

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПІДСИСТЕМ
ЗБОРУ ДАНИХ АСУТП В УМОВАХ
КОМБІНОВАНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2011

УДК 004.942:004.051:004.021

ББК 32.97

Д79

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 10 від 26.05.2011 р.)

Рецензенти:

А. А. Туник, доктор технічних наук, професор,

Р. Н. Кветний, доктор технічних наук, професор

Дубовой, В. М.

Д79 Оптимізація підсистем збору даних АСУТП в умовах комбінованої невизначеності : монографія / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 176 с.

ISBN 978-966-641-434-5

В монографії розвинуто інформаційну технологію оптимізації структури підсистем збору даних АСУ ТП з метою підвищення їх ефективності в умовах комбінованої невизначеності. Моделювання і проектування структури підсистем збору даних здійснюється на основі алгоритмічної моделі. Розроблений метод базується на формальній системі алгоритмічних моделей і використовує операторне подання перетворень невизначених даних.

Робота розрахована на науковців, інженерно-технічних працівників, аспірантів та студентів, які займаються питаннями проектування підсистем збору даних АСУТП.

УДК 004.942:004.051:004.021
ББК 32.97

ISBN 978-966-641-434-5

© В. Дубовой, О. Никитенко, 2011

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ТЕХНОЛОГІЙ СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПІДСИСТЕМ ЗБОРУ ДАНИХ.....	8
1.1. Проблеми моделювання і проектування структур підсистем збору даних.....	8
1.1.1. Роль підсистем збору даних у підвищенні ефективності АСУ ТП	9
1.1.2. Види підсистем збору даних.....	11
1.1.3. Системи структурного проектування підсистем збору даних	15
1.2. Моделі підсистем збору даних.....	19
1.3. Застосування алгоритмічного підходу до дослідження систем	23
1.3.1. Змістовні логічні схеми алгоритмів як апарат формалізованого опису алгоритмів роботи підсистем збору даних	24
1.3.2. Алгоритми обчислювальних процесів та алгоритмічна алгебра.....	26
1.3.3. Методи оцінювання характеристик підсистем збору даних.....	33
1.4. Методи структурного моделювання систем в умовах невизначеності.....	39
2. РОЗРОБКА МЕТОДУ ПОБУДОВИ АЛГОРИТМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПІДСИСТЕМ ЗБОРУ ДАНИХ.....	44
2.1. Комплекс моделей інформаційної технології структурної оптимізації підсистем збору даних АСУТП.....	44
2.2. Розробка методу моделювання програмно-апаратного комплексу підсистем збору даних	46
2.2.1. Формальна система алгоритмічних моделей.....	46
2.2.2. Алгебра алгоритмічних моделей.....	53
2.3. Перетворення алгоритмічних моделей в умовах невизначеності	54
2.3.1. Отримання операторної форми алгоритмічної моделі... 54	

2.3.2. Еквівалентність алгоритмічних моделей в умовах невизначеності	62
2.4. Оцінювання характеристик підсистем збору даних.....	68
2.4.1. Оцінювання складності.....	68
2.4.2. Оцінювання невизначеності результатів збору даних..	79
2.4.3. Оцінювання швидкодії.....	84
2.4.4. Оцінювання надійності.....	89
2.4.5. Комплексна оцінка ефективності підсистем збору даних	92
2.4.6. Метрики у просторі структур підсистем збору даних ..	98
3. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПІДСИСТЕМ ЗБОРУ ДАНИХ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ.....	101
3.1. Концептуальна структура інформаційної технології.....	101
3.2. Оптимізація підсистем збору даних.....	107
3.2.1. Оптимізація в умовах повної визначеності.....	108
3.2.2. Оптимізація в умовах невизначеності.....	119
3.3. Модель розвитку підсистеми збору даних	125
3.4. Алгоритм оптимізації підсистеми збору даних.....	126
4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	131
4.1. Розробка програмного забезпечення інформаційної технології оптимізації підсистем збору даних АСУТП	132
4.2. Експериментальні дослідження ефективності інформаційної технології	145
ПІСЛЯМОВА.....	157
ЛІТЕРАТУРА.....	158

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AM	Алгоритмічна модель
БД	База даних
БЗ	База знань
ІТ	Інформаційна технологія
ЛСА	Логічні схеми алгоритмів
ПЗД	Підсистема збору даних
СК	Системи керування
СК ТП	Системи керування технологічним процесом
УФН	Узагальнююча функція невизначеності
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
ССП	Система структурного проектування
UML	Unified Modeling Language (уніфікована мова моделювання)
$G\{V, P\}$	Граф
$\beta(x)$	Узагальнююча функція невизначеності
$X[N]$	Вектор параметрів технологічного процесу
$X'[n]$	Вектор контрольованих параметрів
$X'[k]$	Вектор оцінюваних параметрів
Q	Інформаційно-вартісний показник ефективності функціонування ПЗД
θ_S	Міра складності системи S
σ	Розкид (СКВ) результату
P_H	Надійність ПЗД
T_u	Тривалість циклу збору даних (швидкодія підсистеми)
I_u	Кількість інформації про технологічний процес за один цикл
AS	Алгебраїчна система
OP	Множина операцій над алгоритмічними моделями
op^{-1}	Обернена операція
M	Алгоритмічна модель
τ_0	Інтервал кореляції стану технологічного процесу
C	Вартісна функція

ВСТУП

Останніми роками зріс інтерес до проблем побудови високоефективних та високонадійних підсистем збору даних (ПЗД) у різних галузях людської діяльності, зокрема в АСУ ТП, що в свою чергу, приводить до впровадження інформаційних технологій проектування підсистем збору даних. З одного боку це пов'язано із значним прогресом в області обчислювальної техніки, розвитком інформаційних технологій, підвищенням ступеня автоматизації, а з іншого – необхідністю ефективного проектування таких підсистем, оскільки забезпечення якості збору, передачі та обробки інформації і задоволення вимог, що постійно зростають, до надійного і безпечного функціонування АСУ ТП, впливає на результат функціонування системи в цілому.

При проектуванні ПЗД постає необхідність оптимізації її структури, яка забезпечить необхідну якість функціонування АСУ ТП, причому важливим питанням є вибір критерію оптимізації, знаходження оптимального компромісу між швидкодією і вартістю системи, складністю і надійністю, оптимального розподілу функцій між програмними і апаратними засобами ПЗД з урахуванням особливостей контролюваного технологічного процесу.

Для формалізації та оптимізації підсистем збору даних використовують різноманітні моделі. Оскільки ПЗД містить апаратні та програмні засоби, в основному орієнтовані на комп'ютерну техніку, то її модель має бути універсальною. Такими універсальними моделями є алгоритмічні моделі (АМ), які широко використовуються для дослідження процесів і проектування систем.

У більшості теоретичних задач структурної оптимізації мова йде про постановки і методи розв'язання задач, що не містять невизначеностей. Проте, в переважній більшості практичних задач функціонування ПЗД відбувається в умовах невизначеності вхідних даних, зовнішніх впливів і параметрів системи, причому ступінь цієї невизначе-

ності, а також її природа можуть суттєво відрізнятися. В цих умовах задача оптимізації структури ПЗД має певні особливості, і наразі немає загальновизнаних підходів до її розв'язання. Існують роботи, в яких розглядаються теоретичні питання, пов'язані з алгоритмічними моделями ПЗД, але мало досліджено питання врахування невизначеності при моделюванні і оптимізації структури ПЗД на основі алгоритмічних моделей.

Отже, однією з головних проблем проектування ПЗД є оптимізація структури в умовах невизначеності частини параметрів, зокрема актуальною теоретичною і прикладною задачею, яка розглядається в монографії, є розвиток інформаційної технології та вдосконалення методів оптимізації структури ПЗД на основі алгоритмічних моделей з метою врахування в них умов невизначеності.

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ТЕХНОЛОГІЙ СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПІДСИСТЕМ ЗБОРУ ДАНИХ

Збір і аналіз даних – типові задачі автоматизації. Для їх реалізації вітчизняні й закордонні виробники випускають системи збору даних різної конфігурації. Структурне проектування підсистем збору даних [69] є важливим питанням, оскільки ПЗД відрізняються великим розмаїттям методів отримання даних, рівнем достовірності, зручністю у використанні, модульністю, наявністю власного програмного забезпечення.

1.1. Проблеми моделювання і проектування структури підсистем збору даних

Автоматизована система управління технологічними процесами складається з виділених за функціональною чи структурною ознакою підсистем, кожна з яких відповідає конкретній меті та задачам. Підсистема збору даних є комплексом засобів збору й обробки даних, необхідних для організації керування об'єктами [44].

При створенні підсистем збору даних ставиться завдання відібрати й автоматизувати трудомісткі, повторювані та рутинні операції над великими масивами даних [73, 95, 98, 99, 160, 172, 201], що є складною задачею, яка потребує ретельного моделювання і проектування структури ПЗД.

В іноземній літературі термін ПЗД досить часто зустрічається під аббревіатурою SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Але здебільшого під ПЗД розуміють апаратно-програмні комплекси збору даних, системи диспетчерського управління і збору даних, в більшості випадків для систем керування технологічними процесами. Рідше під SCADA розуміють засіб для створення програмного забезпечення та проектування підсистем збору даних.

Розвиток підсистем збору даних зумовлений підвищенням складності об'єктів керування, розпаралелюванням процесів в системах ке-

рування, масовим використанням потужних та недорогих мікроконтролерів, пошуком нових шляхів підвищення якості й скорочення виробничих витрат та широким введенням в експлуатацію багатофункціональних об'єктів. Це привело до набуття такими системами розподіленого характеру та суттєвого ускладнення їх структури.

1.1.1. Роль підсистем збору даних у підвищенні ефективності АСУ ТП. Сучасні технології збору даних отримали широке застосування і використовуються як в науково-дослідницьких цілях, так і в різних задачах автоматизації промисловості. Для збору даних здебільшого використовуються комп'ютери (контролери) з послідовними і паралельними портами на основі різних стандартних шин (PCI, PXI, CompactPCI, PCMCIA, FireWire). В деяких задачах використовуються віддалені пристрої збору даних та промислові мережі, а іноді ці пристрої вбудовуються безпосередньо в комп'ютер і передають дані напряму в його пам'ять. Усі ці способи побудови ПЗД характеризуються різною швидкістю, надійністю, просторовим розташуванням тощо. Тому вибір правильної структури ПЗД має привести до підвищення ефективності функціонування об'єктів, для яких вона розробляється.

