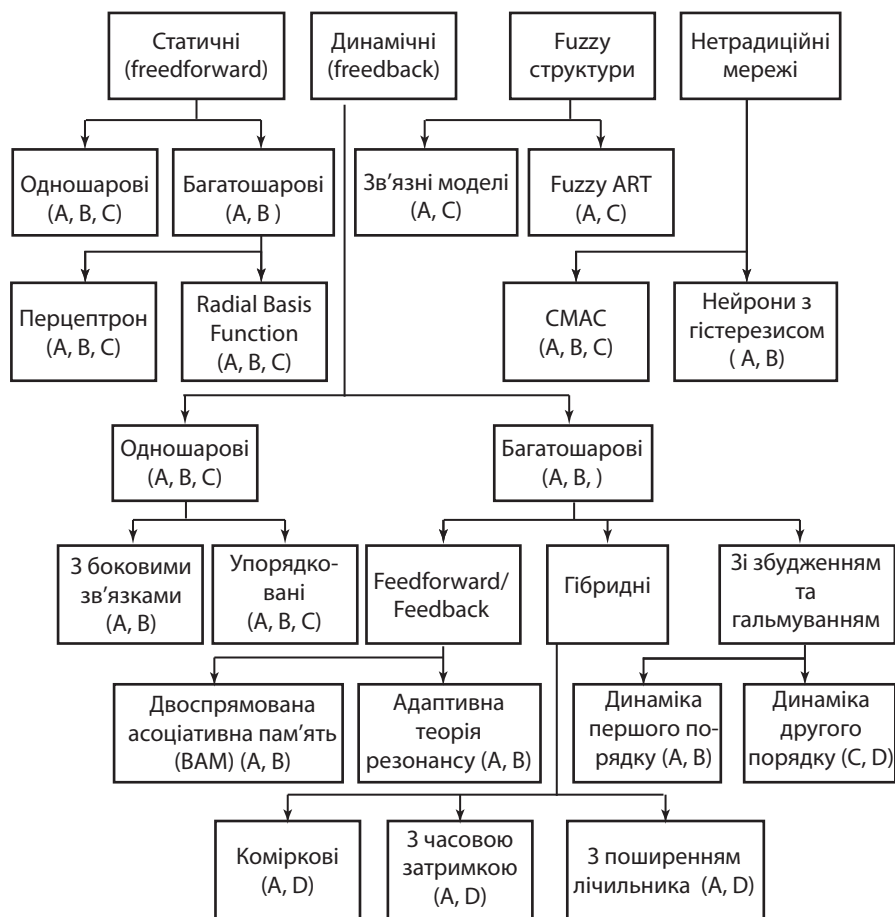


Рис. 17.3. Класифікація штучних нейронних мереж

Зв'язок між шарами – односпрямований й у загальному випадку вихід кожного нейрона зв'язаний з усіма входами нейронів наступного шару. Такі мережі є статичними, тому що не мають у своїй структурі ні зворотних зв'язків, ні динамічних елементів, а вихід залежить від заданої множини на вході і не залежить від попередніх станів мережі. На відміну від статичних

Як міру невизначеності джерела повідомлень, що здійснює вибір із n станів, кожен з яких реалізується з імовірністю p_i ($i = 1, 2, 3, \dots, m$), використовується функція

$$E = - \sum_{i=1}^m p_i \log p_i, \tag{7.1}$$

яка називається ентропією джерела.

У формулі (7.1): m – число ймовірних станів системи; p_i – імовірність того, що система прийме i -тий технічний стан. Під символом \log розуміють двійковий логарифм. Знак «мінус» в останній формулі поставлено для того, щоб ентропія була додатною (логарифм імовірності, менший за одиницю, має знак мінус).

Якщо підрахувати значення функції E_0 до приходу повідомлення й значення цієї ж функції E_1 після одержання повідомлення, то різниця цих величин $E_0 - E_1$ буде чисельно дорівнювати кількості інформації, що міститься в повідомленні.

При заданій кількості символів коду (станів джерела інформації) ентропія на символ буде найбільшою у випадку рівності ймовірностей усіх символів. Якщо ж імовірність появи різних символів різна, то ентропія на символ буде менша за максимальну. Економічність коду H в конкретному випадку його застосування для передачі якого-небудь повідомлення оцінюється співвідношенням:

$$H = \frac{H_{\text{середн}}}{H_{\text{макс. середн}}}. \tag{7.2}$$

Для оптимального, тобто найбільш економічного, коду $H = 1$, надлишковий код – $I = 1 - H$.

Ця величина слугує мірою того, яка частина символів у повідомленні є зайвою, тобто не несе інформації. Для оптимального коду, очевидно, $I = 0$. Прикладом оптимального є цифровий код для запису чисел у десятковій системі числення.

З одного боку, ентропія є мірою невизначеності випадковості повідомлення. З іншого боку, вона є мірою кількості корисної інформації, якщо усунути статистичну надмірність. Це теоретична границя стиску інформації статистичними методами. Тобто поняття «ентропія» пов'язує статистичні властивості повідомлення з кількістю корисної інформації у ньому. Чим більше ступінь невизначеності (випадковості) повідомлення, тим більше в ньому корисної інформації.

Простий приклад. Представимо повідомлення двійковим кодом, тобто послідовністю нулів і одиниць. Розглянемо три приклади таких послідовностей:

- а) 00001000000000000000000000000000100000000000000...
- б) 011101110010000000101100100101010111011...
- в) 111111110111001111111111011011011111111...

У послідовності (а) одиниця з'являється рідко, з імовірністю 0,1, а нуль – часто, з імовірністю 0,9. Тобто $p_1 = 0,1; p_0 = 0,9$. Для цього варіанта ентропія дорівнює: $E = -(0,1 \log 0,1 + 0,9 \log 0,9) = 0,14$ біт/символ. Такий корисний сигнал несе корисної інформації всього 14% і його можна упакувати в сімох разів.

У послідовності (б) одиниця і нуль з'являються з однаковою ймовірністю 0,5. Тобто $p_1 = 0,5; p_0 = 0,5$. Для цього варіанта ентропія дорівнює: $E = -(0,5 \log 0,5 + 0,5 \log 0,5) = 1$ біт/символ. Такий корисний сигнал несе корисної інформації усього 100% і не піддається упакуванню статистичними методами.

У послідовності (в) одиниця з'являється з імовірністю 0,9, а нуль – з імовірністю 0,1. Тобто $p_1 = 0,9; p_0 = 0,1$. Для цього варіанта ентропія дорівнює: $E = -(0,1 \log 0,1 + 0,9 \log 0,9) = 0,14$ біт/символ. Такий сигнал знову несе корисної інформації усього 14% і його можна упакувати в сімох разів.

Результати ілюструються графіком (рис. 7.1) [10].

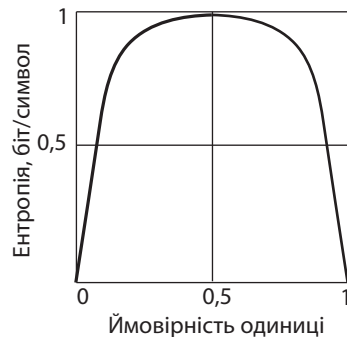


Рис. 7.1. Залежність ентропії

Ентропія досягає максимуму, коли нуль і одиниця однаково ймовірні. Це відповідає 100% корисної інформації (1 біт корисної інформації на переданий символ). Такий сигнал не може бути упакований. Якщо один символ зникає, то ентропія наближається до нуля. Це відповідає неефективному використанню інформації. Такий сигнал може бути упакований [10].

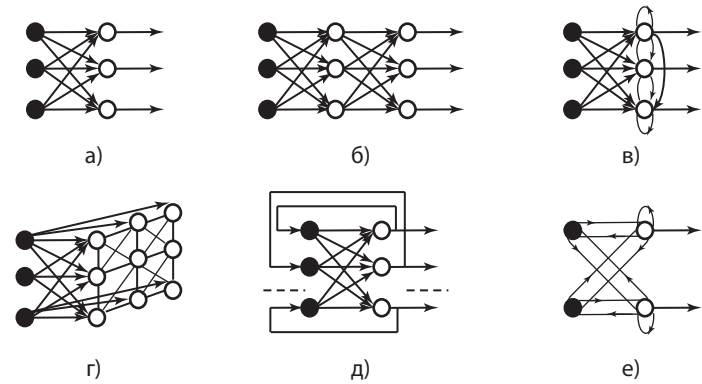


Рис. 17.1. Структури найбільш розповсюджених штучних нейронних мереж: а – одношарова мережа; б – багатошарова мережа (перцептрон); в – мережі з «бічними зв'язаннями»; г – Кохонена; д – мережі Хопфільда; е – АРТ-сети

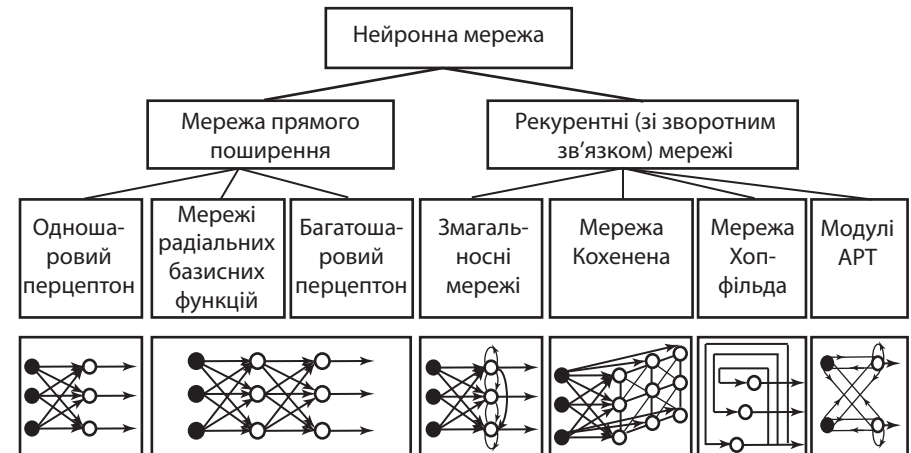


Рис. 17.2. Варіанти найбільш розповсюджених архітектур штучних нейронних мереж

Глава 17. ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНИХ СИСТЕМ В УПРАВЛІННІ ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

17.1. Класифікація штучних нейронних мереж.

17.2. Властивості нейромережних систем.

17.3. Область функцій, виконуваних нейронною мережею.

17.4. Практичне застосування.

17.1. Класифікація штучних нейронних мереж

Штучні нейронні мережі (ШНМ), утворені асоціацією штучних нейронів, є досить спрощеною аналогією біологічних нервових мереж. При цьому ступінь спрощення зумовлено непорівнянними рівнями зв'язності нейронів і їх кількістю. Нервова система людини має біля 10^{11} нейронів, об'єднаних у мережу з приблизно 10^{15} (!) передавальними зв'язками. У біологічних нервових системах кожен нейрон має безліч якостей і функцій, серед яких унікальними є прийом, обробка й передача електрохімічних сигналів за нервовими волокнами, які утворюють комунікаційну систему мозку [35].

Штучні нейромережі відрізняються своєю архітектурою: структурою зв'язків між нейронами (рис. 17.1, 17.2) [35], кількістю шарів, функцією активації нейронів, алгоритмом навчання. З цього погляду серед відомих ШНМ можна виділити статичні, динамічні мережі і fuzzy-структури; одно- або багат шарові мережі. Тут *fuzzy* (англ.) – термін теорії нечітких множин (Л. Заді, 1965), еквівалентний поняттю «нечіткий(а)» (див. Стандарт МЕК (1997) ІЕС 1131-7). Різниця між обчислювальними процесами у мережах частково зумовлені способом взаємозв'язку нейронів, тому виділяють такі види мереж:

- прямого поширення (*feedforward*) – сигнал за мережею проходить тільки в одному напрямку – від входу до виходу;
- зі зворотними зв'язками (*feedforward/feedback*);
- мережі з бічними зворотними зв'язками (*laterally connected*);
- гібридні.

У цілому за структурою зв'язків штучні нейронні мережі може бути згруповано у два класи: 1) прямого поширення – без зворотних зв'язків

Приклад: креслення передається факсом двійковим кодом (0 – піксель тла, 1 – чорний піксель) [10]. У середньому чорні пікселі зустрічаються в 100 разів рідше, ніж білі. Яка надмірність переданої інформації? У скільки разів її можна стиснути статистичними методами?

Розв'язка: імовірність появи нуля – $p_0 = 0,99$. Імовірність появи одиниці: $p_1 = 0,01$. Середня кількість інформації на один переданий символ дорівнює: $-(0,01 \cdot \log 0,01 + 0,99 \cdot \log 0,99) = 0,23$ біт/символ.

Теоретична межа – 1 біт/символ. Тобто надмірність переданої інформації $1/0,23 = 4,3$. У стільки ж разів можна підвищити швидкість передачі за рахунок використання статистичних методів упакування інформації. Як це робиться практично? Основна ідея така. Замість того, щоб передавати підряд сто однакових символів (нулів), передається тип символу й кількість його повторень.

Кількість інформації, що губиться на одне повідомлення, характеризує дискретне джерело повідомлень у цілому. Інші джерела з іншим ансамблем повідомлень будуть мати зовсім іншу питому кількість інформації. Ця загальна характеристика джерела повідомлень називається його ентропією $E(A)$. Вона має фізичний зміст середньоквадратичної міри невизначеності повідомлень спостерігача A щодо стану об'єкта, що спостерігається.

Точно ентропію можна визначити як математичне співвідношення питомої кількості інформації [12]:

$$E(A) = \sum p(a_i) I(a_i) = - \sum p(a_i) \log p(a_i), \quad (7.3)$$

де p – зафіксована ймовірність; a – переданий символ; I – кількість інформації.

Розрізняють терміни: безумовна ентропія, умовна ентропія й ентропія двох сумарних джерел.

7.2. Ентропія результатів діагностичних вимірів¹

Властивості ентропії. Діагностичний процес – це одержання інформації про технічний стан системи, тобто процес, який зменшує невизначеність системи. Чим більше отримано інформації, тим менше її ентропія. Тому при дослідженні системи й оптимізації діагностичного процесу доцільно використовувати методи теорії інформації. Існує пряма аналогія між збиранням інформації й процесом вимірювань.

¹ У цьому підрозділі використано матеріали роботи [1].

Мірою невизначеності стану системи в теорії інформації слугує ентропія, яка обчислюється як сума добутків імовірностей різних станів системи на логарифми цих станів, узятих зі зворотним знаком (7.1).

Основні положення теорії інформації розробив американський вчений К. Шеннон [13]. Він вважав, що «основна ідея... полягає в тому, що з інформацією можна поводитися майже так, як з такими фізичними величинами, як маса чи енергія».

Ентропія стану системи має низку властивостей, що виправдує її вибір як характеристику міри невизначеності. Так, ентропія обертається на нуль, якщо один зі станів системи вірогідний, а всі інші неможливі. Ентропія стану системи зі скінченною кількістю станів максимальна, коли ці стани рівноймовірні. Чим більше невизначеність системи, тим більше її ентропія. Це видно з формули:

$$E = -n \cdot \frac{1}{n} \cdot \log \frac{1}{n} = -\log 1 + \log n = \log n. \quad (7.4)$$

Ентропія має важливу властивість адитивності: коли кілька незалежних систем поєднуються в одну, їх ентропії додаються. Ентропія може бути обчислена для будь-якого закону розподілу.

Перераховані властивості ентропії дозволяють застосовувати її як інтегральний критерій невизначеності стану об'єкта. Ентропія визначає ту мінімальну кількість питань, яку потрібно «задати» даній системі (машині), щоб одержати однозначну відповідь «так» чи «ні» про стан системи (є несправність, немає несправності). Наприклад, якщо в даному агрегаті чи механізмі всі стани однаково ймовірні, ентропія буде дорівнювати двом бітам при чотирьох станах системи, трьом бітам – при восьми, чотирьом бітам – при шістнадцяти, п'ятьом бітам – при тридцяти двох і т. д.

Зв'язок ентропії зі станом системи. Між ентропією системи й функцією надійності існує визначений зв'язок. У будь-який заданий момент часу, що відповідає пробігу автомобіля l , функція надійності $P(l)$ характеризує ймовірність справного технічного стану контрольованої системи. Якщо припустити, що ймовірність безвідмовної роботи системи дорівнює $P(l)$, імовірність появи несправності відповідає $(1 - P(l))$. Таким чином, для двох можливих технічних станів системи можна визначити ентропію системи, приймаючи для справної системи $P_1 = P(l)$ і $P_2 = (1 - P(l))$ – для несправної. У цьому випадку $t = 2$, тому ентропія системи

$$E = -P(l) \cdot \log P(l) - [1 - P(l)] \cdot \log[1 - P(l)]. \quad (7.5)$$

Підсумовуючий блок, що відповідає тілу біологічного елемента, алгебраїчно складає входи з вагою:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i. \quad (16.1)$$

Вихід нейрона є функцією його стану:

$$Y = F(x). \quad (16.2)$$

Нелінійна функція F називається активаційною і може мати різний вигляд.

Для опису пристроїв і алгоритмів функціонування штучних нейронних систем розроблено спеціальну системотехніку (суматори, синапси, нейрони, дендрити), що передбачає об'єднання найпростіших пристроїв у функціонально орієнтовані мережі, призначені для вирішення конкретних задач. На рис. 16.5 наведено базовий процесорний елемент – штучний нейрон [35].

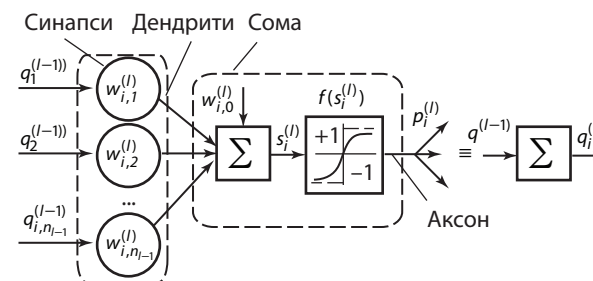


Рис. 16.5. Схема базового процесорного елемента (штучного нейрона):

q_1, q_i – вхідні й вихідні сигнали; $f(s_i)$ – функція пошарової активації; l – елементи шару; w_i – вагові коефіцієнти, які настраюються при навчанні

Контрольні питання і завдання

1. Яка роль створення штучного інтелекту в еволюції кібернетичних систем?
2. Наведіть принципи розходження в перетворенні інформації й продуктивності ЕОМ фон Неймана і біологічних нейронних систем.
3. Поясніть роль свідомості й інтелекту людини в прийнятті рішень у системах управління?
4. Які отримано знання про можливості штучного інтелекту і його використання в системах управління?
5. Які властивості й характеристики створених штучних нейронних мереж?

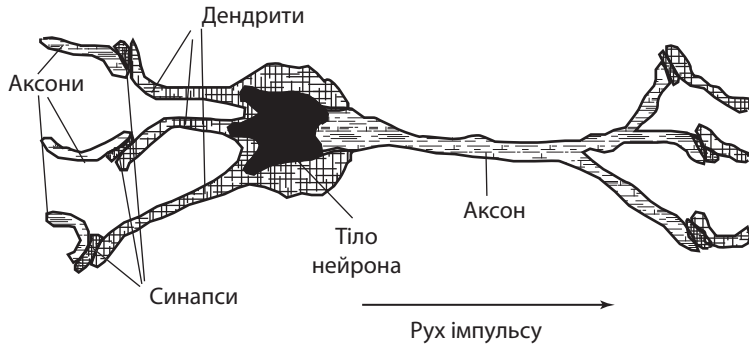


Рис. 16.3. Біологічний нейрон

Синаптичне гальмування знижує збудження нейрона і тим самим утруднює перехід збудження нейрона в нервовий імпульс.

Після генерації імпульсу настає так званий рефракторний період, під час якого нейрон відновлює здатність до генерації наступного імпульсу. Тривалість рефракторного періоду менш за 1 мс. Тому максимальна частота генерації імпульсів нейронів близько 1000 с^{-1} .

Штучний нейрон імітує в першому наближенні властивості біологічного нейрона. Він має групу синапсів – односпрямованих вхідних зв'язків, з'єднаних із виходами інших нейронів, а також аксон – вихідний зв'язок даного нейрона, за яким сигнал (збудження або гальмування) надходить на синапси наступних нейронів. Кожен вхід збільшується на відповідну вагу, аналогічну синаптичній силі, і всі добутки підсумовуються, визначаючи рівень активації нейрона. Загальний вигляд нейрона, який реалізує ці властивості, наведено на рис. 16.4. Тут множина вхідних сигналів позначена вектором X . Кожна вага w_i відповідає «силі» однієї біологічної синаптичного зв'язку. Множина ваг у сукупності позначається вектором W [34].

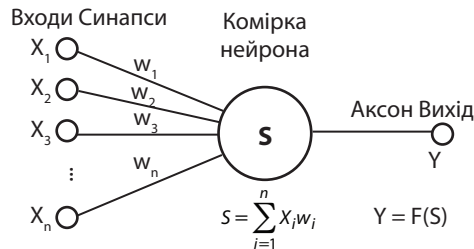


Рис. 16.4. Штучний нейрон

Остання формула встановлює зв'язок між функцією надійності системи при $m = 2$ та її ентропією. Якщо в системі є n підсистем із $m = 2$, тоді

$$I = E - 0 = - \sum_{i=1}^m P_i \cdot \log P_i. \quad (7.6)$$

При одержанні інформації про стан системи у процесі діагностування невизначеність її стану зменшується. Чим більше отримано інформації, тим менше її ентропія. Отже, якщо до одержання інформації ентропія системи дорівнює E , а після одержання необхідної інформації технічний стан цілком визначився й ентропія $E = 0$, то при цьому кількість отриманої інформації I чисельно дорівнює її ентропії:

$$E = - \sum_{i=1}^m \log P_i(l)^{P_i(l)} \cdot [1 - P_i(l)]^{[1 - P_i(l)]}. \quad (7.7)$$

Можна вважати, що інформація є середнім за всіма станами системи значенням логарифму ймовірності стану зі зворотним знаком. При однаково ймовірних станах системи ($P_1 = P_2 = \dots = P_n = 1/n$) $I = \log n$.

Таким чином, процес одержання інформації є одночасно процесом зменшення ентропії стану системи. Тільки там, де є невизначеність, може бути отримано інформацію. Під інформацією розуміються ті відомості, які нам невідомі. Інформація – «негатив ентропії». Ентропія й інформація характеризують протилежні якості досліджуваної системи. Чим більше отримано інформації, тим більше порядку, наприклад, у визначенні технічного стану машин.

У реальних процесах контролю й діагностування ентропія об'єкта в загальному випадку з урахуванням властивостей адитивності визначається так:

$$E_o = E_{o,k} + E_{z,k} + E_{alg} + E_{vik}, \quad (7.8)$$

де $E_{o,k}$ – ентропія об'єкта контролю; $E_{z,k}$ – ентропія засобів контролю, що зумовлена наявністю помилок засобів контролю і впливає на встановлення точного діагнозу; E_{alg} – ентропія алгоритму контролю, яка враховує пристосованість алгоритму одержувати інформацію за мінімальний час; E_{vik} – ентропія, зумовлена кваліфікацією виконавця (оператора-діагнosta).

У свою чергу, ентропію об'єкта контролю одержимо з виразу

$$E_{o,k} = E_{b,o} + E_{n,o}. \quad (7.9)$$

Тут $E_{b,o}$ – ентропія, зумовлена наявністю ймовірності раптових відмов систем об'єкта (цю ентропію неможливо вимірити й перевести в інформацію, її можна тільки заздалегідь врахувати); $E_{n,o}$ – ентропія, зумовлена наявністю

імовірності поступових (зносових) відмовлень систем об'єкта. Ця ентропія може вимірятися аж до рівня, зумовленого наявністю похибок приладів контролю, і переводитися в інформацію про технічний стан систем об'єкта. Схему одержання інформації у реальному процесі контролю представлено на *рис. 7.2* [1].

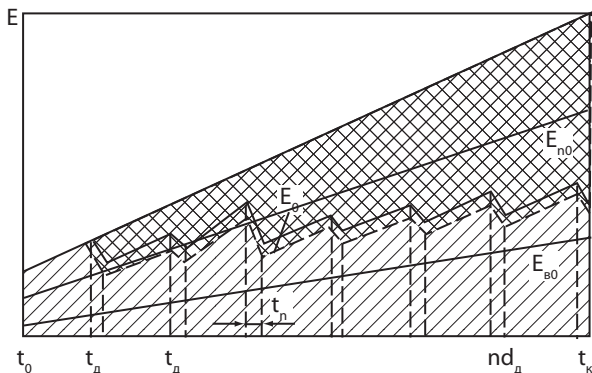


Рис. 7.2. Схема зміни ентропії:

t_k – час контролю й управління технічним станом;
 t_d – періодичність діагностування

До початку процесу контролю й управління в довільний момент часу t_0 загальна ентропія процесу E_0 визначається ентропією об'єкта контролю $E_{o.k} = E_{b.o} + E_{n.o}$ й ентропією засобів контролю $E_{з.к}$. У процесі експлуатації при відсутності контролю й управління ентропія об'єкта контролю $E_{o.k}$ постійно зростає. З фізичної точки зору зростання ентропії зумовлене підвищенням імовірності виникнення відмов систем об'єкта при збільшенні пробігу.

Застосовувані в даний час засоби контролю (станції діагностики) є, у свою чергу, складними об'єктами. Тому для них справедливі ті ж закономірності, що і для їх об'єкта діагностування, тобто ентропія засобів контролю $E_{з.к}$ також зростає.

У процесі визначення технічного стану в загальну ентропію процесу E_0 , крім ентропії об'єкта $E_{o.k}$ й ентропії засобів контролю $E_{з.к}$, входить ентропія алгоритму контролю $E_{алг}$ та ентропія виконавця $E_{вик}$, яка залежить від кваліфікації оператора-діагноста. У процесі контролю й управління загальна ентропія E_0 знижується й переводиться у визначену кількість інформації, яку у цьому процесі можна збільшити (на *рис. 7.2* показана пунктирною лінією), підвищуючи точність засобів контролю і зменшуючи тим самим ентропію об'єкта контролю $E_{o.k}$, поліпшуючи пристосованість ал-

Розробка моделей нейронних мереж, які поєднують класи практичних задач з нейрокібернетики, нейрофізики, нейробіоніки, штучного інтелекту й біології, для розв'язання яких у даний час ще не створено загальних алгоритмів, являє собою актуальний напрямок теоретичних і прикладних досліджень. Дотепер не вдалося створити комплекс моделей, що адекватно описують функціонування нейронної мережі людини й мають наукову й інженерну конкретність. Для того щоб будь-яка система могла вважатися інтелектуальною, вона повинна мати набір засобів, що дозволяють за необхідності згенерувати програми конкретної діяльності, володіти метапрограмами, тобто програмами більш високого рівня, здатними самостійно породжувати потрібні програми [29].

Теорія нейронних мереж є напрямком науки, який активно розвивається. Основні перспективи використання цієї теорії пов'язані з розв'язанням складних практичних задач. Нейронні мережі – один з основних архітектурних принципів побудови ЕОМ шостого покоління.

Нейронна мережа – це мережа зі скінченною кількістю шарів з однотипних елементів – аналогів нейронів із різними типами зв'язків між шарами [33]. При цьому кількість нейронів у шарах обирається виходячи з необхідності забезпечення заданої якості розв'язання задачі, а кількість шарів нейронів – якомога меншою для скорочення часу розв'язання задачі.

Незважаючи на величезну кількість нейронів, їх тіла займають усього кілька відсотків загального обсягу мозку. Майже весь інший простір зайнято міжнейронними зв'язками. Кількість зв'язків кожного нейрона не має аналогів у сучасній техніці. Розуміння того, що міжнейронні зв'язки належать до основних структурних компонентів мозку, які у першу чергу визначають його функціональні характеристики, є одним із найбільш істотних висновків, зроблених нейрофізіологами.

На *рис. 16.3* наведено структуру типового біологічного нейрона. Дендрити йдуть від тіла нервової клітки до інших нейронів, де вони приймають сигнали в точках з'єднання, називаних синапсами. Прийняті синапсом вхідні сигнали підводяться до тіла нейрона. Тут вони підсумовуються, причому одні входи прагнуть збудити нейрон, а інші перешкодити його збудженню. Відповідно до цього розрізняють процеси синаптичного збудження й гальмування нейрона [34].

Коли сумарне збудження в тілі нейрона перевищує деякий поріг, нейрон збуджується, посылаючи за аксоном, який на кінці сильно гілкується, сигнал іншим нейронам. Нервовий імпульс має здатність поширюватися за нервовими волокнами без загасання, аж до синаптичних закінчень із швидкістю поширення близько 10 м/с.

дитиною знаходиться в кімнаті, де відбулася пожежа. Система самозбереження буде подавати роботу команди врятувати себе самого. Цю команду може придушити тільки команда з блоку моральності (блок 8). У зв'язку з цим ця система повинна мати пріоритет перед системою самозбереження робота, тобто необхідно врятувати дитину навіть ціною свого «життя».

Для того щоб робот мав можливість розвиватися й приймати правильні рішення в конкретній ситуації, він повинен володіти всією інформацією, якою може володіти людина. Він має відслідковувати зміни законів суспільства, де він «живе» і працює, погодні умови, екологію, правила вуличного руху і багато чого іншого. Робот повинен мати можливість сам поповнювати свій банк інформації, інакше людина може перетворитися в обслуговуючий персонал робота. Для цього робот повинен мати свободу у прийнятті рішень, але дана свобода дозволить роботу не виконати наказ людини, тобто воля дозволить йому вибірково відноситися до доручень і команд людини.

Такою свободою волі наділено тільки людину. Дана свобода може привести до такої ситуації: робот одержав команду віднести, приміром, вантаж в один із цехів заводу, а він нам відповідає, що цього робити не хоче. Для того щоб виключити конфліктну ситуацію, робот має знати, що його може бути покарано за невиконання доручення. Система самозбереження (блок 5) повинна постійно інформувати штучну свідомість про страх робота перед покаранням або смертю.

Функцію контролю за постановкою задачі покладено на аналогічну совісті людини систему контролю за постановкою задачі (блок 11). Ця система дозволяє вносити корективи навіть в ідеальний алгоритм.

Таким чином, ми дійдемо висновку, що машина може бути інтелектуальною тільки у випадку, якщо її буде наділено основними параметрами й системами, подібними до систем людини [29].

16.4. Властивості й характеристики створених штучних нейронних мереж

Аналіз результатів фундаментальних і прикладних досліджень в області кібернетики й інформатики показав, що в перший період їх розвиток зводився до необхідності збільшення обсягів пам'яті й швидкодії, вдосконалення алгоритмів і програм. У даний момент, на думку більшості вчених і фахівців в області штучного інтелекту, обробку інформації необхідно проводити не стільки методами фоннейманівських архітектур, скільки паралельним розпізнаванням і аналізом узагальнених образів навколишнього середовища.

горитму і зменшуючи час контролю та ентропію алгоритму $E_{алл}$, підвищуючи кваліфікацію оператора-діагноста і знижуючи імовірність постановки неправильного діагнозу. При припиненні процесу контролю й управління ентропія об'єкта контролю $E_{о,к}$ і засобів контролю $E_{з,к}$ знову зростає.

Мінімальний рівень невизначеності, якого можна досягти у процесі діагностування, складає:

$$E = (E_{в.о})_{о,к} + (E_{р.з})_{з,к} + E_{алл} + E_{вук}, \quad (7.10)$$

де $(E_{в.о})_{о,к}$ – ентропія, зумовлена ймовірністю появи раптових відмовлень об'єкта контролю; $(E_{р.з})_{з,к}$ – розв'язувальна здатність даних контролю за-собів; $E_{алл}$ – обмеженість алгоритму контролю; $E_{вук}$ – фізичні можливості оператора-діагноста [1].

На практиці діагностування необхідно вести до досягнення рівня оптимальної невизначеності, тобто оптимальної глибини діагнозу. Цей рівень обирається за умови виконання об'єктом поставленої перед ним задачі при одночасному виконанні економічних обмежень.

Теорію інформації призначено для розв'язання двох основних задач: відшукування ефективних методів кодування інформації за допомогою мінімальної кількості символів з урахуванням можливих перешкод і перекирвань у каналах зв'язку та визначення пропускну здатності каналу зв'язку для безперебійної передачі інформації. Для розв'язання цих найважливіших задач треба вміти визначати обсяг переданої чи збереженої інформації і пропускну здатність каналів зв'язку.

Якщо відома $f(x)$ щільність розподілу безперервної вимірюваної величини x , то її невизначеність – $E(x) = -\int f(x) \cdot \log f(x) \cdot dx$. Результати вимірів залежать від значень похибки вимірів Δ , тому ентропію можна визначити за формулою

$$E(x) = -\int_{-\infty}^{\infty} f(\Delta) \cdot \log f(\Delta) d\Delta, \quad (7.11)$$

де $f(\Delta)$ – щільність розподілу похибок.

Закони розподілу результатів виміру й ентропія. При обробці результатів вимірів можуть бути різні закони (нормальний, рівномірний, трикутний, арксинусний та ін.) розподілу вимірюваних випадкових величин. Нижче розглядаються перші два. Нормальний закон розподілу величини x (рис. 7.3) виражено щільністю розподілу

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x} \cdot e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (7.12)$$

де m_x – математичне очікування величини x ; σ_x – середнє квадратичне відхилення (теоретичне).

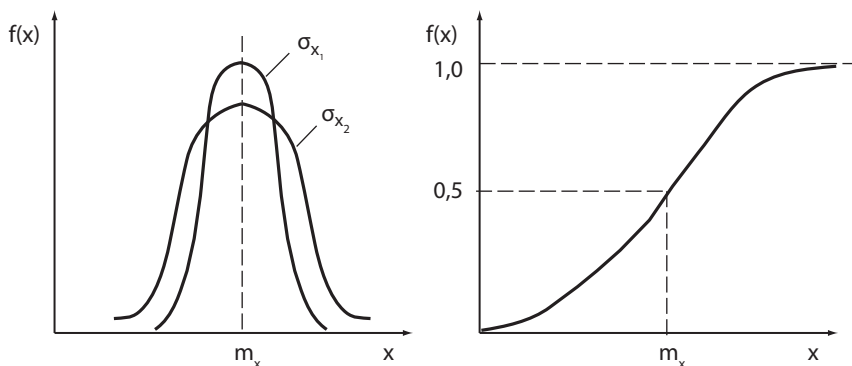


Рис. 7.3. Нормальний закон розподілу:

а – щільність розподілу; б – функція розподілу

Середнє квадратичне відхилення можна визначити за формулою:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\Delta_\Sigma^2}{n-1}} = \sqrt{\Delta_\Sigma^2} = \Delta_\Sigma, \quad (7.13)$$

де $\Delta_\Sigma = \sqrt{\Delta x_1^2 + \dots + \Delta x_n^2}$ – квадратичне значення сумарної абсолютної похибки незалежних вимірів величини x ; $\bar{\Delta}_\Sigma$ – середнє квадратичне абсолютна похибка вимірів величини x .

Щільність розподілу похибок вимірюваної величини можна обчислити за формулою

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta_\Sigma} e^{-\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{x_i}^2}{2\Delta_\Sigma^2}}. \quad (7.14)$$

У метрології існує поняття умовної ентропії (ентропії похибки) для двох незалежних систем x і y . Якщо система x знаходиться в стані x_i , то ймовірність того, що система y прийме стан y_j , буде дорівнювати $P(x_i/y_j)$. Умовну ентропію можна розглядати як міру зниження невизначеності системи x . Якщо до виміру ентропія дорівнює $E(x)$, а після виміру – $E(x/x_i)$, тоді

$$I_x = E(x) - E(x/x_i), \quad (7.15)$$

де x_i – результат виміру.

себе та своє оточення і здатна на основі отриманої інформації формувати знання, визначати своє призначення відповідно до мети й задачі, поставлених її творцем.

Як впливає з аналізу представленої функціональної схеми, команда в машину на виконання може надійти за каналом прийому-передачі інформації. А саме: усно, письмово, візуально, за допомогою жестів, з клавіатури, за радіоканалом і т. д. Дану інформацію у блоці 1 рецептори перетворюють у коди, наприклад, цифрові. Ці коди через канали зв'язку передаються до блоку 2, де відбувається їх попередня обробка.

Якщо команду, наприклад, подано голосом, то в даному випадку відбувається розпізнавання мовного повідомлення й трансформація його у зручний для подальшої обробки образ. Розпізнане мовне повідомлення передається у блок 3, де відбувається значеннева інтерпретація і формуються знання. У блоці 4 відбувається розподіл знань за предметними областями. Блок 9 вносить корективи в знання відповідно до призначення машини або робота.

Отримані знання записуються в блоки 6, 7, 8. У блоці 10 відбувається постановка конкретної задачі. Контроль за здійсненням постановки задачі здійснюється відповідно до моральних законів (блок 8), правил самозбереження машини (блок 5) і її призначення (блок 9). У блоці 12 розробляється алгоритм вирішення поставленої задачі. У блоці 13 відбувається програмування майбутньої команди за запропонованим алгоритмом. Створена програма передається на керуючі і виконавчі системи (блок 15).

Системи зворотного зв'язку (блок 16) контролюють правильність реалізації розробленого алгоритму, який і є штучним інтелектом, тобто штучний інтелект – це продукт роботи штучної свідомості. Відповідно до аналізу запропонованих схем запропоновано визначення штучного інтелекту.

Штучний інтелект – алгоритм розв'язання творчих задач, сформований штучною свідомістю. Штучний інтелект, як і природний, не може бути ні моральним, ні аморальним. Основною задачею штучного інтелекту є найбільш якісне складання алгоритму для розв'язання конкретних задач творця або користувача машини.

У блоках 3, 4, 9 формується штучна свідомість. Остаточне рішення при створенні штучного інтелекту приймає штучна свідомість. При цьому їй дано право враховувати або не враховувати духовно-моральні та інші закони життя людей, а також інстинкти самозбереження.

Розглянемо один із прикладів реалізації запропонованої функціональної схеми робота, тобто штучної системи. Приміром, робот-нянька разом з

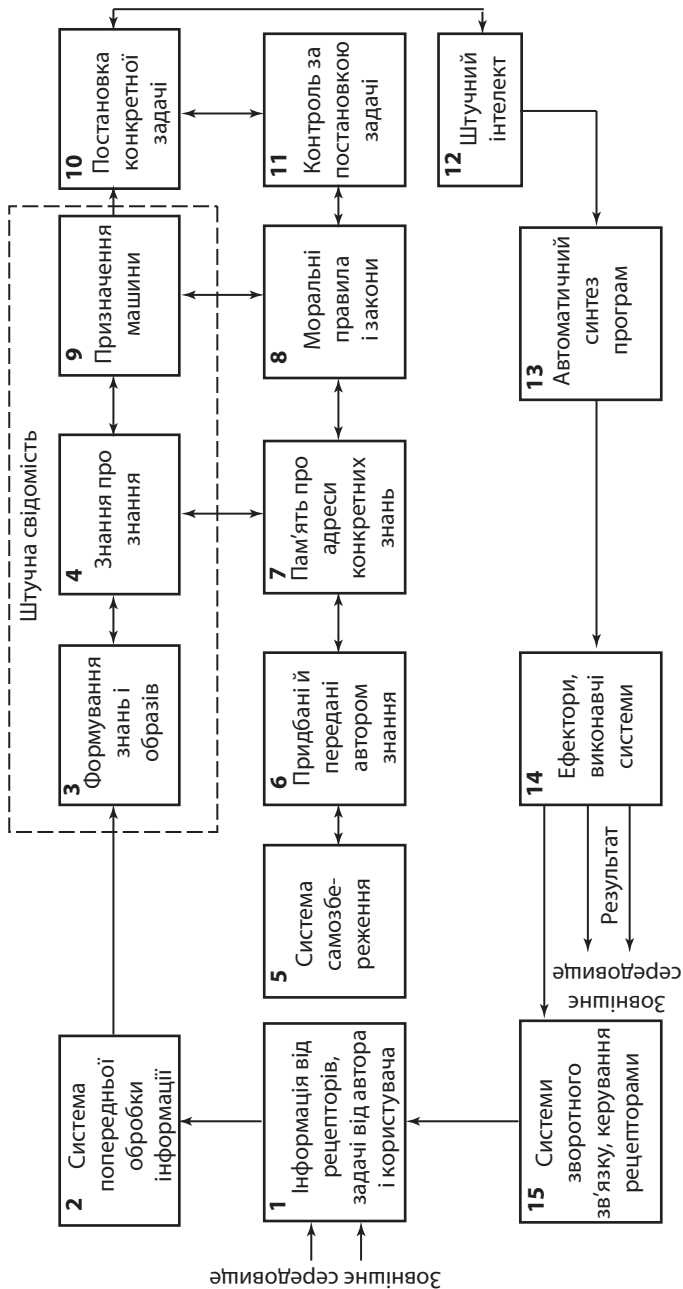


Рис. 16.2. Функціональна схема. Формування штучного інтелекту

Якщо закон розподілу похибки Δ підкоряється нормальному закону при середньому квадратичному відхиленні σ , то неважко визначити умовну ентропію. Оскільки $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \bar{\Delta}_\Sigma} e^{-\frac{\Delta^2}{2\bar{\Delta}_\Sigma^2}}$, то $-\log f(x) = \log \sqrt{2\pi} \cdot \bar{\Delta}_\Sigma + \frac{\Delta^2}{2\bar{\Delta}_\Sigma^2}$.

Підставивши останній вираз у формулу ентропії, одержимо:

$$E\left(\frac{x}{x_i}\right) = -\int f(x) \cdot \log f(x) dx = \int f(x) \cdot \log \sqrt{2\pi} \cdot \bar{\Delta}_\Sigma dx + \int f(x) \cdot \frac{\Delta^2}{2\bar{\Delta}_\Sigma^2} dx =$$

$$= \log \sqrt{2\pi} \cdot \bar{\Delta}_\Sigma + \frac{\Delta_\Sigma^2}{2\bar{\Delta}_\Sigma^2} = \log \sqrt{2\pi} \cdot \bar{\Delta}_\Sigma + \log \sqrt{e} =$$

$$= \log \sqrt{2\pi e} \cdot \bar{\Delta}_\Sigma \approx \log 4,1\sigma \text{ біт}, \quad (7.16)$$

де e – основа натуральних логарифмів.

З останньої формули випливає, що зі збільшенням похибки вимірів σ зростає $E(x/x_i)$ і тим менше знижується невизначеність системи після діагностування і тим меншою буде інформація I .

Якщо результати вимірів чи похибки змінюються в межах заданого інтервалу можливих значень величин, застосовується рівномірний закон розподілів (рис. 7.4) [1]. При рівномірному розподілі випадкова величина x рівномірно розподіляється в інтервалі від x_H до x_B і має постійну щільність. Тому якщо площа кривої щільності розподілу дорівнює I , то $h(x_B - x_H) = I$ і щільність імовірності – $f(x) = h \frac{1}{x_B - x_H}$. Якщо похибка дорівнює $\pm\Delta$, то

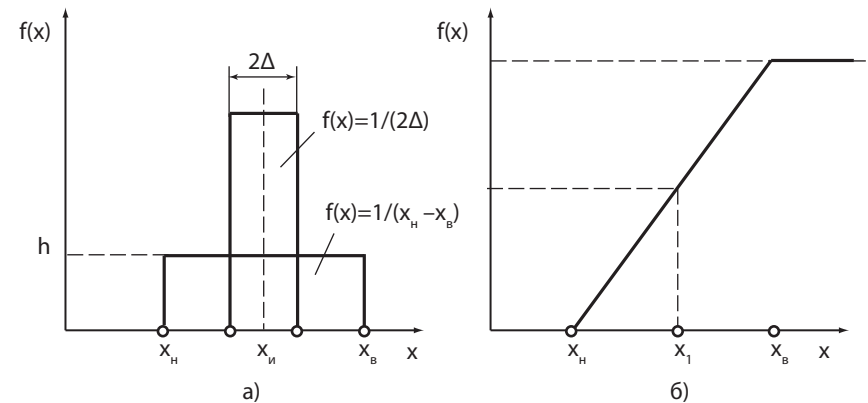


Рис. 7.4. Рівномірний закон розподілу:

а – щільність розподілу; б – функція розподілу

вимірювана величина буде знаходитися в межах від $x_H + \Delta$ до $x_B - \Delta$, тобто в межах 2Δ . Після виміру невизначеність знижується до 2Δ , а щільність розподілу збільшується до $f_1(x)$.

Математичне очікування величини x визначиться за формулою:

$$m_x = \int_{x_H}^{x_B} x \cdot f(x) dx = \int_{x_H}^{x_B} \frac{x}{x_B - x_H} dx = \frac{x_B^2 - x_H^2}{2(x_B - x_H)} = \frac{x_B + x_H}{2}. \quad (7.17)$$

Дисперсія величини x

$$D_x = \int_a^b (x - m_x)^2 \cdot f(x) dx = \frac{1}{x_B - x_H} \int_{x_H}^{x_B} \left(x - \frac{x_B + x_H}{2}\right)^2 dx = \frac{(x_B - x_H)^2}{12}. \quad (7.18)$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_x = \frac{x_B - x_H}{\sqrt{12}} = \frac{x_B - x_H}{2\sqrt{3}} = \frac{2\Delta}{2\sqrt{3}} = 0,578\Delta. \quad (7.19)$$

Ентропія рівномірного розподілу при зміні щільності ймовірностей $P_x = 1/(2\Delta)$ у межах від $+\Delta$ до $-\Delta$ буде дорівнювати:

$$E\left(\frac{x}{x_i}\right) = \int_{-\infty}^{\infty} P_x \cdot \log P_x dx = \int_{-\Delta}^{\Delta} \frac{1}{2\Delta} \cdot \log \frac{1}{2\Delta} dx = \log 2\Delta. \quad (7.20)$$

Загальна кількість інформації визначається за формулою:

$$I_x = \mathcal{E}(x) - \mathcal{E}(x/x_i) = \log(x_B - x_H) - \log 2\Delta = \log \frac{x_B - x_H}{2\Delta} = -\log \frac{2\Delta}{x_B - x_H} \text{ біт}, \quad (7.21)$$

де $E(x)$ – апіорна ентропія (ентропія вимірюваної величини); $E(x/x_i)$ – умовна ентропія (ентропія похибки).

Ентропійне значення похибки для нормального закону можна обчислити за формулою:

$$\Delta_E = \frac{1}{2} e^{E(x/x_i)} = \frac{\sqrt{2\pi e} \cdot \sigma}{2} = 2,07\sigma. \quad (7.22)$$

Ентропійна похибка для рівномірного розподілу визначається за формулою:

$$\Delta_E = \frac{2\sqrt{3}\sigma}{2} = 1,73\sigma. \quad (7.23)$$

У загальному вигляді ентропійне значення похибки для будь-якого закону розподілу ймовірностей можна записати як $\Delta_E = k \cdot \sigma$, де k – коефіцієнт, що характеризує форму закону розподілу. Таким чином, ентропійне значення похибки визначається не тільки потужністю похибки σ , але і видом закону розподілу.

корективи алгоритму. Іноді перед свідомістю може виникнути проблема: враховувати або не враховувати для досягнення мети духовно-моральні закони суспільства й закони самозбереження. У цьому випадку посилається запит у блок 12. Совість дає оцінку прийнятому рішення. Одержавши інформацію від блоку 12 «совість» про необхідність урахування духовно-моральних законів життя суспільства, свідомість приймає остаточне рішення. Створений алгоритм (блок 13) передається для програмування в блок 14, де формуються кодові команди, які після формування команди у вигляді електричних імпульсів за нервовими каналами подаються до артикуляторного апарату, у м'язову й інші системи організму людини.

Якщо свідомість прийняла рішення врахувати рішення «совісті» (блок 12), то відбувається коректування розробленого алгоритму, який знову передається в блок 12 для оцінки, цей процес може складати кілька ітерацій до прийняття свідомістю остаточного рішення.

Системи зворотного зв'язку (блок 16) через органи почуттів (блок 1) відслідковують правильність виконання команд. Якщо команда виконується неправильно, відбувається коректування кодових команд (блок 14). Приміром, свідомість вирішила довести теорему Ферма, тобто сформувався конкретна мета. У блоці 11 формується задача, розв'язання якої має привести до досягнення цієї мети.

Приміром, прийнято рішення доводити теорему думкою. Для цього покроково формується шлях розв'язання задачі, тобто вступає в роботу інтелект (блок 13). Якщо алгоритм складено якісно, то принципово розв'язна задачу може бути вирішено, якщо ні – задачу розв'язано не буде.

Якщо прийнято рішення показати шлях розв'язання теореми письмово, то на підставі розробленого алгоритму формуються керуючі команди для м'язів рук (блок 15), і за допомогою ручки або крейди нами описується шлях розв'язання даної задачі.

Усі інші системи функціональної схеми є системами забезпечення і не приймають особистої участі у розв'язанні творчих задач. Тепер здійснимо спробу на основі знань про інтелект людини створити функціональну схему формування штучного інтелекту, цю схему прекрасно описано в тій же роботі [29] і наведено нами нижче.

Для того щоб створити концепцію розвитку штучного інтелекту, необхідно формалізувати всі системи, які формують природний інтелект. На схемі (рис. 16.2) [29] представлено функціональну схему формування штучного інтелекту. Основні труднощі, що виникають перед дослідниками, полягають у створенні штучної свідомості, тобто основного блоку майбутньої інтелектуальної системи. Під штучною свідомістю розуміється вища керуюча система машини, яка володіє визначеними знаннями про

Глава 8. КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ Й ПРОГРАМУВАННЯ

- 8.1. *Поняття, мета й задачі кодування.*
- 8.2. *Види кодування повідомлень у задачах управління робочими процесами.*
- 8.3. *Способи представлення кодів.*
- 8.4. *Кодування сигналів у задачах діагностування.*
- 8.5. *Кодування сигналів для підвищення швидкості передачі й перешкодостійкості інформації.*
- 8.6. *Логічне й машинне програмування.*

8.1. Поняття, мета й задачі кодування

Кодування інформації застосовується для різного виду повідомлень. Кодування видів несправностей широко застосовується в системах збирання, обробки й збереження інформації про надійність за результатами даних випробувань і експлуатації, у системах діагностування машин. Діагностичні коди несправностей, які генеруються модулем управління технічних систем, повідомляють водію (техніку, оператору) про наявність несправностей в об'єктах механізмів і системах електронного зв'язку. За цими сигналами можуть змінюватися автоматично чи оператором режими роботи системи, включатися резервні та ін. Коди зберігаються в пам'яті модуля управління. Вони задають спосіб, за яким виконується наступна діагностика.

Прикладом систем кодування з програмним управлінням виконання заданої послідовності команд виконавчими механізмами є верстати в обробній промисловості, автоматичні роботи-маніпулятори, ігрові й інші скінченні автомати.

У системах передачі й збереження інформації кодування застосовується з метою максимального використання потенційних можливостей каналів зв'язку, забезпечення надійності, точності передачі та перешкодостійкості систем управління. Код кожного виду має свій раціональний спосіб подачі, який впливає на його властивості. До універсальних способів кодування належать: діагностичні карти, таблиці кодових комбінацій, кодове дерево, геометричні моделі, матриці. Теоретичною основою побудови ефективних кодів слугує теорема К. Шеннона [11 – 13].

ють, що машини ще далеко не досконалі, і ще багато потрібно працювати й мислити самій людині, щоб створити подібний собі засіб розумової дії. Особливо це стосується процесів сприйняття й розпізнавання різних просторово-образних об'єктів реальної дійсності (слухових, зорових та ін.). Тому варто говорити хіба що про майже зародкові здібності машини в цій області.

Але хоч ми можемо забезпечити машину можливостями зі сприйняття, збереження, передачі, переробки або представлення інформації, з розробки природних і штучних перетворювачів інформації, які виконують фізико-механічні дії пристроїв та ін., однак задача забезпечення машини «особистістю» як завгодно морально багатой, злиття артистизму і пластичності людського розуму з його «асоціаціями» із реальністю представляється сьогодні занадто складною. Створені поки моделі цих процесів усе далі йдуть від «наочності» і «зрозумілості».

Еволюція життя показує, що розум принципово не може звільнитися від усіх обмежень досягнутого. Навіть автоеволюція людини не усуває всіх обмежень розуму. Шляхом автоеволюції людина зможе змінювати свою природу, фізичну й духовну, удосконалювати власний мозок і йти увесь час попереду створюваних ними машин і роботів.

16.3. Свідомість і інтелект людини. Штучний інтелект і штучна свідомість

У процесі складання алгоритму розв'язання конкретної задачі свідомість приймає остаточне рішення. Це підтверджує висновок про те, що свідомість є найвищою системою людського організму. Розглянемо функціональну схему формування інтелекту людини (рис. 16.1) [29]. Наведемо повний опис схеми, викладений у роботі [29]. Основним блоком цієї схеми є блок 4 (свідомість). Свідомість визначає зміст і ціль життя (блок 5). Відповідно до поставленої задачі, свого призначення і бажання (блок 3) свідомість формує конкретний шлях і метод розв'язання цієї задачі.

Для цього формується алгоритм. Як відзначалося вище, алгоритм розв'язання конкретної задачі і визначає інтелект людини. Алгоритм формується без урахування духовно-моральних законів (блок 9), інстинкту самозбереження (блок 8) та ін.

Після першої ітерації зі складання алгоритму в роботу включаються системи совісті (блок 12) і самозбереження (блок 8).

З урахуванням існуючих духовно-моральних законів створений алгоритм піддається корекції. Система самозбереження також пропонує свої

Топ 500 Project аерокосмічного агентства NASA, який виконує приблизно 52 трильйона операцій у секунду.

Сучасні цифрові обчислювальні машини перевершують людину за здатністю робити числові й символні обчислення. Однак людина може без зусиль вирішувати складні задачі сприйняття зовнішніх даних (наприклад, пізнавати в юрбі знайомого тільки за його промайнулим обличчям) із такою швидкістю й точністю, що наймогутніший у світі комп'ютер у порівнянні з ним виявиться безнадійним тугодумом. Час спрацювання нервової клітки (нейрона) у мільйон разів перевищує час такту персонального комп'ютера. Швидкість передачі інформації у нервовій системі також у мільйон разів більший, ніж в ЕОМ. Наш мозок із легкістю справляється з багатьма задачами керування рухом, пошуку закономірностей, розпізнавання образів, прийняття рішень, що ставлять у тупик суперкомп'ютери.

Причина настільки значного розходження в їх продуктивності полягає в тому, що архітектура біологічної нейронної системи зовсім не схожа на архітектуру машини фон Неймана (табл. 16.1) [34], а це істотно впливає на типи функцій, які найбільш ефективно виконуються кожною з моделей.

Таблиця 16.1

Машина фон Неймана в порівнянні з біологічною нейронною системою

Параметри порівняння	Машина фон Неймана	Біологічна нейронна система
	1	2
Процесор	Складний	Простий
	Високошвидкісний	Низькошвидкісний
	Один або кілька	Велика кількість
Пам'ять	Відділена від процесора	Інтегрована в процесор
	Локалізована	Розподілена
	Адресація не за змістом	Адресація за змістом
Надійність	Висока уразливість	Живучість
Обчислення	Централізоване	Розподілене
	Послідовне	Паралельне
	Збережені програми	Самонавчання
Спеціалізація	Чисельні і символні операції	Проблеми сприйняття
Середовище функціонування	Суворо визначене	Слабо визначене
	Суворо обмежене	Без обмежень

Сучасні досягнення в області високоінтелектуальних дій машин у порівнянні з аналогічними досягненнями людини в цих областях показу-

Кодування – це процес перетворення повідомлення в упорядкований набір символів, елементів, знаків. Без розвитку теорії інформації й теорії кодування практично неможливе створення складних систем управління рухом, складних ЕОМ, систем автоматизації, способів збереження, передачі й захисту інформації. Код – це сукупність умовних символів, які застосовуються для кодування повідомлень.

Основною задачею теорії кодування є одержання ефективних алгоритмів кодування для джерел повідомлень і передачі даних за каналами зв'язку.

Теорія кодування – розділ теорії інформації, який вивчає способи ототожнення повідомлень із сигналами, які їх відображають. Кодування застосовують при передачі, збереженні й перетворенні інформації. Для кодування повідомлень використовують набір символів. Множину таких символів називають абеткою коду (a_1, a_2, \dots, a_m) [11, 14].

Кількість символів в абетці позначають буквою m і називають основним кодом. Десятькова система є кодом із підстановкою $m = 10$, тобто кількість значущих цифр дорівнює десяти. При цьому значущі цифри (їх форма, вид) складають абетку: 0, 1, 2, ..., 9... За допомогою абетки (значущих цифр) у системі можна виразити (закодувати) будь-яку числову величину.

Будь-яку упорядковану вибірку символів з абетки називають кодовим словом чи кодовою комбінацією $B = \{a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n}\}$.

Кількість символів у кодовій комбінації позначають буквою n і називають довжиною кодової комбінації.

Кодом називають будь-яку упорядковану множину кодових комбінацій: $\{B_1, B_2, \dots, B_N\}$. Кількість (число) кодових комбінацій у коді називають потужністю чи обсягом коду. Максимальна потужність коду $N = m^n$.

Класифікація кодів. Є велика кількість ознак класифікації кодів за: підстановкою, довжиною кодових комбінацій, вагою комбінацій, способом упорядкування комбінацій, парністю чи непарністю ваги комбінацій, кількістю комбінацій заданої довжини, кодовою відстанню, арифметичними властивостями коду.

За допомогою різних кодів записують числа. Код, який має арифметичні властивості, називають арифметичним. Комбінації такого коду можна розглядати як числа і робити з ними різні арифметичні операції. Якщо код не має арифметичних властивостей, його називають комбінаторним. Комбінаторні коди формують за законами теорії з'єднань (сполучень, розміщень, перестановок), досліджуваної у розділі математики, названому

комбінаторикою. З розглянутих кодів до комбінаторного відносять рівноважні, парні і непарні.

8.2. Види кодування повідомлень у задачах управління робочими процесами

Десяткова система числення. Ця система є найбільш уживаною. Підстанова системи – 10. У ній десять символів – десяткові цифри 0, 1, 2, 3, ..., 9. У системі 10 одиниць кожного розряду поєднують в одну одиницю сусіднього старшого розряду (вибір числа 10 як підстановку загальноприйнятої системи числення історично пов'язаний з кількістю пальців на руках).

У десятковій системі послідовність цифр, наприклад, 3807,45 являє собою скорочений запис такого полінома:

$$3 \cdot 10^3 + 8 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0 + 4 \cdot 10^{-1} + 5 \cdot 10^{-2}.$$

У десятковій системі при звичайному записі вказують тільки коефіцієнти (цифри), при цьому припускають, що їх значущість (вага) різна і визначається розрядом, займаним даним коефіцієнтом (цифрою). Система є смною, але для реалізації у пристроях обчислювальної техніки мало придатною, оскільки виконання елемента десятьма чітко помітними станами є складною технічною задачею.

Унітарна (одинична) система числення має один цифровий знак (символ) – 1. Будь-яке і тільки ціле число в цій системі виражається набором одиниць, наприклад, число 4 десяткової системи представляється у вигляді 1111, число 12 – у вигляді 1111111111 і т. д. Система проста і легко реалізується (вона використовується, зокрема, для запису заданої кількості імпульсів на магнітних стрічках, барабанах), але дуже громізка. Щоб записати, наприклад, число десяткової системи $3586/10$, потрібно послідовно записати три тисячі п'ятсот вісімдесят шість одиничних символів: 1111... 111...1111.

Інші позиційні системи числення. За принципом десяткової системи будують всі інші позиційні системи числення. У восьмеричній системі використовують вісім цифр і поліном будують на підставовці $m = 8$, у п'ятиричній $m = 5$, у чотириричній $m = 4$ і т. д. Якщо підстановка системи числення (табл. 8.1) [14] більше десяти, то приходиться конструювати нові цифри. Так, в обчислювальній техніці застосовують шістнадцятиричну систему числення з абеткою (0, 1, 2, ..., 9, $\bar{0}$, $\bar{1}$, $\bar{2}$, $\bar{3}$, $\bar{4}$, $\bar{5}$) чи (0, 1, 2, ..., 9, a , b , c , d , e , f). Наявність ризику над цифрою свідчить про те, що чисельне значення символу дорівнює чисельному значенню даної цифри плюс десять [14].

Двійкова система числення. У двійковій системі числення з підставкою $m = 2$ використовують два символи – цифри 1 і 0. Довільне число

є процес мислення людини) і «функціональний» (відтворення кінцевих результатів).

Ступінь розумності, інтелектуальності систем штучного інтелекту, як правило, оцінюється в порівнянні з поведінкою людини у відповідних ситуаціях. Звідси – наполегливі зусилля моделювати такі види діяльності людини, як розпізнавання, формування понять, міркувань, прийняття рішень, прогнозування, адаптація, творчість і т. п.

Досягнуто визначних успіхів у вирішенні таких задач, як знаходження доказів теорем у математиці, підготовка й прийняття рішень в ігрових ситуаціях. Розроблена ще в 1980 році програма, яка дає поради для ендшпільної стадії шахової партії, забезпечує машинну реалізацію гри на рівні майстра в нестандартних ендшпілях. Здійснюється машинний переклад з однієї мови на іншу, сканування, аналітичні перетворення формул, проектування технічних систем (у тому числі ЕОМ). Створено діалогові системи спілкування з ЕОМ «голосом» і на їх основі – системи навчання.

Виходячи з цього, що штучний інтелект можна розглядати як природний еволюційний спадкоємець кібернетики, який поглинув усі її проблеми і породив свої специфічні питання про концептуально-методологічні напрямки розвитку штучного інтелекту як науково-дослідного процесу, який здобуває принциповий характер і багато в чому визначає його теперішній і майбутній розвиток [29].

16.2. Людський розум, особистість і ЕОМ

Спроби розв'язання накопичених проблем за допомогою переходу до суперкомп'ютерів або багатопроцесорних обчислювальних систем не дали ефективного принципового рішення виникаючих труднощів забезпечення реальних процесів. Питання про створення сучасних комп'ютерних засобів нових поколінь виникає, як і колись, і проявляється з новою силою.

Існуючі комп'ютери на основі електричних струмів і оптичних волокон із швидкістю до 10^{12} операцій на секунду не дозволяють розв'язувати задачі з області фізики, аеродинаміки й руху, які вимагають виконання 10^{13} операцій на секунду. Суперкомп'ютер зі швидкістю в 100 Мфлоп (1 мегафлоп = 1 мільйон арифметичних операцій у секунду) вирішував би цю задачу приблизно протягом 28 годин, а комп'ютеру SX-2 (зі швидкістю 1000 Мфлоп) для цього треба було б майже три години [29 – 33].

Суперкомп'ютер Blue Gene/L компанії IBM показав швидкість обчислень 135 – 350 трильйонів операцій у секунду. Він містить близько 130 тисяч процесорів. Другий у світі за швидкістю обчислень – комп'ютер

РОЗДІЛ III

ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ І ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ

Глава 16. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

16.1. Стан проблеми.

16.2. Людський розум, особистість і ЕОМ.

16.3. Свідомість і інтелект людини. Штучний інтелект і штучна свідомість.

16.4. Властивості й характеристики створених штучних нейронних мереж.

16.1. Стан проблеми

Останнім часом стало ясно, що багато проблем (транспортні, робототехнічні й самокеровані системи), які непосильні для вирішення звичайними методами кібернетики, без особливої напруги вирішуються людиною, яка використовує для цієї мети свій інтелект. Це привело до появи нового напрямку в науці, тому що однією з класичних задач кібернетики є моделювання й синтез інтелекту людини. Штучний інтелект – це: 1) штучна система, яка імітує вирішення людиною складних задач у процесі його життєдіяльності; 2) напрямок наукових досліджень, що супроводжують і зумовлюють створення систем штучного інтелекту.

Дослідження в області штучного інтелекту ведуться вже більш 40 років і знаходяться на стику багатьох наукових дисциплін. У його рамках тісно переплітаються методи, характерні для дискретної математики й психології, математичної логіки й лінгвістики, теорії автоматів і біології, обчислювальної техніки і технічних керованих систем. Штучний інтелект сьогодні вже може бути названо наукою, науковим напрямком у кібернетичі зі своїм специфічним предметом: пізнавальна діяльність людини та її імітація в технічних системах, які вирішують визначений набір практичних задач, що традиційно вважалися інтелектуальними.

Сама постановка проблеми і перші, поки що невеликі, успіхи в області штучного інтелекту безпосередньо пов'язані з розвитком і вдосконалюванням ЕОМ і систем, котрі володіють органами почуттів – рецепторами, здатними сприймати навколишній світ, і органами, за допомогою яких вони можуть впливати на цей світ.

Виділяють два принципово різні напрямки в розробці систем штучного інтелекту: «імітаційний» (відтворення шляхів, за якими відбуваєть-

у двійковій системі записується поліномом, коефіцієнти якого a_i можуть мати тільки одне з двох значень (0 чи 1).

Таблиця 8.1

Зображення десяткових чисел у системах числення з різною підстановкою

Десяткове число	Система з підстановкою				Двійково-десяткова система (код 8421)	
	2	3	8	16		
0	0	0	0	0	0000	
1	1	1	1	1	0001	
2	10	2	2	2	0010	
3	11	10	3	3	0011	
4	100	11	4	4	0100	
5	101	12	5	5	0101	
6	110	20	6	6	0110	
7	111	21	7	7	0111	
8	1000	22	10	8	1000	
9	1001	100	11	9	1001	
10	1010	101	12	$\bar{0}$	0001	0000
11	1011	102	13	$\bar{1}$	0001	0001
12	1100	110	14	$\bar{2}$	0001	0010
13	1101	111	15	$\bar{3}$	0001	0011
14	1110	112	16	$\bar{4}$	0001	0100
15	1111	120	17	$\bar{5}$	0001	0101
16	10000	121	20	10	0001	0110
17	10001	122	21	11	0001	0111
18	10010	200	22	12	0001	1000
19	10011	201	23	13	0001	1001
20	10100	202	24	14	0010	0000

Наприклад, десяткове число $69,5/_{10}$ у двійковій системі може бути представлено поліномом

$$(1 \cdot 2^6) + (0 \cdot 2^5) + (0 \cdot 2^4) + (0 \cdot 2^3) + (1 \cdot 2^2) + (0 \cdot 2^1) + (1 \cdot 2^0) + (1 \cdot 2^{-1}) = \\ = 1 \cdot 64 + 0 \cdot 32 + 0 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0,5 = 69,5/_{10},$$

тобто числом $1000101/_{2}$. Як бачимо, вага кожного двійкового розряду (у десяткових одиницях) буде $64 - 32 - 16 - 8 - 4 - 2 - 1 - 1/2$.

Вказуючи в кожному двійковому розряді коефіцієнт, рівний 1 чи 0, можна скласти (за ємністю одиниць) задане десяткове число (у даному прикладі $64 + 4 + 1 + 0,5$). Тому коефіцієнт 1 має бути проставлено у першому, третьому, сьомому розрядах і в першому розряді після коми, а коефіцієнт 0 – у другому, четвертому, п'ятому й шостому. Укажемо, що для цілих чисел першим є перший розряд ліворуч від коми, а для дробових – перший правий від коми.

Якщо взяти до відома ваги двійкових розрядів, то можна дуже просто записати і всі десяткові числа в чотирьох двійкових розрядах: 0 – 0000; 1 – 0001; 2 – 0010; 3 – 0011; 4 – 0100; 5 – 0101; 6 – 0110; 7 – 0111; 8 – 1000; 9 – 1001.

Двійкова система дозволяє використовувати прилади й пристрої з двома стійкими станами, забезпечує простоту виконання арифметичних операцій і економічність, тому широко використовується в обчислювальній техніці й автоматичі. Часто цю систему називають «система HI».

При необхідності у двійковій системі можна представити число, записане в будь-якій іншій системі. Також досить простий переклад чисел з однієї системи в іншу [14].

Двійково-кодовані системи числення. Деяка незручність двійкової системи числення полягає в громіздкості запису й чисел. Кількість цифр двійкового зображення (одиниць і нулів) числа приблизно у 13,3 рази більше кількості цифр у десятковому зображенні того ж числа. Тому в техніці найбільш часто використовують змішані системи числення, зокрема двійково-восьмеричну, двійково-шістнадцятиричну і двійково-десяткову. У цих системах поєднуються переваги двох систем: ємність (восьмеричної, шістнадцятиричної чи десяткової систем) і двійкове зображення цифр двійкової системи.

У двійково-десятковій системі кожна цифра десяткового числа (0, 1, 2, ..., 9) записується двійковим кодом. Для цього досить чотирьох двійкових розрядів – тетрадів (рис. 8.1) [14]. Якщо в системі використовується нормальне значення (вага) кожного розряду двійкової системи, то значущість розрядів у тетраді (починаючи зі старшого лівого) складе $2^3 - 2^2 - 2^1 - 2^0$, чи 8421. Відповідно до цього десяткові цифри будуть мати двійковий код: 1 – 0001, 2 – 0010, ..., 9 – 1001 (див. табл. 8.1). Для запису будь-якого десяткового числа (більш 9) на кожен розряд десяткового числа виділяється тетрада.

Таким чином, двійково-десятковий код є, власне кажучи, десятковим і двійковим за формою представлення цифр. У практиці найбільш часто десяткові цифри у двійково-десятковому коді записують на перфострічці рядками, визначивши для кожного з рядків визначений десятковий розряд (рис. 8.1, в).

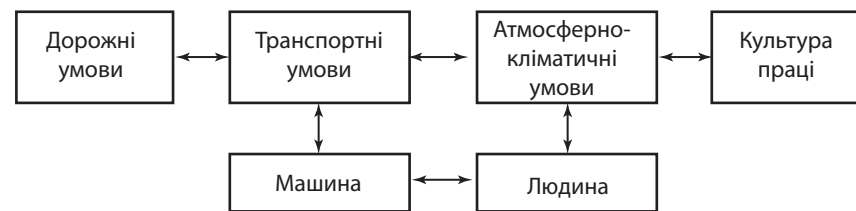


Рис. 15.3. Схема взаємодії системи «машина-людина» з елементами умов експлуатації

Залежно від умов роботи змінюються основні техніко-економічні показники функціонування машини й людини. Вони досягають найбільших значень у сприятливих умовах і найменших – у важких. Система у процесі функціонування тим або іншим способом пристосовується (адаптується) до різних умов роботи, змінюючи свої експлуатаційні властивості. Наприклад, на дорогах із великою кількістю нерівностей з метою зниження небезпечних динамічних навантажень водій зменшує швидкість руху, на важких ділянках – включає понижені передачі. За допомогою водія машина може «пристосовуватися» до зміни температури навколишнього повітря шляхом утеплення кабіни й двигуна або більш інтенсивного їх охолодження й застосування спеціальних автоексплуатаційних матеріалів.

При навчанні у водіїв формуються водійські навички, які базуються на створенні в корі головного мозку спеціальної функціональної системи моделювання предметів зовнішнього світу. Мозок людини здійснює безперервне моделювання й підстроювання координації руху до безупинно мінливої шляхово-транспортної обстановки. Для розвитку водійських навичок можна широко використовувати різні тренажери, які імітують умови й режими роботи автомобілів.

Контрольні питання і завдання

1. Охарактеризуйте роль людини-водія в системі «людина – машина – середовище».
2. Назвіть особисті якості «людини-водія», «людини-оператора» і форми навчання, які спричиняють підвищення якості управління складними технічними системами й автомобілем.
3. Яка роль людини в системі «автомобіль – водій – умови експлуатації»?
4. Поясніть, як формуються здібності людини-водія швидко й оптимально будувати алгоритми вирішення конкретних задач пристосування автомобіля до експлуатаційних умов і виходу з аварійних ситуацій?

зультаті водій має можливість безперервно контролювати й аналізувати результати своєї роботи і вносити необхідні корективи в управління автомобілем. Другий контур (К-2) забезпечує контроль за роботою даного автомобіля з боку диспетчера. Диспетчер може об'єктивно оцінювати якість роботи водія (системи) і вживати відповідних заходів з наближення фактичних показників до їх номінальних значень. Нарешті, СКУ може бути використано як датчик системи централізованого диспетчерського управління (СЦДУ) із телеметричним зв'язком між виходом СКУ і входом СЦДУ. Це третій контур (К-3) регулювання продуктивності всіх автомобілів. Інформація, що надходить на СЦДУ, потім відповідним чином обробляється за допомогою інформаційно-обчислювального центра (ІОЦ).

15.4. Інтелект, досвід і судження людини в управлінні автомобілем

Розмаїття умов експлуатації різних транспортних машин, які змінюються у просторі і часі, істотно впливає на ефективність роботи машин. Система «машина-людина» виявляє свої властивості у процесі взаємодії з зовнішнім середовищем (див. рис. 15.1). Машину не можна ізолювати від умов експлуатації і від робочих процесів, що протікають у її агрегатах. Дорожньо-транспортна пригода багато в чому залежить від здатності людини оцінювати технічний стан машини і реагувати на несподівані ситуації.

Людина, на відміну від автоматизованої системи управління машиною, не просто реалізує програми, що зберігаються в її пам'яті, а генерує їх. Вона здатна сформулювати в собі алгоритм проїзду пішого переходу або виходу з аварійної ситуації у потоці транспорту, тому що в нього є якийсь супермеханізм, деяка глибинна структура, якій під силу це зробити. Ця структура є основа інтелекту, що базується на метазнаннях. Інтелект – це сукупність універсальних процедур, яка дозволяє будувати конкретні алгоритми розв'язання окремих задач на свідомому рівні. Необхідна саме така сукупність процедур, які можуть виконуватися людиною в системі «людина – машина – середовище» паралельно, а значить – швидко й оптимально.

На рис. 15.3 [1] представлено схему взаємодії системи «машина – людина» з окремими елементами умов експлуатації. Як видно зі схеми, існують тісні взаємозв'язки елементів умов експлуатації й системи «машина – людина».

Розмежування середовища й системи є трохи суб'єктивним і визначається умовами розв'язуваної задачі. Ефективність функціонування системи машина-людина насамперед залежить від фізіологічних можливостей людини і технічних даних машини, ступеня їх протидії негативним впливам зовнішнього середовища.

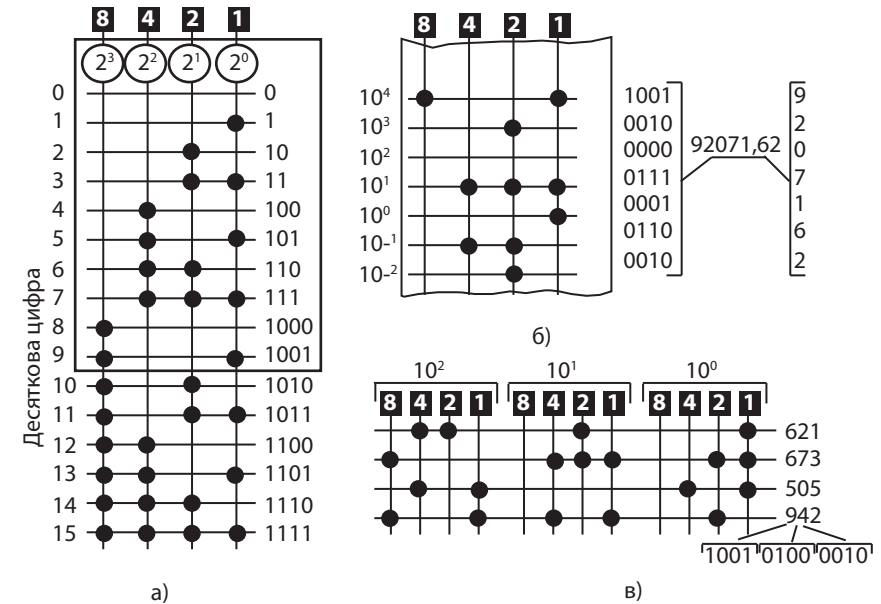


Рис. 8.1. Двійково-кодовані системи числення в представленні на перфострічці:

а) – код 8421; б), в) – представлення десятикових чисел у коді 8421

Двійково-десяткову систему із зазначеною вище вагою розрядів називають двійково-десятковим зваженим кодом 8421. Код цей дуже зручний, але має недолік: з його допомогою може бути утворено не тільки цифри від 0 до 9, але і числа від 10 до 15, що не завжди використовуються, і їх приходить виключати.

Розроблено значне число кодів з іншими наборами ваг за розрядами: 2421; 5211, 7421 і т. д. Є також коди, у яких деякі розряди мають від'ємне значення ваги: (6) (4) (-2) (-1); (7) (2) (-4) (-1) та ін. [14].

8.3. Способи представлення кодів

Існують загальні універсальні способи представлення кодів, які можуть бути реалізовані для опису широких класів кодів, у вигляді [10, 14]: 1) таблиць кодових комбінацій; 2) кодового дерева; 3) геометричної моделі; 4) матриці.

Перший спосіб – представлення коду у вигляді таблиці всіх його комбінацій. Наприклад, п'ятиелементний двійковий блоковий код із постійною вагою, у кожній комбінації якого містяться три одиниці, задається так:

Номер кодової комбінації	Комбінація двоїчного блокового коду з вагою 3
1	00111
2	01011
3	01101
4	01110
5	10011
6	10101
7	10110
8	11001
9	11010
10	11100

Цей спосіб застосовується для представлення будь-яких блокових кодів, але його не може бути використано для безперервних кодів.

Другий спосіб представлення кодів – зображення комбінацій коду у вигляді кодового дерева, якщо комбінації розміщуються в його вузлах. Під кодовим деревом слід розуміти графічний образ, що складається з точок і ліній, які розходяться від них і також закінчуються точками. Останні будемо називати вузлами, а лінії, які їх з'єднують, – ребрами. Перший вузол, від якого починається роз'єднання ребер, називається коренем дерева, а кількість ребер, яку треба пройти від кореня до будь-якого вузла, – рівнем, чи порядком, цього вузла.

Максимальна кількість вузлів, що зустрічається під час руху вздовж кодового дерева в напрямку від кореня до вершини, визначає висоту h кодового дерева. Вона дорівнює максимальній довжині комбінації коду, побудованого за допомогою цього дерева.

Вузли кодового дерева розташовуються на різних рівнях. Кожен рівень дерева рівномірного коду може мати q' вузлів, де q – основа коду, i – номер рівня ($i = 1, 2, \dots, n$, тут n – довжина коду). Для рівномірного двійкового простого коду кількість вузлів на останньому рівні n дорівнює кількості N комбінацій коду, тобто $2^n = N$.

Вузли, які не з'єднуються з наступними рівнями, називаються кінцевими, вони відповідають комбінаціям коду.

Основою коду обмежується максимальна кількість ребер, що може виходити з кожного вузла дерева, а максимальною довжиною кодової комбінації – максимальна кількість рівнів кодового дерева. Кожному вузлу приписуються значення розрядів комбінації, які відповідають напрямкам руху вздовж ребер від кореня дерева до вузла. Ребра, що йдуть від кореня до

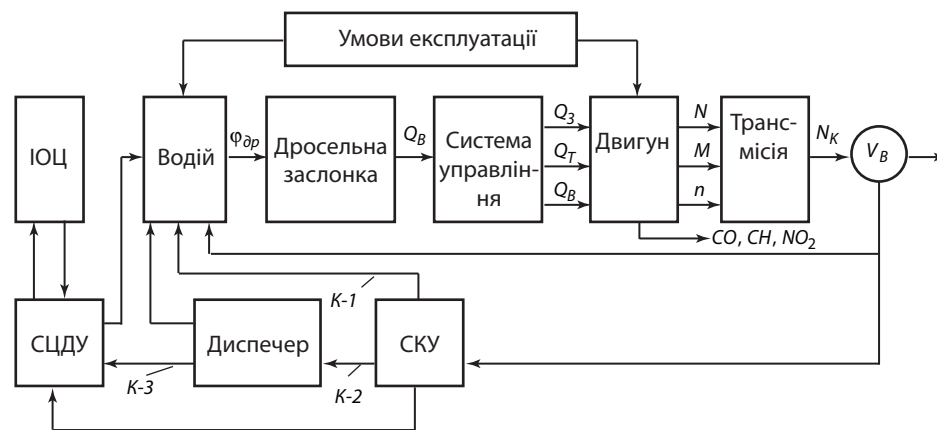


Рис. 15.2. Схема управління системою «автомобіль-водій-умови експлуатації-контроль (облік)»:

$\Phi_{др}$ – кут відкриття дросельної заслінки; Q_3 – кут установки запалювання; Q_T – витрата палива; Q_B – витрата повітря; N, M, n – потужність, крутячий момент, частота обертання колінвалу; N_k – потужність на колесах; V_a – швидкість руху автомобіля; СКУ – бортова система контролю й обліку; СЦДУ – система централізованого диспетчерського управління; К-1, К-2, К-3 – контури управління

Умови експлуатації: дорожні, транспортні, атмосферно-кліматичні (див. рис. 15.1) чинять відповідні впливи на водія й автомобіль. В остаточному підсумку ці впливи приводять до зміни середніх технічних швидкостей V_a , що реєструє водій, бортова система контролю й обліку (СКО) і система централізованого диспетчерського управління (СЦДУ) з інформаційно-обчислювальним центром (ІОЦ).

При створенні та впровадженні автоматизованих систем контролю, обліку й управління рухомим складом необхідно починати з розробки конструкції бортових приладів для контролю й обліку основних параметрів роботи системи «автомобіль-водій-умови експлуатації» [1]. Наявність бортової системи контролю й обліку (СКУ), яка несе інформацію про дійсні показники роботи, дозволить поліпшити якість управління і в остаточному підсумку підвищити вихідну характеристику системи (швидкість, продуктивність).

Застосування спеціальних приладів для контролю й обліку основних параметрів роботи системи створює три контури регулювання продуктивності (рис. 15.2). Перший контур (К-1) забезпечує візуальний зв'язок між водієм і вихідними параметрами (виходом СКУ), що реєструються. У ре-

ти управлінські команди, здійснювати контроль справності елементів системи, програмувати роботу системи і бути виконавцем команд. Багатоплановість сприйняття й передачі інформації людиною, її способи діяти в різних системах управління вигідно відрізняють людину від автоматів.

При управлінні автомобілем, що рухається, у мозку людини безупинно будуються різні інформаційні моделі дорожньої ситуації. Аналізуючи протягом короткого проміжку часу ці моделі, водій, випереджаючи події, приймає те або інше рішення, наприклад, почати поступове зниження швидкості або негайне гальмування з появою на проїжджій частині дороги пішохода. Якщо водій, проаналізувавши в динаміці виниклу ситуацію (модель), вважає, що пішохід і автомобіль не зіштовхнуться, він не змінює режим руху автомобіля. У протилежному випадку він змушений вживати термінових заходів для попередження можливого зіткнення. Водій при русі автомобіля має утримувати у полі свого сприйняття дорогу і прилягаючий до неї простір, контролювати показання щиткових приладів, координувати роботу рук і ніг при управлінні автомобілем, на слух визначати справність роботи агрегатів [1].

Але людині-оператору властиві й істотні недоліки: мала пропускна здатність, швидке наставання стомлюваності, здатність відволікатися й забувати та ін. При тривалій роботі водія знижується його працездатність, водій стомлюється, при цьому з'являються помилки в його діях, зменшується швидкість руху. У результаті стомлення знижується пильність водія. Пильність звичайно коливається у визначених межах протягом робочого часу і значно падає в кінці робочого дня. Між стомлюваністю, зниженням пильності водія й безпекою руху існують визначені зв'язки. Різні людські переживання, негативні емоції, життєві конфлікти й інші психологічні явища також ведуть до виникнення аварій. У зв'язку з цим виникає необхідність автоматизації ряду функцій людини-водія.

15.3. Керовані системи «автомобіль – водій – умови експлуатації»

Проектувальники автомобілів приділяють велику увагу удосконалюванню системи управління транспортними машинами. Приклади розробки систем управління рухом автомобіля на дорозі наведено у главі 13, електронних систем управління агрегатами (підсистемами) автомобілів – у главі 7.

Для уточнення задач, пов'язаних із розробкою теоретичних передумов побудови системи автоматизованого контролю й урахування показників функціонування транспортних систем у реальних умовах експлуатації, необхідно розглянути схему управління, представлену на рис. 15.2 [1].

вузлів першого рівня, визначають значення першого ліворуч розряду кодової комбінації, а ті, що з'єднують вузли першого й другого рівнів, – значення другого ліворуч розряду і т. д. На рис. 8.2 [11] наведено приклади кодових дерев: рівномірного двоелементного двійкового (рис. 8.2, а), двоелементного трійкового (рис. 8.2, б), триелементного двійкового (рис. 8.2, в) і нерівномірного двійкового (рис. 8.2, г). Цей спосіб застосовується для зображення як блокових, так і безперервних кодів.

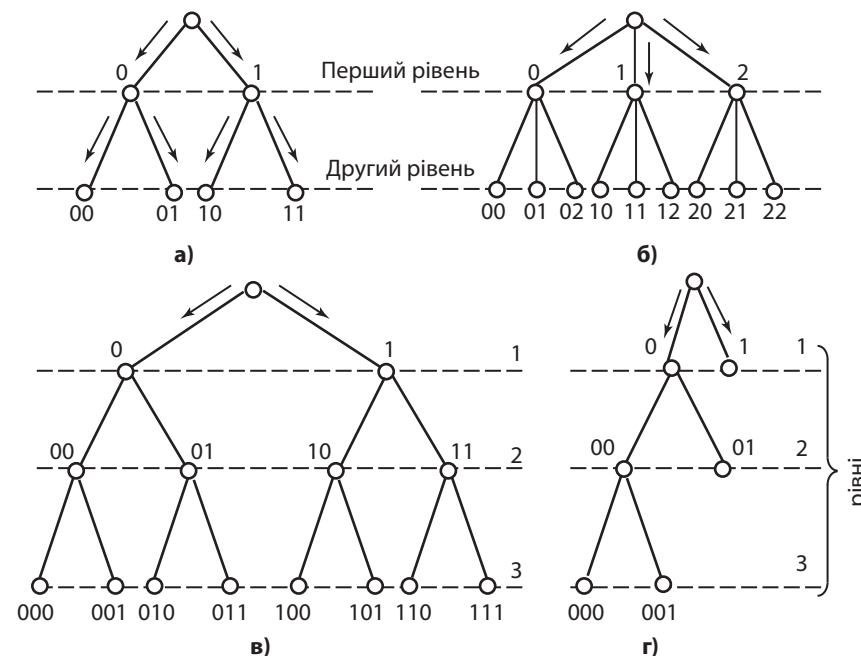


Рис. 8.2. Кодове дерево

За допомогою кодових дерев легко зобразити префіксні коди, які мають властивості префікса і можуть бути утворені послідовним викреслюванням останнього розряду кодової комбінації, причому жодна з комбінацій даного префіксного коду не може бути префіксом його комбінації. Наприклад, префіксами кодової комбінації 10111001 будуть 1, 10, 101, 1011, 10111, 101110, 1011100, 10111001, тобто для однозначного її декодування жодна з комбінацій цього коду не повинна мати перераховані вище комбінації.

Та частина, що доповнює префіксний код до повної кодової комбінації, утворює суфікс, тобто кожна кодова комбінація складається з префікса й суфікса.

Префіксні коди можна утворити за допомогою кодового дерева, у якого немає вершини і будь-який його кінцевий вузол відповідає комбінації префіксного коду.

Третій спосіб представлення кодів – зображення комбінацій коду точками дискретного n -вимірного векторного простору. Так, кожен комбінацію рівномірного блокового коду (з основою q і довжиною n) $V = (V_n, V_{n-1}, \dots, V_2, V_1)$ можна розглядати як вектор чи точку деякого n -вимірного векторного простору з координатами $V_n, V_{n-1}, \dots, V_2, V_1, \dots$. Якщо значення q скінченне, а будь-яка координата вектора є цілим додатним числом від 0 до $q - 1$, то зазначений код можна розглядати як дискретний n -вимірний простір, що складається з $N = q^n$ точок, які відповідають кінцям усіх можливих векторів [11, 14].

Цей n -вимірний простір має назву кодового. Кількість просторових вимірів кодового простору для коду з будь-якою основою дорівнює довжині n коду, а кількість градацій по кожній з осей (напрямків виміру) визначається основою коду і складає $q - 1$.

Якщо для дискретного n -вимірного простору, що тут розглядається, ввести поняття кодової відстані d між точками V_i і V_j , то отримаємо

$$d(V_i, V_j) = \sum_{k=1}^n (V_{ki} - V_{kj}). \quad (8.1)$$

Цілком природно, що для простору з відстанню (8.1), як і для будь-якого іншого кодового простору, $d(V_i, V_j) = d(V_j, V_i)$.

Одним з основних параметрів коду з довільною основою q , яка визначає його перешкодостійкість, є мінімальна кодова відстань d_{\min} . На відміну від кодової відстані d , яка визначає кількість станів, що повинні пройти якісні ознаки кодової комбінації, мінімальна кодова відстань характеризує не дві окремо взяті комбінації, а код у цілому, і визначається мінімальною кількістю якісних ознак, за якими відрізняються одна від одної будь-яка пара комбінацій цього коду.

Для визначення кодової відстані між комбінаціями коду з основою q треба виконати їх порозрядне віднімання за модулем q . Кодова відстань дорівнює вазі комбінації, що складається з різниці значень комбінацій, між якими визначається ця відстань.

З'єднавши кожен точку розглянутого простору прямими лініями з усіма точками, віддаленими на відстань $d(V_i, V_j) = 1$, одержимо геометричну фігуру мережної структури. Цю фігуру називають геометричною моделлю n -елементного q -коду.

(рис. 15.1). Разом із тим дослідження психологів показали, що одночасне урахування більш десяти суперечливих факторів викликає у людини істотні утруднення у виробленні рішення. Тим більше, що час, необхідний для ухвалення рішення, неухильно зменшується. Виникає необхідність розробки систем автоматичного управління транспортними машинами з використанням сучасних електронних систем.

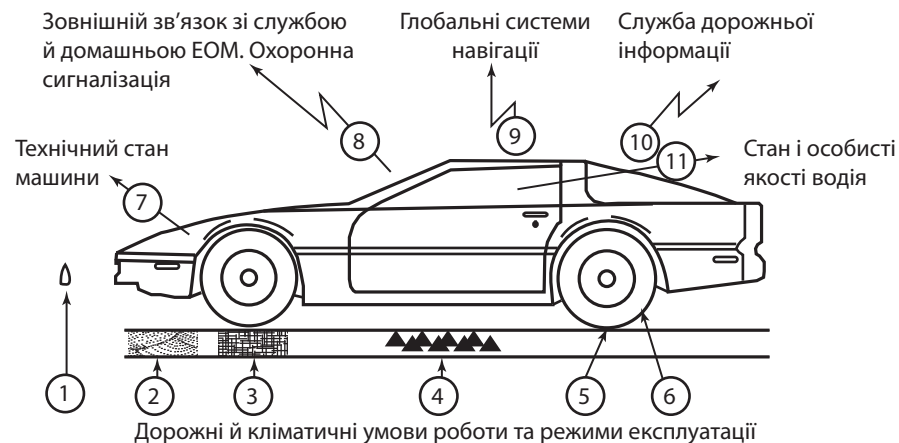


Рис. 15.1. Схема системи «людина-машина-умови експлуатації»:

- 1 – погодні умови; 2 – дорожнє покриття; 3 – раптова зміна дорожнього покриття;
- 4 – стан дорожнього покриття; 5 – вага автомобіля й колеса при ковзанні;
- 6 – стан шини; 7 – технічний стан автомобіля, оснащеного і не оснащеного АБС;
- 8...11 – бортові системи зовнішнього зв'язку і технічного стану автомобіля

15.2. Людина-водій як ланка складної кібернетичної системи «людина – машина – середовище»

Аналіз великих аварій і катастроф космічних апаратів, електростанцій, надводних кораблів і підводних човнів, авіаційних й автомобільних катастроф в останню чверть ХХ століття показав, що відбулися вони безпосередньо або побічно з вини людини. Це у черговий раз звертає увагу суспільства на проблему людського фактора. Основною якістю оператора в системі «людина – машина – середовище», є його інтелект, навченість, дисциплінованість фахівців при управлінні складними технічними системами.