Підсистеми збору даних складаються з трьох головних компонент (рис.1.1).

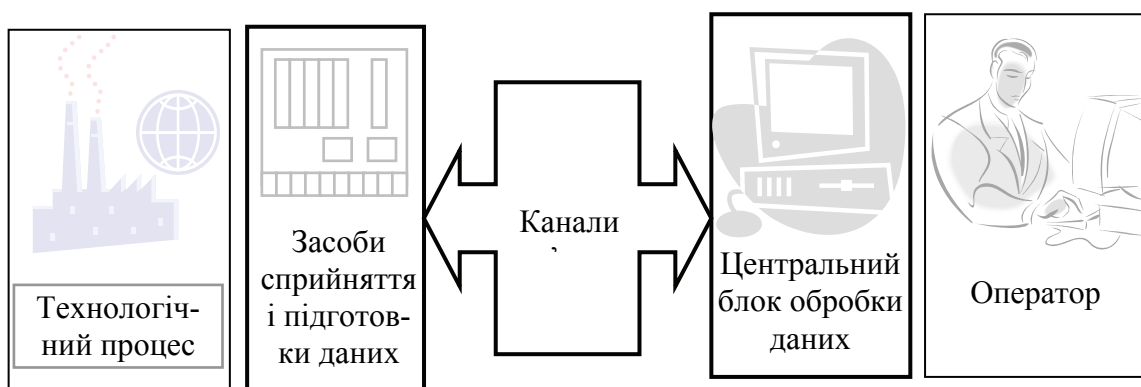


Рис. 1.1. Структурні компоненти ПЗД

Віддалений термінал (Remote Terminal Unit) – призначений безпосередньо для отримання даних з технологічного процесу в режимі реального часу за допомогою сенсорів, контролерів, спеціалізованих

багатопроекторних комплексів або бортових комп'ютерів в залежності від призначення системи збору даних. Останніми роками існує тенденція до інтелектуалізації цього компонента.

Головний термінал (Master Terminal Unit) – здійснює обробку інформації вищого рівня і, головним чином, забезпечує зручний людино-машинний інтерфейс. В залежності від складності ПЗД головний термінал може бути реалізований у вигляді великого обчислювального комплексу або як окремий комп'ютер, під'єднаний до каналів зв'язку. Найчастіше сучасні ПЗД реалізуються на основі технології клієнт-сервер, що складається з 4 компонент: інтерфейс користувача; керування даними (здебільшого на основі реляційних баз даних); компонент мережі й служби (використовує стандартні мережеві технології і протоколи); служби реального часу [137].

Канали зв'язку, або Communication System, дозволяють передавати інформацію з віддалених об'єктів на інтерфейс оператора. Причому архітектура системи зв'язку залежить від вимог до надійності зв'язку, наявної матеріальної бази, кількості віддалених об'єктів, відстані між головним та віддаленим терміналами тощо. На рис. 1.2 показано зв'язок ПЗД з технологічним процесом і центральним блоком управління (ЦБУ).

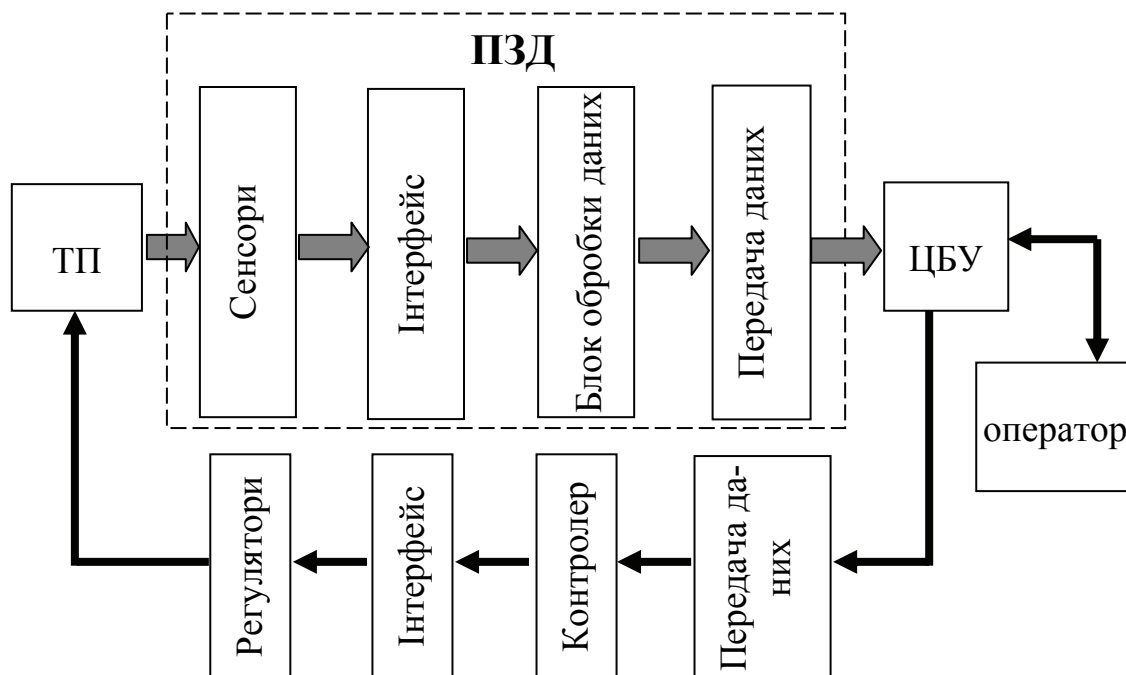


Рис. 1.2 Місце ПЗД в АСУТП

Розмаїття вимог, зумовлених конкретними задачами, не може бути забезпечене якоюсь одною структурою підсистеми збору даних. Залежність організації збору даних від організації технологічного процесу і необхідність забезпечення їх сумісності зумовили появу цілої низки структур підсистем збору даних і обробки інформації. Схема основних операцій, які реалізуються в подібних системах, наведена на рис. 1.3. Зв'язки між окремими блоками (операціями) можуть бути різними і, таким чином, відображати розподіл потоків даних в ПЗД у часі і просторі [73].

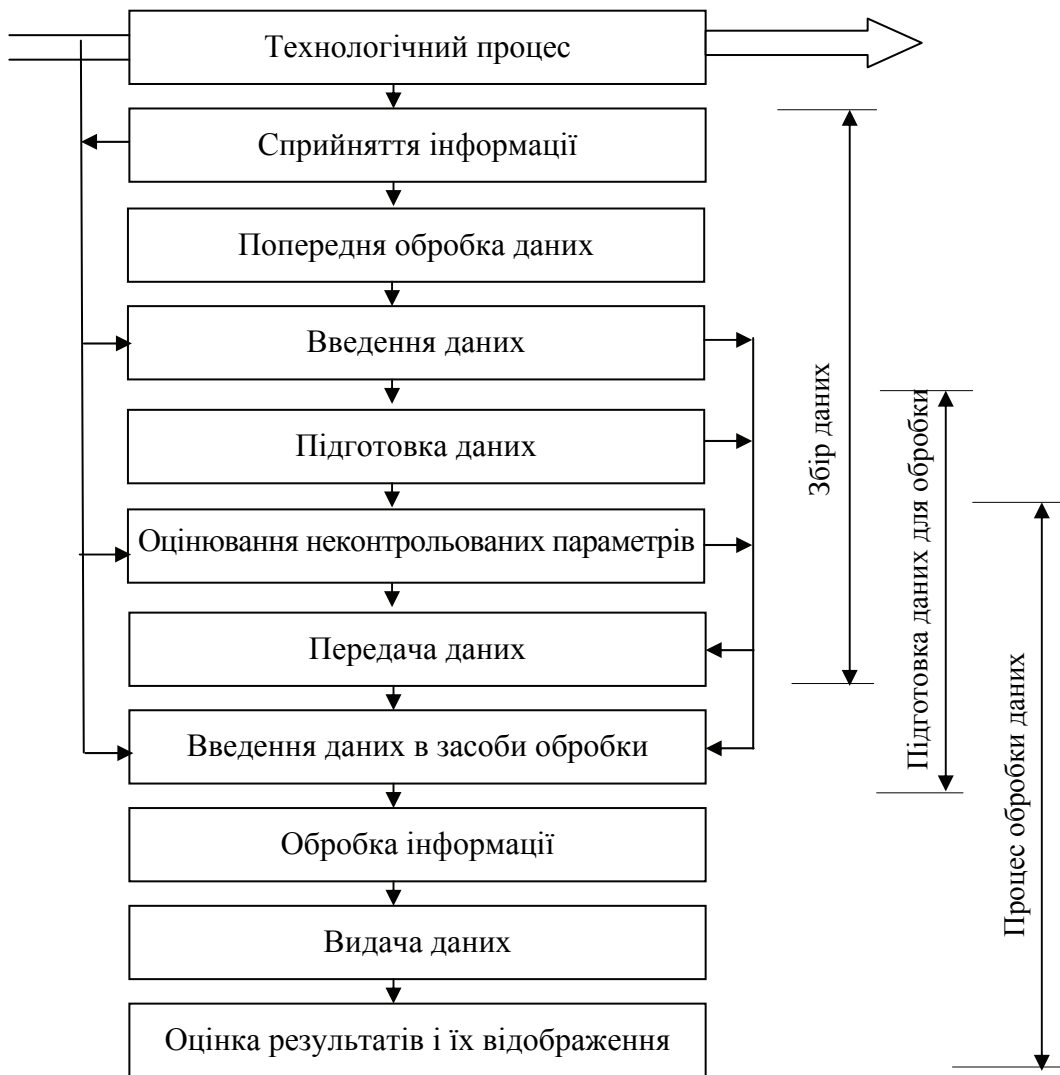


Рис. 1.3. Схема операцій, які реалізуються в процесі збору та обробки інформації

1.1.2. Види підсистем збору даних. Підсистеми збору даних є складним комплексом програмно-апаратних засобів, які можуть поєд-

нуватися і виконуватися у різний спосіб. Використання інтелектуальних сенсорів наділяє ПЗД властивостями розподіленої обробки даних. Керування такими системами здійснюється за допомогою мереж комп'ютерів та контролерів, що суттєво збільшує розмаїття ПЗД. Класифікація ПЗД наведена на рис. 1.4.

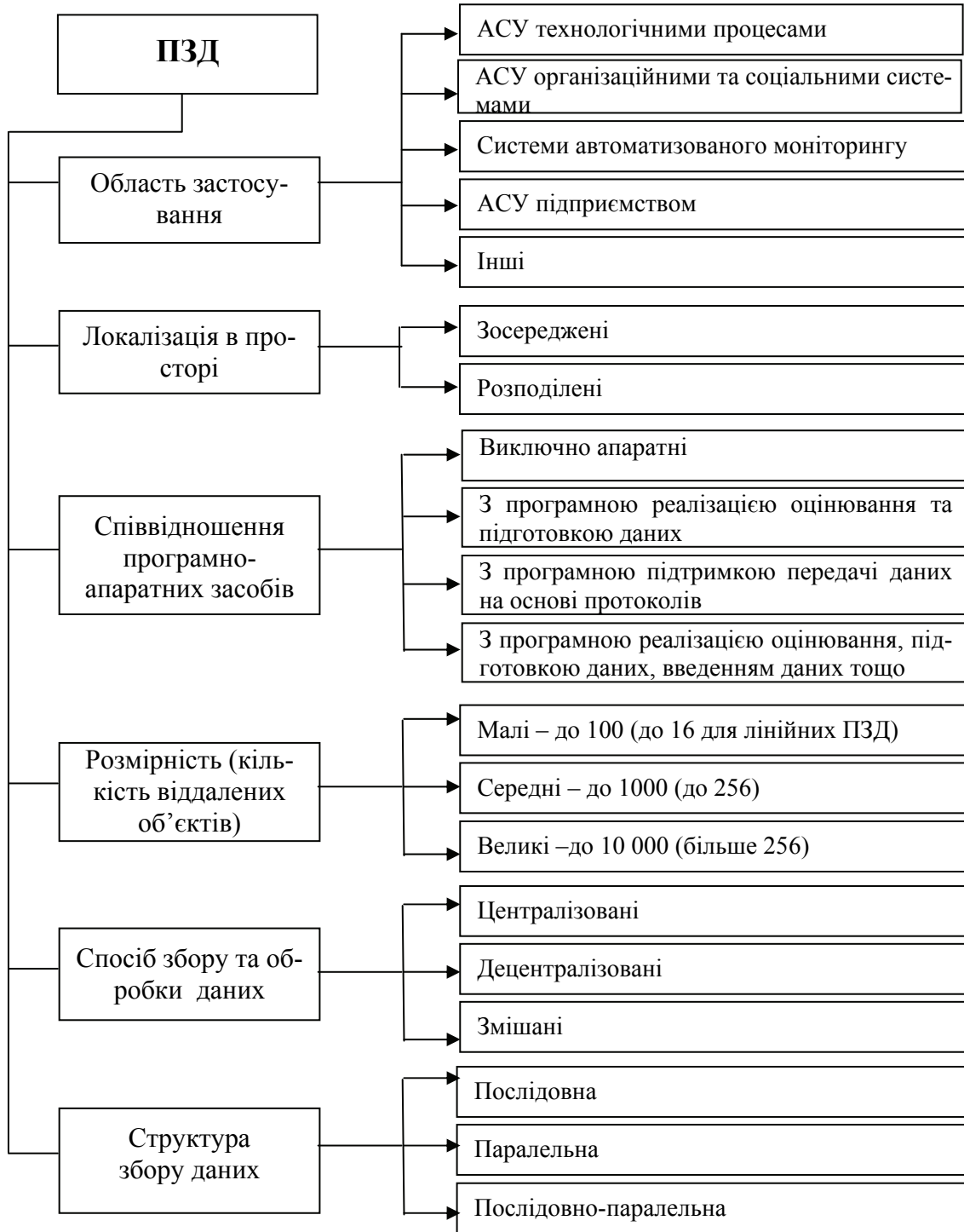


Рис. 1.4. Класифікація підсистем збору даних

Наведена класифікація орієнтована на ознаки, які є істотними при проектуванні ПЗД. Важливо визначити розподіл апаратно-програмних операцій, множини елементів ПЗД, зв'язків між елементами, функцій цих елементів, множину входів та множину виходів. Характеристика підсистем збору даних повинна враховувати можливість втручання оператора в процес збору, просторовий розподіл джерел інформації, необхідність передачі даних каналами зв'язку, можливості технічних засобів і умови їх експлуатації та обслуговування.

Розподіл елементів ПЗД в просторі і їх віддаленість від центрального блока обробки даних визначають три форми організації таких підсистем – в безпосередній близькості від протікання технологічного процесу, в низці територіально розподілених пунктів (децентралізований збір) і в одному дистанційно віддаленому від процесу центральному пункті (централізований збір даних) [73]. Збір даних в місці протікання процесу може здійснюватись автоматично або оператором, який спостерігає за приладами (рис. 1.5 а).

На рис. 1.5 б зображена загальна схема автоматичного децентралізованого збору даних з використанням в окремо розташованих пунктах автоматичних реєстраторів сигналів, а в деяких випадках – контролерів. Пристрої збору і обробки працюють за автономними програмами.

Організація зв'язку між центральним блоком обробки даних і первинними джерелами може бути організована за типовими структурами: паралельна (рис. 1.6 а) послідовна (рис. 1.6 б), та паралельно-послідовна (рис. 1.6 в) структури.

Кожна з цих структур має свої переваги і недоліки, зокрема, паралельна характеризується швидкістю обробки, але високою ціною реалізації такої структури. Перевагами таких ПЗД є паралелізм в роботі і, як наслідок, більша швидкодія і підвищена надійність. Недолік – більша кількість ліній зв'язку, прокладених від первинних джерел до центрального блока обробки даних (у відповідності з числом вимірних і контрольованих параметрів та характеристик процесу), що, в свою чергу, призводить до підвищення вартості такої структури. Цей недолік відсутній в централізованому зборі даних (рис. 1.5 в).

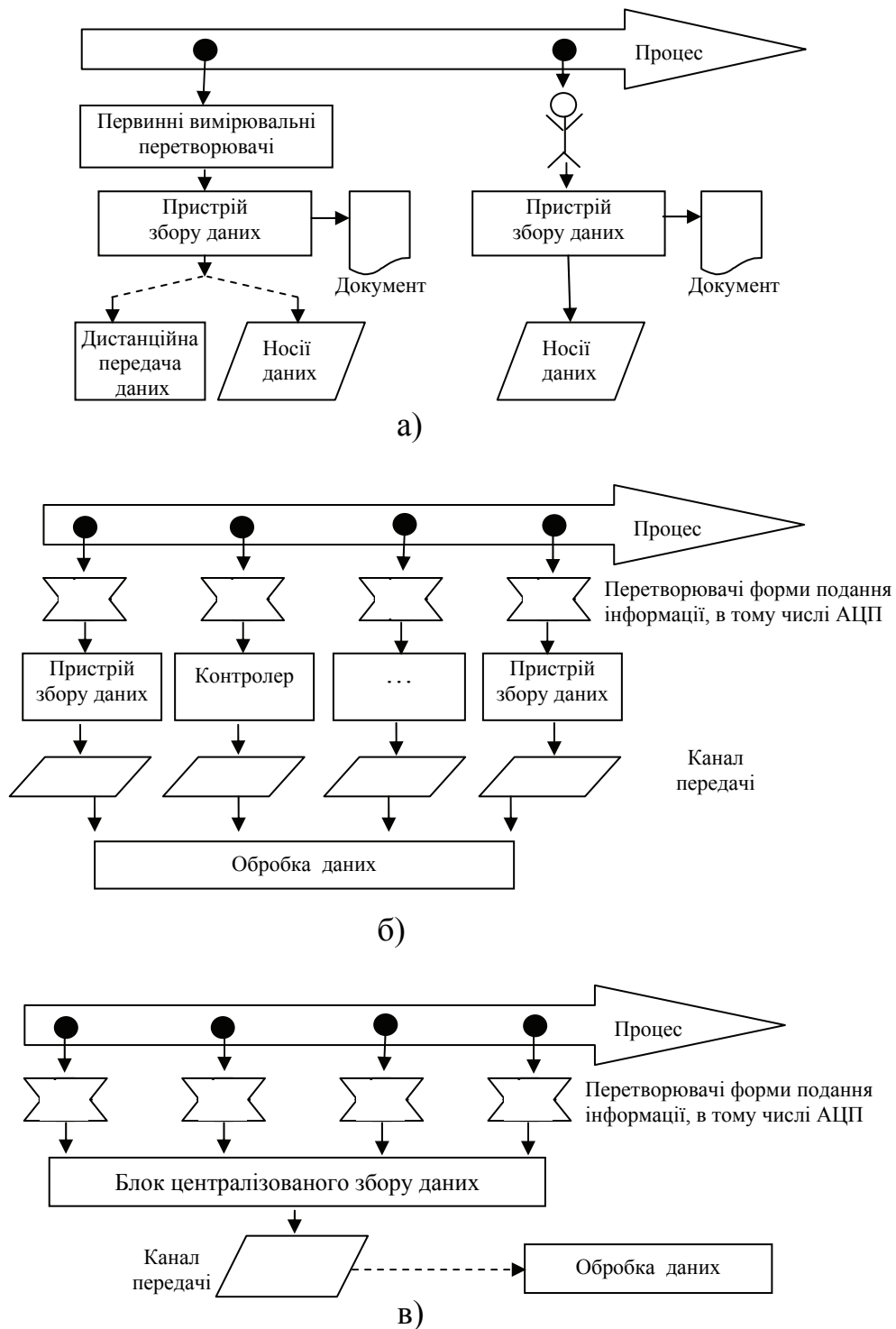


Рис. 1.5. Форми організації ПЗД: а) схема збору даних у місці протікання технологічного процесу; б) схема децентралізованого збору даних; в) схема централізованого збору даних

Але при цьому система є менш швидкодіюю. Крім того, в подібних системах знижується надійність через використання єдиного

центру збору і єдиного каналу передачі даних, відмова яких призводить до повної відмови всієї підсистеми збору.