Проектування, виробництво, експлуатація й обслуговування транспортних машин – це наука про комплекс «людина – машина – середовище», у якому людина бере участь як об'єкт управління і керуюча ланка. Людина, яка є елементом ергатичної системи, стає приймачем і ретранслятором інформації, вона зобов'язана аналізувати й приймати рішення, виробля-

Глава 15. КІБЕРНЕТИЧНА СИСТЕМА «ЛЮДИНА – МАШИНА – СЕРЕДОВИЩЕ»

15.1. Задачі й основні ознаки системи.

15.2. Людина-водій як ланка складної кібернетичної системи «людина – машина – середовище».

15.3. Керовані системи «автомобіль – водій – умови експлуатації».

15.4. Інтелект, досвід і судження людини в управлінні автомобілем.

15.1. Задачі й основні ознаки системи

Найважливішими задачами технічної кібернетики на транспорті є розробка методів оптимального управління рухом автомобілів для зниження кількості дорожніх подій і аварій, підвищення комфортності, ефективності використання транспорту (підвищення продуктивності, зниження зносу агрегатів, витрати палива та ін.). Відомо, що при одній і тій же середній швидкості руху витрата палива коливається в межах $\pm 5...20\%$ і сильно залежить від режиму руху, навантаження й умов експлуатації. При впровадженні алгоритмів оптимального управління транспортними засобами можна домогтися високої економічної ефективності. На залізничному транспорті ефективність досягає $25...30\%$, на автомобільному і річковому – $7...10\%$, на авіаційному – $6...8\%$.

Важлива роль в управлінні й підвищенні ефективності роботи транспортних машин належить водію. Від нього залежить середня технічна швидкість і режим руху. Кваліфіковані водії зменшують інтенсивність зносу агрегатів в умовах експлуатації і роблять менше дорожньо-транспортних пригод.

Система «людина – машина – середовище» являє собою надзвичайно складну велику систему. Це не просто складна система з управління, а тріада – у сенсі взаємодії технічних, біологічних властивостей і прояв інтелектуальних якостей людини.

Управління в системі «людина-машина-середовище» з кожним роком стає усе більш складним і важким. Ускладнилися автомобільні поїзди, зросли швидкості руху, щільність транспортного потоку та ін. Ухвалення правильного рішення при управлінні автомобілем вимагає урахування величезної кількості факторів, переробки гігантського обсягу інформації

Точки дискретного простору, які містить ця геометрична фігура, називаються її вершинами, а лінії, що їх з'єднують, – ребрами.

На рис. 8.3 [11] зображено геометричні моделі деяких кодів. Моделлю будь-якого двозначного набору якісних ознак (двоелементного коду) є фігура двовимірного простору – квадрат (рис. 8.3, а) чи фігура, що складається з квадратів (рис. 8.3, б, д), моделлю будь-якого тризначного набору якісних ознак (триелементного коду) – фігура тривимірного простору – куб (рис. 8.3, в) чи фігура, що складається з кубів (рис. 8.3, г, е).

Побудова моделі чотиризначного набору якісних ознак (чотирихелементного коду), тобто фігури чотирихвимерного простору, можлива, якщо тривимірний куб чи кожну з його вершин змістити в новому напрямку. Взагалі в цьому випадку n -вимірний куб повинен мати $2n$ вершин, $n \cdot 2^{n-1}$ ребер, $n(n-1) \cdot 2^{n-3}$ граней, а найвіддаленіша від визначеної його вершини точка може знаходитися на відстані n ребер.

Розглянемо більш докладно властивості, що впливають із геометричної фігури, що є моделлю n -елементного двійкового коду й одержала назву n -вимірного куба. Відстань між будь-якими його вершинами, тобто між двома кодовими комбінаціями відповідно до (8.1), можна визначити як кількість розрядів, на які вони розрізняються. Так, відстань між комбінаціями 010 і 100 дорівнює двом, оскільки вони розрізняються елементами у двох розрядах – першому й другому.

Відмінність елементів однойменних розрядів комбінацій двійкового коду легко визначити, застосувавши до них операцію додавання за модулем 2. Як відомо, результат такого додавання тільки тоді дорівнює 1, коли числа, що складаються, розрізняються. З урахуванням цього відстань між будь-якими двома комбінаціями n -елементного двійкового коду (вершинами n -вимірного куба) визначається виразом

$$d(V_i, V_j) = \sum_{k=1}^n (V_{ki} \oplus V_{kj}). \quad (8.2)$$

Відстань між комбінаціями V_i і V_j можна знайти також через кількість одиниць у деякій комбінації V_l (чи через її вагу $w(V_l)$), отримані після додавання за модулем 2 комбінацій V_i і V_j ($V_l = V_i \oplus V_j$):

$$d(V_i, V_j) = w(V_l). \quad (8.3)$$

Зручність геометричної моделі зображення будь-якого коду полягає в тому, що будь-яка його вершина відповідає одній комбінації коду, а відстань між комбінаціями V_i і V_j відповідно до (8.1) дорівнює кількості ребер, яку треба пройти найкоротшим шляхом із вершини V_i до вершини V_j .

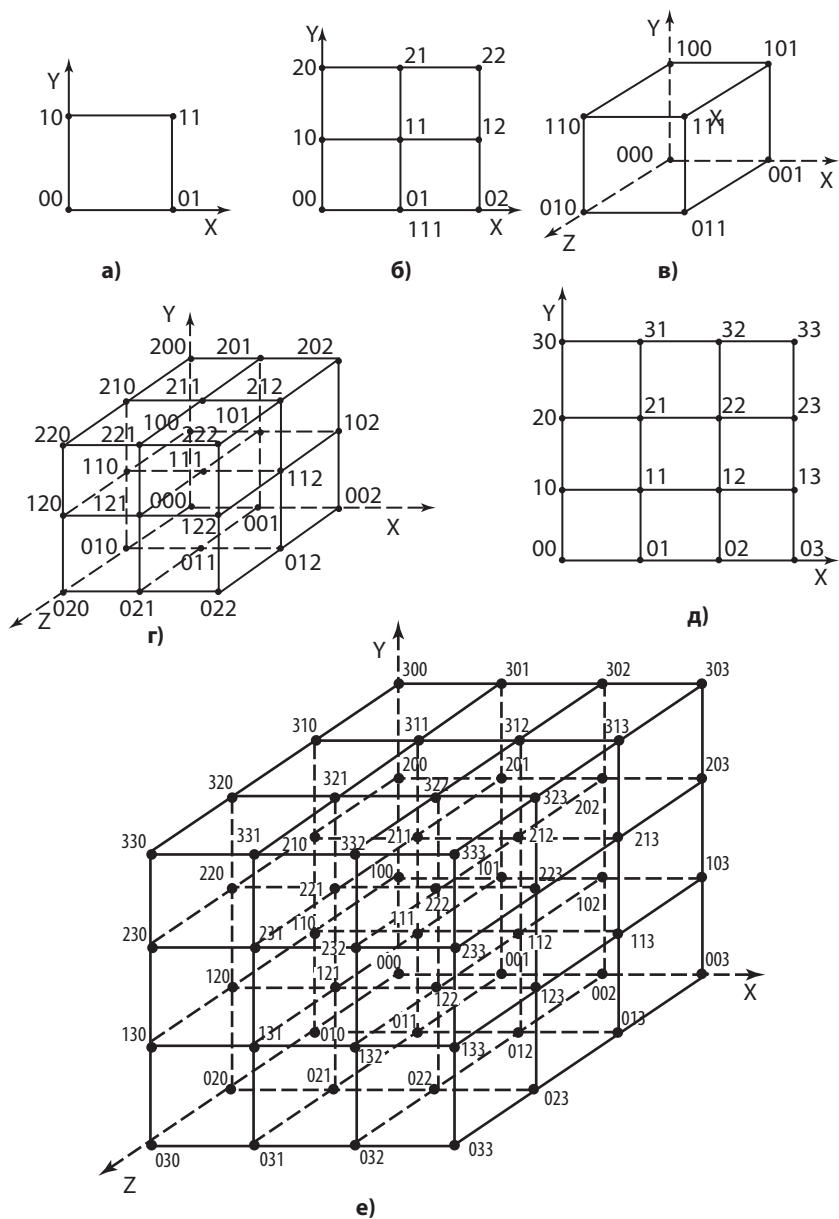


Рис. 8.3. Геометричні моделі кодів

Контрольні питання і завдання

1. Які цілі застосування автоматичних систем управління виробництвом?
2. Охарактеризуйте систему людина-оператор як об'єкт управління виробництвом.
3. Як обробляється інформація в автоматичних системах управління підприємством?
4. Які види інформаційних технологій використовуються при обробці й збереженні інформації?
5. Які типи автоматичних систем управління існують?
6. Які головні задачі автоматичних систем управління технологічними процесами?
7. Які задачі покладаються на людину в автоматичних системах управління виробництвом?

При раціональному керуванні значення цільової функції поліпшується, а при оптимальному – стає найкращим (мінімальним або максимальним).

Перша й третя групи факторів іноді умовно поєднуються загальним поняттям «умови експлуатації», яке характеризує всі зовнішні для системи умови, які впливають на результат операції, заходу, програми.

Залежно від обсягу й характеру наявної інформації рішення підрозділяються на прийняті в умовах: визначеності; наявності ризику; невизначеності.

В умовах визначеності стан природи відомий, тобто третя група факторів (14.1) відсутня або може прийматися постійною, перетворюючись у першу групу [24].

Коли діють усі три групи факторів, задача вибору рішення формулюється в такий спосіб: при заданих умовах з урахуванням дії невідомих факторів потрібно знайти елементи рішення, які за можливістю забезпечували б одержання екстремального значення цільової функції.

Якщо може бути визначено або оцінено ймовірність появи тих або інших експлуатаційних станів (умов факторів третьої групи), рішення приймається в умовах ризику.

Якщо ймовірність експлуатаційного стану (умов) невідома, то задача вирішується в умовах невизначеності.

У залежності від апарата ухвалення рішення в основному використовуються методи, описані в розділі 2, представлені на рис. 14.12.

В умовах визначеності при ухваленні рішення можливі два підходи.

У стандартних ситуаціях цільова функція в кожному конкретному випадку не будується (передбачається, що її було побудовано при розробці відповідних правил і нормативів), а рішення приймається відповідно до розроблених правил за схемою ідентифікації ситуації з однією зі стандартних; вибір стандартних умов, які відповідають ситуації; ухвалення рішення на основі стандартних правил.

Якщо виробнича ситуація нестандартна, тобто їй немає аналогів у сукупності стандартних рішень (або вони невідомі особам, які приймають рішення), то для умов визначеності задача ухвалення рішення формулюється в такий спосіб. Як визначити елементи рішення (x_m), які забезпечують при заданих умовах (a_n) одержання екстремального (U_{\min} мінімального або U_{\max} максимального) значення цільової функції? В умовах визначеності оптимальне значення цільової функції може бути отримане графічно або аналітично (диференціюванням функції, методами множників Лагранжа, програмуванням, моделюванням і іншими методами).

Недоліком геометричної моделі є те, що при довжині коду $n > 3$ зобразити її у звичайному тривимірному просторі неможливо. Тому вона застосовується лише для рівномірних блокових кодів із метою наочного зображення й полегшення аналізу їх властивостей.

Четвертий спосіб представлення кодів у виді матриці з 2^n рядками і n стовпцями можливий тільки для рівномірних n -елементних двійкових блокових кодів. Якщо матрицею подається сукупність ненульових комбінацій коду, то кількість рядків буде дорівнювати $2^n - 1$ [11, 14].

З урахуванням того, що матриця n -елементного коду складається з $2^n - 1$ комбінацій, записаних у вигляді рядків, особливість такого запису полягає в тому, що додавання за модулем 2 будь-якої кількості рядків цієї матриці приводить до появи дозволеної комбінації коду, у тому числі і нульової. Якщо останню забрати, то одержимо нову матрицю коду, але уже з меншою кількістю рядків. Повторивши аналогічну операцію додавання рядків матриці за модулем 2, можна знову одержати нульову комбінацію коду. Ця операція повторюється доти, доки не буде отримана матриця з лінійно незалежними рядками, додавання яких за модулем 2 уже не приведе до утворення нульової комбінації коду.

Наприклад, щоб побудувати матрицю трьохелементного двійкового простого коду, треба, записавши у вигляді матриці всі $2^n - 1$ комбінації простого коду, крім нульового, послідовно скласти їх за модулем 2, виключаючи щораз ті комбінації, що у сумі з попередніми утворюють нульову комбінацію:

1) 001	2) 001	3) 001	4) 001	5) 001	6) 001	7) 100
010	010	010	010	010	010	010
011	000	100	100	100	100	001
100	100	000	000	000		
101	101	110	111			
110	110	111				
111	111					

Другий стовпчик тут формується так: якщо до третього рядка першого стовпчика додати суму її першого й другого рядків, то утвориться нульова комбінація, яку виключаємо при записі третього стовпчика. Якщо до п'ятого рядка другого стовпчика після цього додати суму її першого й четвертого рядків, то одержимо нульову комбінацію в третьому стовпчику. Цю комбінацію також виключаємо, записуючи четвертий стовпчик, і т. д. Таким чином, відкинувши всі нульові комбінації, будемо мати шостий

стовпчик із кодovими комбінаціями, що містять тільки по одній одиниці. Це і буде матриця даного коду (сьомий стовпчик).

Квадратна матриця, діагональ якої складається з одиниць, а залишок її елементів – нулі, називається одиничною. Якщо рядки такої n -елементної матриці скласти за модулем 2, то підбором їх відповідної комбінації можна одержати всі комбінації n -елементного коду. Тому такі матриці ще називаються визначальними.

Якщо напрямок головної діагоналі матриці проходить справа ліворуч, то матриця називається транспонованою. Для розглянутого коду це буде матриця (шостий стовпчик)

$$\begin{bmatrix} 001 \\ 010 \\ 100 \end{bmatrix}$$

Взагалі визначальна матриця n -елементного коду записується так:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 100 & \dots & 000 \\ 010 & \dots & 000 \\ 001 & \dots & 000 \\ \dots & \dots & \dots \\ 000 & \dots & 100 \\ 000 & \dots & 010 \\ 000 & \dots & 001 \end{bmatrix}}_{n \text{ стовпців}} \left. \vphantom{\begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 001 \\ \dots \\ 000 \\ 000 \\ 000 \end{bmatrix}} \right\} n \text{ рядків}$$

Розглянутий приклад утворення визначальної матриці й отримана одинична матриця можуть бути використані тільки для побудови всіх комбінацій двійкового простого коду з мінімальною кодовою відстанню $d_{\min} = 1$.

Матричний спосіб може бути застосовано також для побудови коректувальних кодів із $d_{\min} > 1$, здатних виявляти й виправляти помилки. При цьому утворююча (породна) матриця складається з двох підматриць – уже відомої одиничної (інформаційної) і додаткової (перевірочної).

За допомогою інформаційної одиничної підматриці E_k утворюють інформаційну частину кодової комбінації коректувального коду, який складається з k інформаційних елементів і визначає розмір підматриці ($k \times k$), який відповідає розмірам визначальної квадратної матриці двійкового

пробігу автомобіль направляється на відповідний вид ТО (Положення про ТО й ремонт) і ін.

В інженерно-технічній службі 80 – 85% усіх рішень (у інженера АТП – 80 – 83%, у головного інженера – 45 – 55%) припадає на подібні повторювані виробничі ситуації. Рішення при цьому приймаються за такою схемою: аналіз ринкової або виробничої ситуації → її ідентифікація з однією зі стандартних → ухвалення рішення за правилами або за аналогією зі стандартним.

Знання й використання стандартних правил і вимог нормативних документів дозволяє: скорочувати час на ухвалення рішення; зменшити ймовірність прийняття помилкових рішень; вивільнити час для прийняття нестандартних, нових або складних інженерних і виробничих рішень, які вимагають збирання інформації, її аналізу, розрахунків, об'єднаних поняттям «дослідження операцій».

Операція – це конкретна дія (захід, програма), спрямована на досягнення системою поставлених цілей. Кожна операція оцінюється ефективністю – внеском у досягнення мети при її виконанні.

У загальному випадку показник ефективності або цільова функція може залежати від трьох груп факторів (або підсистем) [24]:

$$ЦП = U = U(I, II, III) = U(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, x_1, x_2, x_3, \dots, x_m, z_1, z_2, z_3, \dots, z_k). \quad (14.1)$$

Перша група факторів ($a_1 \dots a_n$) характеризує умови виконання операції, які задані і їх не може бути змінено в ході її виконання. Для конкретного АТП це: кліматичні умови району розташування підприємства, які впливають на надійність парку; дорожні умови обслуговуваного регіону, які впливають на надійність і продуктивність автомобілів і ін.

Друга група факторів ($x_1 \dots x_m$), яка іноді називається «елементами рішення», може мінятися при керуванні, впливаючи на цільову функцію. Ці керовані фактори обираються з дерева систем технічної експлуатації автомобіля [24, 25]. Приклади другої групи факторів: якість ТО й ТР, кваліфікація персоналу, рівні механізації й ін.

Третя група факторів – заздалегідь невідомі умови ($z_1 \dots z_k$), вплив яких на ефективність системи невідомий або вивчений недостатньо. Наприклад, конкретні погодні умови «на завтра»; кількість вимог на ТР протягом наступної зміни, яка визначає простій автомобілів у ремонті, завантаження постів і персоналу; психофізіологічний стан водія, який впливає на безпеку руху й експлуатаційну надійність автомобіля й ін.

При цьому функція F_p має бути безперервною і диференційовною, а функціональний визначник системи – відмінний від нуля:

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{vmatrix} \neq 0. \quad (8.6)$$

Задача значно спрощується, якщо вихідне рівняння розглядати у вигляді системи лінійних рівнянь із невеликим числом параметрів x і y :

$$\begin{aligned} y_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3; \\ y_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3; \\ y_3 &= a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3. \end{aligned} \quad (8.7)$$

Якщо визначник $(a_{11}a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} + a_{21}a_{32}a_{13} - a_{13}a_{22}a_{31} - a_{12}a_{21}a_{23} - a_{23}a_{32}a_{11})$ не дорівнює нулю, то останню систему може бути представлено у вигляді:

$$\begin{aligned} x_1 &= b_{11}y_1 + b_{12}y_2 + b_{13}y_3; \\ x_2 &= b_{21}y_1 + b_{22}y_2 + b_{23}y_3; \\ x_3 &= b_{31}y_1 + b_{32}y_2 + b_{33}y_3. \end{aligned} \quad (8.8)$$

Коефіцієнти a_{ij} є показниками чутливості параметрів сигналу y_i до зміни параметрів стану x_i . Визначаються вони діленням приросту Δy_i на приріст Δx_i при послідовній зміні всіх параметрів механізму і реєстрації зміни параметрів сигналу.

Коефіцієнти a_{ij} знаходяться експериментальним шляхом, а коефіцієнти b_{ij} розраховуються за формулами лінійної алгебри. Знаючи величину коефіцієнтів b_i і параметри сигналів y_i , можна визначити стан (діагноз) даного агрегату чи вузла автомобіля. При великій кількості параметрів обчислення коефіцієнтів представляє значні труднощі.

За допомогою спеціальної апаратури, що складається з датчиків, суматора й множника параметрів y_i на постійні коефіцієнти b_{ij} і логічних пристроїв, виконується обробка інформації, яка надходить, і ставиться діагноз агрегату автомобіля, що перевіряється.

У даний час одержали поширення напівавтоматичні й автоматичні установки та стенди для діагностики технічного стану найбільш складних

сяться системи програмного забезпечення оптимізаційних задач, сучасні бази даних і ін.

2. Створення баз знань і експертних систем. Експертна система визначається як утілення в ЕОМ компоненти досвіду експерта, заснованої на знанні в такій формі, що машина може дати інтелектуальну пораду або прийняти інтелектуальне рішення щодо виконуваної функції.
3. Участь особи, що приймає рішення, у спробах формалізувати задачу вибору, у порівнянні й оцінюванні за допомогою ЕОМ альтернатив різними способами.

Особливе місце при аналізі й ухваленні рішення займають такі порівняно нові об'єкти, як інформаційна база (банки даних), діалогові системи, імітаційне моделювання. Ці об'єкти, звичайно сприймані як частини автоматизованих систем або як спеціальні, що використовують ЕОМ методи дослідження, є важливими поняттями системного аналізу на сучасному етапі.

Основне завдання проектування зводиться до дослідження необхідності створення нової системи та її соціального значення. Проблема необхідності пов'язана з потребами й процесом їх задоволення.

Потреби можуть бути актуальними й потенційними. До актуальних належать ті, які починають задовольнятися з моменту їх виявлення; до потенційних ті, що починають вимальовуватись у світлі перспектив розвитку.

Організацію ухвалення рішення подано на *рис. 14.11*.

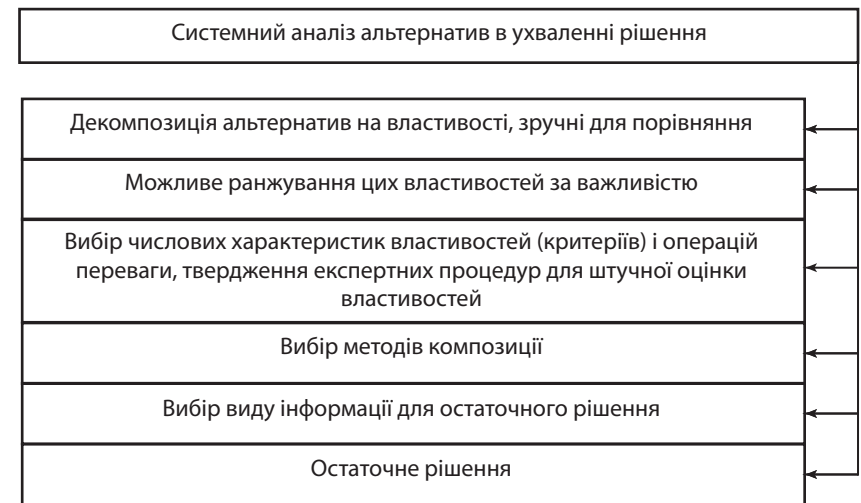


Рис. 14.11. Організація й ухвалення рішення

тут не гарантується. Хоча, звичайно, не можна категорично вказати або однозначно назвати одну домінуючу мету з безлічі даних, вибудовування цілей за ранжиrom, власне кажучи, заздалегідь припускає наявність деякої метацілі.

Описуваний нижче шлях виходить із наявності такої домінуючої цілі; при цьому розходження в розмірності обходять шляхом нормування. У якості метацілей розглядаються максимізація, мінімізація або оптимізація в напрямку досягнення нормованих часткових цілей оцінної функції розглянутої задачі.

Метою застосування системного аналізу до конкретної проблеми є підвищення ступеня обґрунтованості прийнятого рішення, розширення безлічі варіантів, серед яких здійснюється вибір, з одночасною вказівкою способів відкидання тих із них, що вочевидь поступаються іншим. В усіх задачах вибору необхідно у вихідній безлічі знайти найкращий у заданих умовах, тобто оптимальний варіант за критерієм «ефективність – вартість» або «вартість – ефективність». Підвищення надійності й екологічності об'єктів при відповідних обмеженнях. Оптимізація системи за названим критерієм є головною задачею системного аналізу. Перебування оптимальних варіантів особливо важливе для оцінки стану сучасної техніки, технологій і систем діагностування й визначення перспектив їх подальшого розвитку. Поняття оптимальності одержало строге й точне представлення в математичних теоріях, міцно ввійшло в практику проектування й експлуатації технічних систем. Багато задач проектування технічних систем може бути досить добре формалізовано, тобто зведено до математичних моделей, що дозволяють ставити й вирішувати оптимізаційні задачі. Однак чим складніша система, тим обережніше і скептичніше варто ставитися до її оптимізації, навіть після успішного подолання складнощів формалізації системотехнічних проблем. Системний аналіз припускає, що аж ніяк не усі варто формалізувати. У визначених ситуаціях рішення, прийняті людиною та які не формалізуються, – є кращими.

У даний час в оцінці можливих альтернатив плідно використовуються ЕОМ, тобто проблемно орієнтовані людино-машинні системи. Такі системи розрізняються за типами задач вибору. У даний час існує кілька самостійних напрямків розвитку людино-машинних систем (див. [25] і підрозділ 15).

1. Програми й пакети програм для розв'язання конкретних добре визначених задач вибору. Прикладом може слугувати математичне забезпечення ЕОМ для статистичної обробки даних (тобто вибору в умовах стохастичної невизначеності). До цього ж напрямку відно-

механізмів автомобілів зі спеціальними логічними пристроями. Важливе значення для розвитку та впровадження в практику логічних пристроїв має теорія математичної логіки, яка дозволяє за допомогою буквеної символіки виразити досить складні логічні міркування.

На базі математичної логіки створюються різні швидкодіючі математичні машини, які виконують складні операції обчислювального й логічного характеру.

У математичній логіці під висловленням мається на увазі будь-яке правдиве чи помилкове припущення (істина – 1, хибність – 0). Позначимо висловлення (симптоми несправностей) буквами y_1, y_1, \dots, y_n .

До основних логічних операцій відносяться кон'юнкція, диз'юнкція, імплікація й заперечення.

Кон'юнкцією (логічним множенням) висловлень y_1 і y_2 називають таке висловлення, яке істинне тоді, якщо правдиві обидві складові висловлення, і помилкове – в інших випадках. Кон'юнкція позначається звичайним знаком множення, що читається як «і» ($y_1 \times y_2$ читається так: y_1 і y_2).

Диз'юнкцією (логічним додаванням) висловлень y_1 і y_2 називається таке висловлення, яке помилкове, якщо помилкові обидві складові висловлення, і правдиве – в інших випадках. Диз'юнкція позначається знаком додавання, що читається «або» ($y_1 + y_2$ читається так: y_1 або y_2).

Імплікація висловлень y_1 і y_1 – це таке висловлення, яке помилкове, якщо правдиве y_1 і помилкове y_2 , і правдиве – в інших випадках. Імплікація позначається знаком \rightarrow ($y_1 \rightarrow y_2$ читається так: якщо y_1 , то y_2).

Запереченням висловлення y_1 називається висловлення, яке правдиве, якщо y_1 помилкове, і помилкове, коли y_1 правдиве. Заперечення позначається знаком $-$, що ставиться над буквою y_1 (\bar{y}_1 читається так: не y_1).

Під *рівнозначністю* висловлень y_1 і y_2 розуміють таке висловлення, яке правдиве тоді, коли значення правдивості складових висловлень однакові, і помилкове – коли неоднакові. Рівнозначність позначається знаком \sim ($y_1 \sim y_2$ читається так: y_1 рівнозначно y_2).

Нерівнозначність висловлень y_1 і y_2 – висловлення, яке правдиве, якщо значення істинності складових висловлень різні, і помилкове – коли однакові. Нерівнозначність є запереченням рівнозначності. Нерівнозначність позначається знаком \cong ($y_1 \cong y_2$ читається так: y_1 нерівнозначне y_2).

У табл. 8.2 наведено залежності між значеннями істинності висловлень y_1 і y_2 і результуючим висловленням [1].

Таблиця 8.2

Залежність між значеннями істинності висловлень y_1 і y_2 і результирующим висловленням

y_1	y_2	Кон'юнкція $y_1 \times y_2$	Диз'юнкція $y_1 + y_2$	Імплікація $y_1 \rightarrow y_2$	Рівнозначність $y_1 \sim y_2$	Нерівнозначність $y_1 \not\equiv y_2$
1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	1	0	1
0	0	0	0	1	1	0

У багатьох математичних машинах і кібернетичних пристроях здійснюються в основному логічні операції диз'юнкції, кон'юнкції й заперечення (операції «і», «або», «не»).

Схеми, у яких відбуваються ці логічні операції, називаються: схемою збігу, збірною схемою й схемою інвертора.

Розглянемо найпростіший приклад роботи логічного пристрою для діагностики технічного стану машини [1].

Нехай x_1, x_2, x_3, \dots – можливі несправності, а y_1, y_2, y_3, \dots – сигнали (симптоми) несправностей.

Якщо $x_1 = (y_1 + y_2 + y_3) \text{Ч} y_4 \text{Ч} y_5$, а $x_2 = y_6 + (y_7 + y_8 + y_9)$, то, застосувавши теорію релейно-контактних схем, обидві формули можна реалізувати в електричних схемах, представлених на *рис. 8.4*.

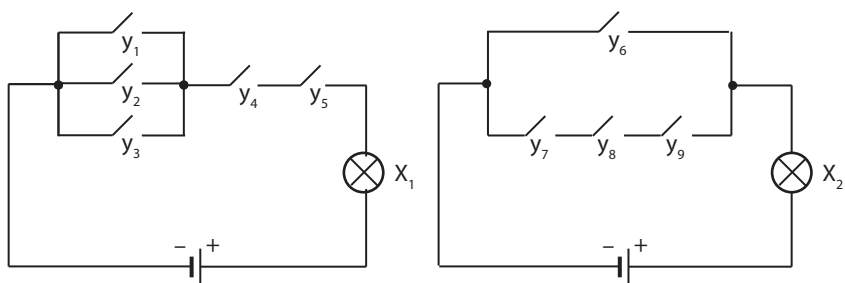


Рис. 8.4. Електричні логічні схеми визначення несправностей X_1 і X_2 за симптомами $Y_1 - Y_9$

Синтезувавши обидві логічні формули, одержимо загальну електричну схему (*рис. 8.5*).

ні. Потім поряд цього наближеного рішення формують низку більш детально дискретизованих альтернатив і з більшою точністю наближаються до оптимуму.

Багатовимірні цілі можуть знаходитися одна з одною у таких відносинах [26]:

- 1) цілі *взаємно нейтральні*. Система або процес можуть стосовно окремих цілей характеризуватися й розглядатися незалежно;
- 2) цілі *кооперуються*. Тут, як правило, систему або процес вдається розглядати стосовно однієї цілі, а інші досягаються одночасно;
- 3) цілі *конкурують*. У цьому випадку однієї з цілей можна досягти лише за рахунок іншої.

Якщо цілі частково нейтральні, частково кооперовані, а частково конкурують між собою, то задача формулюється таким чином, що потрібно брати до уваги тільки конкуруючі цілі. Розгляд нейтральних або кооперативних цілей не представляє особливих труднощів, бо проблеми, орієнтовані на безліч цілей, насамперед має бути розглянуто в частині конкуруючих цілей, оскільки усі вони разом не можуть бути виражені одномірним параметром. Найчастіше це виглядає так, що кожного разу послідовно вважають перемінною одну з цілей і оптимізують її, а інші цілі розглядаються як обмеження. Це досить раціональний метод, у процесі якого одна задача зводиться до іншої, орієнтованої на єдину ціль. У загальному випадку сильні обмеження звужують простір оптимізації у більшому або меншому ступені доволіно. Це нерідко може привести до такої ситуації, коли оптимум досягнуто не буде й оптимальний варіант рішення знайти не вдається.

Якщо окремі цілі вдається розташувати в графі визначеного ієрархічного порядку й завдяки різній вазі цілей цей порядок яскраво виражено, можна обрати лексикографічний метод рішення. На першому етапі визначають безліч варіантів рішення, які задовольняють цілі найвищого рангу. За певних умов тут може бути попередньо задано область рівноцінних стосовно бажаної цілі рішень. Сформована в такий спосіб безліч рішень на другому етапі обмежується далі, так само, як на першому, але вже стосовно наступної за важливістю цілі у низці пріоритетів, і цей процес продовжується, поки не залишається один варіант рішення. Якщо не вдається прийти до єдиного рішення, то з декількох, що залишилися, приходиться робити суб'єктивний вибір. Оскільки це стає необхідним тільки відносно цілей нижчого рангу, небажаний вплив такого суб'єктивного втручання є, звичайно, досить обмеженим. Описаний метод простий і його широко практикують при розв'язанні технічних задач [26, 27]. Оптимальність

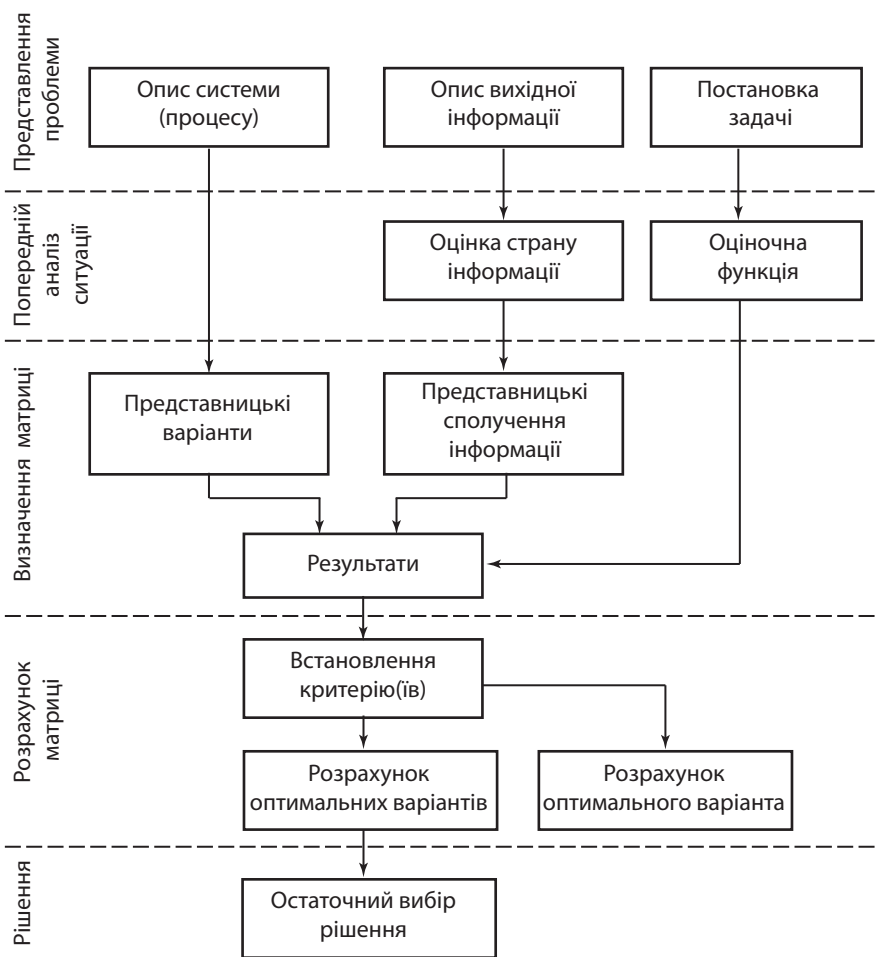


Рис. 14.10. Процес вибору рішення відповідно до класичних критеріїв

необхідно задати деякі додаткові умови. Деякі критерії самі визначають ці додаткові параметри, однак такі параметри, як границі ризику, довірчі фактори або вагові характеристики, має бути задано. При попередньому аналізі потрібно у будь-якому разі знайти достатнє обґрунтування, чому вибір рішення визначається саме цим критерієм. В іншому процес пошуку оптимального рішення ідентичний пошуку при використанні класичних критеріїв [26]. Якщо яка-небудь природна дискретизація відсутня, вона обирається приймаючим рішенням. Для цього не можна вказати який-небудь загальний підхід. Надійним є ітераційний метод. Спочатку проводять грубу дискредитацію й розраховують рішення в першому наближен-

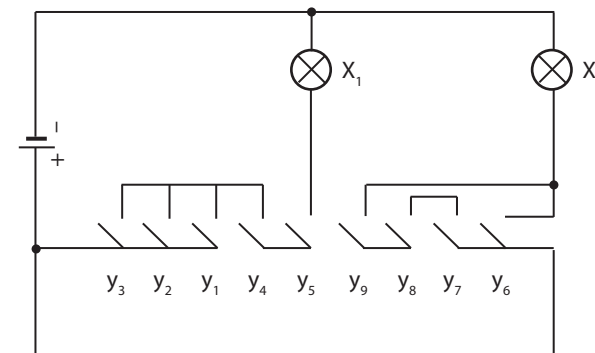


Рис. 8.5. Загальна електрична логічна схема визначення несправностей X_1 і X_2

За наявності спеціальних датчиків, підсилювачів і реле замість звичайних вимикачів $y_1 - y_2$ подібні логічні пристрої будуть працювати автоматично. Горіння електричних лампочок вказує на наявність несправностей x_1 чи x_2 .

Можна створити логічні пристрої на діодних матрицях [1]. Попередньо складається таблиця логічних зв'язків між сигналами (симптомами) і несправностями (табл. 8.3).

Таблиця 8.3

Таблиця логічних зв'язків

Симптоми	Стани				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
y_1	0	1	0	0	0
y_2	0	1	0	1	1
y_3	1	0	0	1	0
y_4	0	1	0	0	0
y_5	0	1	1	1	0

Позначимо через x_i можливі несправні стани, а через y_i – відповідні їм симптоми. У перетинах стовпців і рядків будемо ставити одиницю чи нуль: одиницю – якщо симптом x_i є при стані y_j , і нуль – якщо відсутній.

Електрична схема (рис. 8.6) складається з перемикачів (симптомів y) і лампочок (несправностей x) і діє за законом логічного множення.

Вертикальні й горизонтальні шини з'єднано діодами в тих місцях, де у таблиці логічних зв'язків стоять нулі. Через ці діоди й шини подаються сигнали заборони й лампочки згасають.

Якщо замкнути один із перемикачів, то повинні запалитися всі лампочки, проти яких у таблиці знаходяться одиниці. Якщо увімкнути інший перемикач, то лампочки будуть продовжувати горіти, або частина з них згасне. Горіння лампочки свідчить про те, що нові симптоми не дали додаткових відомостей, а припинення горіння – про те, що нова комбінація симптомів виключає деякі несправності. Після введення всіх симптомів (перемикачів) залишається горіти лампочка, що сигналізує про наявність несправності.

Наприклад, при увімкненні вимикача y_5 горять лампочки x_2 , x_3 і x_4 . Лампочки x_1 і x_5 не горять, тому що на них подано сигнал заборони «ні» (струм проходить у визначеному напрямку через діоди, оминаючи лампочки). Якщо увімкнути додатково перемикач y_2 , то згасне лампочка x_3 ; якщо увімкнути перемикач y_2 – згасне лампочка x_2 . Горіти буде лампочка x_4 , що й покаже шукану несправність.

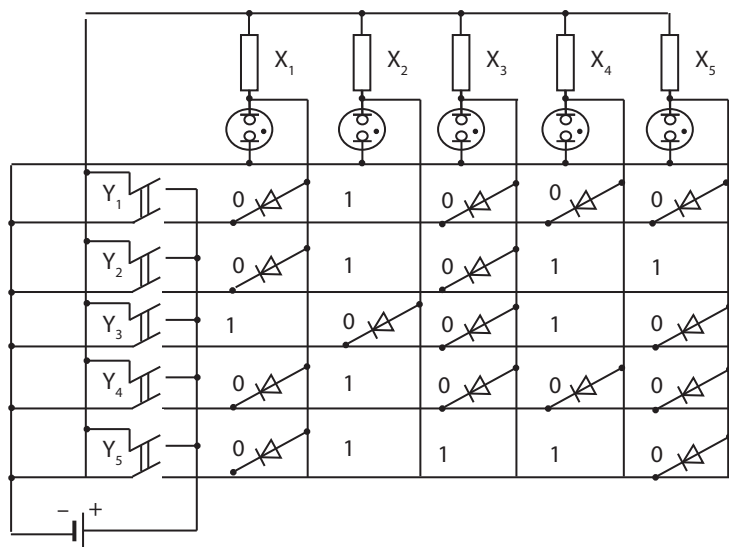


Рис. 8.6. Електрична логічна схема на діодній матриці

8.5. Кодування сигналів для підвищення швидкості передачі і перешкодостійкості інформації

Перетворення дискретного повідомлення на сигнал складається з двох операцій: кодування й модуляції. Кодування визначає закон побудови сигналу, а модуляція – вид формованого сигналу, що повинен передаватися каналом зв'язку.

що визначення постановки задачі входить у коло обов'язків замовника, а при самостійному формулюванні задачі ціль може здаватися з самого початку цілком визначеною. До грубих помилок веде упередженість як відносно вихідних даних і варіантів рішень, так і відносно результатів. Завдання неминуче виглядає несерйозним, коли до фактично вже прийнятого з різних причин рішення шукають обґрунтування. При аналізі інформації помилка може виникнути через те, що поспішно й необачно миряться з нестачею інформації замість того, щоб зробити всі можливі зусилля для одержання відсутньої інформації. Помилка може виникнути й через те, що встановлення границь діапазону змін невідомого параметра виявиться недостатньо обґрунтованим. Вплив прийнятих розподілів імовірностей і критеріїв вибору розглядаються в роботі [26].

Необхідно шукати раціональні способи досягнення поставленої мети. Вона може бути відомою з самого початку або може характеризуватися великою кількістю варіантів і для її оцінки необхідна відповідна постановка задачі. Часто немає необхідності докладно описувати саму задачу, тому що її структура досить ясна й спосіб рішення певним чином впливає з життєвого досвіду. Такі рутинні рішення звичайно протікають за схемою: ініціатива (замовлення) – ознайомлення із задачею – порівняння з аналогічними або схожими рішеннями – визначення раціональних варіантів. Для складних або нових задач (див. рис. 9.3) з однозначними параметрами необхідна точна й докладна постановка задачі. У цьому випадку необхідно мати значний обсяг інформації, яка стосується й також цілі задач 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 рис. 9.3. Необхідно скласти представницьку безліч раціональних варіантів розв'язання й потім обрати оптимальний варіант із великим або меншим обсягом обробки даних. Цей обсяг, коли ми маємо справу з неоднозначними параметрами, принаймні не менше, а звичайно набагато більше, ніж при однозначних параметрах. Інші особливості виявляються при наявності додаткової інформації. Те ж саме відноситься й до стадії ініціативи, перевірки результатів і оформлення рішення. Процес прийняття нових рішень при багатозначних параметрах може бути різним у залежності від того, чи застосовують класичні, похідні або гнучкі критерії. Відповідні процеси представлено на рис. 14.10 [26]. У той час як при використанні класичних критеріїв увага приймаючого рішення має концентруватися на заключному етапі вибору, застосування гнучкого критерію характеризується більш важливою роллю аналізу інформації в ухваленні рішення. Сам акт вибору, тобто вибір оптимального варіанта рішення із сукупності домінуючих, в останньому випадку може бути передано пристрою обробки даних. Для застосування похідних критеріїв

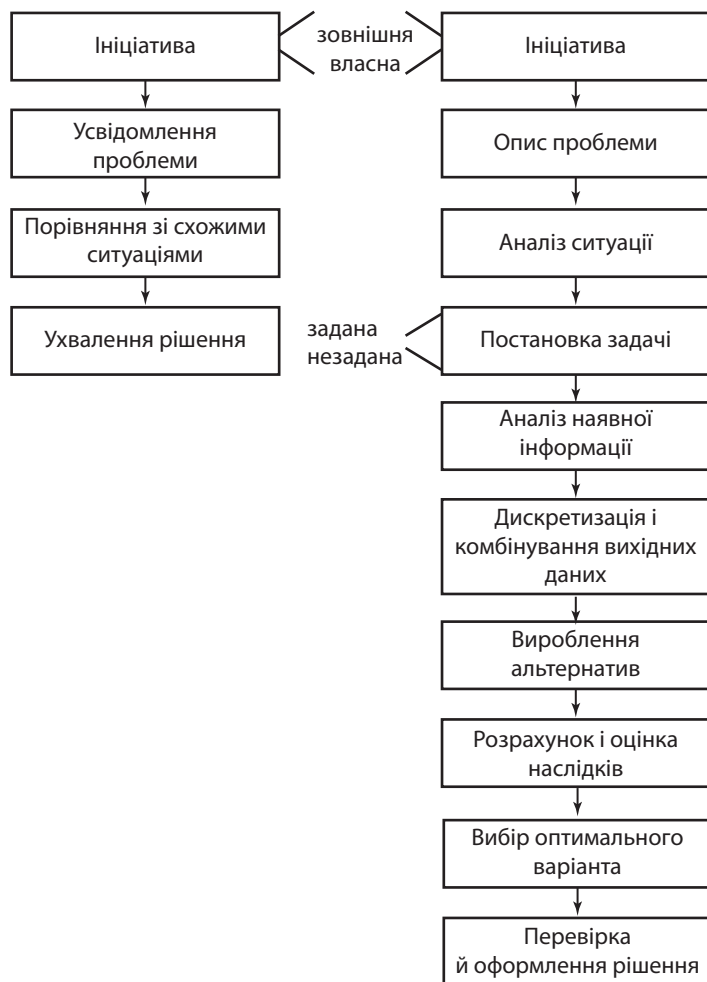


Рис. 14.9. Процеси прийняття рішень – рутинного й заснованого на дослідженні моделі

Топологічна схема (граф) може давати добре загальне уявлення про стан деякої системи, альтернативних шляхах протікання й результатах якого-небудь процесу. При колективних рішеннях що часто практикуються, необхідно також рахуватися з взаємним впливом безлічі думок. Дуже часто спостерігаються неясності щодо мети, яку переслідує розв'язання задачі. Особливо це виявляється при безлічі цілей, при залежних від часу цілях і при багатоетапних рішеннях із цілями, які змінюються. Визначення мети часто недооцінюють або його навіть зневажають, оскільки думають,

При кодуванні відбувається процес перетворення елементів повідомлення у відповідні їм числа (кодові символи). Кожному елементу повідомлення присвоюється визначена сукупність кодових символів, що називається кодовою комбінацією. Сукупність кодових комбінацій, що позначають дискретні повідомлення, називається кодом. Правило кодування виражається кодовою таблицею, у якій наводиться алфавіт кодуємих повідомлень і відповідні їм кодові комбінації. У каналах із перешкодами ефективним засобом підвищення вірогідності є перешкодостійкість кодування. Воно засновано на застосуванні спеціальних кодів, що коректують помилку, викликану дією перешкод. Код називається коригувальним, якщо він дозволяє знаходити й виправляти помилки при прийомі повідомлень. Виправлення помилок при такому кодуванні звичайно виробляється шляхом повторення перекодованих повідомлень. Запит про повторення передається каналом зворотного зв'язку.