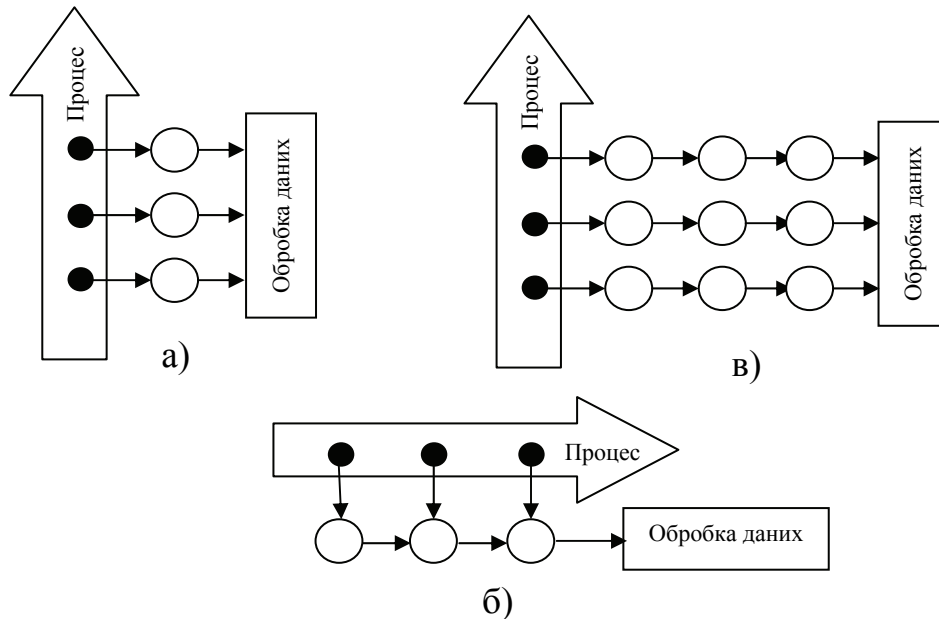


Рис. 1.6. Структура зв'язку з первинними джерелами:
 а) паралельна структура; б) послідовна структура;
 в) паралельно-послідовна структура

Структуру ПЗД також може визначати технологічний процес, який відбувається в різних умовах [3, 7]. Таким чином, комбінуючи ознаки і характеристики структур ПЗД, маємо значну кількість варіантів структур серед яких необхідно обрати оптимальну для конкретних умов функціонування.

1.1.3. Системи структурного проектування підсистем збору даних. Розробка підсистеми збору та обробки даних вимагає здебільшого багато часу та великих матеріальних витрат [21, 98]. Застосування систем структурного проектування (ССП) дозволяє скоротити початкові витрати та витрати на впровадження системи в декілька разів. Крім того, система, створена «вручну», далека від прийнятих стандартів і є закритою, тобто не дозволяє взаємодіяти з іншими системами [89]. Питання правильного вибору ССП є актуальним, оскільки розробка і вдосконалення ПЗД є важливим та матеріально витратним

етапом в проектуванні системи в цілому. Вирішити його можна, розглянувши функціональні можливості ССП (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Характерні риси ССП

Визначимо декілька популярних систем проектування збору даних (табл. 1.1.) і на їх прикладі розглянемо основні можливості ССП. З аналізу таблиці видно, що більшість систем відрізняється лише технічною реалізацією і деякими специфічними можливостями. Такі можливості, як збір первинної інформації від первинних джерел, керування й реєстрація сигналів про аварійні ситуації, зберігання інформації з можливістю її обробки, візуалізація подання інформації у вигляді графіків та інші важливі функціональні характеристики ПЗД реалізовані в кожній з наведених ССП.

Але деякі з цих систем мають певні особливості, зокрема, до складу Trace-Mode 6 входить найбільша кількість бібліотек ресурсів

[202], які готові до використання в прикладних проектах, з них: драйвери до 2305 контролерів, 1116 графічних зображень технологічних об'єктів, 596 анімованих об'єктів, більше 150 алгоритмів обробки даних, комплексні технологічні об'єкти, що робить цю систему безумовним лідером.

Таблиця 1.1

Перелік поширених ССП ПЗД та їх властивості

Системи структурного проектування ПЗД	Функціональні характеристики	Наявність засобів оптимізації структури ПЗД	Технічні характеристики	Експлуатаційні характеристики	Відкритість системи	Інтеграція Багаторівневість систем автоматизації	Велика кількість бібліотек ресурсів	Можливість підтримки стандартних мережних протоколів і середовищ	Якість технічної підтримки та додаткових послуг
Factory-Link (U.S.DATA-Co., США)									
InTouch (Wonderware, США)									
Genesis (Iconics, США)									
RealFlex (BJ.Software.Systems, США)									
Sitex (Jade.Software, Англія)									
FIX (Intellution, США)									
Trace-Mode (AdAstra, Росія)									
IGSS (Seven.Technologie, Данія)									
Image (Технолинк, Росія)									

Важливим є питання програмно-апаратної платформи, на якій реалізована підсистема збору даних, оскільки від цього залежить її експлуатаційна вартість і поширення на існуючі обчислювальні засоби. Більшість з систем реалізована на платформах MS Windows, оскільки там існує можливість застосування зручного людино-машинного інтерфейсу.

Мережний сервіс – це також важливе питання, оскільки він впливає на ефективність функціонування ПЗД в різноманітній середовищі

(об'єкти керування, апаратура, що реєструє інформацію, робочі місця операторів, сервери баз даних тощо). Від таких систем вимагають підтримку стандартних мережних протоколів (NETBIOS, TCP/IP та ін.) і середовищ (ETHERNET та інші), а також мережних промислових інтерфейсів (PROFIBUS, CANBUS, LON, MODBUS і т. д.). Відрізняються ці системи лише набором та кількістю підтримуваних мережних інтерфейсів.

Експлуатаційні характеристики впливають на вартість реалізації і важливі для простоти та швидкості розроблених прикладних систем.

Важливою характеристикою ССП є відкритість, оскільки це дозволяє підключати до таких систем незалежно розроблені компоненти та модулі, що реалізують ті можливості, яких немає в існуючих ССП. Тому більшість з них має можливість доступу до системних засобів (доступ до графічних функцій, функцій роботи з базами даних і т. д.). Крім того, майже всі ССП ПЗД дозволяють розробляти власні програмні модулі й драйвери нових пристроїв нижнього рівня.

Оскільки основні можливості ССП ПЗД близькі та реалізовані приблизно в однаковій мірі, то велика увага приділяється якості технічної підтримки та додаткових послуг з освоєння й впровадження кінцевої системи збору даних, звичайно, важливе значення має кількість та якість бібліотек ресурсів, які готові до використання в прикладних проектах. Тобто, скорочення витрат системних інтеграторів і кінцевих користувачів, зменшення вартості супроводу кінцевої системи та технічні можливості цих систем впливають на пріоритетність ССП ПЗД при їх виборі. Наприклад, на відміну від інших аналогічних SCADA-систем, окрім стандартного набору можливостей, ССП TRACE MODE використовує унікальну технологію playback (графічний огляд архівів на робочих місцях керівників) та має спеціальні методи підвищення надійності АСУТП (гаряче резервування серверів реального часу, промислових контролерів, мережних адаптерів тощо).

Отже, за функціональними можливостями всі розглянуті системи в цілому порівнянні. Побудова ПЗД на основі розглянутих ССП знач-

но скорочує набір необхідних знань в області класичного програмування, дозволяючи сконцентруватись на поставленій задачі.

Але, виходячи з аналізу табл.1.1, можна зробити висновок, що у поширених ССП не розв'язана задача структурної оптимізації проєктованих систем (окрім оптимального резервування і забезпечення стійкості в системах RealFlex, Trace-Mode та ін.). Для подальшого розвитку інформаційної технології оберемо базову технологію ССП TRACE MODE як таку, що має, наразі, найвищі показники.

1.2. Моделі підсистем збору даних

Модель підсистеми збору даних є основою для розв'язання задачі оптимізації структури ПЗД. Існують різні моделі, за допомогою яких можна описати структуру та роботу ПЗД, зокрема, структурні, динамічні, статичні та інші (рис.1.8). Розглянемо деякі переваги і недоліки використання цих моделей для проєктування та моделювання ПЗД.

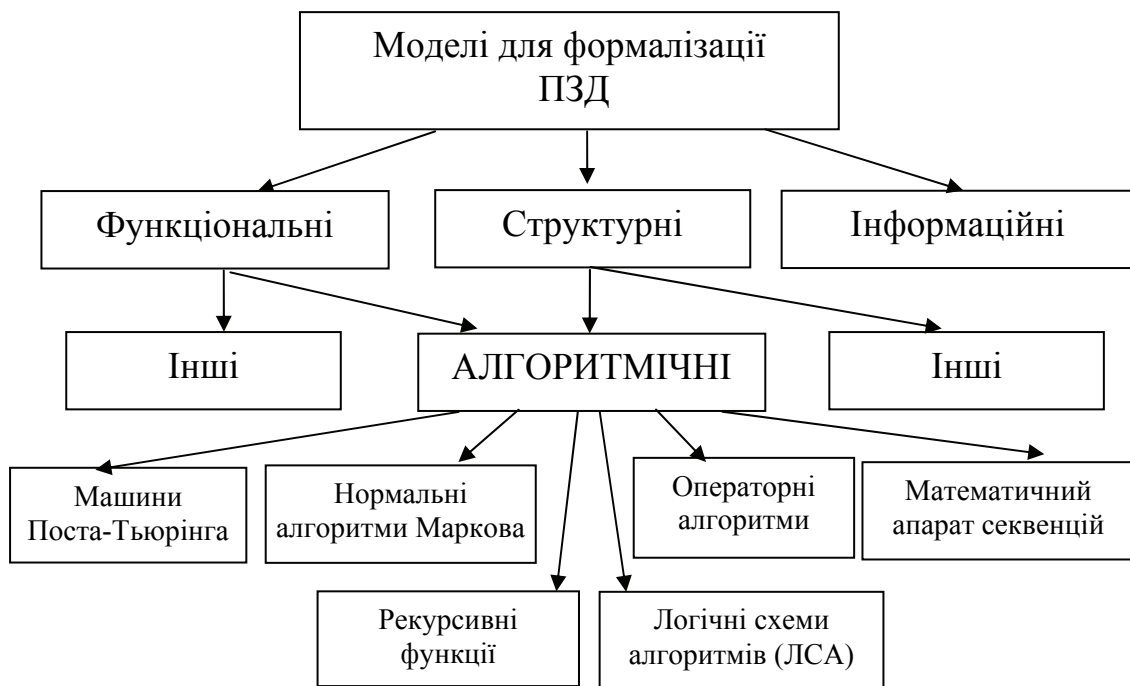


Рис. 1.8. Види моделей ПЗД

Моделі структури подають об'єкт моделювання з точки зору його складу та взаємозв'язку частин між собою й зовнішнім середовищем.

Структурні моделі можуть зображуватись у різних просторах: у просторі фізичних зв'язків, у просторі логічних зв'язків, у вигляді розташування у геометричному просторі.

Найпоширенішою та найуніверсальнішою формою подання структурних моделей та основним математичним апаратом є граф. Для опису графів використовуються матриці та списки (матриця суміжності, матриця інциденції, списки пар вершин) [63, 76].

Функціональні моделі описують процеси, які відбуваються в об'єкті моделювання, та поведінку об'єкта у часі. Вони використовуються у комплексі із структурними моделями.

Модель динаміки системи може подаватися у різних ізоморфних та гомеоморфних формах [43, 78]: диференціальні рівняння, операторні рівняння, інтегральні рівняння, спектральні рівняння, передаточні функції, комплексні частотні передаточні функції, амплітудно-фазові частотні характеристики, перехідні функції і характеристики.

Найпоширенішою моделлю динаміки є *диференціальне рівняння* [43], а саме – лінійне диференціальне рівняння, яке описує динаміку лінійних об'єктів з постійними параметрами

$$a_b \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{b-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 y(t) = b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 x(t) + b_0. \quad (1.1)$$

Якщо розглядати лінійну систему, то її модель у формі зображення за Лапласом подається передаточною функцією у вигляді дрібно-раціонального виразу [43]

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{a_n p^n + \dots + a_1 p + a_0}{b_m p^m + \dots + b_1 p + b_0}, \quad (1.2)$$

де $Y(p)$, $X(p)$ – зображення за Лапласом вихідної та вхідної величин лінійної системи.

Програмна реалізація лінійної динамічної моделі здійснюється на основі її дискретного подання.

З (1.2) знаходимо

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизация технологических процессов и производств [электронный ресурс] // Учебное пособие. Ч. 1 Конспект лекций. – Ангарск, 2005. – Режим доступа: http://window.edu.ru/window_catalog/files/r62090/ATP_Conspect.pdf.
2. Автоматизированные системы управления технологическими процессами : справочник / [Грищенко А. З., Грищук В. П., Денисенко В. М. и др.] ; под ред. Б. Б. Тимофеева. – К. : Техніка, 1983.– 351 с.
3. Ажогин В. В. Машинное проектирование оптимальных систем управления пространственно-распределенными динамическими объектами / В. В. Ажогин, М. З. Згуровский. – К. : Вища шк., 1985. – 170 с.
4. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах: [учеб. пособие для студентов экон. спец. вузов] / И. Л. Акулич. – М. : Высш. шк., 1986. – 319 с.
5. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы / А. Г. Александров. – М. : Высш. шк., 1989. – 263 с.
6. Александров П. С. Введение в теорию групп / П. С. Александров. – М. : Наука, 1980. – 144 с.
7. Алексеев В. М. Оптимальное управление / В. М. Алексеев, В. М. Тихомиров, С. В. Фомин. – М. : Наука, 1979. – 430 с.
8. Алтунин А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях : монография [электронный ресурс] / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин. – Тюмень. : Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с. – Режим доступа: <http://www.plink.ru/tnm/gl65.htm>.
9. Ахо А. Структуры данных и алгоритмы / А. Ахо, Д. Ульман, Д. Хопкрофт. – М. : Вильямс, 2003. – 384 с.
10. Ашеро́в А. Т. Ергономіка інформаційних технологій: оцінка, проектування, експертиза : [навч. посіб.] / А. Т. Ашеро́в, Г. І. Сажко. – Х. : УПА, 2005. – 243 с.
11. Багриновський К. А. Нові інформаційні технології / К. А. Багриновський, Е. Ю. Хрустале́в. – Х. : ЭКО, 2003. – 411 с.
12. Барковский В. В. Методы синтеза систем управления / В. В. Барковский, В. Н. Захаров, А. С. Шаталов. – М. : Машиностроение, 1981. – 277 с.

13. Батищев Д. И. Методы оптимального проектирования / Д. И. Батищев. – М. : Радио и связь, 1984. – 248 с.
14. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде ; под ред. И. Ф. Шахнова. – М. : Мир, 1976. – С. 172–215.
15. Бердышев В. И. Численные методы приближения функций / В. И. Бердышев, Ю. Н. Субботин. – Свердловск. : Средне-Уральское книжное издательство, 1979. – 120 с.
16. Блюмин С. Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова. – Липецк : ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
17. Бондарь Ю. В. Об одном методе оптимального использования алгоритмической избыточности / Ю. В. Бондарь, И. В. Сафонов // Автоматика и вычислительная техника. – 1975. – № 3. – С. 26–29.
18. Борисов А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. – Рига : Знатне, 1990. – 184 с.
19. Боровська Т. М. Імовірнісна модель для прогнозування розвитку розподілених систем / Т. М. Боровська, С. П. Бадьора // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 1. – С. 45–52.
20. Бурков В. Н. Теория графов в управлении организационными системами / В. Н. Бурков, А. Ю. Заложнев, Д. А. Новиков. – М. : Синтег, 2001. – 124 с.
21. Васин Н. Н. Системы сбора информации на железнодорожном транспорте : учебное пособие. / Н. Н. Васин, В. П. Мохонько. – Самара : СамИИТ, 2001. – 120 с.
22. Вигман Б. А. Стохастические модели контроля / Вигман Б. А. // Управляющие системы и машины.–1973.–№ 2. – С. 112–115.
23. Вирт Н. Алгоритмы + структуры данных = программы / Н. Вирт; пер. с англ. Л. Ю. Иоффе. – М. : Мир, 1985. – 406 с.
24. Володарський Є. Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю : навч. посіб. / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк.–Вінниця:Велес, 2001. – 219 с.

25. Вошинин А. П. Оптимизация в условиях неопределенности / А. П. Вошинин, Г. Р. Сотиров. – Изд-во МЭП (СССР), «Техника» (НРБ), 1989. – 224 с.
26. Гамм А. З. Наблюдаемость электроэнергетических систем / А. З. Гамм, И. И. Голуб. – М. : Наука, 1990. – 200 с.
27. Гвоздик М. И. Оптимизация организационно-технических систем ВМФ. Методы. Алгоритмы. Программы. / М. И. Гвоздик, В. Г. Евграфов, Е. Б. Цой. – СПб. : ВВМУРЭ, 1997. – 223 с.
28. Глонь О. В. Моделювання систем керування в умовах невизначеності : монографія / О. В. Глонь, В. М. Дубовой. – Вінниця : УНІ-ВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 170 с.
29. Глушков В. М. Алгебра. Языки. Программирование / В. М. Глушков, Г. Е. Цейтлин, В. М. Ющенко. – К. : Наукова думка, 1989. – 376 с.
30. Глушков В. М. К вопросу о минимизации программ и схем алгоритмов / В. М. Глушков // Кибернетика. – 1966. – № 5. – С. 1–3.
31. Глушков В. М. О применении метода формализованных технических заданий к проектированию программ обработки структур данных / В. М. Глушков, Ю. В. Капитонова, А. А. Летичевский // Программирование. – 1978. – № 6. – С. 5–12.
32. Годлевский А. Б. Об одном случае специальной проблемы функциональной эквивалентности дискретных преобразователей [Электронный ресурс] / А. Б. Годлевский // Кибернетика. — 1974. — № 3. — С. 32-36. Режим доступа:
<http://www.contrterror.tsure.ru/site/magazine7/pdf>.
33. Голубева Т. О. Використання методу оцінювання в задачах інваріантного управління / Т. О. Голубева, В. М. Дубовой // Вісник ВПІ. – 2007. – № 1. – С. 5–9.
34. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем / А. И. Губинский. – Л. : Наука, 1982. – 270 с.
35. Губинский А. И. Эргономическое проектирование судовых систем управления / А. И. Губинский, В. Г. Евграфов. – Л. : Судостроение, 1977. – 224 с.
36. Дейт К. Введение в системы баз данных / К. Дейт ; пер. з англ. Ю. С. Слепцова. – М : Издательский дом «Вильямс», 2001. – 1072 с.

37. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г. В. Дружинин. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
38. Дубовой В. М. Разработка операторного метода моделирования динамики информационных потоков в распределенных измерительных информационных системах: дис. доктора техн. наук: 05.13.02/ Дубовой Владимир Михайлович. — Винница, 1997. – 378 с.
39. Дубовой В. М. Контроль та керування в мережах теплопостачання : монографія / В. М. Дубовой, В. В. Кабачій, Ю.М.Паночишин.– Вінниця:УНІВЕРСУМ-Вінниця,2005.–190с.
40. Дубовой В. М. Обработка результатов косвенных измерений при нечетко заданных параметрах / В. М. Дубовой, О. В. Глонь // Научные труды КГПУ. – 2000.–№2.–С. 262–265.
41. Дубовой В. М. Властивості моделей інформаційних систем в умовах невизначеності / В. М. Дубовой, О. В. Глонь // Матеріали III Міжнародної конференції ІОН-2002. Том 2. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. - С. 410–412.
42. Дубовой В. М. Использование обобщенной вычислительной модели в интеллектуальных системах управления / В. М. Дубовой, О. В. Глонь // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2002. – № 3, Т. 1 (41). – С. 122–125.
43. Дубовой В. М. Моделювання систем контролю та керування : навч. посіб. / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2005. –175с.
44. Дядюнов А. Н. Адаптивные системы сбора и передачи аналоговой информации. Основы теории / А. Н. Дядюнов, Ю. А. Онищенко, А. И. Сенин. – М. : Машиностроение, 1988. – 288 с.
45. Емеличев В. А. Лекции по теории графов. / В. А. Емеличев, О. И. Мельников, В. И. Сарванов. – М. : Наука, 1990.– 384 с.
46. Жабін В. І. Прикладна теорія цифрових автоматів [Електронний ресурс] / В. І. Жабін, І. А. Клименко, В. В. Ткаченко та ін.: Електронний посібник. – Режим доступу: <http://ot.iit.nau.edu.ua/ptca/index.html>
47. Зайченко Ю. П. Многокритериальные задачи принятия решений в нечётких условиях и методы их решения / Ю. П. Зайченко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2002. – № 2 – С. 53–62.

48. Захаров И. П. Неопределенность измерения: общие подходы к составлению бюджета неопределенности / И. П. Захаров // Український метрологічний журнал. – 2004. – № 2 – С. 10–15.

49. Захаров И. П. Теория неопределенности в измерениях / И. П. Захаров, В. Д. Кукуш. – Харьков : Консум, 2002. – 256 с.

50. Зингер Н. С. Обеспечение достоверности данных в автоматизированных системах управления производством. – М. : Наука, 1974. – 136 с.

51. Иванов С. В. Параллельные алгоритмы моделирования комплексных сетей / С. В. Иванов, И. И. Колыхматов, А. В. Бухановский // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ, 2008) ; междунауч. конф., 28 янв.–1 февр. 2008 г. : матер.конф. – Челябинск : Изд. ЮУрГУ, 2008. – С. 395–402.

52. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения: ГОСТ 34.003-90. — [Чинний від 1992-01-01]. — М. : Издательство стандартов, 1991. — 68 с.

53. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, Проектирование, Испытания: Справочник / [Адаменко А. Н., Губинский А. И. и др.] – М. : Машиностроение, 1993. – 528 с.

54. Інформаційно-пошуковий сайт Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.wikipedia.com.ua

55. Калужнин Л. А. Об алгоритмизации математических задач / Л. А. Калужнин // Проблемы кибернетики. – 1959. – № 2. – С. 51–67.

56. Карпова Н. А. О некоторых свойствах функций Шеннона [Електронний ресурс] / Н. А. Карпова // Математические заметки. – 1970. – Т. 8, № 5. – С. 663–674. – Режим доступу: http://www.mathnet.ru/php/getFT.phtml?jrnid=mzm&paperid=7014&what=fullt&option_lang=rus.

57. Карповский Е. Я. Надежность программной продукции / Е. Я. Карповский, С. А. Чижов. – К. : Техника, 1990. – 160 с.

58. Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы / Дж. Касти ; пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 216 с.

59. Кветний Р. Н. Основи моделювання та обчислювальних методів. Навчальний посібник / Р.Н. Кветний.–Вінниця:ВНТУ,2007.–150 с.

60. Кириллов Н. П. Концепция построения алгоритмических моделей процессов принятия решения при управлении сложными техническими системами / Н. П. Кириллов // Информатизация и связь. – 2003. – № 1–2. – 116 с.

61. Клиначёв Н. В. Теория систем автоматического регулирования [Электронный ресурс] / Н. В. Клиначёв // Учебно-методический комплекс. – Режим доступа : <http://model.exponenta.ru/lectures/0060.htm>.

62. Князева М. А. Концепция банка знаний в области оптимизации программ для поддержки научных исследований, образования и профессиональной деятельности / М. А. Князева, А. С. Клещев. – Владивосток : ИАПУ ДВО РАН, 2003. – 28 с.

63. Князьков В. С. Введение в теорию графов [Электронный ресурс] / В. С. Князьков, Т. В. Волченская. – Режим доступа: www.intuit.ru.

64. Ковалюк Д. О. Про один алгоритм прийняття рішень в умовах ризику / Д. О. Ковалюк, О. Д. Никитенко // Конференція студентів та молодих вчених «Політ»: 4-а Міжнар. наук. конф., 15–16 квітня, 2004 року. : тези. – К., 2004. – С. 45.

65. Ковалюк О. О. Аксиоматична основа прийняття рішень в умовах комбінованої невизначеності / О. О. Ковалюк, В. М. Дубовой // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 1 (11). – С. 70–75.

66. Ковалюк О. О. Порівняльний аналіз методів прийняття рішень в умовах невизначеності / О. О. Ковалюк, В. М. Дубовой // «Автоматика – 2004»: 11 Міжнар. конф. : тези.–К., 2004. – С. 39.

67. Ковалюк О. О. Прийняття рішень в розподілених системах за умов комбінованої невизначеності / О. О. Ковалюк, В. М. Дубовой // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2004. – № 1. – С. 8–11.

68. Козлов Б. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. – М. : Сов. радио, 1975. – 472 с.

69. Коллинз Г. Структурные методы разработки систем: от стратегического планирования до тестирования / Г. Коллинз, Блэй Дж. – М. : Финансы и статистика, 1986. - 263 с.

70. Котов В. Е. Теория схем программ / В. Е. Котов, В. К. Сабельфельд. – М. : Наука, 1991. – 248 с.
71. Красовский А. А. Справочник по теории автоматического управления / А. А. Красовский. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 712 с
72. Краус М. Измерительные информационные системы (характеристические функции, критерии качества, оптимизации) / М. Краус, Э. Вошин ; пер. с нем. Я. М. Малкова. – М. : Мир, 1975. – 310 с.
73. Краус М. Сбор данных в управляющих вычислительных системах / М. Краус, Э. Кучбах, О. Г. Вошни ; пер. с нем. – М. : Мир, 1987. – 294 с.
74. Крилов І. В. Інформаційні технології: теорія і практика / І. В. Крилов. - К. : Центр, 2002. – 410 с.
75. Криницкий Н. А. Равносильные преобразования алгоритмов и программирование [Электронный ресурс] / Н. А. Криницкий — М. : Советское радио, 1970. — 304 с. Режим доступа: <http://alib.com.ua/bs.php4?bs=Knigoxod&id=2780257>.
76. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. – М. : Мир, 1978 – 432 с.
77. Кузьмин И. В. Оценка эффективности и оптимизации АСКУ / И. В. Кузьмин. – М. : Сов. радио, 1997.– 296 с.
78. Кузьмин И. В. Основы моделирования сложных систем / Под ред. И. В. Кузьмина. – К. : Вища школа, 1981. – 359 с.
79. Кулик В. Т. Алгоритмизация объектов управления / В. Т. Кулик. – К. : Наукова думка, 1968. – 364 с.
80. Кун С. Ю. Матричные процессоры на СБИС / С. Ю. Кун ; пер. с англ. – М. : Мир, 1991. – 672 с.
81. Кунцевич В. М. Адаптивное управление: алгоритмы, системы, применение / В. М. Кунцевич. – К. : Вища шк., 1988. – 64 с.
82. Кунцевич В. М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации / В. М. Кунцевич. – К. : Наук. думка, 2006. – 264 с.
83. Куссуль Н. М. Робастні методи оцінювання та ідентифікації в умовах невизначеності / Н. М. Куссуль // Український метрологічний журнал. – 2004.– № 3. – С. 15-23.

84. Ладанюк А. П. Основи системного аналізу : [навч. посіб.] / А. П. Ладанюк. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 176 с.
85. Ладанюк А. П. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості : підручник / А. П. Ладанюк, В. Г. Трегуб та ін. К. : Аграрна освіта, 2001. – 224 с.
86. Лежнюк П. Д. Оцінка якості оптимального керування критеріальним методом : монографія / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 108 с.
87. Лежнюк П. Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріальним методом : монографія / П. Д. Лежнюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2003.–131 с.
88. Летичевский А. А. Практические методы распознавания эквивалентности дискретных преобразователей и схем программ / А. А. Летичевский // Кибернетика. – 1973. – № 4 – С. 15–26.
89. Лигун Л. Экономическая эффективность разработки проекта АСУ ТП В Трейс Моуд 5 [Электронный ресурс] / Л. Лигун // Электроэнергетика. Статьи по электроэнергетике, электрическим сетям, оборудованию электрических подстанций и высоковольтных линий электропередач. – Режим доступа : <http://forca.ru/stati/sdtu/ekonomicheskaya-effektivnost-razrabotki-proekta-asu-tp-v-treis-moud-5.html>.
90. Лидовский В. В. Теория информации : [учеб. пособ.] / В. В. Лидовский. – М. : Компания Спутник+, 2004. – 111 с.
91. Ляпунов А. А. О логических схемах программ / А. А. Ляпунов // Проблемы кибернетики. – 1958. – № 1. – С. 46–74.
92. Макаров И. М. Линейные автоматические системы (элементы, теории, методы расчета, справочный материал) : учеб. пособ. для вузов / И. М. Макаров, Б. М. Менский. – М. : Машиностроение, 1982. – 504 с.
93. Максименко И. Н. Объектно-ориентированный подход к анализу автоматизированных систем теплоснабжения с изменяемой структурой / И. Н. Максименко // Вісник Вінницього Політехнічного Інституту. – 2006. – № 6. – С. 34–38.