Для того щоб код мав коригувальні здібності, у кодовій послідовності повинні міститися додаткові (надлишкові) символи, призначені для коректування помилок. Чим більше надмірність коду, тим більше його коригувальна здатність.

Найбільш розповсюджені способи поділу каналних сигналів: частотні, часові, фазові, кодово-адресні та ін. Однак ідеально розділити каналні сигнали практично неможливо ні при якому способі. Поява перехідних перешкод зумовлена похибками формування каналних сигналів, їх перекодуванням на лінії зв'язку й недосконалістю розділяючих пристроїв приймача. Отже, при розрахунку пропускну здатності розподілу багатоканальних ліній зв'язку необхідно, крім звичайної адитивної перешкоди, враховувати і перехідні перешкоди.

Розглянемо сутність виявлення й виправлення помилок за допомогою коригувальних кодів. Ідея виявлення помилок полягає в наступному. Для передачі використовують не всі N кодових комбінацій, а тільки частину з них N_0 , які називають дозволеними. $\Delta N = N - N_0$ комбінацій, що залишилися, називають забороненими. Помилки виявляють, коли на прийомному кінці одержують заборонену комбінацію. Будь-який код, у якого $\Delta N > 0$, здатен виявляти помилки в ΔN випадках з N . Частка помилок, що виявляються, [12]:

$$\frac{\Delta N}{N} = 1 - \frac{N_0}{N}. \quad (8.9)$$

Якщо $\Delta N = 0$, тобто $N = N_0$, код не здатен виявляти помилки і його називають примітивним (безнадлишковим).

Надмірність коригувального коду:

$$r_k = 1 - \frac{(\log N_0)}{n \log m_k} \tag{8.10}$$

З (8.9) і (8.10) випливає, що коригувальний код виявляє помилки при введенні надмірності. Частка помилок, що виявляються, росте у міру збільшення надмірності. виправлення помилок коригувальними кодами засновано на двох операціях – визначенні відстані між кодовими комбінаціями й відшуканні мінімальної відстані. Відстанню між кодовими комбінаціями K_i і K_j називають сумарний результат додавання за модулем m_k однойменних розрядів кодових комбінацій, а саме [12]:

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^n K_{ik} \oplus K_{jk}, \tag{8.11}$$

де κ_{ik} і κ_{jk} – k -і розряди кодових комбінацій K_i і K_j ; символ \oplus позначає додавання за модулем m_k ; n – значність коду, кількість символів у кодовій комбінації.

Сутність підсумовування за модулем m_k полягає в тому, що результат дорівнює модулю суми розрядів, якщо цей модуль менший за m_k . Якщо модуль суми більший за m_k , то результат одержують вирахуванням m_k із суми. Аналітичний запис додавання за модулем m_k :

$$\hat{e}_{ik} \oplus \hat{e}_{jk} = \begin{cases} \hat{e}_{ik} \pm \hat{e}_{jk}, & \hat{e}_{ik} \pm \hat{e}_{jk} < m_k; \\ \hat{e}_{ik} \pm \hat{e}_{jk} - m_k, & \hat{e}_{ik} \pm \hat{e}_{jk} \geq m_k. \end{cases} \tag{8.12}$$

На рис. 8.7 [12] показано умовну позначку логічного оператора додавання за модулем. Таким чином, відстань одержують у результаті порозрядного підсумовування за модулем і звичайним підсумовуванням за (8.11). Для рівномірного двійкового коду кодова відстань – це кількість символів, на яку відрізняється одна комбінація від іншої. Наприклад, якщо $K_i = 10111$, $K_j = 01010$, то $d_{ij} = 4$. Ідея виправлення помилок полягає в тому, що, знай-

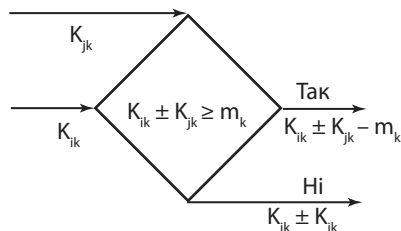


Рис. 8.7. Схема логічного оператора додавання за модулем

лок знаходиться у зворотній залежності від ступеня точності опису задачі та витрачених на вибір рішення зусиль і є найбільшою при емпіричних рішеннях.

Таблиця 14.1

Елементи ситуації вибору рішення

Особа, яка приймає рішення	Суть рішення, процес рішення, цілі, переваги
Система (процес)	Варіанти, функція корисності, кількість реалізацій, критерій вибору
Зовнішні умови	Стани

У загальному випадку процедура прийняття рішення включає такі етапи: ініціативу, описування проблеми, аналіз ситуації, постановку задачі, аналіз наявної інформації, дискретизацію й комбінування зовнішніх умов, розробку альтернатив, перевірку результатів, оформлення рішення.

Схему процесу прийняття рішення показано на рис. 14.9 [26].

Ситуації ухвалення рішення можуть характеризуватися єдиною або багатьма цілями. До орієнтованого на єдину ціль належать рішення, наслідки яких може бути описано єдиною, наприклад, фінансовою, категорією параметрів, таких, як ціна, витрати, прибуток або збиток. При багатоцільових рішеннях оцінити й порівняти окремі цілі в єдиних універсальних одиницях не можна.

Якщо, наприклад, для якого-небудь приладу мають значення вартість виготовлення, термін постачання, надійність, простота монтажу, зручність обслуговування та вплив на інші прилади, а зазначені властивості будуть визначатися вибором варіанта рішення – ми маємо справу з багатоцільовим рішенням. Це вимагає, як правило, упорядкування цінностей або переваг, щоб зважити важливість часткових цілей. Приймаючий рішення повинен або одержати необхідні для цього об'єктивні дані, або суб'єктивно встановити їх. Більш докладні вказівки на образ дій при прийнятті багатоцільових рішень викладено в розділах 10, 11.

Функція корисності й кількість реалізацій рішення виходять із конкретних даних про розглянуту систему або процес. Для ситуації вибору техніко-економічних рішень часто характерна невизначеність наявної інформації. Ця невизначеність змушує приймаючого рішення виявити характеристики оточення, які залежать від різних параметрів. Невизначеність наявної інформації може бути наслідком похибки у визначенні параметра та власне невизначеності. Причиною цього можуть бути як відхилення, так і помилки (див. підрозділи 10 і 11).

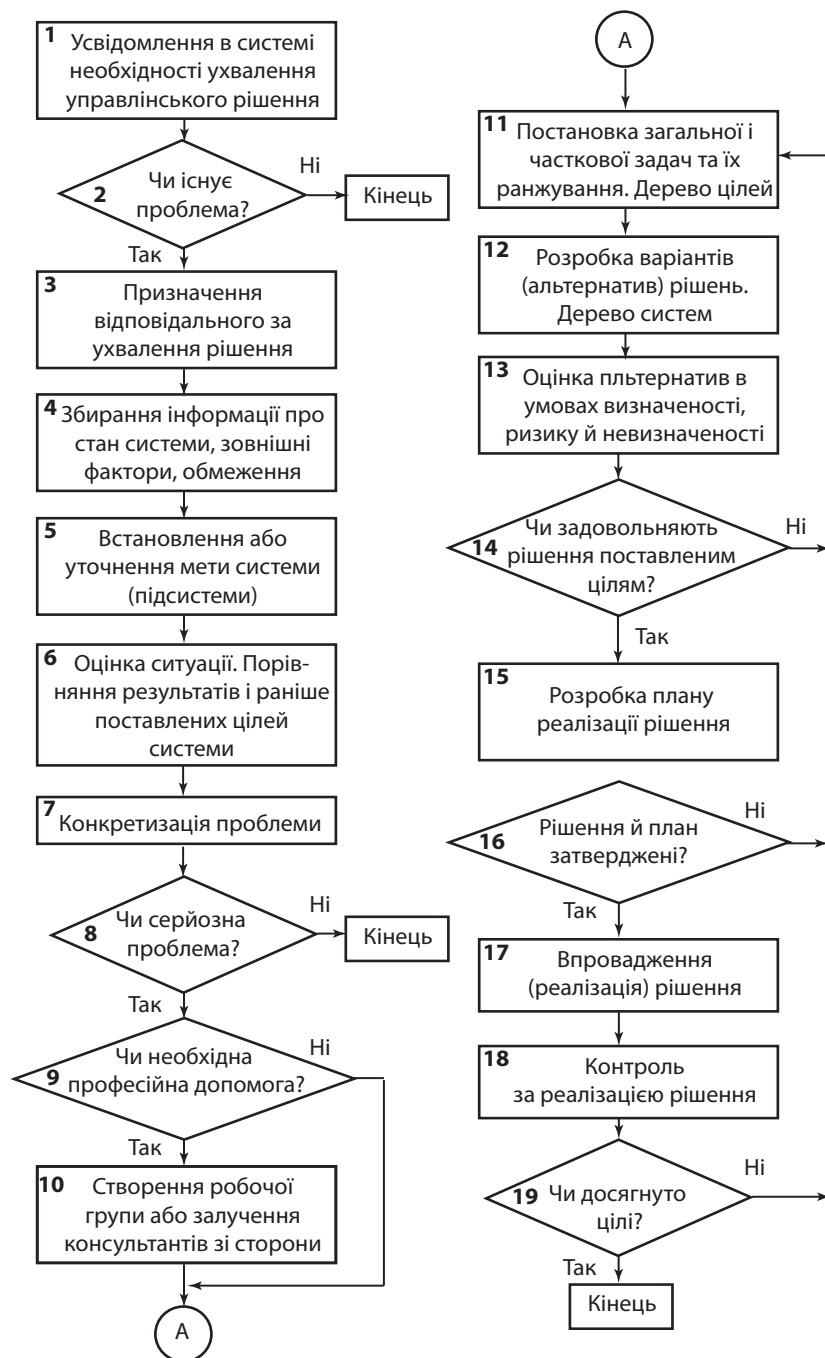


Рис. 14.8. Алгоритм процесу ухвалення рішення

шовши помилку, визначають відстань від отриманої забороненої комбінації K_i до всіх дозволених K_j , $j = \overline{1, N_0}$, і в якості переданої вважають ту з дозволених комбінацій, до якої відстань менша. Наприклад, якщо $d_{ij} = d_{i5}$, $j = \overline{1, N_0}$, то вважають, що було передано комбінацію K_5 .

Задачі аналізу й синтезу кодів, пристроїв кодування й декодування розв'язують на основі сполучення методів теорії інформації, вищої алгебри й теорії скінченних автоматів. Методи теорії інформації дозволяють будувати загальні алгоритми аналізу й синтезу кодів, методи вищої алгебри (теорія груп, теорія кілець, теорія полів) – синтезувати й аналізувати математичні моделі кодів, методи теорії скінченних автоматів – створювати конкретні структурні схеми кодерів і декодерів. Кодування повідомлень джерел із пам'яттю і без пам'яті див. [12].

8.6. Логічне й машинне програмування

Програма – це дані, призначені для управління конкретними компонентами системи обробки інформації з метою реалізації визначеного алгоритму.

Програмне забезпечення – сукупність програм системи обробки інформації та програмних документів, необхідних для їх експлуатації.

Прикладна програма – програма, призначена для розв'язання задачі чи класу задач у визначеній області застосування систем обробки інформації.

Логічне програмування засноване на математичній логіці на базі логіки предикатів першого порядку. Метою створення логічного програмування є підвищення «інтелектуальності» комп'ютера, а також створення системи обробки інформації на базі знань, яка може давати експертні консультації користувачам.

При використанні мови логічного програмування основна увага приділяється опису структури практичної задачі, а не розробці наказів комп'ютеру про те, що йому необхідно зробити. Тут відсутнє традиційне розуміння алгоритму розв'язання задачі. Для того щоб розв'язати деяку задачу, необхідно детально описати дані умов задачі і, наприклад, шляхом завдання питань програмі, одержати необхідні відповіді. При цьому програміст не вказує, як перевірити твердження, сформульовані у виді запиту, – програма сама доведе істинність тверджень або відповість, що твердження помилкові, або що про це нічого неможливо сказати на основі даних умов.

Тому логічне програмування вимагає іншого стилю мислення, відмовлення від прийнятих програмних стереотипів: замість того, щоб задавати складну послідовність команд, що вказували б машині на використання тих чи інших дій для розв'язання задачі, необхідно описувати її зміст у

термінах об'єктів і відносин між ними. Зміст алгоритму розв'язання задачі програміст викладає у виді логічної специфікації. Для деяких умов логічного програмування специфікація задачі (опис проблеми) розглядається як фактична програма. Відзначимо, що з таким підходом до розв'язання задач визначається суть декларативного програмування.

Найбільш повно й строго ідеї логічного програмування реалізовано мовою програмування Пролог. Однак це не єдина мова програмування, якою можна писати програми з використанням концепції логічного програмування. Є, наприклад, DUC, ESP, HCPVR, KLI та ін.

Під час роботи з базою даних програми Пролог можуть модифікувати самі себе, включаючи процеси доведення логічних цілей, деякі фрази і допускати нові.

Машинне кодування й програмування. Послідовність дій з відправлення потрібних даних у відповідне місце в належний момент точно визначається програмою, яка і являє собою список закодованих інструкцій, які виконуються у строгій послідовності керуючим пристроєм комп'ютера.

Програми в машинному коді являють собою просту послідовність закодованих команд для центрального процесора упереміж із відповідними адресами в пам'яті чи даними. Центральному процесору відомо заздалегідь, що за визначеними кодами команд завжди знаходяться дані чи адреси. Таким чином, процес проходить програму визначеним шляхом, враховуючи різницю між числами, які варто вважати кодами команд, і числами, що є даними чи адресами. Числа, що мають характер інструкції, називають кодами операцій, а дані чи адреси, що знаходяться за кодом операції, – операндами.

Контрольні питання і завдання

1. Які цілі й задачі кодування?
2. Які види кодування повідомлень застосовуються в задачах управління робочими процесами?
3. Які способи представлення кодів?
4. Наведіть приклади кодування сигналів у задачах діагностування.
5. Як досягається за допомогою кодування сигналів підвищення швидкості передачі інформації каналами зв'язку?
6. Як досягається за допомогою кодування перешкодостійкість інформації й виявлення перешкод?
7. У чому полягає сутність логічного програмування?
8. Як здійснюється машинне кодування й програмування?

Найпростішу схему їхньої взаємодії наведено на *рис. 14.7*. Підсистема з органа керування (ОК), який сприймає задану програму прийняття рішень (ПР) й виконавчого органа (ВО), що тим або іншим способом керує самою системою.

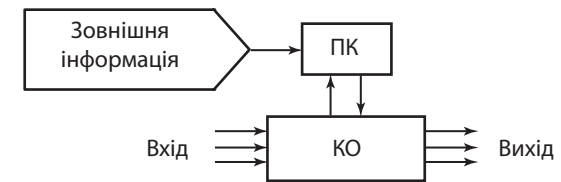


Рис. 14.7. Схема взаємодії підсистеми керування і керованого об'єкта системи

Під рішенням слід розуміти вибір на основі встановлених критеріїв із багатьох альтернатив, які змінюють стан системи, тобто процес ухвалення рішення являє собою вибір одного з декількох можливих. На основі рішення здійснюється керування будь-якою системою.

Алгоритм прийняття управлінських рішень представлено на *рис. 14.8* [24]. Він має три характерних етапи, які описано в роботах [24, 25].

Під ситуацією вибору рішення варто розуміти всі елементи задачі, такі, як стани вихідних даних, варіанти рішення та їх наслідки, а також усі зовнішні фактори, які істотно впливають на рішення як об'єктивного, так і суб'єктивного характеру.

У *табл. 14.1* ці елементи показані в їх найважливіших зв'язках. Область впливу особи, яка приймає рішення, досить велика. Проте варіанти рішення визначаються, головним чином, параметрами системи або процесу. Фактори, які впливають на ухвалення рішення, займають діапазон від край суб'єктивного, зумовленого компетенцією та поінформованістю приймаючого рішення, й такі, що виявляються в прискореному виборі або затягуванні рішення, до таких об'єктивних умов, як технічні дані, характеристики, моделі, методи й допоміжні засоби всілякого роду. Спостереження показують, що при прийнятті техніко-економічних рішень часто виходять, крім того, просто з інтуїції та життєвого досвіду. У повсякденній практиці приймаючі рішення орієнтуються лише на загальний наявний у них запас математичних знань. Лише деякі процедури ухвалення рішення цілком математично моделюються й улаштовуються. За витраченими для обробки засобами всі рішення можна розбити на такі групи: емпіричні, які спираються на деякі кількісні порівняльні оцінки і прийняті на підставі побудованої з вичерпною повнотою моделі. Величина можливих поми-

При оцінці факторів кандидатам в експерти пропонується проранжувати набір факторів, подій або об'єктів, справжня значущість або стан яких організаторам опитування відомі, а експертам невідомі.

4. Після формування групи проводиться усний або письмовий інструктаж експертів.
5. Експертами здійснюється індивідуальна оцінка запропонованих факторів, у процесі якої фактори розташовуються в порядку убунання ступеня їх впливу на результуючу ознаку або об'єкт дослідження, що є цільовою функцією. При цьому фактор, який має найбільший вплив, оцінюється першим рангом (цифрою 1). Факторам, які мають менше значення, приписується другий ранг (цифра 2) і т. д.
6. Організаторами експертизи проводиться обробка результатів експертного опитування.
7. За результатами експертизи організацією або фахівцем, який проводив експертне опитування, для керівництва системи розробляються пропозиції з вирішення конкретних проблем або результатів і передаються без коментарів.

При апріорному ранжуванні для одержання більш об'єктивних даних порівнюють думки експертів декількох груп і різних шкіл, звертаються до незалежних аудиторів або аудиторських фірм.

При експертизі використовуються і більш прості методи оцінки. Наприклад, у пакеті програм «Project Expert», призначеному для оцінки інвестиційних проектів, можливості проекту визначаються за 40 позиціями за допомогою п'ятибальної шкали, а отримані результати за кожною позицією або підсумовуються, або для них визначаються середні бали. У тому ж пакеті для кожної з 11 стадій інвестиційного проекту виробляється якісна оцінка ризиків, які класифікуються на три групи: високий, середній і низький ризик.

14.8. Процедура пошуку оптимального варіанта прийняття технічного рішення

Керування (управління) – процес перетворення інформації про стан системи у визначені цілеспрямовані дії з переводом керованої системи з вихідного у заданий стан.

Говорячи про процес і етапи керування, визначення цілей, прийняття рішень, ми маємо на увазі, що в будь-якій системі є керуючі й керовані елементи, що групуються в підсистему керування (ПК) і керований об'єкт (КО).

РОЗДІЛ II КІБЕРНЕТИЧНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ І РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

Глава 9. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОЕКТУВАННЯ

- 9.1. Проектування з позицій теорії пізнання.*
- 9.2. Цілі управління і керуючі показники якості машин.*
- 9.3. Інформаційний опис машини як кібернетичної системи.*
- 9.4. Діагностика як основа управління станом машин.*
- 9.5. Класифікація об'єктів і нормування їх технічних характеристик.*

9.1. Проектування з позицій теорії пізнання

Сучасне проектування можна охарактеризувати як системне, оптимальне й автоматизоване.

Теоретичною основою проектування є методологія, що знаходиться поки в стані становлення. Особливо недостатньо вивчено методи виконання ранньої стадії проектування (технічне завдання, технічні умови), застосування інформаційних технологій, використання ЕОМ у процедурах проектування. Під методологією проектування треба розуміти вчення про структуру, логічну організацію, методи й засоби пошуку та прийняття рішень, про принцип дії й склад ще не існуючого об'єкта, який якнайкраще задовольняє визначеним потребам, а також складання опису, необхідного для його створення в заданих умовах. Закони розвитку в технічній сфері такі ж, як і в природі. У межах існуючого виду машин розвиток якісних змін відбувається лише до визначеної межі, коли стає неможливим подальше поліпшення показників якості. З цього моменту еволюційний розвиток здобуває часто революційний характер і приводить до істотного поліпшення параметрів чи розвитку нового виду машини, що реалізує більш прогресивну технологію. Життєвий цикл машини продовжується від зародження ідеї, покладеної в основу принципу дії її конструкції, і складається з етапів проектування, підготовки виробництва, виготовлення, випробувань дослідних і серійних зразків.

Основними поняттями методології проектування є: проектування, конструювання, проектне рішення, процедура проектування, суб'єкт проектування, об'єкт проектування, пізнавальний образ, уява, інтуїція, цінність, оцінка (Див. *Додаток*).

Підхід до проектування з позицій теорії пізнання дозволяє віднести процес оцінки об'єкта конструювання до розпізнавання. Під розпізнаванням взагалі розуміється ухвалення рішення про приналежність того чи іншого конкретного об'єкта чи явища до визначеного класу. Розпізнавання при проектуванні, власне кажучи, носить такий само характер із тією лише різницею, що необхідно довідатися, не який об'єкт, а яким він має бути для того, щоб найкращим чином задовольнити визначену потребу.

Розпізнавання при проектуванні – багаторівневий процес. Він характеризується послідовними етапами, на кожному з яких об'єкт проектування одержує опис мовою ознак, які утворюють певний простір. На кожному етапі цей простір звужується, і тому проектування можна розглядати як процес послідовних наближень. Кожен етап характеризується своїм власним оператором, який містить аналіз і синтез.

Прагнення вивчити процес проектування призводить до необхідності з'ясувати роль символів в актах творчості.

Креслення на стадії робочої документації, які дають повну інформацію про об'єкт проектування, необхідну для його виготовлення, можна віднести до іконічних знаків.

На більш ранніх стадіях проектування користуються універсальними методами аналізу, принциповими, структурними і кінематичними схемами, що не є копіями проєктованого об'єкта, а лише віддзеркалюють його сутність.

Ще більш абстрактними є форми опису об'єкта на етапі пошуку варіантів, коли необхідно відбити всю область можливих рішень. Тут найбільш підходять графі у вигляді І-АБО дерева чи матриці.

Особливістю сучасних методів проектування є складність технічних об'єктів, які складаються з численних по-різному взаємодіючих одна з одною і навколишнім середовищем підсистем та елементів, що вимагає системного підходу.

Множинність шляхів досягнення мети проектування вимагає розгляду не одного, а багатьох варіантів технічного рішення, до кожного з яких застосовуються визначені методи аналізу й оцінки. Повторне виконання процедур проектування характеризує ще одну його особливість – ітеративність.

При індивідуальній роботі експертів для одержання думки кожного експерта використовують інтерв'ю у вигляді вільної бесіди або за типом «питання-відповідь», а також анкетування, у процесі якого кожен експерт дає кількісні оцінки порівнюваним факторам або альтернативам, тобто ранжує їх.

При другому підході всі етапи експертизи (підбір експертів, технологія одержання й обробки їх думок і ін.) більш-менш регламентовано, експерти, як правило, підбираються з числа зовнішніх фахівців, а організує проведення експертизи не керівник, а фахівець. При цьому результати експертизи, так само, як і при першому методі, носять для керівника не обов'язковий, а рекомендаційний характер.

Апріорне ранжування засновано на експертній оцінці факторів групою фахівців, компетентних у досліджуваній області.

Метод апріорного ранжування зводиться до такого [24].

1. Організацією або фахівцем, який проводить експертизу, на підставі аналізу літературного даних, узагальнення наявного досвіду, опитування фахівців, дерева систем і т. д. визначається попередній (з визначеним резервом, що забезпечує вибір) перелік факторів, які вимагають ранжування.
2. Складається анкета, у якій приводиться, бажано в табличній формі, перелік факторів, необхідні пояснення й інструкції, приклади заповнення анкет.
3. Здійснюється комплектація й перевірка компетентності групи експертів, які мають бути фахівцями в розглянутих питаннях, але особисто не зацікавлені у результатах. Перевірка компетентності експертів може проводитися за допомогою тестів, методом самооцінки або оцінкою еталонних факторів.

При тестуванні відсоток правильних відповідей з області, пов'язаної з майбутньою оцінкою, слугує мірою компетентності експерта.

Метод самооцінки полягає в тому, що кожен кандидат в експерти з використанням визначеної йому шкали оцінює свої знання з низки питань.

Максимальним балом оцінюються питання, які, на думку експерта, він знає краще за інших, а мінімальним – гірше за інших. Далі всі інші питання оцінюються балами від максимального до мінімального, виводиться середня самооцінка даного експерта й потім групи експертів. Цей метод дозволяє також при необхідності створити підгрупи для експертизи конкретних питань.

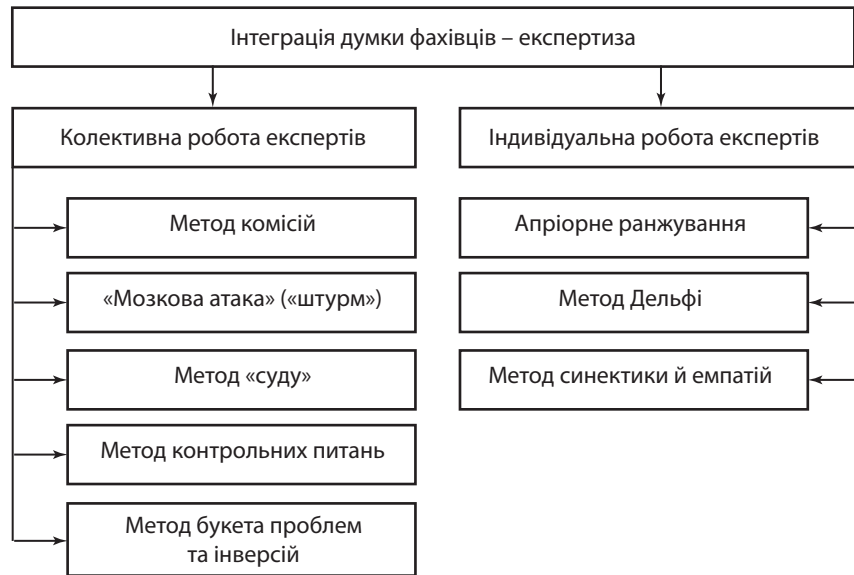


Рис. 14.6. Види найбільш розповсюджених методів інтеграції думки фахівців

прийняття рішень (метод «комісій»); метод «мозкової атаки», у процесі якої увага учасників концентрується на висуванні ідей можливих шляхів розв'язання однієї конкретної задачі; метод «суду» відтворює правила ведення «судового» процесу, причому розглянуте рішення виступає в якості «підсудного», а групи експертів виконують ролі «прокурора» і «захисту». Наведено на рис. 14.6 методи описані в роботі [25].

Особливості колективної роботи експертів [24]:

- під час обговорення питання присутня уся група;
- група комплектується керівником, який проводить нараду, як правило, зі своїх підлеглих і «довіренних» осіб;
- послідовність виступів і надання слова регламентується керівником;
- підведення підсумків і прийняття (або неприйняття) рішення також здійснюється керівником.

Переваги цих методів: оперативність і зовнішня демократичність.

Недоліки: тиск авторитету керівника, відсутність строгої процедури обліку думки експертів, підведення підсумків і ухвалення рішення.

Останній недолік частково може бути скомпенсовано, якщо рішення приймається таємним голосуванням і використано метод Дельфі.

На першому етапі загальне представляється дуже приблизно й оформлюється у вигляді габаритного чи теоретичного креслення. На другому етапі розробляються частини, а потім знову звертаються до загального – вже на більш глибокому рівні розпізнавання – об'єкта проектування. При необхідності цикл переходу загального до частки і від часткового до загального може повторюватися неодноразово і, більш того, розробка частин також вимагає переходу від загального до частки і від частки до загального. Таким чином, розпізнавання об'єкта проектування проводиться шляхом ітерацій (повторень), щораз поглиблюючи пізнання. Кількість ітерацій залежить від складності об'єкта проектування і кваліфікації конструкторів. Завершальним етапом розробки стає випуск робочої документації.

Сучасні методи проектування має бути орієнтовано на широке використання ЕОМ, не виключаючи людину при вирішенні найбільш складних і творчих задач. Таку особливість називають ергатичністю, припускаючи розумне сполучення формалізованих (машинних) і неформалізованих (людських) процедур у процесі проектування. Теоретичні методи аналізу можуть дати достовірні результати лише за умови можливості врахування усіх факторів впливу на проектувану машину. У більшості випадків, особливо при створенні нових машин (зразків техніки), це виявляється неможливим.

Основною задачею методології проектування є декомпозиція, яка вимагає логічної схеми послідовності дій, яка найкраще організує процес проектування. Побудову такої схеми будемо вважати першою задачею методології проектування.

Прагнення до широкого використання ЕОМ вимагає формалізації, а це, у свою чергу, вимагає математичної моделі процесу та об'єкта проектування. Розробка математичної моделі складає другу, а методи й алгоритми виконання проектних процедур і операцій – третю задачі методології.

Як будь-яка дійсно наукова дисципліна, методологія проектування має містити основну концепцію, на яку спирається все її спорудження. Такою концепцією можна вважати підхід до проектування як до розпізнавання об'єкта, що якнайкраще відповідає поставленим цілям. Цілі проектування визначаються вимогами безпосереднього й непрямого оточення об'єкта. Безпосереднє оточення – середовище, усередині якого буде жити об'єкт; до непрямого відносяться фактори, визначені науково-технічною, економічною і соціальною ситуацією. Перераховані фактори оточення представлено на рис. 9.1 [1].

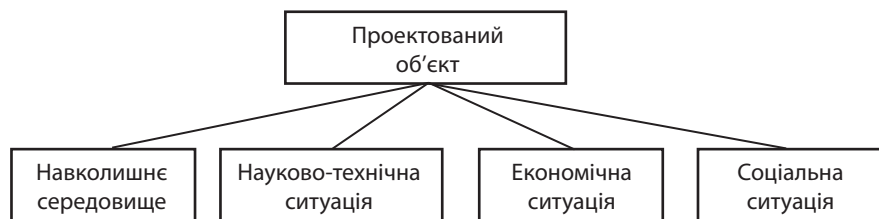


Рис. 9.1. Сфери оточення об'єкта проектування

Технічний рівень проектування багатьох транспортних машин ще не пройшов стадію еволюційного удосконалення, але на зміну йому уже прийшли високі революційні вимоги ергономічності, електронного управління режимами роботи й діагностування для забезпечення технічної й екологічної безпеки. Існуючий розрив у надійності механічних систем тракторів, дорожніх, будівельних і сільськогосподарських машин знижує ефективність застосування в них універсальних електронних систем управління в порівнянні з подібними системами, наприклад, у легкових автомобілях. Впровадження електронних систем у машинах низького класу надійності вимагає значного підвищення стабільності технічних параметрів стану механічних систем, ресурсу і контролепридатності при збереженні високих економічних показників і конкурентоздатності.

9.2. Цілі управління і керуючі показники якості машин

Будь-яке, навіть найбільш передове технічне рішення, виявляється безплідним, якщо не одержить вдалого технічного втілення з позицій надійності, технологічності, ергономічності, естетичності й екологічної безпеки. Заданий технічний стан досягається на стадії проектування і забезпечується на стадіях виробництва.

Під якістю машини мається на увазі сукупність її властивостей, які визначають здатність задовольняти визначені потреби відповідно до призначення. Прикладом одиничних показників якості можуть слугувати: продуктивність машини, її маса, рівень шуму в кабіні оператора, оглядовість із кабіни управління та ін., а комплексними показниками – надійність в експлуатації чи рівень діагностичного забезпечення.

Проблема управління технічним станом машин в експлуатації не нова. Але вона виникла особливо різко лише 20 ... 30 років тому у зв'язку з підвищенням точності, складності конструкції, збільшення швидкостей і навантажень, вимог діагностування, зниження маси машин.



Рис. 14.5. Ієрархічний принцип управління підприємством

Автоматизовані системи управління розвиваються «усередину», шляхом автоматизації усе більшої кількості операцій в управлінні, вивільняючи людину від усіх рутинних операцій. Це, крім того, сприяє об'єктивізації всякого роду вихідних даних, підвищенню їх вірогідності.

АСУ розвиваються також і «ушир», охоплюючи усе більш високі рівні управління. Створюється загальнодержавна автоматизована система планування й управління. Вона об'єднує в єдине ціле всі системи АСУ – АСУП, територіальні АСУ (ТАСУ), галузеві АСУ і т. д. Початковим етапом такої системи є ЗДАС – загальнодержавна система збирання й обробки інформації. У результаті створення ЗДАС істотно підвищиться оперативність одержання й обробки інформації про діяльність підприємств, галузей і, отже, народного господарства країни в цілому. Це приведе до величезного економічного ефекту, різко підніме темпи росту народного господарства.

14.7. Експертні методи прийняття управлінських рішень в умовах недостатньої інформації

За даними роботи [24] американські спеціалісти стверджують, що 80% інженерних і управлінських рішень приймаються при наявності тільки 20% інформації про керовану систему й фактори, які на неї впливають.

В умовах недостатньої інформації при прийнятті рішень широко використовуються методи інтеграції думок кваліфікованих фахівців – експертні оцінки. Методи одержання експертних оцінок підрозділяються на дві основні групи (рис. 14.6): колективна робота експертних груп і одержання, а потім підсумовування індивідуальних оцінок членів експертних груп. До першої групи відносяться наради, тобто метод відкритого обговорення й

Людина-оператор взаємодіє з ЕОМ через пульт управління. Рішення з управління людина приймає на основі рекомендацій, видаваних ЕОМ.

Подальший розвиток АСУТП іде по лінії з'єднання програмно керованої технології з автоматизованими системами проектування (САПР). У вихідну продукцію САПР включаються програми для різного програмно керованого устаткування. Наприклад, у гнучких автоматизованих системах програми і вихідні дані на магнітні стрічки використовуються у верстатах із ЧПУ для виробництва спроектованих деталей.

САПР для складних виробів будуються як людино-машинні системи. Потужна ЕОМ забезпечується спеціальними дисплеями, які представляють собою робочі місця конструкторів. Для системи розробляється спеціальне математичне забезпечення, що здійснює діалог конструктора з ЕОМ.

14.6. Автоматизована система управління виробництвом

Системи організаційного управління за своєю специфікою не можуть бути цілком автоматичними. На людей у таких системах покладається вирішення таких задач [7]:

- постановка й коректування цілей і критеріїв управління (вони можуть мінятися при зміні умов);
- внесення творчого елемента в пошук найкращих шляхів досягнення поставлених цілей (рішуча зміна застосовуваної технології або організації і т. п.);
- остаточний вибір вироблюваних системою рішень і додання їм юридичної чинності;
- постачання системі первинної інформації, збирання якої нераціонально автоматизувати (дані кадрового обліку, побажання про зміну місця роботи і т. п.).

АСОУ (АСУП) звичайно будуються за ієрархічним принципом (рис. 14.1, рис. 14.5).

Зверху вниз іде потік керуючих впливів, а знизу нагору – інформація про поточний стан об'єкта управління більш низького рівня.

При рознесенні задач за рівнями управління, при декомпозиції системи у процесі проектування слід пам'ятати принцип субоптимізації і найважливіше положення системотехніки: оптимальна система в цілому зовсім не забезпечується оптимальністю за локальними критеріями кожної з підсистем. За допомогою кібернетичного моделювання на ЕОМ вдається знайти оптимальну структуру АСУ, а також уточнити оптимальний розподіл задач між технікою й людьми.

Технічний стан визначається сукупністю значень параметрів і ознак машини, підданих зміні в результаті зміни конструкції, технології виробництва, зносу, старіння, корозії, втоми матеріалів і інших деградаційних процесів в умовах експлуатації. У залежності від стадії життєвого циклу машин розрізняють види технічного стану, які відповідають технічним умовам, технічній документації, заданим проектним вимогам, справний, несправний, працездатний, непрацездатний та ін.

Під управлінням технічним станом машини звичайно розуміють спрямований вплив на керовану систему з метою її переходу з одного стану в інший. Під управлінням станом при проектуванні слід розуміти всі процеси оптимізації параметрів конструкції й випробувань макетних і дослідних зразків для доведення механічних систем машини, систем діагностування й управління до заданого проектом технічного стану. А при експлуатації й ремонті – усі цілеспрямовані технічні впливи на збереження й відновлення номінальних проектних значень сукупності параметрів стану, які попереджають відмови машини.

Як і в кожному процесі управління, тут можна виділити мету, керовану систему, керуючі показники, цільові функції управління, динамічний характер та причинний зв'язок елементів системи, зворотний зв'язок і антиентропійність.

Ціль управління технічним станом машини (управління системою) полягає в проектному забезпеченні оптимальних технічних параметрів і збереженні їх високої надійності й ефективності у процесі експлуатації. У першу чергу це відноситься до таких показників надійності як довговічність (технічний ресурс) і безвідмовність. У створенні моделей, розробці алгоритмів і програм прогнозування технічного стану полягає основна перспектива оцінки показників надійності.

Керуючими показниками при створенні машини виступає якість проектування й виготовлення, а в експлуатації – міжконтрольний наробіток чи періодичність обслуговування та ремонту, які допускаються без технічного впливу на відхилення ресурсних і функціональних параметрів, похибки зміни параметрів, ступеня відновлення ресурсних і функціональних параметрів при ремонті, призначуваний наробіток при проектуванні й ремонті (залишковий ресурс), повний термін служби машини чи її складових частин до списання.

Якщо в машині вже у вихідному стані діють переважно швидкі енергетичні процеси (рис. 9.2), то ефективність застосування електронних систем управління режимами роботи машини і діагностування знижуються

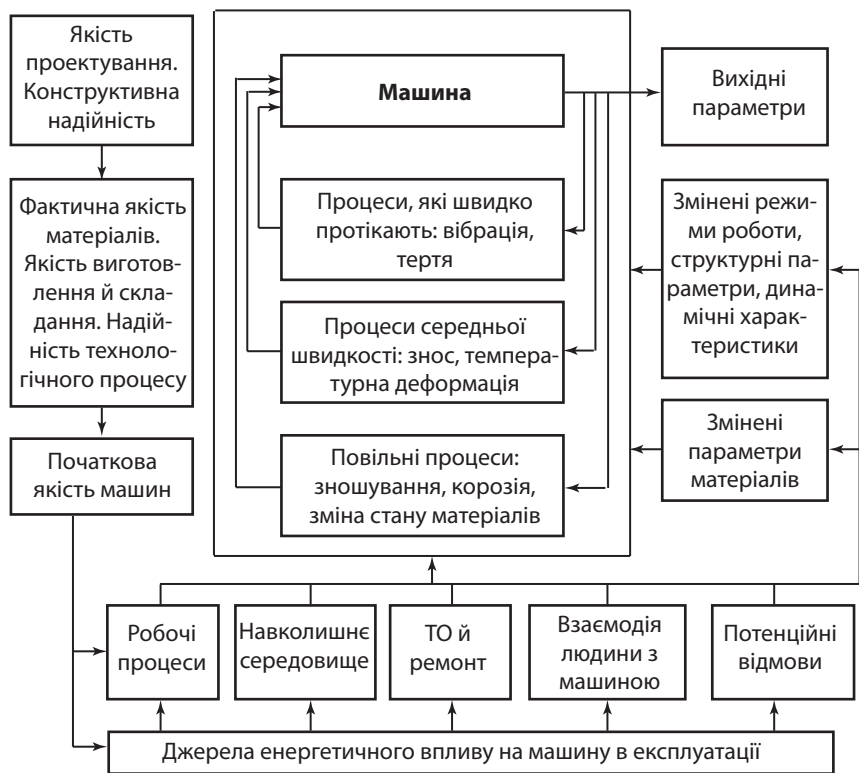


Рис. 9.2. Фізико-імовірна модель енергетичних впливів на машину у процесі експлуатації

[3, 6, 15, 17]. Тому задачею проектного забезпечення надійності машин є досягнення максимальних можливостей збереження й самовідновлення вихідних параметрів структурного, функціонального і динамічного станів машини в експлуатації.

9.3. Інформаційний опис машини як кібернетичної системи

Сучасні машини належать до класу великих складних кібернетичних динамічних систем, що представляють собою сукупність взаємозалежних об'єктів і процесів. Під складною технічною системою розуміється система, яку може бути розчленовано на окремі підсистеми, кожна з яких також виконує визначені функції і знаходиться у взаємодії з іншими підсистемами. У свою чергу кожен підсистему також може бути розділено на окремі функціонально пов'язані агрегати, складальні одиниці, деталі й окремі еле-

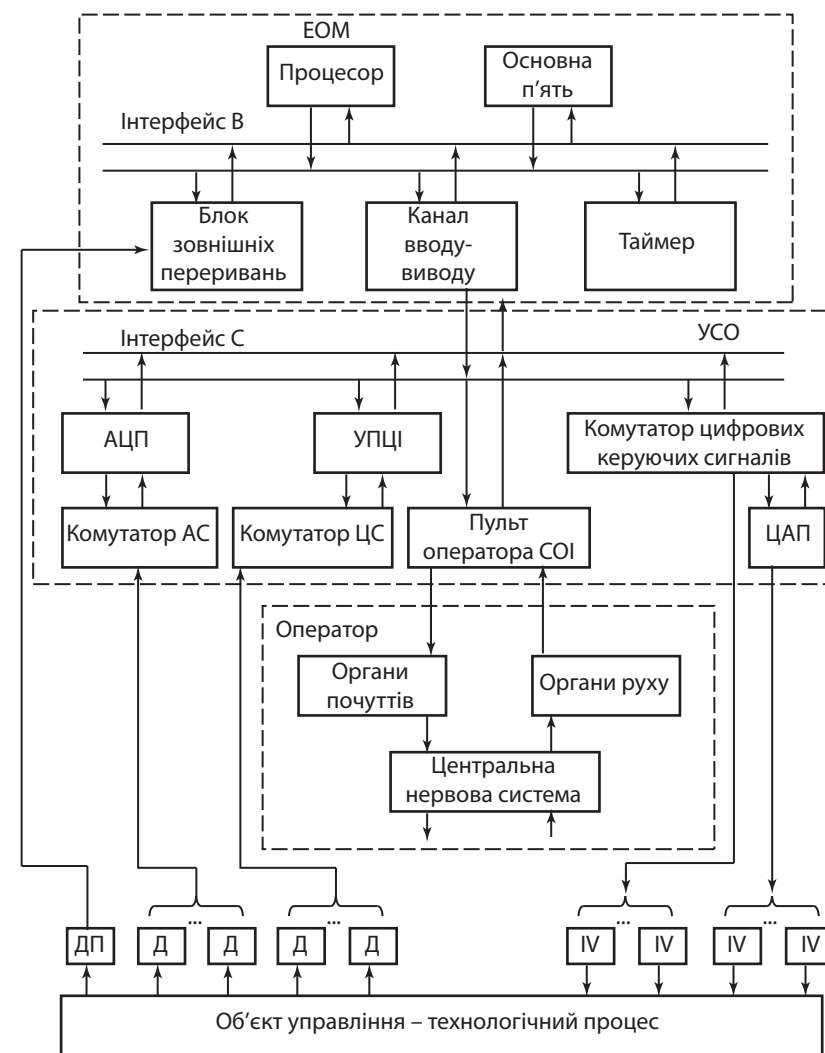


Рис. 14.4. Схема потоків інформації в АСУТП

За отриманою інформацією про стан об'єкта управління ЕОМ за заданим алгоритмом управління робить обчислення і формує керуючу інформацію у вигляді цифрових кодів. Формування й передача від ЕОМ на виконавчі пристрої керуючих впливів у вигляді аналогових, двопозиційних і цифрових сигналів здійснюється за допомогою комутатора цифрових керуючих сигналів.

чі інформації – документ. Існують єдині, так звані інтегровані, АСУ. У них велика частина інформації передається у вигляді сигналів і спеціальних типів документів на машинних носіях (магнітних стрічках і т. п.).

14.5. Автоматизовані системи управління технологічними процесами

Автоматизовані системи управління забезпечують [7]:

- різке збільшення кількості регульованих параметрів (до сотень і тисяч);
- можливість здійснення складних алгоритмів управління (оптимізація, адаптація);
- універсальність, здатність швидко перебудовуватися на нові алгоритми управління;
- наявність компактної й зручної пам'яті, що дозволяє враховувати при управлінні не тільки нинішній стан регульованого об'єкта, але і його передісторію.

Головна задача АСУТП полягає у підтримці заданих технологічних процесів, які характеризуються великою кількістю параметрів і складністю алгоритмів управління.

Розглянемо коротко потоки інформації в автоматизованій системі управління технологічним процесом (рис. 14.4) [7].