94. Маликов В. Т. Исследование и оптимизация информационных характеристик устройств контроля / В. Т. Маликов, В. М. Дубовой, Р. Н. Кветный. – К. : Знание, 1983. – 213 с.
95. Маликов В. Т. Анализ измерительных информационных систем / В. Т. Маликов, В. М. Дубовой, Р. Н. Кветный. – Ташкент : ФАН, 1984. – 176 с.
96. Малышев Н. Г. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР / Н. Г. Малышев, Л. С. Берштейн, А. В. Боженюк. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.
97. Марков А. А. Теория алгоритмов / А. А. Марков, Н. М. Нагорный. – М. : ФАЗИС, 1996. – 496 с.
98. Марков Н. Г. Автоматизированные системы сбора и регистрации сейсмической информации / Н. Г. Марков. – М. : Недра, 1992. – 219 с.
99. Маркушевич Н. С. Автоматизированная система диспетчерского управления / Н. С. Маркушевич. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.
100. Математическое моделирование систем и объектов. Нормированное пространство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://de.ifmo.ru/--books/0051/6/6_3/63_normpr_1.htm.
101. Мелихов А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Берштейн, С. Я. Коровин. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 272 с.
102. Мищенко В. А. Теория эквивалентных преобразований алгоритмов в САПР СБИС / В. А. Мищенко, А. А. Прихожий. – Минск : Наука і тэхніка, 1991. – 263 с.
103. Мітюшкін Ю. І. Soft Computing: ідентифікація закономірностей нечіткими базами знань : монографія. / Ю. І. Мітюшкін, Б. І. Мокін, О. П. Ротштейн – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с.
104. Мокін Б. І. Новий метод моделювання секвенційного опису комп'ютеризованої системи [Електронний ресурс] / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, С. О. Жуков // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 2. – Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-2/2008-2.htm/>
105. Мокін Б. І. Властивості слабких операцій в теорії нечітких множин / Б. І. Мокін, В. В. Камінський, С. Ш. Кацив // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – № 5. – С. 106–113.

106. Мокін Б. І. Слабкі множини та їх застосування до розв'язання задач прийняття рішень в умовах невизначеності даних / Б. І. Мокін, В. В. Камінський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 3. – С. 102–108.

107. Мороз О. В. Оптимальне управління економічними системами в умовах невизначеності та ризику. Монографія / О. В. Мороз, А. В. Матвійчук.–Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 177 с.

108. Морозов В. П. Система управління проектами на основі алгоритм-мических моделей САПФИР АС / В. П. Морозов // Информатизация и связь. – 2003. – № 1–2. – 116 с.

109. Надежность алгоритмов управления / [Е. Я. Карповский, В. В. Сагач, А. А. Чернецкий]. – К. : Техніка, 1983. – 112 с.

110. Надежность технических систем / [Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.] ; под ред. И. А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 608 с.

111. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / [А. Н. Аверкин, И. З. Батыршин, А. Ф. Блишун и др.] ; под ред. Д. А. Поспелова – М. : Наука, 1986. – 312 с.

112. Никитенко О. Д. Алгоритмічна модель в умовах невизначеності / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області., 23–25 бер., 2005 р. : тези доповідей. – Вінниця. – 2005. – С. 134.

113. Никитенко О.Д. Алгоритмічна модель системи, керованої знаннями / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Автоматика-2006 : XIII Міжнар. конф. з автоматичного управління, 25–26 верес. 2006 р: матер. конф. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – С. 382–385.

114. Никитенко О. Д. Визначення вимог до структури підсистеми керування вимірювально-обчислювальної системи / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. Ч.1., Т.1 (68). – С. 115–118.

115. Никитенко О. Д. Еквівалентність алгоритмічних моделей в умовах невизначеності / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // «ІНТЕРНЕТ–ОСВІТА–НАУКА–2008» : шоста міжнар. конф., 7–11 жовт. 2008 р. :

матер. конф. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – Том 2. – С. 510–513.

116. Никитенко О. Д. Еквівалентність невизначених алгоритмів [Електронний ресурс] / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко, О. В. Глонь // Наукові праці ВНТУ. – Вінниця, 2009. – № 2. – Режим доступу: http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009_2_ua/2009-2.files/uk/09vmdoia_ua.pdf.

117. Никитенко О. Д. Еквівалентність невизначених алгоритмів [Електронний ресурс] / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Контроль і управління в складних системах – 2008 : VIII Міжнар. конф., 21–24 жовт. 2008 р. : тези доповідей. – Вінниця, 2008. – Режим доступу: http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2008/materials/subsection_1.2.pdf.

118. Никитенко О. Д. Застосування алгоритмічної моделі до оптимізації інформаційно-обчислювальних систем в умовах невизначеності / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Контроль і управління в складних системах – 2005: VII Міжнар. конф., 24–27 жовт. 2005 р. : тези доповідей. – Вінниця, 2005. – С. 34

119. Никитенко О. Д. Застосування алгоритмічної моделі до оптимізації інформаційно-обчислювальних систем в умовах невизначеності / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 6. – С. 9–13.

120. Никитенко О. Д. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка рекомендацій щодо проектування оптимальної структури та алгоритму системи керування технологічним процесом варки рибних консервів» (заклучний) / О. Д. Никитенко, В. М. Дубовой. – Вінниця, 2008. – 74 с.

121. Никитенко О. Д. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка математичної моделі та методу прийняття рішень в умовах комбінованої невизначеності» (заклучний) / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко та ін. – Вінниця, 2007. – 138 с.

122. Никитенко О. Д. Комп'ютерна програма для оптимізації алгоритмів прийняття рішень в умовах невизначеності в системах керування «EditorModel» / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 17351 від 24.07.2006.

123. Никитенко О. Д. Об'єктно-орієнтований аналіз розвитку складних систем управління / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 3. – С. 74–77.

124. Никитенко О. Д. Оптимізація структури системи на основі алгоритмічної моделі / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 3, Т.1. – С. 97–100.

125. Никитенко О. Д. Спеціальні розділи математики / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко ; навч. посіб. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 165 с.

126. Никитенко О. Д. Формалізація операцій над алгоритмічними моделями систем керування в умовах невизначеності / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій (ISDMIT'2006): міжнар. наук. конф., Євпаторія, 15-18 трав. 2006 р. : тези доповідей. – Херсон : Видавництво Херсонського морського інституту, 2005. – Том 4. – С. 176.

127. Никитенко О. Д. Формалізація перетворень алгоритмічних моделей систем керування в умовах невизначеності / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – № 5. – С. 54–57.

128. Никитенко О. Д. Формалізація синтезу алгоритмічних моделей систем керування в умовах невизначеності / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Системні технології. – 2006. – № 6 (47). – С. 121–130.

129. Никитенко О. Д. Формальна система представлення невизначених алгоритмічних моделей / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2005. – № 1. – С. 49–52.

130. Никитенко О. Д. Штучна невизначеність як фактор підвищення ефективності систем / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко // «Автоматизація: проблеми, идеи, решения»: междунар. науч.-техн. конф., 8–12 сент. 2008 г.: матер. конф. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2008. – С. 164–167.

131. Новицкий Н. Н. Оценивание параметров трубопроводных систем методом приведенной линеаризации / Н. Н. Новицкий // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1990. – № 6. – С.122–129.

132. Новоселов А. А. Лекции по теории риска [Электронный ресурс] / А. А. Новоселов. – Режим доступа: <http://anov.narod.ru/lectures.htm>.
133. Носов В. А. Основы теории алгоритмов и анализа их сложности / В. А. Носов. – М. : Наука, 1992. – 139 с.
134. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С. А. Орловский. – М. : Наука, 1981. – 208 с.
135. Палагин А. В. Системная интеграция средств компьютерной техники : монография / А. В. Палагин, Ю. С. Яковлев. – Винница : Універсум-Вінниця, 2005. – 680 с.
136. Перестюк М. О. Задачі оптимального керування / М. О. Перестюк, О. М. Старицький, О. В. Капустян. – К. : ТВіМС, 2004. – 55 с.
137. Перцовский М. И. Системы промышленной и лабораторной автоматизации: методы и средства построения [Электронный ресурс] / М. И. Перцовский // Научно-технический журнал «Мир компьютерной автоматизации». – 2000. – № 3. – Режим доступа: <http://www.mka.ru/>.
138. Петров В. В. Информационная теория синтеза оптимальных систем контроля и управления (Непрерывные системы) / В. В. Петров, А. С. Усков. – М. : Энергия, 1975. – 232 с.
139. Пивоваров А. Н. Методы обеспечения достоверности информации в АСУ. – М. : Радио и связь, 1982. – 144 с.
140. Подловченко Р. И. Недетерминированные схемы алгоритмов / Р. И. Подловченко // Докл. АН СССР. – 1972. – № 4, Т. 207. – С. 789–792.
141. Половко А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб. : ВНУ, 2006. – 704 с.
142. Пономарев В. М. Алгоритмические модели в задачах исследования систем / В. М. Пономарев // Алгоритмы и системы автоматизации исследований и проектирования. – М. : Наука. – 1980. – С. 4–8.
143. Попович П. Р. Эргономическое обеспечение деятельности космонавтов / П. Р. Попович, А. И. Губинский, Г. М. Колесников. – М. : Машиностроение, 1985. – 272 с.
144. Поспелов Г. С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии / Г. С. Поспелов. – М. : Мир, 1988. – 280 с.

145. Проектування інформаційних систем : посібник / за ред. В. С. Пономаренка. – К. : Академія, 2002. – 486 с.
146. Пугачов В. С. Основы статистической теории автоматических систем / В. С. Пугачов. – М. : Машиностроение, 1974. – 400 с.
147. Распараллеливание алгоритмов обработки информации. Том 1 / Под ред. А. Н. Свенсона. – К. : Наук. думка, 1985. – 280 с.
148. Репин В. Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем / В. Г. Репин, Г. П. Тартаковский. – М. : Советское радио, 1977. – 432 с.
149. Рогов С. Ф. О математических методах теории принятия решений [Электронный ресурс] / С. Ф. Рогов. – Режим доступа: www.mfua.ru/temp/file/konf_1/1_6.doc
150. Ротштейн А. П. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий / А. П. Ротштейн, П. Д. Кузнецов – К. : Техніка, 1992. – 180 с.
151. Ротштейн А. П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба. – Винница : Континент–ПРИМ, 1997. – 142 с.
152. Ротштейн О. П. Интелектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі / О. П. Ротштейн. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 320 с.
153. Ротштейн О. П. Евристична оптимізація розстановки контрольних точок в технологічних процесах при багатовимірному просторі типів дефектів / О. П. Ротштейн, С. Д. Штовба, С. Б. Дубіненко, О. М. Козачко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – №1. – С. 54–62.
154. Ротштейн О. П. Діагностика на базі нечітких відношень в умовах невизначеності / О. П. Ротштейн, Г. Б. Ракитянська : монографія – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 275 с.
155. Сайт Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.wikibooks.org/wiki.
156. Сейдж Э. П. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. П. Сейдж, Д. Мелса ; пер. з англ. – М. : Связь, 1976. – 496 с.