У системі можна виділити два основних потоки інформації: той, що надходить в ЕОМ від датчиків фізичних параметрів, які характеризують стан об'єкта управління (зворотний зв'язок), і потік керуючої інформації, переданої з ЕОМ на входи виконавчих пристроїв об'єкта управління (прямий зв'язок).

Обмін інформацією між окремими пристроями ЕОМ відбувається через інтерфейси. Через інтерфейс *B* виконується обмін інформацією між основною й оперативною пам'яттю, процесором і каналом введення-виводу. До інтерфейсу *C* приєднуються всі пристрої зв'язку ЕОМ з об'єктом управління.

Для організації різних циклів обробки інформації й управління об'єктом використовується пристрій поточного часу й блок зовнішніх переривань процесора за сигналами від датчиків.

Засоби, за допомогою яких організується потік інформації, поділяють на дві групи: у першу входять комутатор аналогових сигналів і аналого-цифровий перетворювач для передачі сигналів від аналогових датчиків, у другу – комутатор цифрових сигналів і пристрій прийому цифрової інформації для передачі сигналів від двопозиційних і цифрових датчиків.

Прикладами можуть слугувати наземний, повітряний і морський транспорт, окремі механічні трансмісії та ін. Комплексний план їх створення виробляється на основі моделі життєвого циклу (рис. 9.3). Опис системи – це модель, яка відображає визначену групу властивостей системи. Той самий об'єкт на різних етапах його розгляду може бути представлено у різних аспектах системи: теоретично-пізнавальному, методологічному, науково-дослідному, проектному, інженерному, конструкторському та інших представленні. Вони не можуть бути вирішені відразу прямим замиканням вхідної інформації на постійну концептуальну модель дійсності, а вимагають розгорнутого у часі складного інформаційного пошуку. У цих умовах загальна задача розпадається на підзадачі, тобто відбувається декомпенсація. На схемі рис. 9.3 підкреслено, що розв'язання не тільки задачі 7 виконується з вимогами 8, 9, 10, 11, але й інші задачі (4, 5, 6) виконуються з урахуванням цих вимог.

Будь-яка машина являє собою систему, яка складається з взаємозалежних підсистем і елементів, що виявляється під впливом ряду факторів безпосереднього й непрямого оточення. Основні підсистеми й фактори оточення представлено на рис. 9.4. До безпосереднього оточення відносяться виробниче й природне середовище. Усі інші види оточення – непрямі. Тільки урахування взаємовпливу підсистем машини й впливи на неї факторів оточення може забезпечити успіх при її створенні.

За морфологічного опису аналізують внутрішні пристрої системи, функціонального – діяльність системи, взаємодію із середовищем і між частинами системи, інформаційного – аналізують невизначеності стану системи і її змін. Морфологічний аналіз являє собою розчленовування загальної функції проектного об'єкта на частки й відшукування можливих способів їх виконання. Те чи інше сполучення способів виконання всіх окремих функцій становить варіант технічного рішення (рис. 9.5).

У сучасних системних дослідженнях проблема організації знання про об'єкт на стадії проектування машин не обмежується науковим знанням, а містить у собі фактично усі відомі типи фіксації людського досвіду, тобто інформацію будь-якої природи, якщо її можна зафіксувати для подальшої організації й обробки; це – теоретичні наукові знання, емпіричні відомості, бази даних, думки експертів, спонтанні висловлення учасників аналізу, а також низка нових висловлень, сформованих вже безпосередньо в системних дослідженнях. Інформаційний масив, використовуваний при цьому, містить у собі всі види інформації, серед яких особливу цінність представляють патентна, науково-технічна, кон'юнктурно-економічна, експертна із залученням фахівців різних профілів і галузей знань, результати

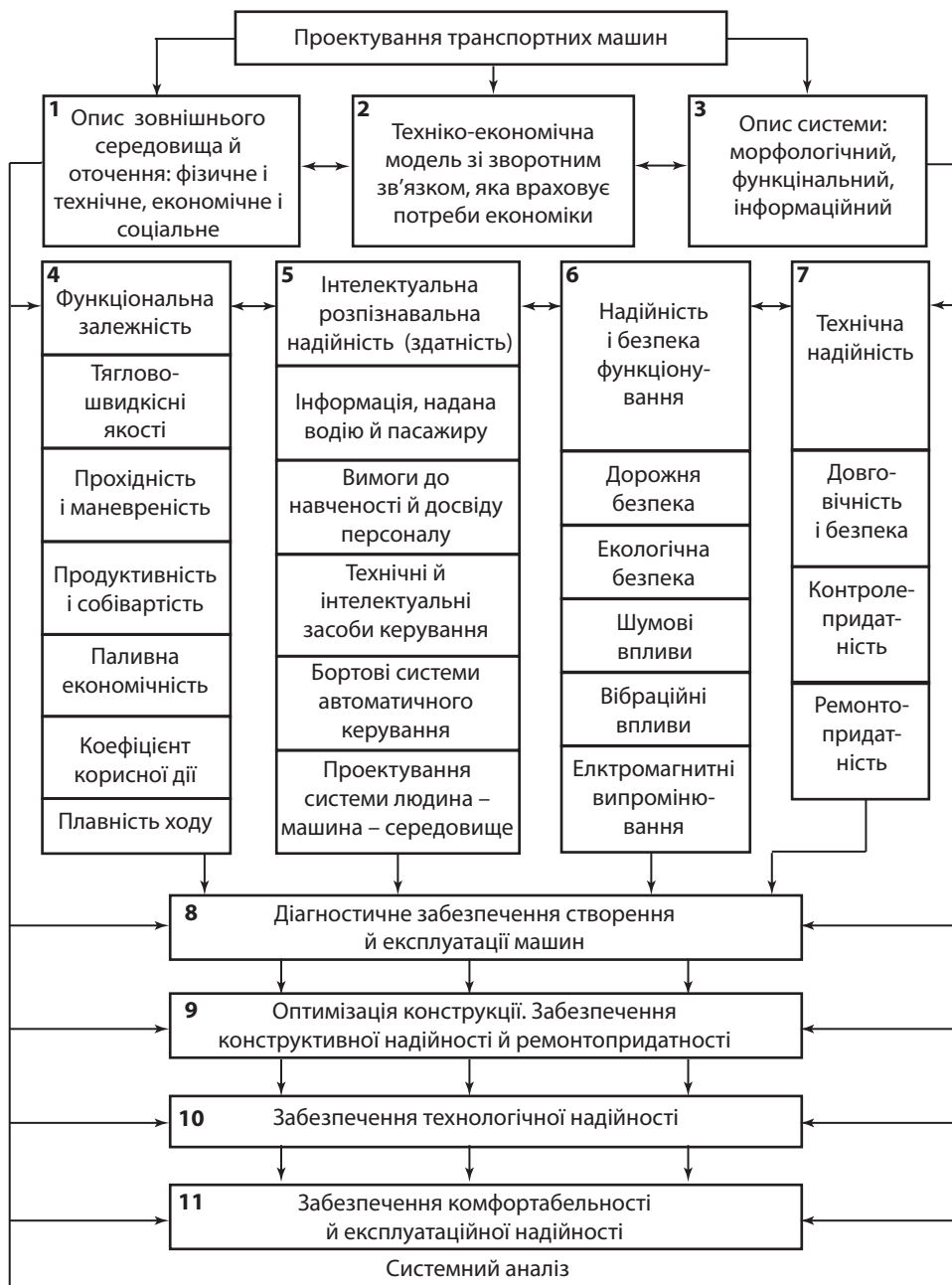


Рис. 9.3. Структурна схема задач і системного підходу до їх розв'язання при проектуванні машин

прикладі АСУ підприємств можна простежити реалізацію багатьох законів і рекомендацій кібернетики: наявність зворотних зв'язків, ієрархічність управління, вплив різних «шумів», наявність ознак динамічної системи і т. п.

В будь-якій системі управління виконується збирання і передача інформації про керований об'єкт, переробка інформації і, нарешті, видача керуючих впливів на об'єкт управління. Автоматизована система управління автоматизує всі процеси обробки інформації й видачі керуючих впливів. Цим, насамперед, АСУ відрізняється від простого використання ЕОМ в управлінні, коли на ній вирішуються окремі задачі керування, тобто здійснюється переробка інформації, етапи ж збирання інформації й формування керуючих впливів при цьому не автоматизуються [7].

Підприємства з великою кількістю підрозділів, різноманітними зв'язками між ними являють собою великі людино-машинні комплекси, які мовою кібернетичних моделей називаються великими системами. Наявні численні труднощі управління такими системами. Застосування ЕОМ в управлінні підприємством і побудова на їх основі АСУ дозволяють внести чітку організацію й дисципліну в роботу управлінського й виробничого персоналу, забезпечити оперативний поточний контроль за ходом виробництва і його своєчасне регулювання, надати необхідні й точні дані для аналізу виробничої й господарської діяльності підприємства, прогнозувати хід розвитку підприємства і т. д.

Впровадження АСУ не може цілком замінити керівника, його творчі здібності, здатність приймати цілеспрямоване рішення при недостатніх даних, його ініціативу, волю й інші якості, особливо з адміністративно-організаційної сфери. АСУ – це комплекс технічних засобів і управлінського персоналу, людино-машинна система, що раціонально поєднує здатності людини і можливості ЕОМ.

Розрізняють два основних типи АСУ: АСУ технологічними процесами (АСУТП) і автоматизовані системи організаційного або адміністративного управління (АСОУ), окремим випадком яких є АСУП. Перші мають справу з технологічними процесами (див. рис. 3.7) у широкому смислі слова (управління верстатом, домною і т. п.), інші – з об'єктами економічної й соціальної природи (підприємство, установа, галузь та ін.).

Головна відмінність цих двох типів систем полягає, насамперед, у характері об'єкта управління. Для перших – це різні машини, прилади, пристрої, а для других – люди, людські колективи.

Інша відмінність – форма передачі інформації. В АСУТП основною формою передачі інформації є різні сигнали (електричні, оптичні, механічні та ін.). У системах же організаційного управління основна форма переда-

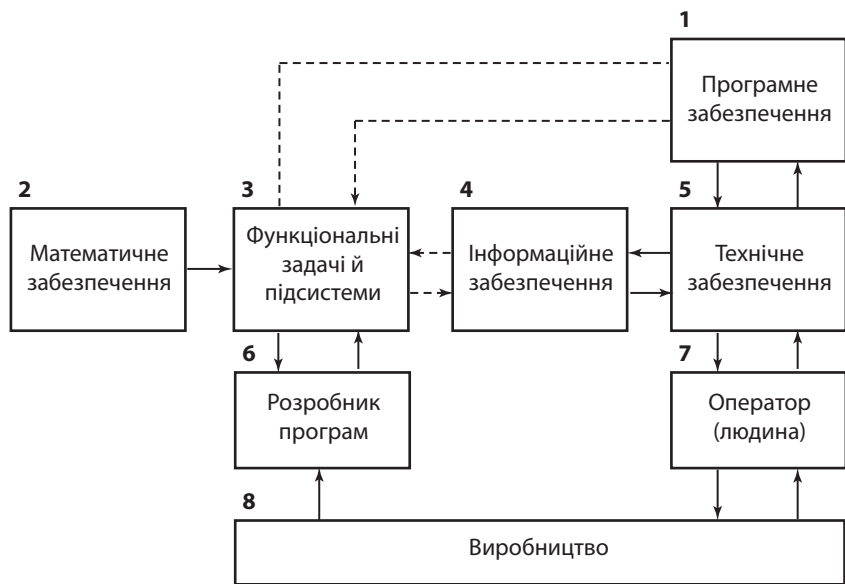


Рис. 14.3. Складові частини (підсистеми) автоматизованих систем управління

14.4. Типи автоматизованих систем управління

Нові інформаційні технології дозволяють виконати всі зазначені на рис. 14.2 процеси, включаючи і зовнішні інформаційні зв'язки з об'єктом управління, засобами обчислювальної техніки.

Причому, якщо при одержанні інформації (зв'язок 7 → 1) або управлінні процесом (зв'язок 6 → 7) бере участь людина, то такі інформаційні технології звичайно утворюють автоматизовані системи управління, тобто системи, у замкнутому контурі управління яких знаходиться людина.

Якщо й одержання інформації, і управлінський вплив реалізуються автоматично, тобто в замкнутому контурі управління «→ 7 → 1 → 2 → 3 → 5 → 6 → 7 →» немає людини, то такі інформаційні технології утворюють системи автоматичного управління. Ці системи оператор (людина) може налаштовувати й коректувати, задаючи режими роботи.

В автоматизованих системах зв'язок з об'єктом управління (виробництвом) здійснює оператор, в автоматичних – відповідні датчики і виконавчі механізми.

АСУ підприємств являє собою приклад складної керуючої системи, яка разом з об'єктом управління утворює велику керовану систему. На

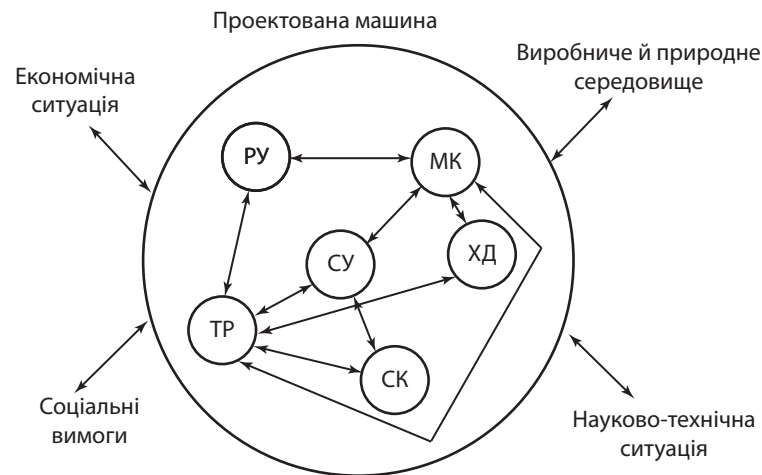


Рис. 9.4. Машина як система:

СУ – силове устаткування; ТР – трансмісія; РУ – робоче устаткування; МК – метало-конструкція; ХД – ходове устаткування; СК – система керування

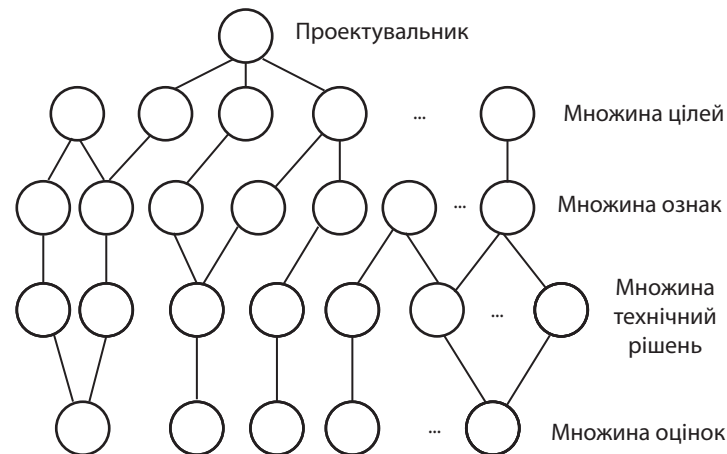


Рис. 9.5. Основні компоненти проектування

дискусій, робочих семінарів. Найбільший обсяг інформації при системному аналізі необхіден для побудови дерева цілей, функцій, декомпенсації об'єкта. Важливо, щоб у понятті «система» було відбито підхід до об'єкта дослідження як до системи.

При дослідженні системи на кожному етапі виділяють свої цілі, задачі та критерії їх досягнення, намічають свої підходи і підзадачі.

Ціль – заздалегідь мислимий результат свідомої діяльності людини, одна з центральних категорій системного аналізу. Ціль залежить від об'єктивних законів дійсності, реальних можливостей і застосовуваних засобів. Залежно від стадії пізнання об'єкта та етапу дослідження в поняття «ціль» вкладають різне тлумачення – від ідеальних устремлінь до конкретних цілей – результатів, досяжних у межах деякого інтервалу часу, що іноді навіть формулюються в термінах кінцевого продукту діяльності. Тому в практичних дослідженнях потрібно, насамперед, вказувати, який зміст на даному етапі розгляду системи має поняття «ціль».

Ціль проектування визначається вимогами безпосереднього й непрямого оточення (див. рис. 9.4). Впливаючи з виниклої проблеми, ціль дає об'єктивний критерій для добору того, що має увійти в систему з навколишнього середовища. З нескінченного світу в систему включається тільки скінченна кількість елементів, які необхідні для функціонування системи, що забезпечує досягнення мети.

Необхідно відзначити, що встановлення цілі для визначення системи є складним процесом і часто не піддається строгій формалізації. Іноді в рамках розглянутої системи не вдається встановити вид цільової функції, у цьому випадку треба переходити до більшої системи, що включає розглянуту як частину.

Поняття мети тісно пов'язано з поняттями цілеспрямованості й доцільності. Для наочного представлення й систематизації цілей зручно використовувати граф цілей. Усе оточення розбивається на рівні в залежності від їх масштабу. На першому рівні міститься сфера, що охоплює інтереси всього людства. На другому – інтереси держави і т. д. Приклад такого графа представлено на *рис. 9.6*. На кожному рівні виникають свої цілі, підлеглі цілям більш високого рівня. Вершини його орієнтовано відносно рівнів сфер оточення.

На цих стадіях пізнання важливо сформулювати правила, ознаки й критерії оцінки якості, стану вимог до методів контролю та ін. Критерій – мірило, точка зору, тобто правило (чи норма), за яким відбираються ті чи інші засоби досягнення мети. У загальному випадку ціль вказує напрямок дії (наприклад, підвищити якість обробки, продуктивність), а критерій доповнює поняття мети і вказує ефективний спосіб її досягнення. Якщо наявна достатня інформація про критерії і вони є кількісними, можна зв'язати аналітичним виразом мету й засоби її досягнення, що буде являти

й передається (блок 5) за призначенням для виконання (використання або як висновок із керуючої системи) як керуючий вплив (блок 6).

Інформаційні технології. Всю сукупність засобів і методів організації інформаційних процесів (обробка, передача, збереження інформації) і утворення інформаційних потоків називають інформаційною технологією. Інформаційна технологія й оброблювана в ній інформація утворюють інформаційну систему.

Розрізняють інформаційні технології двох видів у залежності від вигляду носія інформації (пам'яті), засобів і методів її обробки:

- «традиційні «паперові» – засновані на використанні документів і роботі людини. Інформація зберігається на паперових документах. При такій технології на підприємствах і в організаціях утворюють діловодство і відповідний підрозділ для його ведення – канцелярію;
- нові «безпаперові» (комп'ютерні) – засновані на широкому використанні засобів обчислювальної техніки. Інформація зберігається в базах даних, які представляють собою сукупність взаємозалежних відомостей (даних), збережених засобами обчислювальної техніки.

У виробництві найбільш поширені змішані технології. У них на машинну обробку засобами обчислювальної техніки переводяться процеси складання й розмноження документів, математичні розрахунки, збереження інформації у вигляді баз даних і довідкових систем та ін.

Комп'ютерні технології мають три базові складові: власне техніку (електроніку), яка утворює технічне забезпечення інформаційної системи; програми обробки інформації на цій техніці, які складають програмне забезпечення системи; і нарешті, вихідну інформацію (дані), яка обробляється технікою цими програмами.

Сучасні технічні засоби обчислювальної техніки універсальні і фактично мало залежать від об'єкта застосування. Програми, навпаки, відбивають інформаційний зміст самого об'єкта комп'ютеризації, самої розв'язуваної задачі. Це фактично і є «інтелект» обчислювальної техніки. Програмне забезпечення є однією з основних складових дисципліни з комп'ютеризації виробництва. Усі ці три частини, називані підсистемами, забезпечують, сприяють вирішенню виробничих задач. Підсистема – це частина системи, виділена за якою-небудь ознакою (*рис. 14.3*).

14.3. Інформаційні системи АСУ

Інформаційні процеси подібні процесам із речовиною й енергією. Як речовину й енергію, інформацію можна одержувати, добувати, знімати, шукати, збирати, передавати, обробляти, ховати, зберігати, розподіляти, використовувати, знищувати. Згодом вона старіє і втрачає свою цінність. Тому вона характеризується також і циклом «життя»: зароджується, обробляється, зберігається, використовується, старіє й стає непотрібною. Але інформацією додатково можна маніпулювати і спеціально спотворювати (дезінформувати), її можна кодувати, тобто представляти у вигляді різних символів, сигналів, величин, зображень та ін.

Під обробкою інформації мається на увазі перетворення її в іншу форму, сортування, вибірка, систематизація, пошук, а також сама обробка, у результаті якої виникає інформація з новим змістом.

У керуючих системах інформація проходить ряд етапів, створює інформаційні потоки (рис. 14.2). Інформацію знімає з об'єкта керування (блок 7) виробничий персонал або спеціальний пристрій і передає персоналу управління усно, у вигляді документа або вводить через комп'ютерну систему у формі даних (блок 1). Під даними розуміють відомості, представлені у формалізованому вигляді, зручному для передачі, обробки й збереження за допомогою засобів обчислювальної техніки.

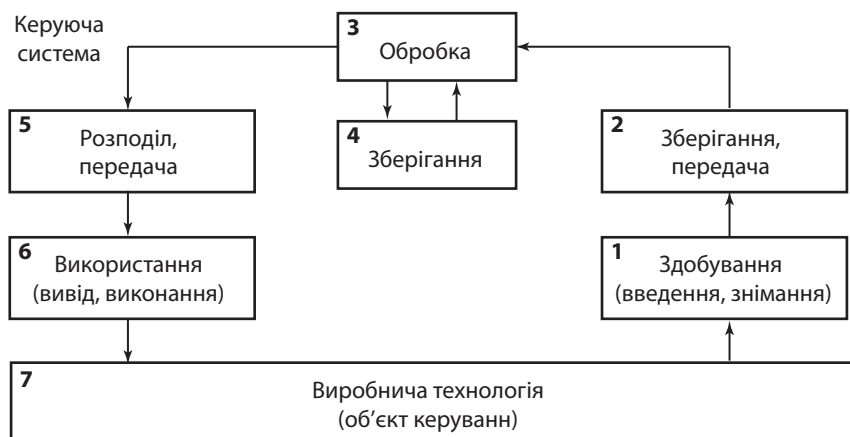


Рис. 14.2. Інформаційні процеси, які утворюють інформаційні потоки в системах управління

Отримана інформація збирається й передається (блок 2) у місця її обробки (блок 3) і збереження (блок 4). Після обробки вона розподіляється

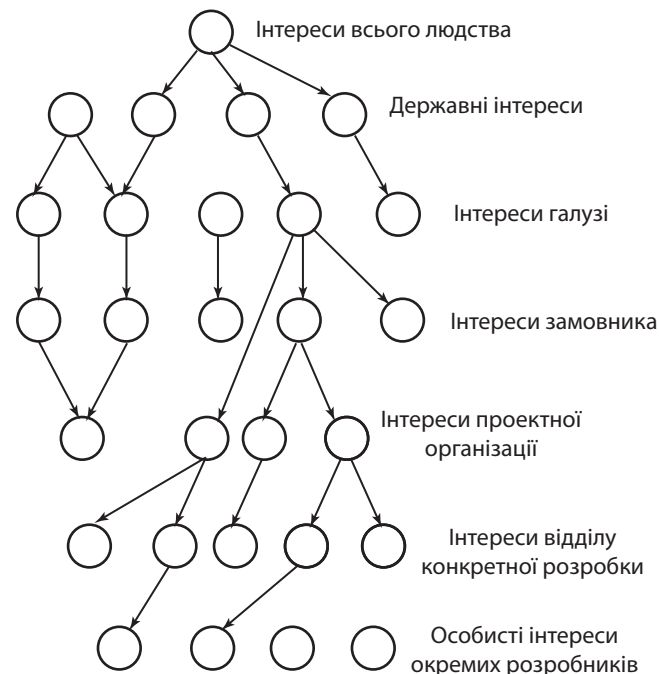


Рис. 9.6. Граф цілей, орієнтований щодо інтересів суспільства

собою критерій ефективності чи критерій функціонування системи. Якщо потрібно задовольнити кілька вимог, то вираз знаходять шляхом якогось поєднання критеріїв. Критерії ефективності дозволяють вирішувати питання вибору засобів для досягнення мети шляхом оптимізації аналітичних виразів різними методами. Однак значна частина критеріїв носить якісний характер, тому такий аналітичний вираз одержати не вдається.

Основу системного підходу при розробці машин складають такі принципи:

- облік усіх етапів життєвого циклу розроблювальної системи – проектування, виробництва, експлуатації й утилізації;
- облік історії, і особливо перспектив, розвитку систем даного й близького класів;
- всебічний розгляд взаємодії системи із зовнішнім середовищем;
- врахування основних видів взаємодії усередині системи, тобто між її частинами, – функціонального, конструктивного, технологічного, інформаційного, енергетичного та ін.;

- врахування можливості зміни вихідних даних і навіть розв'язуваної задачі при проектуванні, виробництві й експлуатації системи;
- виділення головних показників якості, які підлягають поліпшенню в першу чергу;
- сполучення принципів композиції, декомпозиції та ієрархічності;
- виявлення основних технічних протиріч, які перешкоджають поліпшенню якості системи й прискоренню процесу її розробки, а також відшуканню прийомів їх подолання;
- правильне сполучення різних методів проектування (математичних, евристичних, експериментальних);
- забезпечення належної взаємодії фахівців різних рівнів і профілів у процесі проектування.

При величезній розмаїтості задач, розв'язуваних за допомогою системного аналізу (див. рис. 9.3), сьогодні не існує його єдиної методології, не вироблено єдиний, придатний для усіх випадків інструментарій. На різних стадіях дослідження – від інтуїтивної постановки проблеми до вибору оптимальних рішень за допомогою строгих математичних методів – використовуються дуже різноманітні наукові методи і прийоми, виділяється різна кількість етапів аналізу. У цьому випадку людина відбирає такий підхід, що якнайбільшою мірою відповідає підготовленим цілям. Схему основних компонентів проектування можна представити графом із вершинами, які позначають елементи множини цілей, ознак, технічних рішень і оцінок, і ребрами, що відображають відносини між елементами. Процедура пошуку можливих рішень пов'язана з формуванням пізнавальних образів у свідомості людини. Вона найбільшою мірою спирається на творчі початки і виконується частіше неформальними методами, однак уже зараз є спроби розробляти варіанти технічного рішення за допомогою ЕОМ. Прагнення до широкого використання ЕОМ вимагає формалізації, а це у свою чергу – математичної моделі як процесу, так і об'єкта проектування.

Основними задачами методології проектування є:

- розробка (декомпенсація) логічної схеми послідовності дій, що якнайкраще організує процес проектування;
- розробка математичної моделі;
- розробка методів і алгоритму виконання проектних процедур та операцій.

«великих систем», у яких людина бере участь і як об'єкт управління, і як керуюча ланка.

Управління транспортним підприємством не можна розглядати як кібернетичний або інформаційний процес і зводити удосконалювання управління до автоматизації процесів збирання, передачі й переробки інформації. Автоматизовані системи управління й обчислювальні машини лише підвищують інтенсивність і ефективність управлінської праці та технологічних процесів. Машині слід передавати лише те, що вона може виконати краще за людину, а людині залишати те, з чим може справитися тільки вона – людина.

Основна функція інформаційних технологій у системах управління – описати об'єкт управління, відобразити в цьому описі рух матеріальних, енергетичних і фінансових потоків, стан і режими роботи елементів об'єкта, а потім знайти найкращий варіант управління. При такому описі створюється інформаційна модель (образ, відображення) об'єкта управління.

14.2. Людина-оператор як об'єкт управління

Система людина – машина – середовище складається з трьох укрив різнорідних компонентів: технічного, біологічного й інтелектуального, складових разом єдиного і цілісного організму складної системи.

Поєднання техніки, біології й психології одержало назву ергономіка. У залежності від мети і структурної організації системи можна виділити такі основні категорії операторів: водій, технолог, диспетчер, спостерігач, маніпулятор, дослідник, керівник. Суб'єктом управління є людина, що виконує функції прийняття рішень і вироблення керуючих впливів. Схеми функціонування системи «людина-машина» являє собою замкнутий контур управління зі зворотним зв'язком. Для такої складної системи немає цілком адекватної моделі, що, у свою чергу, унеможливає повну автоматизацію процесу управління і, отже, вимагає наявності в контурі управління людини-оператора. Жодна автоматика сьогодні не може перевершити людину в її здатності до швидкої зміни алгоритму управління, можливості прогнозувати розвиток подій на основі власного досвіду й інтуїції, здатності орієнтуватися в умовах неповної або перекрученої інформації.

Базова надійність такої схеми розглядається як потенційна здатність організму людини до надійної роботи, що виражається ймовірністю виконання оператором необхідного алгоритму дій або ухвалення оптимального рішення.

Глава 14.

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

- 14.1. Автоматизовані системи управління.
- 14.2. Людина-оператор як об'єкт управління.
- 14.3. Інформаційні системи АСУ.
- 14.4. Типи автоматизованих систем управління.
- 14.5. Автоматизовані системи управління технологічними процесами.
- 14.6. Автоматизована система управління виробництвом.
- 14.7. Експертні методи прийняття управлінських рішень в умовах недостатньої інформації.
- 14.8. Процедура пошуку оптимального варіанта прийняття технічного рішення.
- 14.9. Методи прийняття інженерних рішень при оптимізації умов технічної експлуатації машин.

14.1. Автоматизовані системи управління

В даний час будь-яка галузь народного господарства утворює багаторівневу керовану систему. Як приклад на рис. 14.1 наведено трирівневу систему управління підприємством. Транспортні підприємства відносяться до

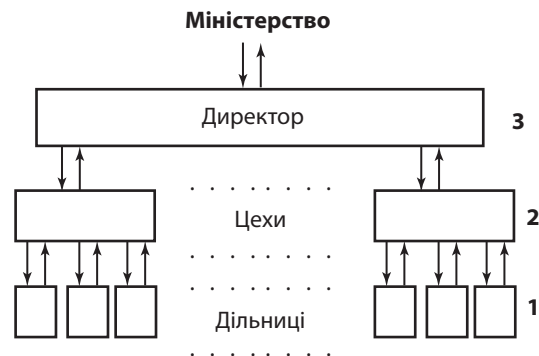


Рис. 14.1. Трирівнева система управління підприємством

Системний аналіз охоплює широке коло досліджень, велику розмаїтість застосовуваних методів. Основними є два підходи.

1. Робиться упор на математичний апарат, задача якого полягає в тому, щоб кількісно визначити найкращу стратегію управління виходячи з математичного критерію оптимальності. Основа такого дослідження – в описі складної системи за допомогою формальних засобів: діаграм, сіток, математичних рівнянь.
2. Робиться упор на логіку системного аналізу і підкреслюється його нерозривний зв'язок з прийняттям рішень – вибором визначеного напрямку та послідовності дій при розробці декількох можливих альтернативних варіантів, які можна розв'язати без чи з застосуванням ЕОМ, застосуванням математики, теорії надійності машин і інших знань.

Системний аналіз є методологією пізнання частин на підставі цілого і цілісного на відміну від класичного підходу, орієнтованого на пізнання цілого через його частини. Він являє собою сукупність наукових методів, інтуїтивних та евристичних підходів, досвіду дослідження і практичних прийомів розв'язання проблем в умовах невизначеності, що дозволяє прийняти оптимальне рішення за умови урахування всіх основних факторів і рішень, які впливають на проблему в цілому. Він враховує принципову складність об'єкта, сукупність зовнішніх факторів, які визначають функціональні вимоги, його розгалужені зв'язки та інші взаємозв'язки з оточенням (технічні, економічні, соціальні), неможливість спостерігати цілу низку його властивостей. Головне в системному аналізі – як досягти максимальної ефективності при розв'язанні не тільки важкорозв'язної, але і важкої для розуміння проблеми, перетворення її у чітку серію задач з альтернативними варіантами розв'язки. При системному аналізі можливо застосування принципу «субоптимізація», при якому оптимальне поведіння системи не обов'язково вимагає оптимального поведіння деяких підсистем, що входять до неї. Одна чи декілька таких підсистем можуть працювати не якнайкраще.

Інформаційний опис має давати представлення про організацію системи. Чим більше цінної інформації, тим вища передбачуваність властивостей і поведіння системи в часі. Велике значення при цьому має визначення ступеня повноти й вірогідності інформації про проблемну ситуацію. При проектуванні машини і на підставі даних готового проекту інформацію про її надійність можна одержати лише розрахунковим шляхом. Саме якість і

вірогідність розрахунків дозволить уже на стадії проектування закласти в конструкцію необхідний рівень надійності машин. При цьому велике значення має створення бази даних – інформаційного опису (див. рис. 9.3), у якій зосереджено інформацію про надійність прототипів аналогічних виробів і комплектуючих вузлів, наявні відомості про швидкості зношування типових пар тертя та інші дані, необхідні для розрахунку початкового рівня надійності і її прогнозування.

Основними інтелектуально-евристичними прийомами і методами пошуку технічних рішень є.

1. *Метод гірлянд асоціацій*. Може бути застосований у тому випадку, коли об'єкту проектування хочуть надати нові властивості. Для цього до його назви підбираються синоніми (якщо це можливо), а потім випадковим образом називають інші об'єкти і складають комбінації з тих і інших. Кожну комбінацію доповнюють тією чи іншою ознакою випадкового об'єкта або асоціаціями, який він викликає. Основний зміст методу полягає в тому, щоб «розхитати» устояне представлення про об'єкт, перебороти інерцію мислення.
2. *«Мозковий штурм»* організує колективний пошук технічних рішень. Керівник збирає групу фахівців, як правило, не більш десяти чоловік, і ставить перед ними задачу. Кожен учасник сеансу «мозкового штурму», що продовжується не більш 1 години, може висловлювати будь-які ідеї. Аналіз і критика їх під час сеансу не допускаються. Основний девіз методу: «Чим більше ідей – тим краще». Якщо в ході сеансу, на думку керівника, висловлено мало ідей, його може бути повторено, можливо, з іншим складом учасників. Усі висловлення певним чином фіксуються.
3. *Метод Дельфі*, на відміну від методу «мозкової атаки», може бути названий незалежним інтелектуальним експериментом, оскільки кожен експерт висловлює свою думку незалежно від думки своїх колег. При цьому заохочується ізоляваність експертів, дотримується професійна таємниця письмового діалогу між прогнозистом і кожним експертом, що сприяє виключенню впливу авторитетів і «тиску» на експерта.

Розрізняють чотири основні різновиди методу Дельфі: простої ранжировки (метод переваги), завдання вагових коефіцієнтів, послідовних порівнянь, парних порівнянь. Метод простої ранжировки полягає в тому, що кожного експерта просять розташувати ознаки в порядку переваги. Метод завдання вагових коефіцієнтів полягає у присвоєнні кожній з ознак

4. *Які існують навігаційні системи інформації про місце розташування автомобіля?*

5. *Наведіть приклади автоматичного регулювання швидкості й забезпечення високої безпеки руху автомобіля.*

6. *Які існують можливості створення автомобілів із кібернетичними системами-роботами?*

взаємодії з навколишнім середовищем. Вони поділяються на три види: із твердою програмою дій, керовані людиною-оператором; зі штучним інтелектом (інтегральні); діючі цілеспрямовано (розумно) без втручання людини. Допускається робота людини разом із роботом зі штучним інтелектом (у так званому супервізерному режимі).

Роботи складаються з трьох блоків: блок сприйняття, блок виконавчого механізму й блок керування (рис. 13.8). З наведеної схеми видно, що людину включено у контур управління робота. На автомобілях є блоки управління окремими агрегатами, блоки сприйняття у вигляді радарів, відеокамер (моніторів), протипожежних сенсорів, система штурманського запису та ін. Блок виконавчих механізмів включає «автопілот», систему автоматичного гальмування, систему «SOS» для екстреної зупинки автомобілів, систему пожежегасіння та ін.

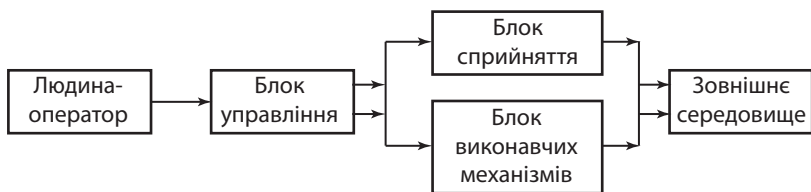


Рис. 13.8. Блок-схема роботи

У найближчому майбутньому в міру автоматизації й електронізації автомобілі стануть складними кібернетичними системами-роботами, здатними частково або цілком виконувати функції людини при взаємодії з навколишнім середовищем.

Об'єднання функцій людини й автомата здійснюється в кіборгах («кібернетичні організми»), у яких можливий симбіоз інтелектуальних і фізичних дій людини і технічних засобів автоматики. Кіборги особливо ефективні там, де людині важко керувати певним об'єктом.

Контрольні питання і завдання

1. Перелічте засоби візуального розпізнавання образів окремих елементів і машин.

2. Наведіть приклади розпізнавання образів і стану машин за нормованими ознаками і класами.

3. Як можна здійснювати автоматичне управління траєкторією руху автомобіля по дорозі?

вагових коефіцієнтів, які може бути представлені двома способами: усім ознакам призначають вагові коефіцієнти так, щоб сума коефіцієнтів дорівнювала якому-небудь фіксованому числу (наприклад, одиниці, десяти, ста і т. д.); найбільш важливій з усіх ознак додають ваговий коефіцієнт, рівний якомусь фіксованому числу, а всім іншим – коефіцієнти, рівні часткам цього числа.

Метод парних порівнянь застосовують при наявності великої кількості альтернатив. Відповідно до цього методу всі ознаки попарно порівнюють між собою і на підставі оцінок парних порівнянь шляхом подальшої обробки знаходять оцінки кожної ознаки. Для полегшення процедури попарного порівняння ознак звичайно складають таблицю матриці парних порівнянь.

4. *Сінектика* подібна «мозковому штурму» й відрізняється від нього лише тим, що основна задача зводиться до обговорення одного чи двох варіантів технічного рішення, але з детальним їх розглядом. До числа учасників групи включаються фахівці різних професій.

5. *Морфологічний аналіз* складається з розчленовування загальної функції проектного об'єкта на частки й у відшуканні можливих способів їх виконання. Те чи інше сполучення способів виконання всіх окремих функцій і складає варіант технічного рішення.

9.4. Діагностика як основа управління станом машин

Діагностування системи – процес розпізнавання стану елементів системи. Це один з основних заходів управління станом і забезпечення заданого ресурсу й надійності машин [1, 6, 15, 16].

У процесі управління технічне діагностування виконує три основні функції (рис. 9.7): одержання інформації про технічний стан конкретної машини; обробка й аналіз інформації; підготовка чи ухвалення рішення – командної інформації.

Зворотний зв'язок у процесі управління технічним станом машин (див. рис. 9.7) слугує для одержання інформації про реакцію об'єкта діагностування після управління, перевірки результатів управління порівнянням очікуваних оптимальних значень показників машини з фактичними показниками і коректування керуючих впливів з метою досягнення заданих чи нормативних результатів технічного стану. На рис. 9.7 показано: 1,2,3 – проектування, виготовлення (ремонт) і експлуатація; Д – допускаються без технічного впливу відхилення параметрів стану; σ – похибка виміру

параметрів; t_M – міжконтрольний наробіток; t_{OCT} – залишковий ресурс; T_{CP} – середній ресурс.



Рис. 9.7. Схема управління технічним станом машини

Якими б різноманітними не були машини й умови роботи, формування показників діагностичного забезпечення відбувається за загальними законами, підкоряється єдиній логіці подій, і розкриття цих зв'язків є основою для оцінки, розрахунку та прогнозування технічного стану, а також побудови раціональних систем оптимізації якості проектування, виробництва й експлуатації машин.

Метою діагностування при проектуванні й доведенні макетних і дослідних зразків є визначення технічного стану, виявлення слабких потенційно надійних елементів і вузлів для їх доробки, визначення оптимальних структурних параметрів машин, які забезпечують задану функціональну, експлуатаційну, технічну надійність, надійність безпечного функціонування і діагностичного забезпечення. На стадії проектування й доведення дослідних зразків машин розробляють систему технологічної підготовки виробництва і діагностичного забезпечення. На стадії оцінки технічного стану макетних і дослідних зразків, якості виготовлення й ремонту основними операціями при випробуваннях є 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 (див. рис. 9.7).

Схему одержання інформації про надійність дослідних і серійних машин, починаючи з етапу її проектування і до закінчення експлуатації, представлено на рис. 9.8. Оцінка надійності проєктованих агрегатів і всієї машини виробляється за результатами діагностування машин при випро-

Є спеціальна система пізнавальних «сигналів про наміри», яка за допомогою бортової ілюмінації у залежності від ситуації інформує: «після вас», «незабаром гальмує», «попереду перешкода», «допоможіть мені». Система навігаційного комплексу відтворює на дисплеї карту дороги, маршрут руху, відстань у кілометрах, дорожні умови, наявність зон відпочинку та ін.

Друга категорія технологічних нововведень включає систему автоматичного гальмування й зупинки, яка за допомогою вбудованого радара й відеокамери визначає відстань до перешкоди і враховує параметри руху. У разі потреби вмикається аудіовізуальний сигнал тривоги для попередження водія про можливе зіткнення і якщо водій не приймає відповідних мір, здійснюються автоматичне гальмування й зупинка автомобіля. Друга система «SOS» призначена для негайної зупинки автомобіля у випадку раптового приступу болю й погіршення стану здоров'я. При натисканні на кнопку «SOS» вступає в дію автоматична система зупинки автомобіля і включається сигнал «допоможіть мені».

Третя категорія включає чотири системи безпеки: «подушки безпеки», реміні безпеки, які самозатягуються, систему автоматичного гальмування й зупинки автомобіля після зіткнення, а також спеціальний надувний «мішок» у капоті, який «спрацьовує» у випадку зіткнення з людиною для полегшення її «контакту» з автомобілем.

Остання, четверта, категорія складається із системи пожежегасіння, оповіщення і «штурманського запису». Система пожежегасіння включається натисканням кнопки. У критичних ситуаціях автоматично відкривається капот для надання «зовнішньої допомоги».

Система оповіщення про ДТП здатна автоматично встановлювати зв'язок із поліцейським комп'ютером зі вказівкою місцезнаходження автомобіля і ступеня його ушкодження. Система «штурманського запису» («чорна шухляда») фіксує характеристику руху автомобіля і за допомогою камер реєструє відеокартинку.

Описана унікальна кібернетична система гарантує зниження дорожньо-транспортних випадків мінімум на 50%.

13.6. Автомобілі з кібернетичними системами-роботами¹

Екстрасучасні «думаючі» автомобілі з повним обґрунтуванням можна вважати роботами. Робот – це машина, яка в антропоморфному (людино-подібному) поведженні частково або цілком виконує функції людини при

¹ Підрозділ написано проф. Н. Я. Говорущенком [1].

Може бути створено також систему регулювання швидкості руху. Така система з електромеханізмами для переключення передач дозволяє цілком автоматизувати управління серійними автомобілями. Автоматизовані системи управління автомобілів у перспективі можуть найти широке практичне застосування.

У таких автомобілях функції водіння може бути передано електроніці й автоматичі, які мають низку суттєвих переваг перед людиною. Водій може включити «автопілот» і зайнятися сторонньою справою. Автомобіль самостійно при необхідності пригальмовується або розганяється до заданої швидкості. Такі системи «думаючого автомобіля» і «розумної дороги» у Японії плануються ввести на основних швидкісних магістралях, починаючи з 2010 р.

Багато закордонних фірм приділяють особливу увагу розробці систем, які забезпечують високу безпеку руху. Так, наприклад, фірма «Тойота» на останніх моделях шостого покоління встановлює 17 оригінальних систем безпеки, які вирішують проблему безпеки автомобіля в цілому, а не окремих його вузлів і елементів. Загальна кібернетична система безпеки складається з чотирьох категорій технічних нововведень: система профілактично-попереджувальної безпеки, система запобігання аваріям і зіткненням, система мінімізації ушкоджень при зіткненнях і система мінімізації ушкоджень після зіткнення.

У першу категорію входить блок «боротьби з дрімотою», який реєструє пульс водія й чіткість водіння автомобіля, фіксує «переддрімотний» стан і зниження «рівня пильності» і подає сигнал тривоги шляхом вібрації крісла водія й у разі потреби зупиняє автомобіль.

Контроль за тиском повітря в шинах здійснює комп'ютер, тиск вимірюється в усіх колесах при русі автомобіля й у випадку його зниження попереджається водій.

Спеціальні протипожежні сенсори контролюють температуру під капотом двигуна і попереджають про перегрів двигуна.

Передбачено автоматичне регулювання фар. Для цієї мети спеціальний радар і відеокамери вивчають та аналізують дорогу, встановлюють оптимальний світловий режим і попереджають «осліплення» водія зустрічного автомобіля.

На передньому бампері встановлено два бічних монітори (камери), за допомогою яких реєструється бічний огляд і фіксуються «сліпі кути».

Спеціальна інформаційна система виводить на лобове скло швидкість руху, запас палива і поточні дані про дистанції між автомобілями, що рухаються попереду й позаду, про виниклі несправності і т. д.

буваннях. Систему для комплексних досліджень і діагностування автомобілів у лабораторних умовах представлено на рис. 9.9.

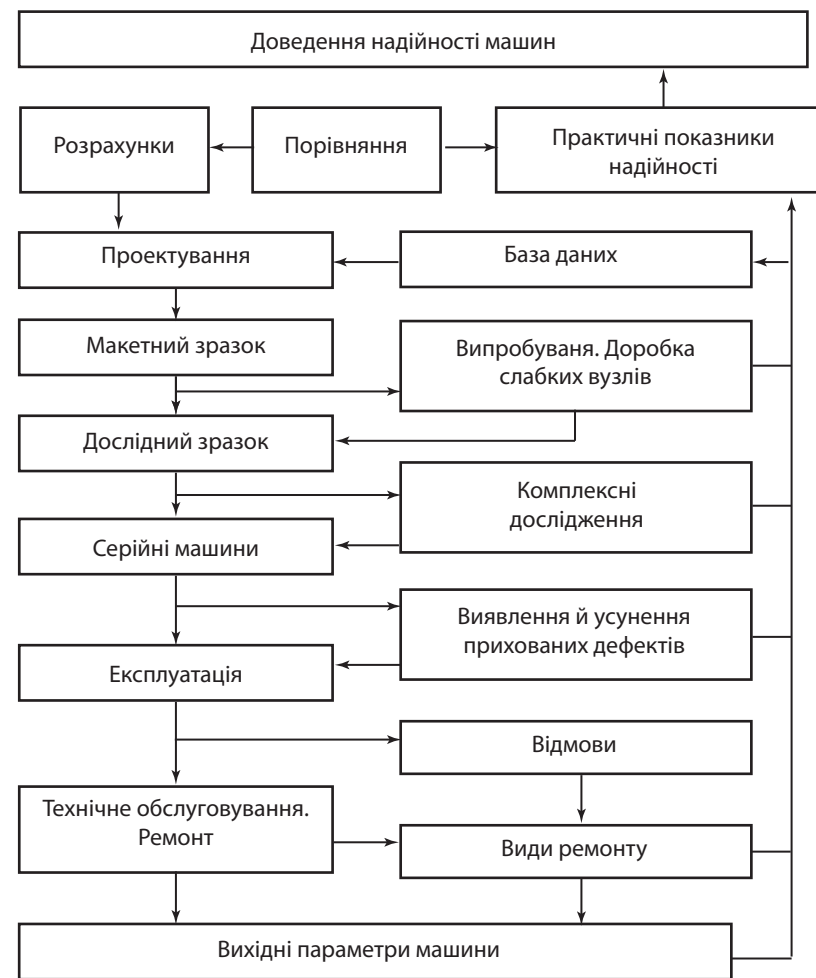


Рис. 9.8. Схема одержання інформації про технічний стан машини

Програма випробувань макетних, дослідних і серійних машин розробляється на стадії технічного проекту. Вона включає цілі випробувань, їх алгоритм, вибір вимірювальної апаратури; способи обробки експериментальних даних.

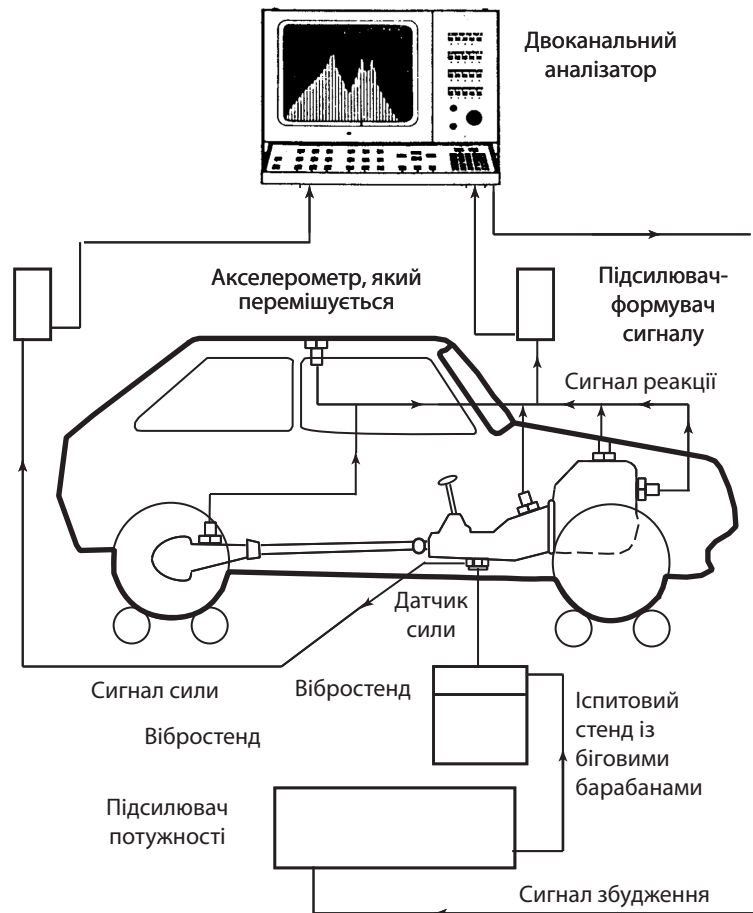


Рис. 9.9. Система для комплексних досліджень і діагностування автомобілів

Випробування займають багато часу у розробці, виготовленні, експлуатації машин і визначенні їх якості. Основні задачі діагностичних випробувань:

- порівняльні випробування на надійність підсистем, вузлів, агрегатів в умовах, наближених до виробничих, розробка рекомендацій для конструкторів;
- комплексні стендові випробування дослідних і перших зразків машин, які серійно випускаються, з метою визначення основних характеристик і параметрів, уточнення методів регулювання й обслуговування, перевірки контролепридатності, якості виготовлення й

ацію (завантаження доріг, затори на окремих ділянках і т. п.) і оперативно поновляти відомості для водіїв для вибору підходящого маршруту [23].

Найбільш досконалими на сьогодні є системи з двостороннім зв'язком. Це забезпечується за рахунок систем навігаційних маяків, установлюваних по місту й у вузлах транспортної мережі (рис. 13.7). Ці системи забезпечують обмін інформацією між будь-яким водієм, автомобіль якого обладнаний такою системою, і центром управління. Водію необхідно тільки повідомити пункт призначення. Надалі при русі по місту він буде одержувати директивні команди з центра управління про вибір напрямку руху на всіх перехрестях.

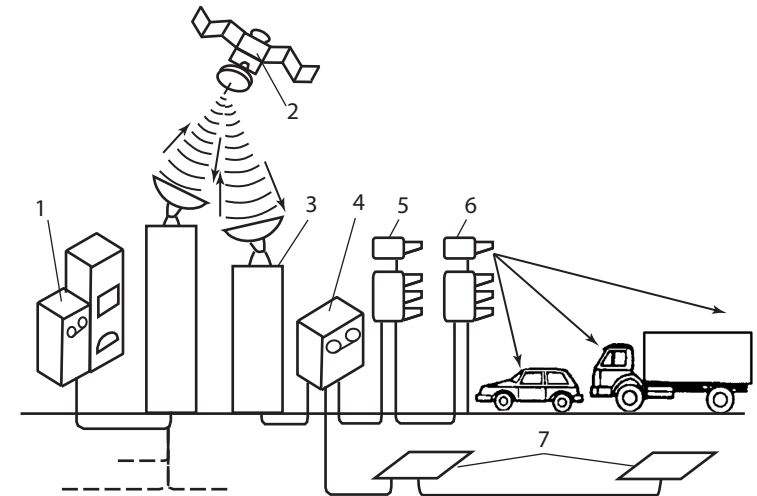


Рис. 13.7. Схема дії системи навігаційних радіомаяків

13.5. Автоматичне регулювання швидкості й забезпечення високої безпеки руху автомобіля¹

Маяки (див. рис. 13.7) являють собою електромагнітні контури 7, або прийомопередатчики 6 інфрачервоного випромінювання, що постійно збирають дані про дорожній рух. Потім ця інформація через радіостанцію 3 із клавіатурою 4 і супутник зв'язку 2 передається на центральну ЕОМ-1, де обробляється за заздалегідь складеними алгоритмами і програмами. Ці дані за тим же ланцюжком, але у зворотному напрямку, повертаються до радіомаяка 5, а від нього – на дисплей водія [23].

¹ Підрозділ написано проф. Н. Я. Говорущенком [1].

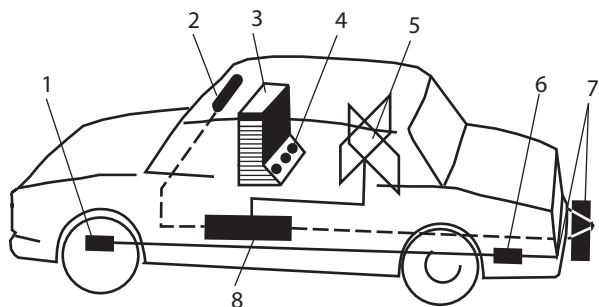


Рис. 13.5. Схема дії маршрутного комп'ютера:

1 – датчик пройденого шляху; 2 – антена; 3 – дисплей; 4 – клавіатура управління;
5 – датчик азимуту; 6 – датчик палива; 7 – прийом інформації

ляє інформацію в реальному масштабі часу; дисплей для її відображення з клавіатурою управління, розміщеною на приладовій панелі. Найбільш доведеними автономними системами вважаються дві: американські маршрутні комп'ютери фірм «Compakruis» і ЕТАК [28].

Навігаційні системи, представлені на рис. 13.6, здатні сприймати більше дорожньої інформації, тому що мають канали зв'язку з мережею встановлених на міських вулицях радіопередавачів-радіомаяків і центром управління. Система радіомаяків 2 (див. рис. 13.6, а, б) видає інформацію центра управління водію через звичайні автомобільні радіоприймачі про погодні умови, відомості про ДТП, обмеження швидкості на окремих магістралях. Наявність додаткових детекторів 3 транспорту (див. рис. 13.6, б) дозволяє центру управління аналізувати сформовану на транспортній мережі ситу-

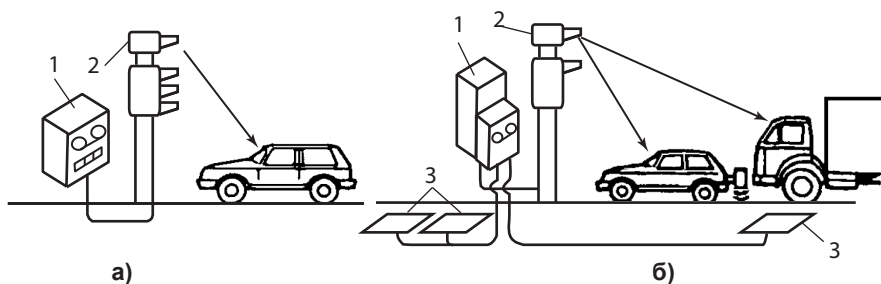


Рис. 13.6. Схема дії радіоінформатора:

а – без детектора транспорту; б – із детектором транспорту; 1 – банк даних центра управління; 2 – радіомаяк (радіопередавач); 3 – детектори

складання, граничних режимів, що допускаються умовами надійності й безпеки;

- полігонні й експлуатаційні випробування машин з метою уточненого дослідження впливу робочих навантажень і зовнішнього середовища, розробки рекомендацій із правил обслуговування, діагностування, періодичності профілактичних робіт;
- уточнення й перевірка паспортних даних, зіставлення їх з вітчизняними й міжнародними нормами;
- прискорені комплексні випробування стаціонарно встановлених машин з метою скорочення термінів їх освоєння, виявлення прихованих дефектів і регулювання за об'єктивними даними;
- уточнення періодичності діагностування, термінів і обсягу виконання ремонтних робіт, способів перевірки якості ремонту;
- одержання даних для узагальнення досвіду виробництва й експлуатації машин з метою подальшого вдосконалювання їх конструкції, методів і термінів їх управління, контролю й діагностування.

Випробування мають бути короткочасними, але достатніми для ухвалення правильного рішення для внесення відповідних виправлень у проект серійної машини. У зв'язку з цим дуже важливо обрати універсальний критерій оцінки технічного рівня проектування. І тут на перше місце висувається оцінка вібраційних характеристик окремих вузлів і всієї машини, потужності, ККД, швидкісних режимів, витрати палива й інші параметри надійності (див. рис. 9.3). Будь-яке форсування випробувань, як правило, спотворює процес зміни вхідних параметрів машини.

Основна задача контролю якості виробництва – забезпечення вимог до якості машин, працездатності, достатньої глибини й вірогідності оцінки їх технічного стану призначеними для цього технічними системами діагностування. Уже у процесі виробництва необхідно оцінювати стан окремих складових і комплектних машин для збереження проектних параметрів та перевірки правильності складання й монтажу, проведення регульовальних робіт, налагодження й випробування всіх технічних систем, у тому числі діагностичного забезпечення, на відповідність вимогам технічної документації [16].

Суть першої функції при діагностуванні на стадії експлуатації (див. рис. 9.7 і 9.8) – вимір діагностичних параметрів, встановлення якісних ознак стану, а також наробітку машини і її складових частин; другої функції – обробка і порівняння отриманих значень параметрів із припустимими,

використання отриманих значень параметрів і наробітку для прогнозування залишкового ресурсу; третьої функції – аналіз результатів порівняння, прогнозування, а також якісних ознак стану і встановлення характеру, обсягу і терміну виконання (наробітку) операцій технічного обслуговування і ремонту машин, тобто керуючих технічних впливів.

Технічне діагностування забезпечує одержання, обробку, аналіз і видачу інформації – об'єкта й продукту процесу управління станом машини, як і будь-якого іншого процесу управління. Тому діагностування представляє собою основний зміст управління станом машин.

Застосування технічного діагностування забезпечує спрямовану зміну не тільки технічного стану машин, але і самої системи їх обслуговування й ремонту. Саме діагностування – неодмінна умова переходу на прогресивну систему технічного обслуговування й ремонту машини за її станом. Те ж саме відноситься до операцій технічного обслуговування й ремонту машин.

У практичному аспекті діагностування забезпечує управління технічним станом машин, вирішуючи при технічному обслуговуванні такі задачі: встановлення необхідності капітального ремонту машини чи її складових частин; обсягу й характеру робіт поточного ремонту машини чи її складових частин; обсягу й характеру робіт при виконанні операцій технічного обслуговування.

При ремонті машин вирішується задача встановлення складових частин, які підлягають ремонту, відновленню, а також оцінки якості ремонтних робіт.

Вимоги антиентропійності (мінімальної невизначеності, високої вірогідності) визначення, прогнозування технічного стану машин, оцінки їх показників надійності й ефективності, а також порівняння результатів у першу чергу пред'являються до процесу управління технічним станом машин. Ці вимоги можна виконати, знижуючи похибку виміру й прогнозування параметрів стану машин, безпомилково продукуючи впливи в залежності від заданих значень керуючих показників, одержуючи точну інформацію про показники надійності й ефективності машин після технічних впливів, знижуючи похибку результатів порівняння, а також похибку коректування керуючих показників машин.

9.5. Класифікація об'єктів і нормування їх технічних характеристик

Будь-який енергетичний об'єкт чи процес має визначені характеристики його параметрів і властивостей, що і є предметом складання відомо-

нал із виходу фазового детектора надходить у релейний ланцюг, що фіксує наявність і швидкість руху автомобіля на даній ділянці дороги.

Блок-схему дорожніх пристроїв для автоматичного управління автомобілем представлено на рис. 13.4. Під полотном дороги, крім дроту для управління передніми колесами й витків виявлення автомобіля, вмонтовано також спеціальні проводи-антени уздовж осі дороги для передачі інформації автомобілям із приладами автоматичного управління й попередження про наявність автомобілів і їх швидкість руху. Один кінець антени заземлено, інший – приєднано до сигнального генератора. Кожен індикатор машин на дорозі з'єднаний із суміжним сигнальним генератором, усі вони послідовно з'єднані між собою і тому інформація передається автомобілем, що рухається, уздовж дороги. При наїзді автомобіля на виток виявлення індикатор подає постійну напругу на спеціальні пристрої (згасаючу лінію), які складаються з діодів, що не пропускають струм у напрямку руху автомобіля, і паралельно – на резистори. Діоди у зворотному напрямку викликають лінійне зменшення напруги від однієї ділянки до іншої. При зниженні напруги до нуля подача попереджувальних сигналів припиняється. За величиною напруги на діодно-резисторній лінії, переданій за допомогою сигнального генератора, можна судити про відстань і швидкість автомобіля, який рухається попереду. Швидкість визначається або шляхом рахування імпульсів після проїзду автомобіля над витком виявлення, або за часом проходження відстані між витками.

13.4. Навігаційні системи інформації про місце розташування автомобіля

Функціональні можливості розроблених у різних країнах систем різноманітні. Одні показують водію розташування заданого пункту призначення, його далекість, а також місце розташування автомобіля, інші «супроводжують» водія від початку поїздки до кінцевого пункту, безперервно вказуючи оптимальний напрямок руху до заданої цілі з урахуванням зміни дорожньої обстановки. Є і більш прості системи, які видають інформацію лише загального характеру: про погодні умови, ДТП, що мали місце у населеному пункті або на маршруті руху і т. д. Але в будь-якому випадку їх ціль – оптимізація управління: зниження часу й вартості поїздки, забезпечення водію можливості коректувати свій маршрут.

Проста комп'ютерна навігаційна система, представлена на рис. 13.5, включає датчики пройденого шляху, палива й азимуту; антени для прийому інформації в УК-діапазоні і на радіочастоті 6 кГц; процесор, що оброб-

До систем управління рухом пред'являються такі основні вимоги: оптимізація маршрутів, зменшення затримки й кількості зупинок, зниження втрат часу при зрушенні з місця, зменшення витрати палива, зносу шин і забруднення навколишнього повітря, рівномірний розподіл автомобілів у даному районі; підвищення безпеки руху та ін.

Для задавання траєкторії (орієнтації) руху машин застосовуються пристрої механічні, фотоелектричні, індукційні, радіаційні за допомогою радіоактивних ізотопів. При автоматизації водіння машин використовуються копіюючі гідромеханічні, електромеханічні і пневматичні пристрої.

Копіюючу систему з використанням системи індукційних пристроїв для задавання траєкторії руху автомобіля наведено на *рис. 13.4* [1]. У дорозі прокладається дріт, по якому протікає перемінний струм високої (звукової) частоти. На бампері автомобіля встановлюються дві котушки чутливого елемента. Сигнали від кожної котушки підсилюються і після детекторів порівнюються для одержання сигналу помилки, яка показує положення автомобіля відносно дроту, вмонтованого в дорогу. Отриманий сигнал надходить у сервопривід управління передніми колесами. Колеса повертаються на такий кут, при якому сигнал помилки дорівнює нулю.

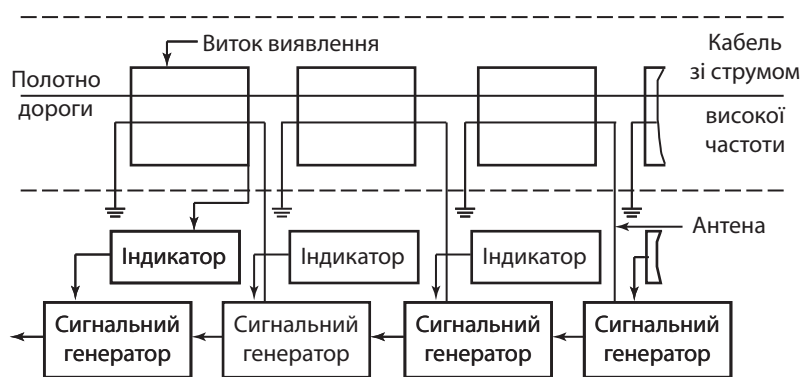


Рис. 13.4. Структурна схема автоматичного управління автомобілями на дорозі

Для того щоб виключити зіткнення автомобілів, потрібні спеціальні пристрої підтримки відстані між автомобілями. Для одержання необхідної інформації про наявність автомобіля, що рухається попереду і його швидкості, в дорогу треба вмонтовувати спеціальні витки (петлі) дроту (*рис. 13.4*). Проїжджаючи над витком, автомобіль зменшує його індуктивність і цим викликає зрушення фаз між напругою, яка знімається з витка, і збудниками. У фазовому детекторі відбувається порівняння, потім сиг-

стей про об'єкт. Установлення класу (категорії) технічної системи за функціональними і технічними характеристиками, надійністю безпечного функціонування використовується для визначення якісних зв'язків між однотипними об'єктами.

Класифікаційними ознаками об'єктів машин і механізмів можуть бути: потужність, частота обертання, ККД, рівень створюваної вібрації й шуму, продуктивність, витрата палива, викид шкідливих речовин, температура, рівень створюваних магнітних полів та ін. Кожен клас об'єкта може класифікуватися також за ресурсом, габаритами, вагою і т. д.

Основні параметри технічних характеристик доведених машин одного класу конструкції звичайно мають оптимальні сполучення. Це порозумівається тим, що, наприклад, підвищення частоти обертання й потужності вище визначеного значення чи зниження вібрації нижче визначеного рівня відбивається на інших показниках, у тому числі на вартості, ресурсі, термінах виготовлення, вантажогабаритних і потужносних характеристиках. У результаті кожен клас об'єктів технічної системи може характеризуватися достатнім рівнем зіставлення інформації про якісні й кількісні ознаки технічного стану. Тому класифікація об'єктів машин за агрегатами і системами дозволяє одержати повну характеристику – «портрет» машини як кібернетичного об'єкта.

Вимірювально-обчислювальні засоби можуть класифікуватися за точністю вимірів, швидкістю обчислень та ін.

Окрім машин та їх комплекси можуть додатково класифікуватися за рівнем діагностичного забезпечення, автоматизацією робочих процесів, екологічною надійністю та ін.

Інформація про класи об'єктів і їх технічні характеристики використовується для оцінки якості і технічного рівня проектування й конкурентоздатності технічних систем, у розробці єдиного метрологічного й діагностичного забезпечення. Класифікація об'єктів, засобів і систем дозволяє одержувати порівнянні вхідні й вихідні параметри технічних і технологічних систем, розробляти єдині керуючі впливи для поліпшення їх якісної й кількісної ознак.

Загальний підхід до класифікації машин за рівнем вібрації представлено на *рис. 9.10*. Тут кожен клас вихідних рівнів вібрації (В) відбиває технічний рівень проектування – оптимізації структурних, функціональних і динамічних параметрів вузла, агрегату, машини. Очевидно, що в машинах і механізмах першого класу вібрації діють малі енергетичні рівні, що й віддзеркалюють повільні деградаційні процеси (*див. рис. 9.2*). Відповідно

і розрахунки надійності таких машин мають виконуватися за закономірними процесами старіння матеріалів. А оскільки в машинах низького технічного рівня проектування з рівнями вібрації третього класу протікають переважно швидкі процеси зношування, то розрахунки й прогнозування надійності таких машин має проводитися вже за іншими розрахунковими моделями і з застосуванням інших матеріалів.

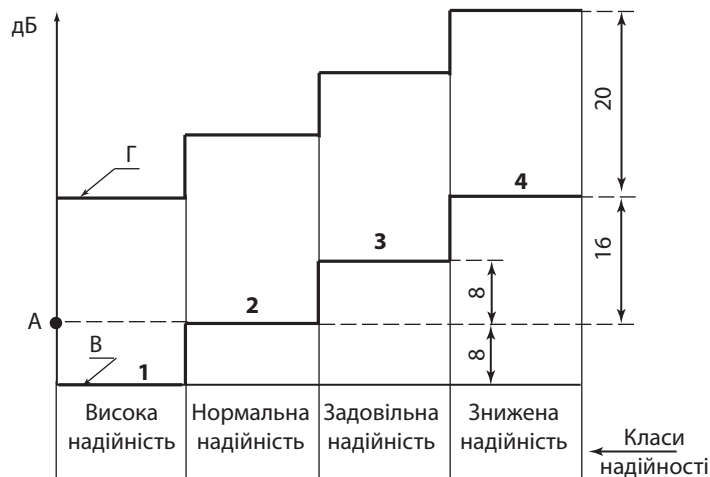


Рис. 9.10. Класифікація надійності машин за класами вібрації

На рис. 9.10 позначено: 1 – 4 – класи вібрації вузлів і машини в цілому; А, Б – рівні вібрації, що припускаються проектом за всім спектром частот від 5 до 10000 Гц; 20 дБ – граничне збільшення експлуатаційної вібрації машин для ресурсних елементів; 8 дБ – рівні перевищення (зниження) вібрації, що визначають перехід машини в інший клас технічного стану; В – вихідні рівні вібрації машин проектного стану класів 1 – 4; Г – гранично припустимі вібрації ресурсних елементів в експлуатації (область працездатного стану).

Запас надійності (працездатності) машин класів вібрації 2, 3 і 4 у порівнянні з класом 1 складає 2,5; 1,5; 0,5 відповідно [15]. Тому проектування машин технічного рівня надійності 4 має бути дуже обмеженим. Методологію розрахунку й доведення машин до заданого рівня вібрації описано в роботі [17].

Доведення машин до заданого класу вібрації (див. рис. 9.10) виробляється методами поглибленої діагностики макетних, дослідних зразків і першого промислового випуску машин, що дозволяє виявляти дефекти

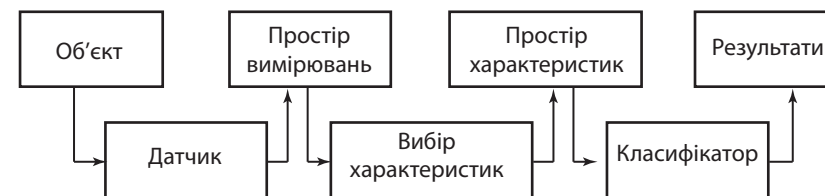


Рис. 13.3. Схема системи розпізнавання образів

У даній схемі використовується класифікаційний метод розпізнавання образів. На основі множини об'єктів із відомими властивостями (навчальна множина) за результатами вимірів визначаються властивості об'єктів, які не входять до навчальної множини. Властивість, яка звичайно прогнозується таким методом, полягає в приналежності об'єкта якому-небудь класу або групі, чим і пояснюється назва методу.

Адекватність результатів умовам розпізнавання оцінюється за допомогою перевірки дотримання ряду властивостей (інваріантності результатів до збурюючих факторів, відтворюваність представлення та ін.).

Обробка зображень за допомогою ЕОМ застосовується при розпізнаванні символів, виявленні об'єктів, дистанційному зондуванні, ідентифікації людей за портретами, відбитками пальців і т. д.

Серед операцій з обробки зображень найбільш поширеними є виявлення заданих деталей і ознак, виділення контурів, відстеження динамічних змін.

Звичайно введення інформації в ЕОМ у таких системах здійснюється телекамерами, обчислення виконуються спеціалізованими процесорами.

Сучасні типи високошвидкісних ЕОМ забезпечують машинне розпізнавання й обробку зображень із використанням досить складних алгоритмів. Заелементна обробка зображень за допомогою алгоритмів спектрального, статистичного і топологічного аналізів є основним методом класифікації й ідентифікації зображень. Аналіз неоднорідностей структури зображення, його текстури вимагає використання потужних ЕОМ.

13.3. Автоматичне управління траєкторією руху автомобіля по дорозі

При автоматизації управління рухом машин по дорозі в основному вирішуються такі задачі: автоматизація водіння, оптимізація маршрутів, зносу шин, регулювання швидкості, зменшення витрати палива та забруднення навколишнього середовища, забезпечення безпеки руху. Автоматизація водіння дозволяє підвищити пропускну здатність доріг за рахунок збільшення швидкостей руху.

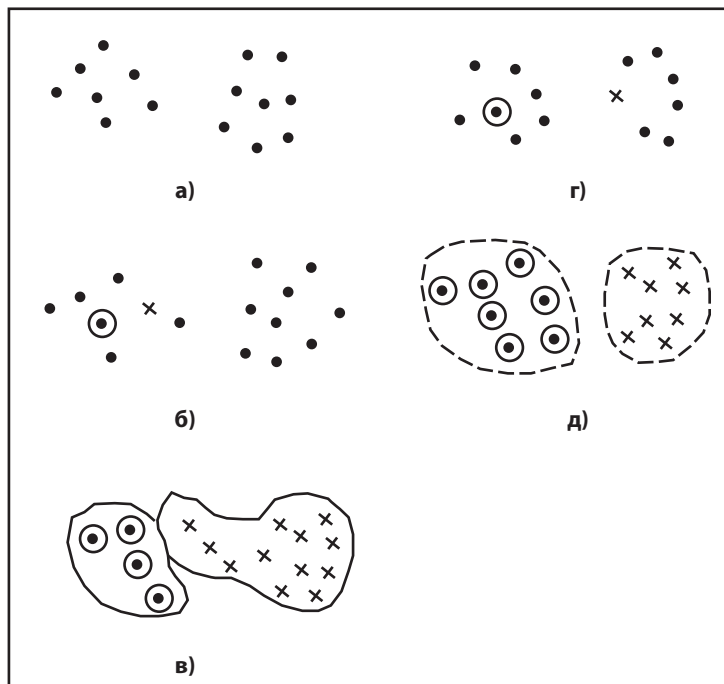


Рис. 13.2. Класифікація й угруповання «образів» продуктів мастила:

- – початкові елементи (а); ● та × – продукти забруднення і зносу (б, г), об'єднані у класи (в, д)

Розпізнавання образів – процес прийняття рішень про найбільш істотні властивості об'єкта на підставі спостереження непрямих ознак, які залежать від цих властивостей. Виникає задача навчання або самонавчання розпізнаванню образів. Вона полягає у тому, що правило прийняття рішень обирається або уточнюється на підставі експериментальних даних. Складність проблеми розпізнавання образів зумовлено специфічною і поки що невідтвореною особливістю людини оцінювати ситуацію загалом, відкидаючи несуттєві подробиці і фіксуючи тільки головне.

Ефективність застосування методів теорії розпізнавання образів визначається зростанням можливостей сучасних ЕОМ і наявністю відповідного програмно-алгоритмічного забезпечення – комплексів і пакетів прикладних програм.

На рис. 13.3 наведено спрощену схему системи розпізнавання образів, яка складається з трьох блоків: джерела інформації, препроцесора для виділення характеристик, класифікатора, що забезпечує вибір аналогій між різними групами даних.

і слабкі вузли за припустимими структурними параметрами і характером функціонального поведіння. Діагностика машин дозволяє оцінити в реальному часі не ймовірносний, а фактичний стан вихідних параметрів при заданих вхідних параметрах (рис. 9.7). Для цієї мети використовують автоматичні системи діагностування, які за допомогою датчиків вимірюють необхідну кількість параметрів у заданих режимах короточасних випробувань, обробляють ці дані, порівнюють їх із відповідними характеристиками прототипів, аналогів і заданих проектних характеристик (див. рис. 9.8, рис. 9.9) і роблять об'єктивний висновок про технічну досконалість конструкції, технології чи виробництва, якості технічного обслуговування й експлуатації.

Контрольні питання і завдання

1. Що здійснюється для управління технічним станом машин при проектуванні?
2. Охарактеризуйте основні принципи інформаційного проектного забезпечення якості управління технічним станом машин при експлуатації.
3. Наведіть структурну схему задач і їх системного рішення для досягнення заданої якості проектування.
4. Доведіть, що діагностика є основним заходом управління технічним станом машин на всіх стадіях життєвого циклу.
5. Які цілі управління технічним станом забезпечуються діагностуванням машин при проектуванні й виготовленні?
6. Які цілі й задачі класифікації об'єктів машин і нормування їх проектних технічних характеристик?
7. Чому найбільший ефект управління технічним станом машин в експлуатації досягається при їх діагностичному забезпеченні на стадії проектування?
8. Наведіть основні вимоги до діагностичного забезпечення машин.

Глава 10. ВИМІР ПАРАМЕТРІВ МАШИН ЯК СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

10.1. Цілі й задачі діагностичних вимірів.

10.2. Класифікація видів і методів вимірів.

10.3. Засоби вимірювань.

10.4. Функціональна залежність виміру.

10.1. Цілі й задачі діагностичних вимірів

Технічна діагностика є складовою частиною технічної кібернетики – науки про загальні закономірності, принципи й методи обробки інформації й управління складними системами. Загальними цілями діагностування є одержання інформації про технічний стан машини, проведення аналізу й прогнозу цього стану, встановлення необхідності підготування чи прийняття командної інформації з керування станом, для доробки конструкції до заданих вимог на стадії проектування, збереження досягнутої проектною якості на стадії виготовлення й ремонту, забезпечення оптимальної надійності машин при експлуатації [16].

Метою діагностування при експлуатації є забезпечення найбільш економічної експлуатації машин при заданому рівні безвідмовності механізмів і систем, тобто підтримка працездатності машин. Основна задача діагностування полягає в одержанні найбільш достовірної інформації про технічний стан машин. Надійність, обсяг і повнота цієї інформації мають відповідати вимогам до конкретного виду технічного обслуговування, бути достатніми для прийняття командної інформації з управління станом машини.

Найбільш складними й трудомісткими в інженерному аспекті є задачі виміру параметрів стану машин. Вирішення їх зумовлює досягнення основної мети технічної діагностики у вузькому змісті – одержання інформації про технічний стан машини.

Засоби виміру відносяться до вимірювально-інформаційних систем і використовуються для контролю й діагностування стану технічних систем. *Контроль* – окремий випадок виміру, він проводиться з метою встановлення відповідності вимірюваної величини заданому допуску чи нормі, настроюванню й регулюванню окремих блоків технічних систем.

різних ознак, які може бути оцінено кількісно чи якісно. Ці ознаки можуть бути задані кольором; переліком станів: «добрий», «припустимий», «неприпустимий» (див. рис. 9.2); розмірами: малий, середній, великий; за вагою: важкий, легкий; за відстанню: близький, далекий і т. д.

Задачі визначення технічного стану є частиною загальної теорії розпізнавання образів, у якій сполучаються виміри, алгебраїчні методи розпізнавання за класами і топологічне представлення об'єкта. Класифікація технічного стану, наприклад, за величиною вібрації, шуму або складу відпрацьованих газів, полягає в тому, щоб розподілити машини за класами-образами, які мають ті ж самі ознаки (величини) для розпізнавання їх при русі по дорозі (див. рис. 13.1).

Прикладом розпізнавання образів може слугувати також світлофор-автомат, який має лічильники автомобілів, що під'їжджають, він «дозволяє» проїзд, коли кількість автомобілів досягає заданої нормованої величини. За цей же період можуть розпізнаватися типи проїжджаючих машин. Розпізнавати стани рідин і мастила можна за кількістю окремих видів (образів) забруднення в цих продуктах на одиницю площі або об'єму. Тут розпізнавання образів забруднень і продуктів зносу (класів) у мастилі визначається при поділі часток за кількістю, виглядом й формою. Алгоритм пояснюється на рис. 13.2. Його можна ускладнити в залежності від мети й глибини аналізу.

При використанні індукційного (див. рис. 13.1) і віброакустичного датчиків контролю проходження автомашин по дорозі можна розпізнавати не тільки тип машини, але і діагностувати її технічний стан. Форма сигналів шуму й вібрацій машин у залежності від технічного стану сильно відрізняються. Порівняння поточних спектрів вібрації з нормативними значеннями з урахуванням корекції від швидкості руху для кожного типу машини за прикладом, представленим на рис. 9.2, дозволяє робити діагностику.

Для автоматизації й регулювання дорожнього руху використовують автоматичні засоби управління із застосуванням ЕОМ; набір детекторів, які фіксують рух рухомого складу; індикаторів, що відображають умови руху; обчислювальні пристрої й радары, які сприймають інформацію від транспортних потоків; виконавчі органи; покажчики швидкостей; керуючу інформацію з урахуванням кількості транспортних засобів та ін. До систем управління рухом пред'являються такі основні вимоги: оптимізація маршрутів; зменшення затримок і кількості зупинок; зниження втрат часу при зрушенні з місця; зменшення витрати палива, зносу шин і забруднення навколишнього повітря, рівномірний розподіл автомобілів у заданому районі, підвищення безпеки руху та ін.

Для того щоб дані про частоту руху автомашин були достовірними, необхідно проводити виміри при проходженні автомобілями одного і того ж відрізка шляху. Одне з можливих рішень полягає в тому, щоб характеризувати кожну машину на вході контрольованої ділянки, а потім розпізнати машини на виході за допомогою тих самих засобів. Обробка даних, отриманих таким чином, дозволяє одержати інформацію про щільність і середню швидкість потоку, що рухається. Розпізнавання машин може здійснюватися за видаваним ними шумом, вібрацією, тепловим портретом або за допомогою підземних датчиків у вигляді індукційної петлі. Принцип дії індукційного датчика досить простий. На проїжджій частині під дорожнім покриттям розташовано дротову петлю, зв'язану з пристроєм обробки даних. У результаті проходження автомашини імпеданс петлі змінюється (явище взаємної індукції), викликаючи зміну напруги у схемі, із якою петлю з'єднано. Отриманий сигнал після аналого-цифрового перетворення використовується для обробки в ЕОМ. Два приклади осцилограм сигналів, викликаних проходженням автомобілів по дорозі, показано на рис. 13.1 [23].

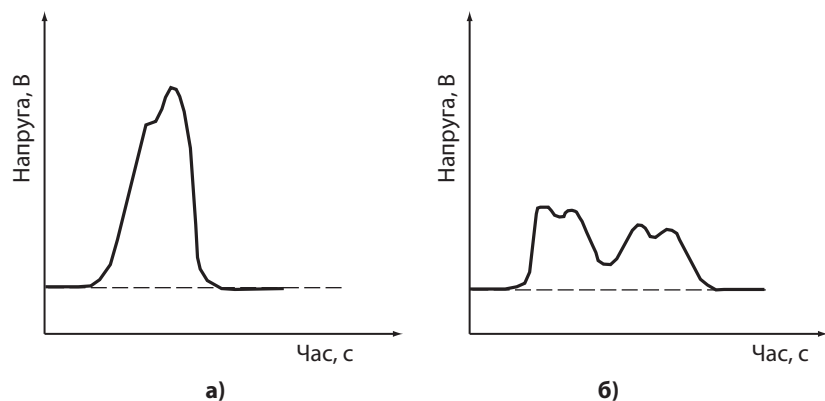


Рис. 13.1. Осцилограми сигналів від автомобілів:

а – легкова машини туристського типу;

б – вантажна автомашини з двохосьовим причепом

13.2. Розпізнавання образів і стану машин за нормованими ознаками і класами

Розпізнавання стану об'єкта може здійснюватися за набором ознак, тобто символів, які поєднуються або в упорядковану послідовність, де саме послідовність розташування несе в собі інформацію, або в список

Технічні засоби контролю й діагностування включають апаратні засоби, програмні засоби, проектну й експлуатаційну технічну документацію. Технічна діагностика є свого роду індикатором якості й безвідмовності машин. Метою виміру технічних параметрів є управління якістю проектування машин, якістю виготовлення й експлуатації.

Технічна діагностика припускає вимір, контроль і випробовування механізмів, машин і окремих блоків управління технічних систем. Вимір, контроль і перевірка закладених при проектуванні функціональних і технічних параметрів виконується на макетних, дослідних і серійних машинах, на лабораторних (заводських) випробувальних стендах, полігонах, при дорожніх і в експлуатаційних умовах для виявлення чи одержання інформації про технічний стан, слабкі, потенційно ненадійні елементи і вузли із метою їх доробки, визначення оптимальних структурних параметрів машин, які забезпечують задану функціональну, технічну й експлуатаційну надійність. Випробування машин і діагностичного забезпечення полягає у відтворенні в заданій послідовності визначених робочих процесів режимів роботи й інших впливів, у вимірюванні реакцій об'єкта контролю на ці впливи й реєстрацію цих впливів. На наступних стадіях життєвого циклу машин вимірювання і контроль параметрів окремих деталей, вузлів і комплектних машин виконується для збереження проектною якості на стадіях виробництва й ремонту, вимог безпеки й ефективності експлуатації.

Методики проведення вимірювань із метою контролю, діагностування й випробувань технічних систем при проведенні попередніх, приймальних і періодичних випробувань і в експлуатації мають включати: аналіз вимірювальної інформації зі з'ясуванням можливих джерел похибок; вибір показників точності виміру; вибір кількості вимірів, методу й засобів вимірювань; формулювання вихідних даних для розрахунку похибки; розрахунку окремих складових і загальної похибки; розрахунку показників точності й зіставлення їх з обраними показниками.

10.2. Класифікація видів і методів вимірів

Вимір – сукупність дій, виконуваних за допомогою технічних засобів з метою встановлення числового значення вимірюваної фізичної величини (зазору, температури, тиску і т. д.) у прийнятих одиницях виміру. Результат виміру – це значення величини, знайдене за допомогою її вимірювання.

Під методом вимірів розуміють науково обґрунтовану сукупність використаних засобів вимірів.

За принципом визначення вимірюваної величини методи вимірювань підрозділяються на прямі і непрямі, диференціальні і комплексні [18].

Класифікацію видів вимірів наведено на *рис. 10.1* [8]. Види вимірювань визначаються фізичним характером вимірюваної величини, необхідною точністю виміру, необхідною швидкістю виміру, умовами й режимом вимірювань і т. д. З *рис. 10.1* випливає, що в метрології існує безліч видів вимірювань і кількість їх постійно збільшується. Можна, наприклад, виділити види вимірювань у залежності від їх мети: контрольні, діагностичні і прогностичні, лабораторні й технічні, абсолютні й відносні і т. д.

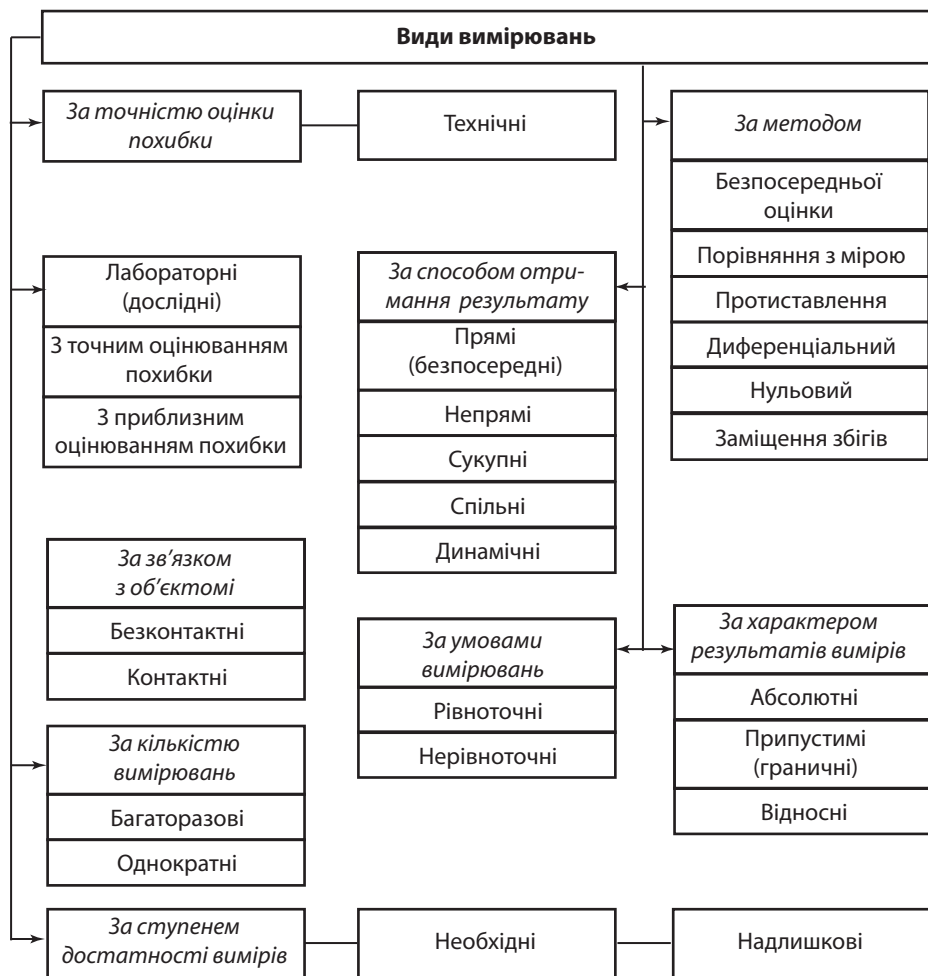


Рис. 10.1. Класифікація видів вимірів

Вимірювальний ланцюг – це сукупність перетворюючих елементів засобу вимірювання, які забезпечують здійснення всіх перетворень сиг-

Глава 13. СПРИЙНЯТТЯ, РОЗПІЗНАВАННЯ Й УПРАВЛІННЯ РУХОМ МАШИН НА ДОРОГАХ

13.1. Візуальне розпізнавання образів.

13.2. Розпізнавання образів і стану машин за нормованими ознаками і класами.

13.3. Автоматичне управління траєкторією руху автомобіля по дорозі.

13.4. Навігаційні системи інформації про місце розташування автомобіля.

13.5. Автоматичне регулювання швидкості й забезпечення високої безпеки руху автомобіля.

13.6. Автомобілі з кібернетичними системами-роботами.

13.1. Візуальне розпізнавання образів

Потенційні можливості автоматичних систем візуального розпізнавання образів майже безмежні. Це, у першу чергу, робототехнічні системи, розпізнавання й аналіз навколишнього середовища, транспортних потоків, буквено-цифрових символів, ступеня шорсткості поверхні, геометричних розмірів.

Візуальна інформація сприймається й обробляється за допомогою так званих систем технічного зору, які можуть діяти в оптичному, звуковому і радіо-хвильовому діапазонах. Створено такі системи аналізу візуальної інформації, які діють на основі проникаючих і іонізуючих випромінювань: рентгенівських, гамма-променів та ін. Розроблено тактильні аналізатори візуальної інформації, що дозволяє шляхом «обмацування» об'єктів одержувати достовірні відомості про їх форму.

Оснащення об'єктів засобами аналізу візуальної інформації дозволяє сприймати й обробляти картинну інформацію про поточний стан технологічного процесу, відносне розташування й орієнтацію елементів об'єктів маніпулювання, здійснювати локацію робочого простору, розпізнавання образів, вимір статичних і динамічних характеристик об'єкта та ін. Істотне розширення функціональних можливостей візуальної інформації може досягатися за рахунок інтенсивного розвитку сенсорних пристроїв, обробки напівтонових зображень для їх інтерпретації й підвищення рівня інтелекту, створення технічних органів почуттів: зір, слух, дотик, смак і нюх.