157. Сергеев А. Г. Метрология : учебник / А. Г. Сергеев. – М. : Логос, 2005 – 272 с.
158. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы) [Электронный ресурс] // Журнал «Мир компьютерной автоматизации». – 1999. – № 3. – Режим доступа: <http://ankey.ru/tech/scada/intro.htm>.
159. Системы параллельной обработки / [под ред. Д. Ивенса]. – М. : Мир, 1985. – 416 с.
160. Советов Б. Я. Большие системы сбора и передачи информации : учеб. пособ. / Б. Я. Советов. – Л., 1974. – 255 с.
161. Советов Б. Я. Моделирование систем. Практикум : учеб. пособ. / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - М. : Высш. шк., 1999. – 224 с.
162. Соколов В. В. Подход к оценке сложности систем [Электронный ресурс] / В. В. Соколов // Академия информационных технологий. Публикации. Оценка сложности системы. – Режим доступа: http://ait.org.ua/p/pub_podhod.html.
163. Справочник Novell Netware 4, Глава 10. Протоколы передачи данных, С. Б. Орлов, по заказу ИИЦ "Попурри", 1994. – Режим доступа: http://www.citforum.ru/operating_systems/nw4/gl10.shtml.
164. Техника проектирования систем автоматизации технологических процессов / [под ред. Л. И. Шипетина]. – М. : Машиностроение, 1976. – 496 с.
165. Трауб Дж. Ф. Информация, неопределенность, сложность / Дж. Ф. Трауб. – М. : Мир, 1988. – 183 с.
166. Трахтенброт Б. А. Алгоритмы и вычислительные автоматы / Б. А. Трахтенброт. – М. : Советское радио, 1974. – 200 с.
167. Трахтенброт Б. А. Сложность алгоритмов и вычислений [спекурс для студентов НГУ] / Б. А. Трахтенброт. – Новосибирск : НГУ, 1967. – 257 с.
168. Управление ГПС: Модели и алгоритмы / [под общ. ред. С. В. Емельянова]. – М. : Машиностроение, 1987. – 365 с.
169. Успенский В. А. Теория алгоритмов: основные открытия и приложения / В. А. Успенский, А. Л. Семенов. – М. : Наука, 1987. – 288 с.

170. Цапенко М. П. Измерительные информационные системы. Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование / М. П. Цапенко. - М. : Энергоатомиздат, 1985. – 439 с.
171. Цапенко М. П. Содержательные логические схемы алгоритмов измерительных систем / М. П. Цапенко // Измерения. Контроль. Автоматизация. – 1982. – № 4. – С. 3–8.
172. Чернов В. Г. Устройство ввода-вывода аналоговой информации для цифровых систем сбора и обработки данных / В. Г. Чернов. – М. : Машиностроение, 1988. – 183 с.
173. Чернорудский И. Г. Методы принятия решений / И. Г. Чернорудский. – СПб : БХВ–Петербург, 2005. – 416 с.
174. Штовба С. Д. Забезпечення надійності алгоритмічних процесів [Електронний ресурс] / С. Д. Штовба // Наукові праці ВНТУ (Кусс-2008). – Вінниця, 2009. – Режим доступу: http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009_2_ua/2009-2.files/uk/09sdsscm_ua.pdf.
175. Штовба С. Д. Матричні моделі надійності алгоритмічних процесів за сумісності помилок різних типів [Електронний ресурс] / С. Д. Штовба // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – №4. – Режим доступу: <http://visnyk.vstu.vinnica.ua/2007/4/pdf/07ssdppt.pdf>
176. Юсупов Р. М. Элементы теории идентификации технических объектов / Р. М. Юсупов. – М. : Мир, 1974. – 170 с.
177. Юхимчук С. В. Математичні моделі ризику для систем підтримки прийняття рішень : монографія / С. В. Юхимчук, А. О. Азарова – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 188 с.
178. Янов Ю. И. О логических схемах алгоритмов / Ю. И. Янов // Проблемы кибернетики ; [сб. статей]. – М. : Физматгиз, 1958. – Вып. 1. – С. 75–127.
179. Яхьяева Г. Э. Основы теории нечетких множеств [Электронный ресурс] / Г. Э. Яхьяева. – Режим доступа: www.intuit.ru.
180. Barabási A.-L. Emergence of scaling in random networks / A.-L. Barabási, R. Albert // Science. – 1999. –Vol. 286. – P. 509-512.
181. Bosgra O. H. Design Methods For Control Systems [Електронний ресурс] / Bosgra O. H., Kwakernaak H., Meinsma G. // Dutch Institute of Systems and Control. – 2003. – 25 p. Режим доступу: <http://wwwhome.math.utwente.nl/meinsmag/dmcs/dmcs0405.pdf>.

182. Albatros. Каталог продукції, випуск 11.0, Москва. Режим доступу: <http://www.albatros.ru>.

183. Alfa-Prom. Автоматизация вертикальных автоклавов [Электронный ресурс] // Альфа-Пром. Промышленная автоматизация и энергосбережение. Пищевая промышленность, автоклавы. – Режим доступа: http://www.alfa-prom.ru/art_4_aut_vert_avtoklavov.html.

184. Caicong Wu Decision-making modeling method based on artificial neural network and data envelopment analysis / Wu Caicong, Chen Xiuwan, Yang Yinsheng // Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International Volume 4. – 2004. – P. 2435 – 2438.

185. Dubovoy V. Algorithmic models of systems in conditions of uncertainty / V. Dubovoy, O. Nikitenko // «ІНТЕРНЕТ–ОСВІТА–НАУКА–2004»: Четверта міжнар. конф., 5–9 жовт. 2004 р.: матер. конф. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2004. – Т. 2. – С. 538–541.

186. Dubovoy V. Decision making in combined uncertainty conditions/ V. Dubovoy, O. Kovalyuk// Збірник Четвертої міжнародної конференції «ІНТЕРНЕТ–ОСВІТА–НАУКА–2004». Т. 2. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2004. – С. 535–537.

187. Erdős P. On the evolution of random graphs / P. Erdős, A. Rényi // Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences. – 1960. – Vol. 5. – P. 17–61.

188. Fuzzy logic [Електронний ресурс] / Wikipedia. The Free Encyclopedia. – Режим доступу: http://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_logic.

189. Frank O. Markov graphs / O. Frank, D. Strauss // Journal of the American Statistical Association. – 1986. – Vol. 81. – P. 832–842.

190. Gkantsidis C. The markov chain simulation method for generating connected power law random graphs / C.Gkantsidis, M.Mihail, E.Zegura // Fifth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments, January 11, 2003, Baltimore, Maryland, USA, Proceedings. SIAM. – 2003. – P. 16–25

191. Holland P. W. An exponential family of probability distributions for directed graphs / P. W. Holland, S. Leinhardt // Journal of the American Statistical Association. – 1981. – Vol. 76. – P. 33–65.

192. Kahneman D. Judgment under uncertainty: Heuristics and Biases / D. Kahneman, P. Slovic, A. Tversky – Cambridge : Cambridge University Press, 1982. – P. 1124–1131.
193. Kahneman D. Prospect Theory: an Analysis of Decisions under Risk / D. Kahneman, A. Tversky // *Econometrica*. – 1979. – № 47. – P. 313–327.
194. Kosko B. Fuzzy Systems as Universal Approximators / B. Kosko // *IEEE Trans. on Computers*. – 1994. - №11, Vol. 43. – P. 1329–1333.
195. Lee T. S. Asynchronous, distributed, decision-making systems with semi-autonomous entities: a mathematical framework / T. Lee, S. Ghosh, A. Neerode // *Systems, Man and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions on Volume 30, Issue 1, Feb.* – 2000. – P. 229–239.
196. Molloy M. A critical point for random graphs with a given degree sequence / M. Molloy, B. Reed // *Random Structures Algorithms*. – 1995. – Vol. 6. –P. 161–179.
197. Newman M. E. J. The Structure and Function of Complex Networks / Newman M.E.J // *SIAM Review*. – 2003. – N. 2, Vol. 45. – P. 167–256.
198. Ozen T. Modelling the variation in human decision making / T. Ozen, J. Garibaldi, S. Musikasowan // *Fuzzy Information. Processing NAFIPS '04. IEEE*. – 2004. – Vol. 2. – P. 617–622.
199. Price D. J. A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes / D. J. Price // *Journal of the American Society for Information Science*. – 1976. – Vol. 27. – P. 292–306.
200. Prosoft. Передові технології автоматизації [Електронний ресурс]. Каталог продукції 8.0. – Режим доступу: <http://www.prosoft.ru>.
201. Rapoport A. Contribution to the theory of random and biased nets / A. Rapoport // *Bulletin of Mathematical Biophysics*. – 1957. – Vol. 19. – P. 257–277.
202. SCADA-системи, или муки выбора [Электронный ресурс] // Средства и системы компьютерной автоматизации. – Режим доступа: <http://www.asutp.ru/?p=600055>.
203. The Measurement and Automation [Електронний ресурс]. National Instruments. – Режим доступу: <http://www.ni.com>.
204. Yager R. R. Fuzzy Decision Making Including Unequal Objectives / R. R. Yager // *Fuzzy Sets and Systems*. – 1978. – P. 87–95.

Наукове видання

**Володимир Михайлович Дубовой
Олена Дмитрівна Никитенко**

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ
ПІДСИСТЕМ ЗБОРУ ДАНИХ АСУТП В УМОВАХ
КОМБІНОВАНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено О. Никитенко

Підписано до друку 22.06.2011 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. Арк. 10,16
Наклад 100 прим. Зам № 2011-168

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.