У системах із кодово-адресним поділом використовують як безперервні, так і дискретні сигнали, у системах із безперервними сигналами – шумоподібні або двійкові псевдовипадкові послідовності.

Контрольні питання і завдання

1. Охарактеризуйте параметри: «якість інформації», «вірогідність», «корисність», «надмірність».
2. Як визначається інформаційна пропускна здатність вимірювального ланцюга?
3. Як зберігається інформаційний зміст сигналів на фоні перешкод?
4. Як забезпечується перешкодостійкість передачі інформації у каналах зв'язку?
5. Як встановити, у яких одиницях виміру (зсуву, швидкості або прискорення) використовується сигнал вібрації при дослідженнях низько-, середньо- і високочастотних вібраційних процесів?
6. Які принципи поділу сигналів для підвищення пропускнуої здатності й підвищення ефективності багатоканальних систем управління?

налу вимірювальної інформації. Вимірювальний ланцюг виконує функцію зв'язку між вимірювальним перетворювачем і відліковим пристроєм.

Прямий метод – це такий метод вимірювань, при якому, наприклад, розмір деталі, яка перевіряється, чи відхилення розміру знаходиться безпосередньо як значення міри чи показання вимірювального приладу (інструменту). Такий метод використовується при вимірюванні діаметра деталі мікрометром, довжини – лінійкою чи штангенциркулем, температури – термометром, сили – динамометром.

До різновидів прямих методів вимірів відносяться абсолютний і відносний, нульовий і метод збігу.

Абсолютний метод характеризується тим, що значення вимірюваної величини визначають безпосередньо за показаннями засобу вимірів без яких-небудь додаткових дій оператора і без обчислень, крім множення показань приладу на постійний множник чи ціну розподілу (манометри, динамометри, витратоміри, рідинні термометри, вольтметри, амперметри, потенціометри та ін.).

Диференціальний метод характеризується вимірюванням різниці між вимірюваною і відомою величиною, відтвореною мірою. Його також називають відносним і різницевим.

Одним з характерних прикладів цього методу є вимірювання довжини x деталі за допомогою довжини міри l . Вимірюють різницю між цими довжинами: $a = x - l$. Потім визначають $x = l + a$. Довжину міри звичайно обирають такою, щоб різниця $x - l$ була, за можливістю, найменшою. Чим менша ця різниця, тим вища точність вимірів.

Нульовий метод полягає в порівнянні вимірюваної величини з величиною, значення якої відомо. Він аналогічний диференціальному, але різниця між вимірюваною величиною й мірою зводиться до нуля. При цьому нульовий метод має ту перевагу, що міра може бути у багато разів меншою за вимірювану величину. Наприклад, нерівноплечі ваги (рис. 10.2), де $P_1 l_1 = P_2 l_2$. В електротехніці це – мости для вимірювання індуктивності, ємності, опору (рис. 10.2). Тут $r_1 r_2 = r_x r_3$, відкля $r_x = r_1 r_2 / r_3$. У загальному випадку збіг порівнюваних величин реєструється нуль-індикатором (I).

Метод збігів засновано на збігу оцінок чи шкал періодичних сигналів. За цим принципом побудовано корпус штангенциркуля. При вимірюванні довжини штангенциркулем спостерігають збіг оцінок на шкалах штангенциркуля й корпусу. Прикладом методу збігів може слугувати вимірювання частоти обертання, частоти коливань, частоти перемінного струму та ін., засноване на використанні стробоскопічного ефекту. При вимірюванні

частоти обертання стробоскопом спостерігають збіг мітки на обертовому об'єкті з відомою частотою спалахів.

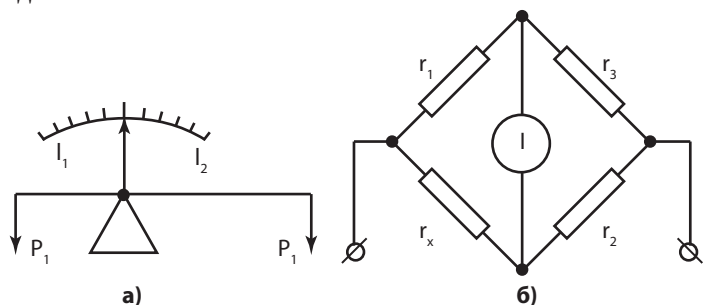


Рис. 10.2. Нульовий метод виміру:

а – схема механічних ваг; б – схема електричного моста

Непрямий метод характеризується тим, що шуканий розмір знаходимо за результатами виміру інших величин, пов'язаних із шуканою відомою залежністю. Наприклад, ефективну потужність двигунів можна визначити за різницею витрат палива, вимірюваних при роботі двигуна під навантаженням і вхолосту; питома витрата палива – за масою витрати й потужністю двигуна; обсяг паралелепіпеда знаходять шляхом множення трьох лінійних величин (довжини, ширини й висоти); електричний опір – шляхом ділення спадання напруги на величину сили електричного струму. Рівняння непрямого виміру має вигляд: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, де x_i – *i*-тий результат виміру.

Сукупні виміри здійснюються шляхом одночасного вимірювання декількох однойменних величин, при яких шукане значення знаходять розв'язанням системи рівнянь, одержуваних у результаті прямих вимірів різних сполучень цих величин. При визначенні взаємодуктивності котушки M , приміром, використовують два методи: додавання й вирахування полів. Якщо індуктивність однієї з них L_1 , а іншої – L_2 , то знаходять $L_{01} = L_1 + L_2 + 2M$ і $L_{02} = L_1 + L_2 - 2M$. Звідки $M = (L_{01} - L_{02})/4$.

Спільними називають вироблені одночасно (прямі і непрямі) вимірювання двох чи декількох неоднойменних величин. Метою цих вимірів є, власне кажучи, знаходження функціонального зв'язку між величинами. Наприклад, вимір опору R_t (провідника при фіксованій температурі t) за формулою

$$R_t = R_0(1 + \alpha \Delta t), \quad (10.1)$$

де R_0 і α – опір при відомій температурі t_0 (звичайно 20°C) та температурний коефіцієнт – величини постійні й вимірювані непрямим методом;

Для синхронізації роботи перемикачів передають допоміжні синхронізуючі імпульси, для яких відводять один або декілька каналів. При тимчасовому поділі використовують різні види імпульсної модуляції; фазоімпульсну, широтно-імпульсну, імпульсно-кодову, дельта-модуляцію та ін.

3. Частотно-тимчасовий поділ сигналів. Такі системи мають переваги як частотного, так і часового поділу. Їх будують за таким принципом: попередньо розділяють за часом, групи каналів, що утворилися, подають на вхід системи з частотним поділом, у якому кожна група працює на своєму несучому коливанні. При цьому значно збільшується число каналів системи й істотно спрощується апаратура в порівнянні з системами тільки одного поділу.
4. Поділ каналних сигналів за формою лежить в основі побудови широкосмугових систем зв'язку із шумоподібними сигналами-переносниками. Шумоподібні сигнали різної форми задовольняють [12]:

$$\sum_{i=1}^n a_i X_i(t) \equiv 0, \quad (12.14)$$

де a_i – непередане повідомлення (коефіцієнт), $X_i(t)$ – сигнал-переносник.

Для передачі можна використовувати ту саму смугу частот ліній зв'язку і передавати сигнал у ті самі інтервали часу. Тому ефективність використання ліній зв'язку істотно зростає. Для поділу каналних сигналів у приймачі найбільше часто використовують квазіортогональність шумоподібних сигналів.

5. Кодово-адресний поділ каналних сигналів поєднує переваги частотного й часового поділу та поділу сигналів за формою. У системах із кодово-адресним поділом, які найчастіше використовують особливо високі частоти радіолінії, кожному абоненту (станції) присвоюється адреса, що представляє визначену кодову послідовність, відому всім абонентам системи. Абоненти одночасно використовують загальну смугу частот, тому системи з кодово-адресним поділом називають системами з вільним доступом. Абоненти можуть мати зв'язок у будь-який час і поза залежністю від використання лінії у цей час іншими абонентами. Основним фактором, що стримує зростання кількості одночасно працюючих абонентів, є збільшення рівня взаємних перешкод.

Як сигнали-переносники використовують ансамбль сигналів, що мають хороші кореляційні властивості і, насамперед, малі значення взаємної кореляційної функції. Такі сигнали називають квазіортогональними.

Для ущільнення ліній зв'язку й підвищення ефективності багатоканальних систем необхідно виконати низку умов поділу сигналів. Основними принципами поділу сигналів є такі [12].

1. Частотний поділ каналних сигналів, при якому переносники мають різні частоти. Тому каналні (модульовані) сигнали займають смуги частот, які не перекриваються у загальній смузі лінії зв'язку і є ортогональними. Канальні сигнали в приймачі виділяються за допомогою смугових фільтрів. Частоти настроювання фільтрів відповідають частотам переносників, а смуги прозорості – ширині спектрів модульованих сигналів.

Для ефективного поділу необхідно, щоб виконувалися дві умови: частоти сигналів-переносників повинні бути різними й рознесеними на інтервал, який є більшим або дорівнює ширині спектра модульованого сигналу; відхилення реальних характеристик смугових фільтрів від ідеальних не повинно впливати на якість поділу, тому необхідно залишати захисний інтервал частот між каналами.

Для модуляції каналних переносників можна застосовувати всі відомі способи. Ясно, що більш ощадливе використання смуги частот лінії зв'язку має місце при односмуговій модуляції, тому що в цьому випадку ширина спектра модульованого сигналу дорівнює ширині спектра корисного сигналу.

2. Тимчасовий поділ каналних сигналів. Багатоканальні системи з тимчасовим поділом каналних сигналів широко застосовують для передачі як аналогової, так і дискретної інформації. Сутність тимчасового поділу полягає в тому, що всі канали по черзі використовують ту саму смугу частот. Його можна застосовувати тільки при імпульсній модуляції, коли через велику шпаруватість імпульсів одного каналу утвориться великий інтервал часу, у якому можна розмістити імпульси інших каналів.

Передавальний і прийомний пристрої багатоканальної системи з тимчасовим поділом сигналів мають електронні перемикачі, призначення яких періодично й синхронно підключати до лінії передавач і приймач каналів системи. Частоту F повторення каналних сигналів (величина, зворотна періоду підключення до лінії одного каналу) обирають відповідно до теореми Котельникова. З урахуванням реальних характеристик пристроїв звичайно

$$F = (2,5 - 5) F_{\max}, \quad (12.13)$$

де F_{\max} – верхня гранична частота корисних сигналів.

$\Delta t = t - t_0$ – різниця температур; t – задане значення температури, вимірюване прямим методом.

Інші види й методи вимірів (див. рис. 10.1) не вимагають спеціальних пояснень.

10.3. Засоби вимірювань

Засіб вимірювання – це технічний засіб, використовуваний при вимірюваннях, який має нормовані метрологічні характеристики (властивості). Під метрологічними характеристиками розуміють такі характеристики засобів вимірів, які дозволяють судити про їх придатність для вимірювань у відомому діапазоні з відомою точністю. На відміну від засобів вимірювання прилади, які не мають нормованих метрологічних характеристик, називають індикаторами.

Класифікацію засобів вимірювання, використовуваних для вимірювальних операцій і діагностування технічних засобів, наведено на рис. 10.3. Основні пояснення до класифікації – за ДСТ 16263-70:

1. Міри – це засоби вимірювань, які відтворюють фізичну величину заданого розміру. Вони можуть бути однозначними, відтворюючи одне значення фізичної величини, наприклад: гиря (міра маси), калібр на заданий розмір, зразки твердості, шорсткості, котушка опору, нормальний елемент, який відтворює значення ЕРС, резистор (міра електричного опору та ін.) і багатозначними – для відтворення плавно чи дискретно низки значень однієї й тієї ж фізичної величини: вимірювальний конденсатор перемінної ємності, набір скінченних мір, магазини ємностей, індуктивності й опору, вимірювальні лінійки з міліметровими розподілами та ін.

Вимірювання методом порівняння з мірою виконують за допомогою спеціальних технічних засобів – компараторів (рівноплечі ваги, вимірювальний міст і т. д.). Іноді як компаратор виступає людина, наприклад, при вимірюванні довжини лінійкою.

2. Вимірювальні перетворювачі – засоби вимірів, призначені для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки, збереження, але не доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем. Це – термопари, вимірювальні трансформатори й підсилювачі, перетворювачі тиску чи вібрації. Перетворювачі здійснюють зв'язок засобів вимірювання й діагностування з об'єктом шляхом перетворення контрольованих неелектричних і електричних фізичних величин у відповідні цим величинам електричні сигнали, які надходять до вхідних пристроїв. Не слід ото-

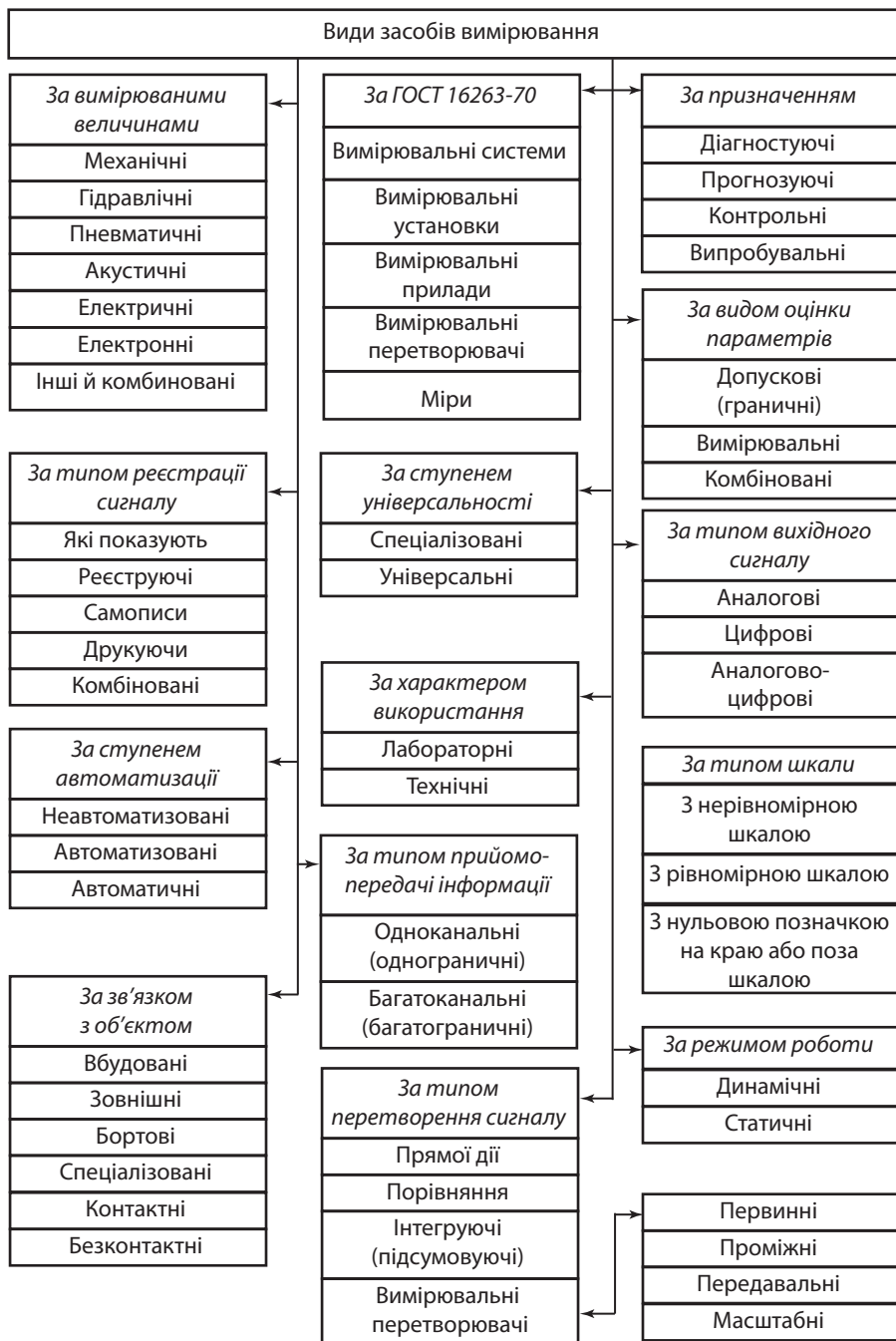


Рис. 10.3. Класифікація засобів вимірювання

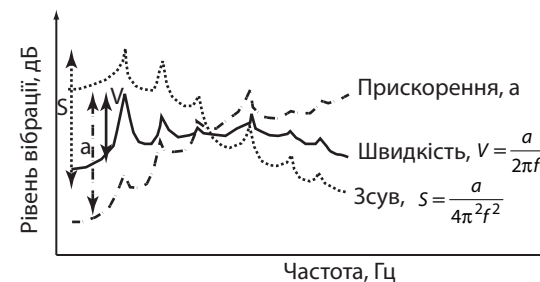


Рис. 12.2. Типовий спектр вібрації машини, виражений у прискоренні, швидкості й зсуві

великих інерційних зусиль. У цьому випадку найбільш об'єктивна й повна оцінка вібрації можлива тільки за величиною прискорень. Прискорення є найбільш загальною характеристикою вібрації, оскільки вони визначаються сукупністю значень частоти й амплітуди. Вибір як контрольований параметр вібраційного прискорення має низку переваг, одна з яких полягає в тому, що віброприскорення за певних умов є показником динамічного навантаження, що діє на тілі. Прискорення механічних коливань часто відноситься до прискорення сили ваги (g). Одиниця g і m/c^2 взаємно пов'язані фактором 10 (9,81).

12.4. Інформаційні потоки в каналах зв'язку й способи їх поділу

У складних об'єктах може бути декілька незалежно функціонуючих систем, діагностування яких виконується роздільно. При цьому виникає задача визначення оптимальної кількості каналів у технічній системі діагностування для забезпечення заданого значення показника, що характеризує рівень організації системи діагностування. Практикуються такі варіанти організації процесу діагностування:

- *послідовне*, коли системи діагностування, що входять в об'єкт, діагностуються в часі;
- *рівнобіжне*, при якому системи діагностуються одночасно, тобто паралельно в часі;
- *змішане* – підрозділяється на паралельно-послідовне, коли системи розбито на групи, які діагностуються паралельно, а системи кожної групи послідовно, і послідовно-рівнобіжне, коли групи діагностуються послідовно, а системи в кожній групі – паралельно.

При визначенні каналів у технічній системі діагностування будують граф переходів системи діагностування [22].

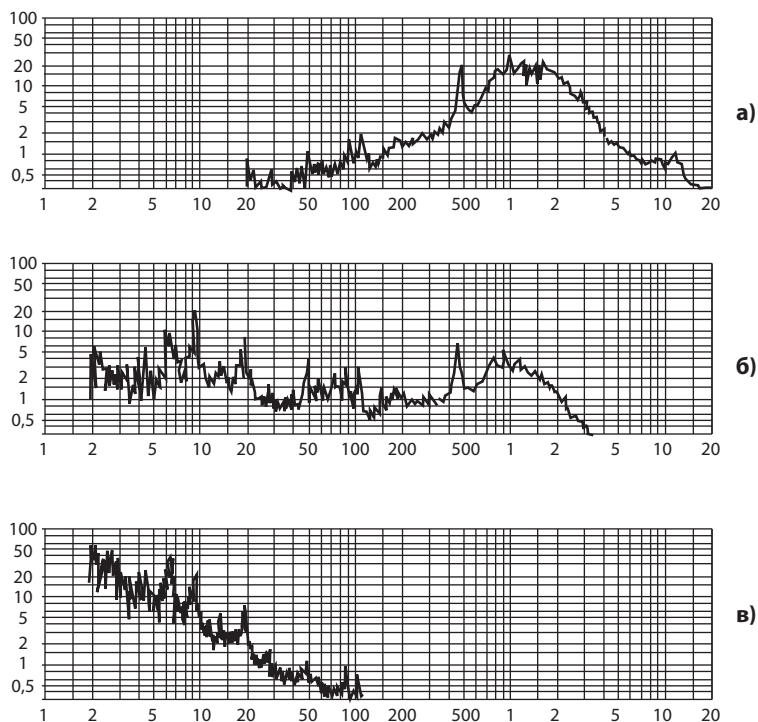


Рис. 12.1. Спектрограми прискорення (а), швидкості (б) і переміщення (в) механічної вібрації одного джерела в одній точці виміру

10...20 кГц істотно менші, ніж зміни амплітуд вібропереміщення і віброприскорення, то можна зробити висновок про те, що віброшвидкість – найбільш універсальний критерій інтенсивності вібрації. Досвідом підтверджено, що загальне середнє квадратичне значення швидкості, вимірюване в частотному діапазоні від 10 до 1000 Гц, найбільш точно відбиває строгість і небезпеку вібрації.

Отже, можна вивести практичне правило: завжди краще застосовувати той параметр механічних коливань, частотний спектр якого має вигляд плоскої кривої – менший динамічний діапазон (рис. 12.2). Це автоматично забезпечує оптимальну експлуатацію вібровимірювальної апаратури, зокрема, з погляду її робочого динамічного діапазону, тобто діапазону з межами, рівними найбільшому й найменшому значенням, надійно й точно вимірюваною даною апаратурою. Відповідно до цього правила перевага при частотному аналізі звичайно віддається прискоренню або швидкості механічних коливань. При високих частотах вібрації можливе виникнення

тожнювати вимірювальні перетворювачі з перетворюючими елементами. Останні не мають метрологічних характеристик, як приміром, трансформатор струму чи напруги.

3. Вимірювальний прилад – засіб виміру, призначений для переробки сигналу вимірювальної інформації в інші, доступні для безпосереднього сприйняття спостерігачем форми.

Розрізняють прилади прямої дії (амперметри, вольтметри, манометри) і прилади порівняння (компаратори).

За способом відліку вимірюваної величини засоби вимірювання поділяються на ті, що показують (аналогові, цифрові), що реєструють (на паперову чи магнітну стрічку) і т. п. Приклади аналогових і цифрових засобів виміру, запису на папір і магнітну стрічку та аналізу вібрації й шуму об'єктів контролю показано на рис. 10.4, де цифрами позначено моделі апаратних засобів фірми «Брюль і Кьєр».

4. Вимірювальна установка – сукупність функціонально об'єднаних засобів виміру і допоміжних пристроїв, розташованих в одному місці. Наприклад, перевірочні установки, установки для випробувань електротехнічних, магнітних і інших матеріалів. Вимірювальна установка дозволяє передбачити визначений метод виміру і заздалегідь оцінити похибку виміру.

5. Вимірювальна система – це комплекс засобів вимірювання і допоміжних пристроїв із компонентами зв'язку (провідні, телевізійні та ін.), призначений для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для автоматичної обробки, передачі і (чи) використання в автоматичних системах управління.

На відміну від вимірювальних установок, які передбачають зміни режиму й умов функціонування, вимірювальна система не впливає на режими роботи, а призначена тільки для збору і (чи) збереження інформації. Комплекс такої апаратури (7400, 2515, 2034, 7007) показано на рис. 10.4. Окремими випадками вимірювальної системи є інформаційно-обчислювальний комплекс, інформаційно-вимірювальні системи. До останнього можна віднести системи автоматичного контролю, технічного діагностування й розпізнавання образів, системи для передачі невимірювальної інформації. При організації перевірки робочих засобів вимірювання використовують різні еталони і зразкові засоби виміру. Приклад системи досліджень конструкцій і діагностування автомобіля представлено на рис. 9.9.

Засоби виміру, як правило, працюють разом із вимірювальними перетворювачами, які мають свої метрологічні характеристики [18].

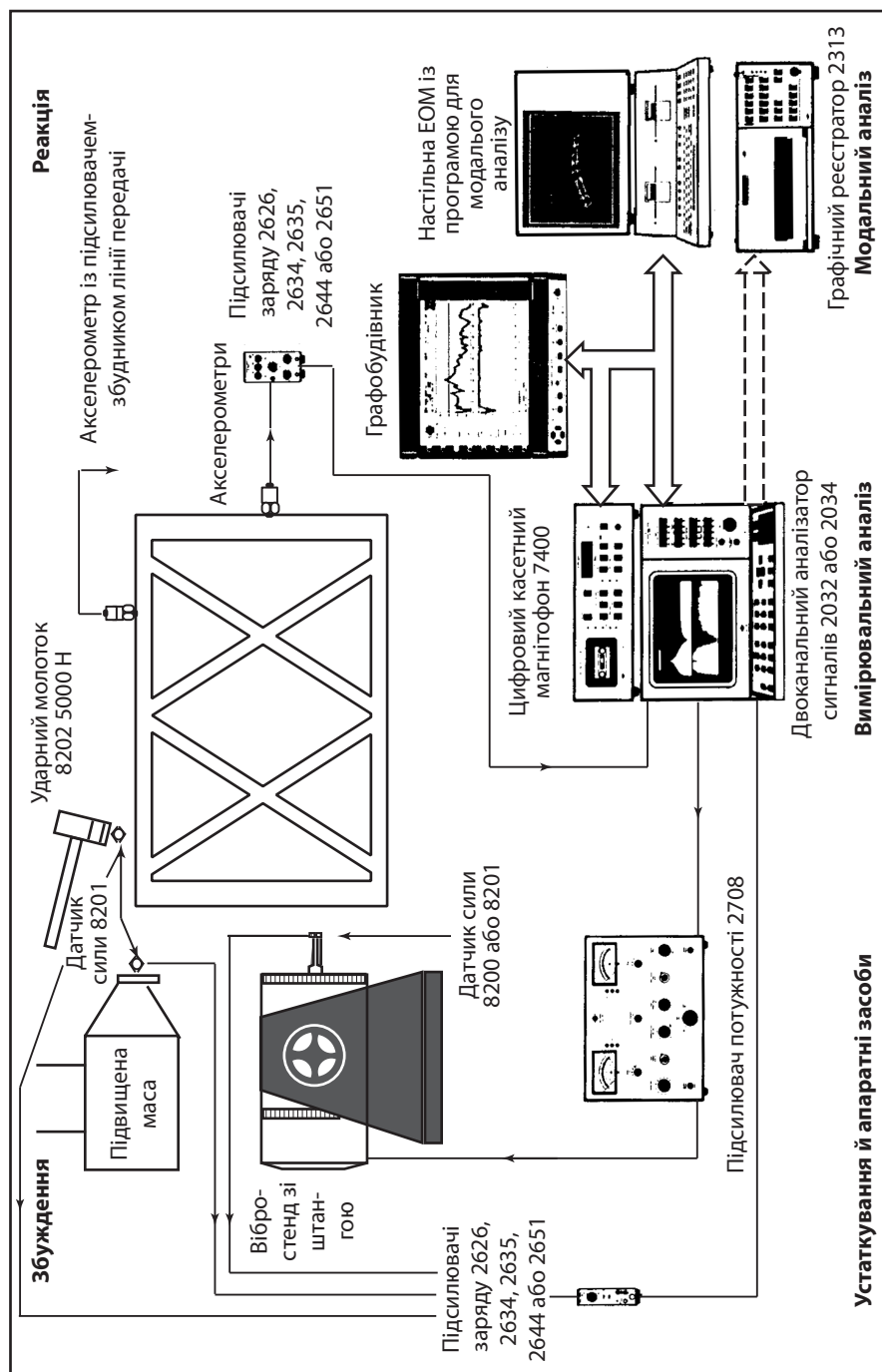


Рис. 10.4. Система для динамічних досліджень конструкцій з застосуванням вібростенда, підвішеної маси чи ударного молотка

у реальному часі. Якщо записи вібраційного процесу у всій області частот робити з одним часом усереднення, то можна очікувати помилки у відображенні повідомлень про реальний вібраційний процес. Усереднення вимірюваних сигналів вібрації в області низьких частот має бути значно більшим у порівнянні з високочастотною областю сигналів [18].

Вибір сигналів вимірювань при аналізі вібраційних процесів на різних частотах. Амплітуда зсуву, швидкості й прискорення вібрації мають певну особливість при їх використанні як критерію несправності, оцінки вібраційних процесів. Вибір діагностичних параметрів вібрації залежить від типів досліджуваної вібрації.

У низькочастотному діапазоні частіше вимірюють параметри вібропереміщення, у середнечастотному – віброшвидкість, у високочастотному – віброприскорення. Однак такий розподіл є умовним, необхідність виміру вібропереміщення може виникати у високочастотному діапазоні, а більш часте віброприскорення – у низькочастотному.

Амплітуда вібропереміщення характеризує деформації конструкції при вібрації і її може бути рекомендовано для вимірів, якщо несправність приводить до зміни деяких лінійних або кутових розмірів на низьких частотах, менших за 10...50 Гц. Вимірювання і аналіз зсуву не є задачею першорядної важливості при загальному дослідженні механічних систем. Однак зсув відіграє важливу роль у машинах і механізмах, сконструйованих з урахуванням зазорів між окремими елементами й деталями. Зсув також часто є параметром при балансуванні обертових елементів, тільки відносно великі зсуви спостерігаються на частоті обертання деталі, що балансується. Вібропереміщення становить інтерес у тих випадках, коли необхідно знати відносний зсув об'єкта або деформації з великими амплітудами, наприклад, коливання рам, корпусів, комбайнів і інших великих конструкцій. Використання параметра вібропереміщення при контролі вібрації за спектром є важким, тому що існуюча електронна вимірювальна апаратура містить у своєму складі віброперетворювачі, які реагують на прискорення й швидкість. Апаратне переведення останніх у переміщення приводить до істотних похибок вимірів.

З наведених на рис. 12.1 спектрограм вібрації випливає, що діапазон амплітуди, необхідний для відтворення кривої швидкості, найменший і тому займає найменший динамічний діапазон. Кожна крива, маючи різні нахили, дає вірну картину спектра вібрації. У них є піки на тих самих частотах. Амплітуда піків така ж відносно загального нахилу кожного спектра. Якщо врахувати, що зміни амплітуд віброшвидкості в частотному діапазоні до

тичного зв'язку двох значень випадкового процесу, що відстоять один від одного на інтервал часу. Для визначення таких функцій використовують операції усереднення за множиною й часом. Зв'язок між кореляційними й спектральними характеристиками випадкового процесу встановлює перетворення Хінчен-Віпера, що є аналогом перетворення Фур'є для детермінованого процесу [12].

При передачі безперервних повідомлень ступінь відповідності переданого й прийнятого сигналів характеризує випадкова величина – відхилення прийнятого сигналу від переданого. Мірою відхилення сигналів звичайно є відстань ϵ між прийнятими $z(t)$ і $s(t)$, обрана у функціональному просторі сигналів. Критерієм вірності в цьому випадку є ймовірність p_0 того, що спостережуване відхилення буде меншим за задане ϵ_0 : $p_0 = p(\epsilon < \epsilon_0)$. Сигнали й перешкоди розглядають як елементи функціональних просторів, а перетворення сигналів і перешкод – як відображення одних просторів в інші. Найбільше поширення одержали простори Евкліда, Гільберта й Хемінга [12].

Вибір сигналів на фоні високочастотних перешкод. Якщо на вхідний сигнал накладається високочастотна перешкода, для якої умови теореми Найквіста порушуються, тобто частота перешкоди є більшою за половину частоти вибірки, то такий сигнал після вибірки безповоротно спотворюється. Високочастотна перешкода після введення в комп'ютер перетвориться на низькочастотну, котра не відрізняється від корисного сигналу і її не може бути відфільтровано жодним способом. Це явище називається транспонуванням частот. Приклад, важливий для автоматики й діагностування: при введенні в регулюючий мікроконтролер температури, яка повільно змінюється, вибірку значень від датчика нема сенсу робити частіше, ніж один раз на хвилину. Якщо на вході діє високочастотна перешкода від електричної мережі з частотою 50 Гц, то в момент вибірки її значення можна вважати випадковим. Після введення на значення температури буде накладатися випадкова низькочастотна перешкода. Ніякою цифровою фільтрацією таку транспоновану перешкоду усунути неможливо. Єдиний вихід – усунути її ще до введення в мікроконтролер за допомогою безперервного (аналогового) фільтра, що складається з резисторів і конденсаторів. Інший приклад: зйомка процесу виконується з частотою вибірки кадрів 25 Гц. Якщо виконується зйомка автомобіля, колеса якого обертаються з великою швидкістю, на екрані вони можуть виглядати, як нерухомі або обертатися у зворотному напрямку. Це і є транспонування частот [10].

Третій приклад аналізу вібрації машин у широкому частотному діапазоні від 1,0 до 30000 Гц при застосуванні цифрових віброаналізаторів

До апаратури, що реєструє, пред'являються такі основні вимоги:

- сигнал, що проходить через засоби вимірювання, має зберігати необхідну інформацію, не піддаватися перекрученню і відокремлюватися від перешкод;
- первинні перетворювачі (датчики) мають споживати мінімум енергії від об'єкта вимірювання і їх підключення не повинне порушувати його нормальної роботи. Особливі вимоги пред'являються до точності й чутливості датчиків, тому що ці низькі показники зведуть нанівець усі зусилля з підвищення точності вимірів;
- носій інформації повинен мати достатній обсяг для реєстрації всіх необхідних відомостей;
- реєструюча апаратура має забезпечувати одержання інформації у якнайстисліший термін.

Якщо апаратура не може одночасно задовольняти всім пропонованим вимогам, обираються якнайважливіші з них, що дозволяють щонайкраще справитися з виконанням поставленої задачі [18].

10.4. Функціональна залежність виміру

Оцінка технічного стану технічних систем являє собою вимірювання її вихідних параметрів. У найпростішому випадку модель випробувань і вимірів (рис. 10.5) може бути описано функціональною залежністю зміни вихідного сигналу y від зміни вхідного сигналу x , як $y = f(x)$. Однак у процесі вимірювань виникають різні зовнішні й внутрішні перешкоди z_1, z_2 , які вносять похибку у результат виміру. Причому кожна зі складових має свою щільність імовірності $f(x), f(y), f(z)$. Це зумовлює той факт, що при багаторазовому вимірюванні однієї й тієї ж величини x тим самим засобом вимірювання в однакових умовах результати виміру, як правило, розрізняються між собою і не збігаються з істинним x_I значенням фізичної величини

$$y_1 \neq y_2 \neq \dots \neq x_I$$

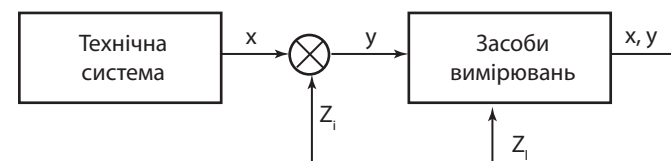


Рис. 10.5. Модель виміру

Під істинним значенням фізичної величини розуміється значення, що ідеально відбивало б у якісному й кількісному відношеннях відповідні властивості технічних систем через її вихідний параметр.

Оскільки істинним значенням є ідеальне значення, то як найбільш близьке до нього використовують дійсне значення x_d , знайдене експериментальним методом, наприклад, за допомогою більш точних засобів виміру.

Більш складною метрологічною операцією є випробування, яке полягає у відтворенні в заданій послідовності визначених впливів, вимірюванні реакцій об'єкта на даний вплив і реєстрації цих реакцій.

Для проведення вимірювань з метою контролю, діагностування чи випробування об'єктів експлуатації необхідно здійснювати заходи, які визначають так зване проектування вимірів. Сюди відносяться: аналіз вимірювальної задачі зі з'ясуванням можливих джерел похибок; вибір показників точності вимірів; вибір кількості вимірів, методу й засобів вимірювань, формулювання вихідних даних для розрахунку похибки; розрахунок окремих складових і загальної похибки; розрахунок показників точності й зіставлення їх з обраними показниками.

У цілому усі ці питання мають бути віддзеркалено в методиці виконання вимірювань. Причому в експлуатації варто віддавати перевагу інженерним (спрощеним) методам розрахунку, але ступінь складності методики має бути адекватною можливому ступеню неточності вихідних даних [18].

Контрольні питання і завдання

1. Які цілі й задачі діагностичних вимірювань у кібернетичних системах?
2. Перелічіть види й методи вимірювань, їх переваги й недоліки.
3. Наведіть основні види засобів вимірювання параметрів машин.
4. Які вимоги пред'являються до реєструючої апаратури?

Інформаційна потужність числового потоку буде визначатися як частота вибірки, помножена на двійковий розряд в одному вимірі. У нашому прикладі, якщо кожен вимір має 8 біт інформації ($\pm 0,5\%$), то інформаційна потужність буде $8000 \cdot 8 = 64000$ біт/с [10].

Перешкодостійкість передачі інформації. Через вплив перешкод повідомлення відрізняються від оригіналу. Перешкодостійкістю системи називають її здатність передавати інформацію із заданою вірністю при впливі перешкод. Кількісно перешкодостійкість характеризують ступенем відповідності прийнятого повідомлення переданому. Цю величину називають критерієм вірності (вірогідності) передачі інформації. При передачі дискретних повідомлень вплив перешкод виявляється в тому, що замість одного переданого символу приймається інший. Таку випадкову подію називають помилкою. Найпростішим критерієм вірності при передачі дискретних повідомлень є ймовірність появи помилки при передачі одного символу, або одного біта інформації.

Розрізняють ефективне (статистичне) і коригувальне (перешкодостійке) кодування. Ефективне кодування підвищує швидкість передачі інформації і наближає її до пропускної здатності каналів. Теоретичною основою побудови ефективних кодів слугує теорема К. Шеннона [13], що стверджує: для каналу без перешкод завжди можна створити систему ефективного кодування дискретних повідомлень, у якій середня кількість двійкових кодівих сигналів на один символ повідомлення буде наближатися як завгодно близько до ентропії джерела повідомлень. Перешкодостійке кодування підвищує вірність передачі інформації шляхом виявлення й виправлення помилок. Теоретичною основою перешкодостійкого кодування є інша теорема К. Шеннона яка стверджує: і для каналу з перешкодами завжди можна знайти таку систему кодування, при якій повідомлення будуть передані з яким завгодно великим ступенем вірності, якщо тільки продуктивність джерела не перевищує пропускної здатності каналу.

При кодуванні кожен символ дискретного повідомлення нумерують і передача повідомлень зводиться до передачі послідовностей чисел, записаних у тій або іншій системі числення.

При розв'язанні задач теорії інформації й передачі сигналів, створюваних об'єктами технічних систем, широко використовують такі характеристики сигналів, як кореляційна функція, спектральна щільність розподілу потужності, дисперсія, інтервал кореляції, ширина спектру, взаємна кореляційна функція двох сигналів і взаємна спектральна щільність розподілу потужності двох процесів. Кореляційна функція показує характер ста-

Аналіз значень інформаційної пропускної здатності [11,12,18], розрахованої за формулами (12.10)-(12.12) для різних приладів і первинних перетворювачів, показує, що пропускні здатності вимірювальних приладів і датчиків варіюються в широких межах від 0,004 до 15000 бод інформації. Нижні значення відносяться до приладів, які реєструють і записують. Це означає, що існуючі вимірювальні системи працюють, в основному, у режимі фільтрації, тобто зі втратою вимірювальної інформації.

12.3. Збереження інформаційного змісту сигналів

Інформаційний зміст результатів вимірювання. Результати виміру безперервної величини, наприклад, температури, мають конкретний інформаційний зміст тільки тоді, коли ми обмежимо точність одержання сигналу – квантування за рівнем. Якщо вимір вміщує 8 біт (один байт), то це – вибір з 256 можливих значень (рівнів фізичної величини). При цьому помилка виміру не перевищує $\pm 0,5\%$ (половина від $1/256$). Підвищення точності виміру в геометричній прогресії збільшує кількість інформації в арифметичній прогресії. При підвищенні точності у два рази кількість інформації збільшується на один біт. Загальна кількість інформації визначається кількістю двійкових розрядів у результаті вимірювань. Абсолютно точний вимір теоретично несе нескінченну кількість інформації [10].

Інформаційний зміст безперервного сигналу. Безперервний сигнал, наприклад, звук, вібрація, яка змінюється з часом, теоретично має нескінченну інформаційну потужність. Тільки якщо обмежити точність вимірювання сигналу, швидкість його зміни (або, що еквівалентно, частотний діапазон), інформаційний потік стає скінченним і може бути введений у комп'ютер у вигляді послідовності чисел. Процес перетворення безперервного сигналу в числовий потік включає дві операції:

- квантування в часі (або періодична вибірка значень сигналу з визначеною частотою);
- квантування за рівнем (кожна окрема вибірка є окремим виміром і перетворенням сигналу в код).

Необхідна частота вибірки визначається теоремою Найквіста (Котельникова). Для того щоб періодична вибірка безперервного сигналу не приводила до непоправної втрати корисної інформації, частота вибірки має перевищувати верхню границю частотного спектра не менш ніж у два рази. Наприклад, вібраційний сигнал має частотний діапазон до 4000 Гц. У цьому випадку вибірки мають бути не меншими за $2 \cdot 4000 = 8000$ Гц для того, щоб якість відображення вібрації не погіршилася.

Глава 11.

ТОЧНІСТЬ І ВІРОГІДНІСТЬ ОДЕРЖАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ

11.1. Поняття точності й вірогідності діагностування.

11.2. Похибка вимірів, класифікація. Обробка результатів вимірів.

11.3. Виявлення й виключення грубих похибок (промахів).

11.4. Точність міри і вимірювальних приладів.

11.5. Точність і вірогідність контрольних-діагностичних операцій.

11.6. Якість вимірів.

11.1. Поняття точності й вірогідності діагностування

Технічне діагностування – процес визначення технічного стану об'єкта діагностування з визначеною точністю.

В основу вимірювання параметрів технічних систем покладено такі постулати метрології: а) істинне значення зумовленої величини існує і воно постійне; б) істинне значення вимірюваної величини відшукати неможливо, з чого випливає, що результат виміру, як правило, математично пов'язаний з вимірюваною величиною ймовірнісною залежністю. Звідси випливає:

Точність виміру – характеристика виміру, яка відбиває ступінь близькості його результатів до істинного значення вимірюваної величини. Термін «точність виміру» не має точного визначення і використовується для якісного порівняння вимірювальних операцій. Для кількісної оцінки використовується поняття «похибка вимірів»: чим менша похибка, тим вища точність. Оцінка похибки вимірів – один із найважливіших заходів щодо забезпечення єдності вимірів.

Точність діагностування – властивість діагностування, яка характеризується близькістю результатів діагностування до дійсних значень характеристик об'єкта у визначених умовах діагностування.

Точність результатів діагностування залежить, насамперед, від правильності вибору параметрів, які перевіряються, що обумовлює методичну похибку і ступінь досконалості засобів діагностування, який зумовлює інструментальну похибку. Великі похибки вимірювань приводять до помилок при оцінці технічного стану об'єктів діагностування. У результаті

частину об'єктів може бути помилково вибракуювано, а іншу – помилково визнано придатною.

Для наочності й зручності обговорення запишемо простою сумою випадкові величини, від яких залежить точність результатів вібраційного діагностування. Відхилення X результатів діагностування залежить від:

$$X = T_{TH} + T_H + T_y + T_K + T_{TK} + T_C + T_B + T_O + T_P + T_{II} \quad (11.1)$$

де T_{TH} – точність визначення вихідного діагностичного параметра, тобто відповідності його фактичному технічному стану; T_H – неточності призначення режиму діагностування при визначенні вихідного діагностичного параметра; T_y – вплив умов навколишнього середовища на вимірювальний тракт «об'єкт діагностування-віброперетворювач-віброаналізатор»; T_K – клас застосовуваних засобів вимірювання; T_{TK} – похибки у виборі точки і типу установки віброперетворювача для діагностування визначеного виду дефекту при стаціонарній установці віброперетворювача або при контролі переносним комплектом засобів вимірювання; T_C – неточності способу кріплення віброперетворювача на поверхні об'єкта діагностування з урахуванням твердості кріплення і якості поверхні; T_B – визначається правильним вибором віброперетворювача і віброаналізатора з урахуванням робочих характеристик (резонансної частоти віброперетворювача, кріплення його до об'єкта, динамічного діапазону віброаналізатора і т. д.); T_O – неточності вибору часу осереднення проведених вимірів віброаналізатора; T_P – відхилення режиму діагностування від призначеного (див. T_H); T_{II} – точність призначеного значення діагностичного параметра граничного технічного стану об'єкта.

При правильному урахуванні всіх цих факторів (див. (11.1), точність визначення діагностичних параметрів вібрації при дослідженнях знаходиться в межах 0,1...0,5 дБ, а в потоці серійного виробництва машин – 0,2 ... 1,0 дБ.

Вірогідність результатів діагностування характеризує здатність методів і засобів вимірювань правильно відбивати фактичний стан об'єкта діагностування. Вона залежить, з одного боку, від повноти, одержуваної у процесі діагностування інформації, що, у свою чергу, зумовлюється вибором контрольованих параметрів, а з іншого – від можливих втрат інформації внаслідок недосконалості методів діагностування.

11.2. Похибка вимірів, класифікація. Обробка результатів вимірів

Похибка виміру – це відхилення результату виміру x від істинного (дійсного) x_{ic} (x_{δ}) значення вимірюваної величини.

ланцюга об'єкт-датчик-перетворювач-реєстратор за пропускною здатністю або інформаційною ємністю засобів вимірювання. У вимірювальному ланцюзі окремі ланки в конкретних схемах може бути об'єднано, наприклад, датчик-перетворювач, перетворювач-реєстратор і т. п., або вони можуть бути відсутніми.

Інформаційна ємність засобів вимірювання оцінюється як:

$$C = \log\left(\frac{x_{\max} - x_{\min}}{\Delta x} + 1\right), \quad (12.8)$$

де $x_{\max} - x_{\min}$ – діапазон виміру засобів вимірювання; $\Delta x = 2\sigma$ – мінімальна похибка виміру в частках σ (розрізняльна здатність).

Зокрема, $[(x_{\max} - x_{\min})/\Delta x] + 1 = n$ – скінченна кількість дискретних значень, яку можна одержати за допомогою даного засобу вимірювання.

Кількість інформації $I(x)$, одержуваної від перетворювача, який має найбільшу відносну похибку (або клас точності) δ (%), не може перевищити величини [18]

$$I(x) = \log_2\left(\frac{50}{\delta}\right), \text{ біт.} \quad (12.9)$$

Тоді, відповідно до формули (12.1) максимальна пропускна здатність $R(x)$ перетворювача з постійною часу τ складе

$$R(x) = \frac{\log_2\left(\frac{50}{\delta}\right)}{\tau}, \text{ бод.} \quad (12.10)$$

Величина τ є оператором квантування за часом сигналу перетворювача.

Для самописних приладів (амперметр, вольтметр, потенціометр) із прямокутною діаграмою пропускна здатність оцінюється як

$$R(x) = \frac{v\kappa_{uu}}{b \cdot 3600} \log\left(\frac{50}{\delta}\right); \quad (12.11)$$

із дисковою діаграмою

$$R(x) = \frac{\pi \kappa_{uu} (\Delta t d)}{24 \cdot b \cdot 3600} \log_2\left(\frac{50}{\delta}\right). \quad (12.12)$$

У формулах (12.11), (12.12): t – час проходження кареткою всієї шкали, b – ширина лінії запису діаметрами початку d , кінця шкали (для дискових діаграм), v – швидкість просування (обертання) діаграми й відношення κ_{uu} діапазону виміру параметра до розмаху шкали. Для серійних самописних приладів прийнято $\kappa_{uu} = 1/3$ і $b = 0,5$ мм.

Для дискретних величин маємо:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^N P(x_i) \log P(x_i), \quad (12.3)$$

а для безперервних

$$H(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \log f(x) dx, \quad (12.4)$$

де N – кількість можливих наслідків; $f(x)$ – щільність імовірності результату.

При використанні логарифмів з основою 2 ентропія вимірюється у двійкових одиницях – бітах, при основі 10 – у десяткових одиницях – дитах, а при основі e – у неперах.

При нормальному законі розподілу параметра зі середнім квадратичним відхиленням σ_x

$$H(x) = \log_2(\sqrt{2\pi} e \sigma_x), \text{ біт.} \quad (12.5)$$

Застосування теорії інформації у метрології приводить до появи нових характеристик засобів вимірювання. Зокрема, Л. Бриллюен [8] вводить поняття кібернетичної точності N_k – кількості помітних смуг значень вимірюваної величини. Ширина смуги визначається випадковою похибкою Δ засобів вимірювання

$$H_i = \log N_\epsilon = \log \frac{x_{\max}}{\Delta}, \quad (12.6)$$

де x_{\max} – верхня межа вимірів за шкалою засобів вимірювання.

Кібернетична характеристика точності в десяткових одиницях чисельно дорівнює кількості вірних десяткових знаків, відлічуваних за шкалою приладу. Так, для засобів вимірювання класу 1,0

$$H_i = \lg \frac{1}{0,01} = \lg 100 = 2 \text{ дит.} \quad (12.7)$$

Також становлять інтерес числові значення H_n деяких найбільш розповсюджених засобів вимірювання для лінійних розмірів; в індикаторів числового типу $H_n = 2,66$ дит, у мікрометрів $H_n = 2,20$ дит, у важільних скоб $H_n = 1,60$ дит. Тобто використовувані для виміру однієї і тієї ж величини ці засоби вимірювання нерівноцінні з погляду одержуваної від них вимірювальної інформації.

Таким чином, одна із задач метрологічного забезпечення при виборі засобів вимірювання складається в узгодженні ланок вимірювального

Кількість факторів, які впливають на точність виміру, досить велика, і будь-яка класифікація похибок виміру (рис. 11.1) [18] значною мірою умовна, тому що різні похибки залежно від умов вимірювального процесу виявляються в різних групах. Зняти показання – не значить тільки вимірювати, треба оцінити ще і похибку виміру, з огляду на те, що випадкові похибки роблять результат ненадійним, а систематичні – невірним. Тому для практичних цілей досить розглянути випадкові і систематичні складові загальної похибки, виражені в абсолютних і відносних одиницях при прямих, непрямих, сукупних і рівноточних вимірах.

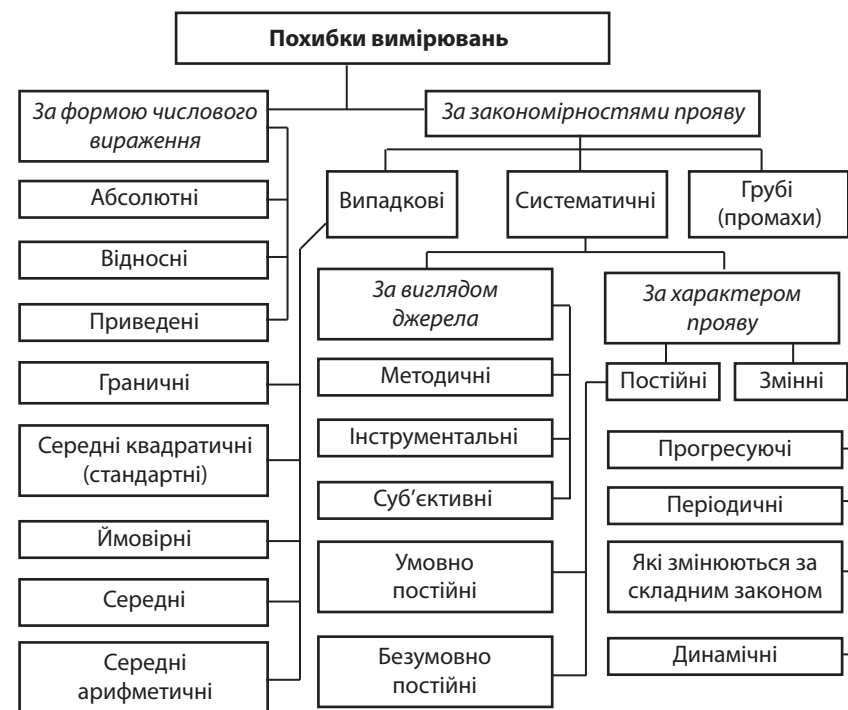


Рис. 11.1. Класифікація похибок виміру

Залежно від форми вираження розрізняють абсолютну, відносну і приведену похибку виміру.

Абсолютна похибка виміру визначається як різниця $\Delta = x - x_{ic}$ або $\Delta = x - x_j$, а відносна – як відношення:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \% \text{ або } \delta = \pm \frac{\Delta}{x_{\dot{a}}} \cdot 100 \%. \quad (11.2)$$

Приведена похибка $\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100\%$, де x – нормоване значення величини. Наприклад, $x = x_{\max}$, де x_{\max} – максимальне значення вимірюваної величини.

Як істинне значення при багаторазових вимірах параметра виступає середнє арифметичне значення \bar{x}

$$x_u \equiv \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (11.3)$$

Величина x , отримана в одній серії вимірів, є випадковим наближенням до x_{ic} . Для оцінки її можливих відхилень від x_{ic} обчислюють дослідне середнє квадратичне відхилення (СКВ).

До випадкових похибок відносяться граничні, середні квадратичні, імовірнісні, середні, середні арифметичні. До систематичних належать методичні, інструментальні, суб'єктивні, постійні. Грубі похибки (промахи) є наслідком помилкових дій оператора, несправностей вимірювальних систем або різких змін умов вимірів.

Для оцінки розсіювання окремих результатів x_i виміру щодо середнього \bar{x} обчислюють СКВ

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{при } n \geq 20$$

або

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{при } n < 20. \quad (11.4)$$

Формули (11.4) і (11.5) відповідають центральній граничній теоремі теорії ймовірностей, відповідно до якої:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma_x / \sqrt{n}. \quad (11.5)$$

Середнє квадратичне відхилення від середніх арифметичних значень обраховують за формулою:

$$\sigma_{\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (11.6)$$

Середнє арифметичне з ряду вимірів завжди має меншу похибку, ніж похибка кожного окремого виміру. Це віддзеркалює й формула (11.5), яка

для підвищення надійності й вірогідності передачі й збереження інформації. Надмірність інформації при обробці створює людині додаткове навантаження, а від комп'ютерних систем вимагає додаткових пам'яті й часу обробки.

Тому марну надмірність доцільно усувати. Для цього важливо визначити мінімально необхідну й достатню інформацію з метою забезпечення необхідної якості вирішення поставлених задач. Один із варіантів одержання такої інформації – передача тільки тієї інформації, яка змінюється, наприклад, результатів контролю відхилень, і узгодження періодичності передачі зі швидкістю зміни параметрів контрольованого об'єкта.

Своєчасність (оперативність одержання) інформації пов'язана з тим, що запізнювання в її надходженні викликає затримку в прийнятті рішень і, як наслідок, призводить до зниження ефективності функціонування тієї системи, де використовується ця інформація. Достатність інформації визначає мінімальну її необхідність для ухвалення ефективного рішення. Приступність інформації визначає легкість її одержання, сприйняття й розуміння людиною. Однозначність інформації означає, що розуміти й тлумачити її по-різному неможливо. Періодичність збирання інформації пов'язана з тим, що параметри об'єктів, з яких знімається інформація, змінюються з часом.

12.2. Інформаційна пропускна здатність вимірювального ланцюга і кібернетична характеристика точності

Пропускна здатність вимірювального ланцюга засобів вимірювання характеризується швидкістю її одержання й перетворення вимірювальної інформації в одиницю часу. У загальному випадку, якщо за час t вимірювальна ланка пропускає кількість інформації $I(x)$ вхідного сигналу x , то його пропускна здатність $R(x)$ складає [18]:

$$R(x) = I(x)/t. \quad (12.1)$$

З положень теорії інформації випливає, що її кількість, одержувана в результаті виміру, можна оцінити як:

$$I(x) = H(x) - H(\Delta), \quad (12.2)$$

де $H(x)$ – ентропія події (результату досвіду), яка характеризує у даному випадку ступінь невизначеності стану технічної системи, перебування параметра в межах допуску і т. п.; $H(\Delta)$ – залишкова невизначеність, зумовлена похибкою Δ засобів вимірювання.

Фізичний зміст рівняння (12.2) полягає в тому, що з підвищенням точності засобів вимірювання все більше знімається невизначеність у стані технічних систем, яка є до проведення вимірювань, все більшу інформацію одержує оператор. Таким чином, одержання інформації про величину пов'язане зі зменшенням ентропії у результаті дослідження.

Глава 12.

ІНФОРМАЦІЙНА ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ У КАНАЛАХ ВИМІРЮВАННЯ Й УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

12.1. Параметри, які характеризують інформацію.

12.2. Інформаційна пропускна здатність вимірювального ланцюга і кібернетична характеристика точності.

12.3. Збереження інформаційного змісту сигналів.

12.4. Інформаційні потоки в каналах зв'язку й способи їх поділу.

12.1. Параметри, які характеризують інформацію

При роботі з інформацією виникає необхідність в оцінці її якості й вимірюванні її кількості. Дійсно, іноді коротке повідомлення несе незмірно більше інформації, ніж текст із багатьох сторінок, а повідомлення із задалегідь відомим змістом не несе жодної інформації. Повідомлення набуває сенсу тільки тоді, коли зміст його ще невідомий. Більш того, та сама інформація для різних одержувачів має різну цінність.

Якість інформації оцінюється за низкою показників, основні з яких наведено нижче.

Вірогідність інформації характеризує точність відображення відповідних параметрів об'єкта. Інформація достовірна, якщо не перевищено припустимий рівень її перекручування, при якому не губиться ефективність використання цієї інформації.

Корисність інформації прийнято оцінювати за ефектом, одержуваним при її використанні, а у виробництві – за її впливом на ефективність самого виробництва. Міру цінності інформації (за Л. А. Харкевичем) може бути визначено як величину зміни ймовірності досягнення мети або реалізації якої-небудь задачі в результаті одержання даної інформації. Отримана інформація може бути марною, якщо не змінює ймовірність досягнення поставленої мети; тобто міра її цінності дорівнює нулю. Якщо інформація знижує ймовірність досягнення мети, то її можна назвати помилковою, або дезінформацією.

Надмірність характеризує повторюваність, дублювання інформації. Існує корисна й марна надмірність. Корисна надмірність використовується

формулює фундаментальний закон теорії похибок. З нього випливає, що при необхідності підвищення точності результату (при виключеній систематичній похибці) у 2 рази кількість вимірів потрібно збільшити в 4 рази; якщо потрібно збільшити точність у 3 рази, то кількість вимірів збільшуть у 9 разів і т. д.

Потрібно чітко розмежовувати застосування $\sigma_{\bar{x}}$ і σ_x : величина $\sigma_{\bar{x}}$ використовується при оцінці похибок остаточного результату, а σ_x – при оцінці похибки методу вимірювань.

Середнє квадратичне відхилення (середня квадратична похибка) одного виміру

$$\sigma_{03} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (11.7)$$

може слугувати мірою точності проведених вимірів.

При діагностуванні автомобілів бажано забезпечувати таку похибку вимірів: ефективної потужності крутячого моменту двигуна й витрати палива $\pm 0,5\%$; частоти обертання колінчатого вала й температури повітря – $\pm 1,0\%$; атмосферного тиску – 1 мм рт. ст.; витрати повітря – 2%; прориву картерних газів – 3%; температури відпрацьованих газів – 20°C.

ДСТ 22261–82 встановлює межі основної припустимої похибки у вигляді відносної похибки (δ), вираженої у децибелах (дБ):

$$\delta = A' \lg \left(1 + \frac{\Delta}{x} \right); \quad (11.8)$$

де $A' = 10$ при вимірюванні енергетичних величин (потужності, енергії, щільності енергії); $A' = 20$ при вимірюванні силових електромагнітних величин (напряга, сила струму, напруженість поля).

Якщо при цьому два прилади мають різні чутливості, наприклад, $\zeta_1 = -100$ дБ/Вт і $\zeta_2 = -95$ дБ/Вт, то значення чутливості у другого засобу виміру вище, ніж у першого, тому що $-95 > -100$.

У залежності від характеру прояву, причин виникнення й можливостей усунення розрізняють систематичну й випадкову складену похибку вимірів, а також грубі похибки (промахи).

Систематична Δ_c складова залишається постійною або закономірно змінюється при повторних вимірах того самого параметра.

Випадкова Δ складова змінюється в тих самих умовах виміру випадковим образом.

Грубі похибки (промахи) виникають через помилкові дії оператора, несправності засобів вимірювання або різких змін умов вимірювань. Як правило, грубі похибки виявляються в результаті обробки результатів вимірів за допомогою спеціальних критеріїв.

На відміну від випадкової похибки, яка виявляється в цілому поза залежністю від її джерел, систематична розглядається за складовими у залежності від джерел її виникнення, причому розрізняють методичну, інструментальну та суб'єктивну складові похибку [18].

Суб'єктивні систематичні похибки пов'язані з індивідуальними особливостями оператора. Як правило, ця похибка виникає через помилки у відліку показань (приблизно 0,1 розподілу шкали) і невірних навичок оператора. В основному ж систематичні похибки виникають через методичну й інструментальну складові.

Методична складова похибки зумовлена недосконалістю методу вимірювання, прийомами використання засобів вимірювання, некоректністю розрахункових формул і округлення результатів.

Інструментальна складова виникає через власну похибку засобів виміру (ЗВ), зумовлену класом точності, впливом ЗВ на результат і обмеженою розрізняючою здатністю засобів вимірювання.

Доцільність поділу систематичної похибки на методичну й інструментальну складові визначається наступним:

- для підвищення точності вимірів можна виділити фактори, що її лімітують, і прийняти рішення про вдосконалення методики або про вибір більш точних засобів вимірювання;
- з'являється можливість обчислити складові загальної похибки, яка збільшується згодом або під впливом зовнішніх факторів, і отже, цілеспрямовано здійснювати періодичні перевірки й атестації;
- інструментальну складову може бути оцінено до розробки методики, а потенційні точнісні можливості обраного методу визначить тільки методична складова.

Отже, всі види складових похибки потрібно аналізувати й виявляти окремо, а потім підсумовувати у залежності від їх характеру, це є основною задачею при розробці й атестації методик виконання вимірювань.

У низці випадків систематичну похибку може бути виключено такими способами: усунення джерел похибки до початку вимірювань (профілактика похибки), виключення її в процесі вимірювань, внесення певних виправлень у результат виміру.

3. Як впливає вибір (призначення) діагностичного параметра на точність діагностування?

4. Які методи виявлення грубих промахів?

5. Як досягається задана вірогідність контрольно-діагностичних операцій?

6. Що таке адитивна й мультиплікативна похибка вимірів?

7. Що варто розуміти під якістю вимірювань?

8. Наведіть блок-схему цифрових систем вимірювання.

9. Наведіть приклади методичних похибок вимірювань.

Іншими словами, вірогідність виміру – це близькість до нуля випадкової (або невиключеної) систематичної похибки.

З підвищенням точності й зменшенням трудомісткості вимірювань структурних параметрів зростає ефективність технічного діагностування. Це припускає застосування таких діагностичних методів (вимірювання діагно-стичних параметрів), які при малій тривалості процесу виміру забезпечують невеликі методичні похибки, які характеризують зв'язок між діагностичними й відповідними структурними параметрами. Чим менша методична похибка, тим вища точність визначення структурного параметра шляхом прямого виміру одного або декількох діагностичних параметрів за інших рівних умов.

Разом із тим прагнення забезпечити велику точність і малу трудомісткість виміру викликає, як правило, різке ускладнення й збільшення вартості діагностичного й контрольного устаткування. Звідси виникає необхідність установаження похибки вимірювання структурних параметрів шляхом розв'язання задачі оптимізації. Проблема встановлення оптимальної похибки вимірювання параметрів стає особливо актуальною у даний час, коли спостерігається тенденція створення і широкого застосування електронних діагностичних приладів і систем, які забезпечують різке зменшення тривалості діагностування, а також збільшення кількості вимірюваних параметрів машин.

Очевидно, критерій оптимальної похибки виміру має бути економічним, враховувати, з одного боку, витрати на вимір із визначеною середньою квадратичною похибкою структурного параметра, з іншого – додаткові витрати на ремонт і технічне обслуговування діагностуемого елемента, викликані тією ж похибкою виміру структурного параметра. Природно, що згадані витрати конкурують між собою. Зменшення середньої квадратичної похибки виміру при визначеному методі діагностування пов'язано зі збільшенням першого виду витрат і зменшенням другого. При підвищенні ж похибки вимірів звичайно зменшуються витрати на вимір і зростають додаткові витрати на ремонт і технічне обслуговування діагностичного елемента з вимірюваного параметра.

Контрольні питання і завдання

1. Поясніть поняття «точність вимірів» і «точність діагностування». Як вони впливають на якість управління технічним станом?

2. Які фактори впливають на точність вимірювань діагностичних параметрів?

Профілактика похибки є найбільш раціональним способом. Вона полягає в усуненні впливу, наприклад, температури (термостатуванням і термоізоляцією), магнітних полів (магнітними екранами), вібрацій і т. п. До цього ж належать регулювання, ремонт і перевірка засобів вимірювання.

Виключення постійних систематичних похибок у процесі вимірювань здійснюють методом порівняння (заміщення, протиставлення), компенсації за знаком (передбачають два спостереження, щоб у результаті кожного систематична похибка виходила з різним знаком), а перемінних і прогресуючих – способами симетричних спостережень або спостереженням парної кількості разів через напівперіоди.

11.3. Виявлення й виключення грубих похибок (промахів)

Грубі похибки вимірів (промахи) можуть сильно спотворити \bar{x} , σ і довірчий інтервал, тому їх виключення із серії вимірів обов'язкове. Звичайно, їх відразу ж видно в низці отриманих результатів, але в кожному конкретному випадку це необхідно довести.

Існує низка критеріїв для оцінки промахів [1, 18].

Критерій 3σ . У цьому випадку вважається, що результат, що виникає з імовірністю $P \leq 0,003$, є малореальним і його можна кваліфікувати промахом, тобто сумнівний результат x_i відкидається, якщо

$$|\bar{x} - x_i| > 3\sigma. \tag{11.9}$$

Величини \bar{x} і σ обчислюють без урахування x_i . Даний критерій надійний при кількості вимірів $n \geq 20 \dots 50$.

Якщо $n < 20$, доцільно застосовувати критерій Романовського.

При цьому обчислюють відношення $\left| \frac{\bar{x} - x_i}{\sigma} \right| \geq \beta$ й обчислене значення β порівнюють із теоретичним β_T поза значущістю P за *табл. 11.1*.

Таблиця 11.1

Рівень значущості $\beta = f(n)$

Імовірність, P	Кількість вимірів						
	n = 4	n = 6	n = 8	n = 10	n = 12	n = 15	n = 20
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Звичайно обирають $P = 0,01 - 0,05$ і, якщо $\beta \geq \beta_{\text{табл}}$, то результат відкидається.

Якщо кількість вимірів невелика (до 10), можна використовувати критерій Шовіне. У цьому випадку промахом вважається результат x_i , якщо різниця $|\bar{x} - x_i|$ перевищує значення σ , наведені нижче залежно від кількості вимірів:

$$|\bar{x} - x_i| > \begin{cases} 1,6\sigma & \text{при } n=3; \\ 1,7\sigma & \text{при } n=6; \\ 1,9\sigma & \text{при } n=8; \\ 2,0\sigma & \text{при } n=10. \end{cases} \quad (11.10)$$

Приклад. Вимірювання сили струму дало такі результати: 10,07; 10,08; 10,10; 10,12; 10,13; 10,15; 10,16; 10,17; 10,20; 10,40 А. Чи є промахом значення 10,40 А?

Обробка даних приводить до значень: $\bar{x} = 10,16$ А; $\sigma = 0,094$ А. За критерієм Шовіне $|10,16 - 10,40| = |0,24| > 2 \cdot 0,094$. Тому результат 10,40 є промахом [18].

Оцінкою точності вимірювань може слугувати, наприклад, величина, зворотна відносно похибки вимірів; точність міри і вимірювального приладу (системи).

11.4. Точність міри і вимірювальних приладів

Точність міри і вимірювальних приладів (системи) – ступінь близькості, значень міри або показань вимірювального приладу до істинного значення величини, відтвореною мірою, або вимірюваної за допомогою приладу. Похибка вимірювань залежить від точності засобів вимірювань.

За умовами застосування робочі засоби можуть бути лабораторними, виробничими і польовими. Лабораторні засоби вимірювань застосовуються при наукових дослідженнях і інших вимірах. Вони мають велику потужність, чутливість і стабільність. Виробничі, як правило, використовуються в технологічних процесах, при контролі якості готової продукції, ремонті машин. Ці прилади, у порівнянні з лабораторними, повинні мати більш високу стійкість до ударних навантажень, впливу тепла й холоду. Польові засоби вимірювань використовуються на транспортних і інших машинах як вбудовані прилади. За точністю засоби вимірювання поділяються на класи.

Клас точності – це узагальнена метрологічна характеристика, яка визначає різні властивості засобів вимірювань. Клас точності засобів вимірю-

Істинне значення вимірюваної величини відрізняється від середнього за результатом спостережень на величину систематичної похибки Δ_c , тобто $x = \bar{x} - \Delta_c$ [18].

Якщо систематичну складову виключено, то $x = \bar{x}$. Однак через обмежене число спостережень \bar{x} точно визначити також неможливо. Можна лише оцінити це значення, вказати границі інтервалу, у якому воно знаходиться, з визначеною ймовірністю.

Оцінку \hat{x} числової характеристики закону розподілу x , зображувану точкою на числовій осі, називають точковою оцінкою. На відміну від числових характеристик оцінки є випадковими величинами. Причому їх значення залежить від кількості спостережень n .

Обґрунтованою називають оцінку, яка зводиться за ймовірністю до оцінюваної величини, тобто $\hat{x} \rightarrow x$ при $n \rightarrow \infty$. Незміщеною є оцінка, математичне очікування якої дорівнює оцінюваній величині, тобто $x = \hat{x}$. Ефективною називають таку оцінку, яка має найменшу дисперсію $\sigma_x^2 = \min$. Перерахованим вимогам задовольняє середнє арифметичне \bar{x} результатів n спостережень.

Таким чином, результат окремого виміру є випадковою величиною. Тоді точність вимірів – це близькість результатів вимірів до істинного значення вимірюваної величини.

Якщо систематичні складові похибки виключено, то точність результату вимірів \bar{x} характеризується ступенем розсіювання його значення, тобто дисперсією. Як показано вище, дисперсія середнього арифметичного $\sigma_{\bar{x}}^2$ у n разів менша дисперсії окремого результату спостереження.

Правильність вимірів визначається близькістю до нуля систематичної похибки.

Вірогідність вимірів визначається ступенем довіри до результату і характеризується ймовірністю того, що істинне значення вимірюваної величини лежить у зазначеному околу дійсного.

Ці ймовірності називають довірчими, а границі (околі) – довірчими границями [8]:

$$P \{ \bar{x} - t_p \sigma_{\bar{x}} \leq x \leq \bar{x} + t_p \sigma_{\bar{x}} \} = 2S_n(t) - 1, \quad (11.20)$$

де $S_n(t)$ – інтегральна функція розподілу Стьюдента. При збільшенні кількості спостережень n розподіл Стьюдента швидко наближається до нормального і переходить у нього вже при $n \geq 30$.

ляду дорожньо-транспортних випадків, перевитрати палива, забруднення атмосфери.

При збільшенні точності вимірів приблизно у 5 разів помилки I роду знижуються в 5...50 і більш разів, помилки II роду – усього на 10...30%, а вірогідність (Δ) зростає на 2...30%. Найбільший вплив на зміну P_p , P_{II} і Δ роблять σ_x і T .

Недосконалість контролю в метрології прийнято оцінювати спеціальним коефіцієнтом, який обчислюється за формулою $K_{нк} = P_{II}/(1 - P_I)$. Цей коефіцієнт збільшується при збільшенні відношення $\sigma_{вим}/\sigma_x$. Наприклад, при збільшенні $\sigma_{вим}/\sigma_x$ від 0,1 до 0,5 $K_{нк}$ зростає від 0,08 до 0,3.

Величина помилок залежить від законів розподілу похибки вимірювань і діагностичного параметра. Якщо параметри й похибки розподілено за рівномірним законом, то ймовірність помилки I роду буде максимальною ($P_{I_{max}}$), якщо за нормальним законом – то мінімальною ($P_{I_{min}}$).

Грубими похибками називають такі, котрі приводять до перекручування результатів вимірів (наприклад, неправильний запис відліку, помилка відліку за шкалою приладу та ін.). Звичайно для виявлення грубих похибок і промахів проводяться багаторазові вимірювання різними способами.

Існують різні методи оцінки грубих вимірювань. Одним із найбільш розповсюджених є критерій 3σ . Якщо за результатами вимірювань відхилення від середнього арифметичного більш 3σ , тобто якщо $(\bar{x} - x_i) > 3\sigma$, це свідчить про грубу похибку і цей вимір варто виключити. Цей критерій надійний при кількості вимірювань більш 20...50.

Якщо $n < 20$, застосовують критерій Романовського. За цим критерієм відношення $|(x - x_i)/\sigma| \geq \beta$. Отримане значення β порівнюють з теоретичним β_m , приведеним у спеціальних таблицях, у яких враховуються ймовірність P і кількість вимірів n . Якщо $\beta \geq \beta_m$, то результат відкидається. Значення β_m звичайно змінюються в межах 1...3 при $P = 0,01...0,10$ [1].

11.6. Якість вимірів

Під якістю вимірів розуміють сукупність властивостей, які зумовлюють одержання результатів із необхідними точносними характеристиками, у необхідному вигляді й у встановлений термін. Якість вимірів характеризується такими показниками, як точність, правильність і вірогідність. Ці показники повинні визначатися за оцінками, до яких пред'являються вимоги обґрунтованості, незміщеності й ефективності.

вань уже містить у собі систематичну й випадкову похибки. Однак він не є безпосередньою характеристикою точності вимірів, виконуваних за допомогою цих засобів вимірювання, оскільки точність виміру залежить ще й від низки факторів (методу вимірювань, взаємодії засобів вимірювання з об'єктом, умов виміру і т. д.). Зокрема, щоб вимірювати величину з точністю до 1%, недостатньо обрати засіб вимірювання з похибкою 1%. Межі припустимих похибок засобів вимірювань виражаються у вигляді приведених похибок, у залежності від яких засобам вимірів привласнюються такі класи точності: $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $2 \cdot 10^n$; $(3 \cdot 10^n)$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$. Для більшості засобів вимірювань встановлено вісім класів точності: 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. З них зразкові засоби мають класи точності 0,05; 0,1 і 0,2; лабораторні – 0,5; 1,0 і 1,5; технічні – 1,5; 2,5 і 4,0. Клас точності приладу визначає властивості даного засобу вимірювання, але не є показником точності виміру за допомогою цього приладу. Варіаціями показань приладу називають найбільшу різницю між його окремими повторними показаннями при тих самих значеннях вимірюваної величини і незмінних зовнішніх умов.

Точність засобів вимірювання (систем) – один із вирішальних факторів, який визначає похибки вимірів. Зразкові засоби вимірювання, крім того, класифікують за розрядами. До першого розряду відносяться найбільш точні зразкові засоби вимірювань, які перевіряються за робочими еталонами. До еталонних засобів вимірювань відносяться високоточні системи мір, які слугують для відтворення й збереження одиниць величин для передачі їх розміру іншим засобам вимірювань.

Чим вища точність вимірювання, тим більше знижується невизначеність у стані технічної системи, що є до проведення вимірів, тим більшу інформацію одержує оператор. Таким чином, отримана інформація про величину пов'язана зі зменшенням ентропії у результаті дослідження.

11.5. Точність і вірогідність контрольно-діагностичних операцій

Задана (розрахункова) вірогідність в основному забезпечується відповідною точністю контрольно-діагностичних операцій. Стосовно граничного значення Π_{Γ} параметра при відомих допусках T можна розрізнити приведені похибки: виготовлення $t_{виг} = T_{виг}/2\Pi_{\Gamma}$ зміни параметра в експлуатації $\gamma_{екс} = T_{екс}/2\Pi_{\Gamma}$ (або $\gamma_{екс} = u_{\Pi}/2\Pi_{\Gamma}$) і функціонування в цілому $t_{\phi} = T_{\phi}/2\Pi_{\Gamma}$. У загальному випадку $\gamma_{виг} < \gamma_{екс} < \gamma_{\phi}$. Без сумніву, приведена похибка $\gamma_{вим}$ виміру параметра не має перевищувати зазначених значень приведених похибок [18]:

$$\gamma_{вим} < \gamma_{виг} < \gamma_{екс} < \gamma_{\phi} \quad (11.11)$$

$$\text{де } \gamma_{вим} = \pm \frac{\Delta_{вим}}{2\Pi_{\Pi}} \cdot 100\%.$$

Сейто формула (11.12) є критерієм точності вимірювань.

Тут граничне абсолютне значення $\Delta_{вим}$ похибки виміру залежно від характеру допуску визначається як

$$\Delta_{виг}^{вим} = 2\sigma_{виг}^{вим} = (0,2...0,35)T_{виг}; \quad (11.12)$$

$$\Delta_{вим}^{екс} = 3\sigma_{вим} = 0,6[|\Pi_{\Pi} - \Pi_{H}| - \Delta\Pi]; \quad (11.13)$$

$$\Delta_{вим}^{\phi} = 3\sigma_{вим}^{\phi} = 0,6|\Pi_{\Pi} - \Pi_{H}|, \quad (11.14)$$

де $\sigma_{вим}^i$ – відповідні середні квадратичні відхилення похибки вимірювань. Ці залежності використовуються в машинобудуванні і ДСТ 8.051-81. Тут встановлено значення припустимих меж вимірів і відповідних прийнятих границь.

Межі припустимих похибок визначено в залежності від номінальних розмірів і допусків на виготовлення. Величини цих похибок виміру прийнято від 20 до 35% значень допусків. Межі припустимих похибок вимірювань, установлені стандартом, враховують уже не тільки похибки засобів вимірювання, але і складових інших джерел (настановні міри, базування, температурні деформації, вимірювальні зусилля), крім суб'єктивних похибок, які важко прогнозувати.

Припустимі похибки вимірювань $\gamma_{вим}$ враховують випадкові і невраховані систематичні складові. Випадкову складову похибки можна виявити практично при усіх видах вимірів. Тому в стандарті зазначено, що випадкова складова не повинна перевищувати $0,6 \gamma_{вим}$ і приймається рівною $\pm 2\sigma$; це відповідає довірчій імовірності 0,95, прийнятій також і в міжнародній практиці: Звичайно призначуване значення граничної випадкової похибки, що дорівнює $\pm 3\sigma$ при $P = 0,9973$, приймають, виходячи з нормального закону розподілу. Для виробничих технічних вимірювань немає необхідності в такому високому ступені ймовірності, тим більше, що випадкова похибка виміру не завжди розподіляється за нормальним законом.

Верхню границю контрольованого параметра Π_k за результатами випробувань вибірки машин визначають за формулою:

$$\Pi_k = \bar{X} + K\sigma, \quad (11.15)$$

де \bar{X} – вибіркоче середнє арифметичне значення контрольованого параметра; σ – вибіркоче середнє квадратичне відхилення контрольованого

На рис. 11.5,б σ_x є середньоквадратичним відхиленням вимірюваного параметра, а σ_{Δ} – середньоквадратичне відхилення похибки виміру. Допуски параметрів відповідно складуть $T_n = 6 \sigma_x$ і $T_u = 6 \sigma_{\Delta}$. При номінальному значенні параметра Π_n експлуатаційні параметри можуть відхилитися в один бік (Π'_n, Π'_{∂}) і в інший (Π_n, Π_{∂}). Якщо $\Pi'_{\partial} < x < \Pi_{\partial}$ – система працездатна, якщо $\Pi'_n < x < \Pi'_{\partial}$ – потрібно заміна деталей і регулювання, якщо $\Pi_n > x$ або $x > \Pi_{\partial}$ – система непрацездатна.

При виникненні іншої допускової зони фактичні межі зміняться й будуть мати вигляд: $a = \Pi_{\partial} - \Delta$; $a' = \Pi_{\partial} + \Delta$; $b = \Pi_n + \Delta$; $b' = \Pi_n - \Delta$ [1,13].

Вірогідність контролю з урахуванням імовірності ухвалення правильного рішення визначиться за формулою:

$$A = 1 - (P_I + P_{II}) = 1 - P_u, \quad (11.17)$$

де P_u – загальна ймовірність перекручення (похибок).

У загальному вигляді ймовірності помилок I і II роду можна визначити за формулами:

$$P_I = \int_{x_n}^{x_b} f(x) \left[\int_{-\infty}^{x_b - x_n} f(\Delta_x) \cdot d(\Delta_x) \right] dx + \int_{x_n}^{x_b} f(x) \left[\int_{x_b - x}^{\infty} f(\Delta_x) \cdot d(\Delta_x) \right] dx; \quad (11.18)$$

$$P_{II} = \int_{-\infty}^{x_b - x_n} f(x) \left[\int_{x_n - x}^{x_b - x} f(\Delta_x) \cdot d(\Delta_x) \right] dx + \int_{x_b - x_n}^{\infty} f(x) \left[\int_{x_n - x}^{x_b - x} f(\Delta_x) \cdot d(\Delta_x) \right] dx, \quad (11.19)$$

де $f(x)$ – щільність ймовірностей розподілу параметра; $f(\Delta_x)$ – щільність ймовірностей розподілу похибки вимірів; x_b і x_n – задані припустимі верхні і нижні межі параметрів.

Особливо шкідливі помилки I роду, тому що вони приводять до непотрібних додаткових розбірно-складальних робіт, до простою рухомого складу й зниження коефіцієнта технічної готовності. Збільшення кількості параметрів приводить до різкого зростання ймовірності помилок. Наприклад, при $n = 2$ $A = 1 - (1 - \Delta)^2 = 2\Delta - \Delta^2 \approx 2\Delta$. Середня кількість виробів із допущеними помилками I роду в порівнянні з виробами, що контролюються за одним параметром, практично подвоюється [1].

Якщо автомобілі діагностувати за трьома параметрами (при помилці I роду в кожному параметрі $P_{II} \approx 0,2$), то ймовірність невипуску автомобіля на лінію складе $P_n = 1 - \prod_{i=1}^3 (P_{II}) = 1 - (1 - 0,2)^3 = 0,49$. Іншими словами, майже половину (49%) автомобілів не буде випущено на лінію задля усунення помилкових несправностей. Помилки II роду також неприпустимі з пог-

У цифрових системах вимірювання операція округлення виробляється самим засобом вимірювання, і помилка цієї операції відноситься до методичної похибки. Одночасно з округленням цифрових систем вимірювання здійснює квантування сигналу шляхом порівняння його з визначеним рівнем [13].

У процесі експлуатації параметри, які характеризують стан технічних систем, можуть відхилятися від номінального значення ПН як в один, так і в інший бік. Можуть бути такі ситуації: технічна система працездатна (P1), порушена працездатність і потрібна заміна деталей чи регулювання (P2), система непрацездатна (P3). Імовірності P1, P2 і P3 – апіорні ймовірності появи подій без урахування появи похибок вимірювання, які приводять до деформації закону розподілу і замість фактичної величини x буде замірятися величина $y = x \pm \Delta x$ (рис. 11.5) [1]. На рис. 11.5,б суцільною лінією показано закон розподілу $f(x)$ без деформації, пунктирною лінією – деформований розподіл за законом $f(x, \Delta x)$ [1, 18].

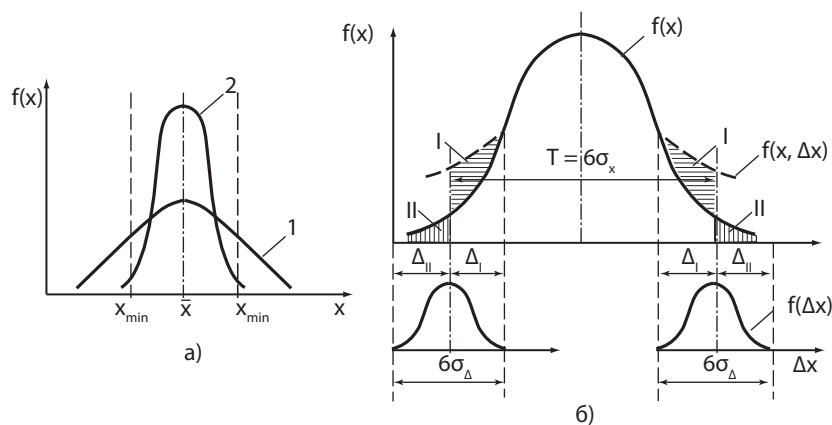


Рис. 11.5. Деформація закону розподілу

За рахунок похибки вимірів утворюються дві зони – I і II, які приводять до вибракування працездатної технічної системи або до пропуску непрацездатної системи. Тому чисельно вірогідність діагностування (контролю) має визначатися за формулою:

$$D = 1 - (P_I + P_{II}), \quad (11.16)$$

де P_I – імовірність забракування за результатами діагностування придатного механізму, а P_{II} – імовірність прийняття бракованого механізму як придатного.

параметра; K – число, яке характеризує імовірність перебування параметра нижче за граничне значення (рекомендується $K = 2$).

Похибки вимірювання, наведені в стандарті, є найбільшими. Однак можливі випадки, коли ці граничні значення можуть бути збільшеними через екологічні або технічні причини.

Для оптимізації точності вимірювань окремі параметри, залежно від їх «важливості» або стосовні до різних категорій точності, звичайно вимірюють із різною похибкою.

З умов мінімальності втрат інформації при виборі системи виміру необхідно прагнути максимально задовольнити вимозі структурної відповідності ланок вимірювального ланцюга об'єкт – датчик – перетворювач – реєстратор у конкретних схемах. З цією метою має бути оцінено пропускні здатності застосовуваних приладів і перетворювачів.

Абсолютна похибка – різниця між показанням x засобів вимірювання і дійсним значенням x_A вимірюваної величини:

$$\Delta = |x - x_A|.$$

Абсолютна похибка виражається в одиницях вимірюваної фізичної величини і її може бути задано:

- а) одним числом (лінія 1 на рис. 11.2): $\Delta = \pm a$;
- б) у вигляді лінійної залежності (лінії 2 і 3): $\Delta = \pm bx$; $\Delta = \pm(a + bx)$;
- в) у вигляді функції $\Delta = f(x)$ або графіка, таблиці.

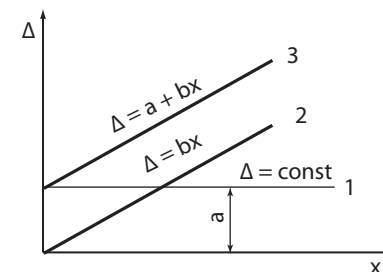


Рис. 11.2. Формування адитивної й мультиплікативної складові похибки

Якщо значення похибки не змінюються у всьому діапазоні виміру (лінія 1), наприклад, через тертя в опорах, то така похибка має назву адитивної (або похибкою нуля).

Якщо похибка змінюється пропорційно вимірюваній величині (лінія 2), то її називають мультиплікативною.

У більшості випадків адитивна й мультиплікативна складові присутні одночасно (див. рис. 11.2, лінія 3).

Звичайно робочі діапазони вимірювальної апаратури (вимірювальних трактів) мають область обмеженого застосування. Наприклад, робочий діапазон вібровимірювальних комплектів і систем на практиці завжди обмежений низу власним шумом використовуваної апаратури. П'єзоелектричні віброметри, що піддаються впливу механічної вібрації з амплітудами, які перевищують верхню межу їх робочого діапазону, поступово втрачають характер лінійчатого датчика і стають нелінійним (див. рис. 11.3) [20, 21].

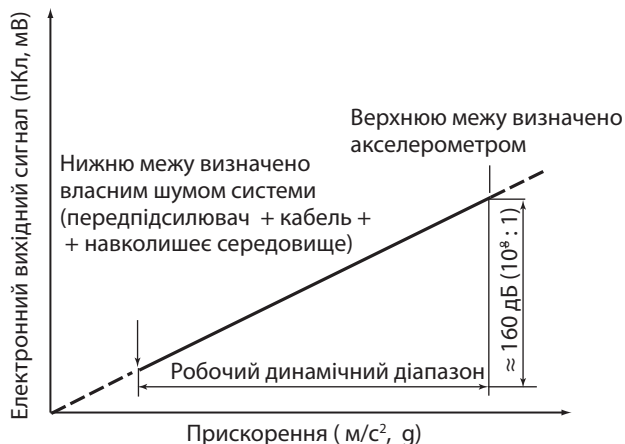


Рис. 11.3. Залежності амплітуди електричного сигналу, що дає акселерометр, від прискорення сприйманих ним механічних коливань

Для більшості цифрових систем вимірювання характерно лінійне перетворення вимірюваної величини, тобто показання цифрової системи вимірювання пропорційне числовому значенню вимірюваної величини або, наприклад, її відхиленню від заданого значення. Розрізняють односторонні, багатосторонні і комбіновані цифрові системи вимірювання для прямих, непрямих або сукупних вимірів.

Узагальнена структурна схема цифрової системи вимірювання (рис. 11.4) включає аналоговий перетворювач (АП) вхідної величини, квантователь (КВ), перетворювач коду (ПК) і відліковий пристрій (ВП).

З метою спрощення на схемі рис. 11.4 не показано блоки синхронізації, управління, пам'яті, інші блоки та пристрої для забезпечення заданої якості роботи цифрової системи вимірювання.

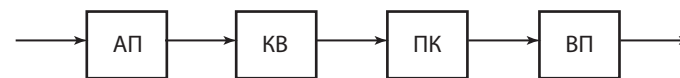


Рис. 11.4. Блок-схема цифрових систем вимірювання

При аналізі похибок виміру цифрової системи вимірювання розглядають два режими: статичний і динамічний.

Графік ілюструє властиву п'єзоелектричним акселерометрам виняткову лінійність і широкий робочий динамічний діапазон

Похибка виміру в динамічному режимі залежить не тільки від властивостей цифрових систем вимірювання, але і від властивостей вимірюваного сигналу, наприклад, від частотного спектра змін x_{BX} , який подається на цифрову систему вимірювання.

Оскільки в цифровій системі виміру (як квантователя) завжди $q \neq 0$, то навіть ідеальні цифрові системи виміру мають похибку, зумовлену наявністю q – кроком квантування в одиницях вимірюваної величини. Похибка квантування є адитивною похибкою, тому що абсолютне її значення не залежить від того, у якій частині діапазону знаходиться x . Похибка квантування контролю не підлягає. Складова похибки через квантування зневажено мала.

Як і для аналогових засобів вимірювання, у випадку цифрових систем вимірювання основна статична похибка Δ є сумою систематичної і випадкової складових ($\Delta = \Delta_c + \dot{\Delta}$). Для розкриття їх структури нижче розглянемо дві складові похибки цифрових систем вимірювання: методичну, зумовлену принципом аналого-цифрового перетворення, і інструментальну, зумовлену конструкцією й властивостями реальних елементів схеми цифрових систем вимірювання. У літературі [18] зустрічаються ще поняття похибки нелінійності або диференціальної нелінійності. Однак величина цієї похибки в умовах експлуатації цифрових систем вимірювання досить мала і становить інтерес лише для розробки цифрових систем вимірювання.

В аналогових засобах вимірювання числове значення результату виміру визначає оператор (знімає показання, робить округлення і записує результат отриманих чисел значущих цифр). При цьому виникає суб'єктивна помилка визначення.