

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

А.О. Бобух

**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

Рекомендовано

Міністерством освіти і науки України

як навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей
вищих навчальних закладів

Харків – ХНАМГ – 2006

УДК 681.52

А.О. Бобух. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2006. - 185 с.

У посібнику розглядаються теоретичні, методологічні та інженерні основи створення і реалізації автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП). Викладено основні поняття про АСК ТП; їх визначення, класифікацію, склад; основні технічні вимоги до АСК ТП та їх головні компоненти: організаційне, технічне, математичне, програмне і інформаційне забезпечення; загальні відомості про мікропроцесорний контролер КР-300; класифікацію автоматизованих систем (АС) і поняття про інтегровані АС; розробку АСК ТП деяких інженерних систем міського господарства; процес створення АСК ТП; розробку математичних моделей для АСК ТП дискретної дії.

Розрахований на студентів будівельних спеціальностей.

Рис. - 25 Табл. - 7 Бібл. - 13.

Гриф надано Міністерством освіти і науки України, рішення №14/18.2-533 від 01.03.06р.

Рецензенти: д.т.н., професор, дійсний член Української екологічної академії наук, завідувач кафедри "Автоматичний контроль і екологічний моніторинг" Національного технічного університету "ХПІ" **В.І. Тошинський**;

д.т.н., професор, завідувач кафедри ТГВ та ВЕР Харківського державного університету архітектури та будівництва **О.Ф. Редько**;

д.т.н., професор, завідувач кафедри ЕОМ Харківського національного університету радіоелектроніки **О.Г. Руденко**

© А.О. Бобух, ХНАМГ, 2006

ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕДМОВА.....	6
1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ.....	7
1.1. Визначення автоматизованих систем керування технологіч- ними процесами.....	7
1.2. Призначення, цілі, функції та критерії керування АСК ТП.....	10
1.3. Класифікація АСК ТП.....	14
2. СКЛАД АСК ТП.....	19
2.1. Основні технічні вимоги до АСК ТП та її головні компоненти.	19
2.2. Організаційне забезпечення, оперативний персонал і органі- заційна структура АСК ТП.....	22
2.3. Технічне забезпечення і типові технічні структури АСК ТП....	24
2.4. Математичне забезпечення і алгоритмічна структура АСК ТП.	34
2.5. Програмне забезпечення АСК ТП і його класифікація.....	40
2.6. Інформаційне забезпечення і інформаційна структура АСК ТП	46
3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ І РЕАЛІЗАЦІЇ АСК ТП..	53
3.1. Системний принцип створення АСК ТП. Поняття "складні системи".....	53
3.2. Функціональна структура АСК ТП.....	54
3.3. Фізичне і математичне моделювання об'єктів керування.....	56
3.4. Ідентифікація об'єктів керування.....	58
4. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ КОНТ- РОЛЕР КР-300.....	63
4.1. Призначення і коротка характеристика контролера.....	63
4.2. Склад, структурна схема МПК КР-300 і технічні характерис- тики основних блоків.....	69
4.3. Технологічні мови МПК КР-300.....	75
5. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ.....	82

5.1. Класифікація автоматизованих систем.....	82
5.2. Рівні ієрархії керування підприємством.....	84
5.3. Інтегрована автоматизована система керування промисловим або непромисловим підприємством (ІАСК).....	85
5.4. ІАСК міським господарством.....	86
5.5. ІАСК тепловою електростанцією як об'єктом міського господарства.....	90
6. РОЗРОБКА АСК ТП ДЕЯКИХ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА.....	95
6.1. АСК ТП енергоблоку ТЕС.....	95
6.2. АСК ТП газопостачання.....	103
6.3. АСК ТП водогрійного котла потужністю 3 Гкал/г.....	107
6.4. АСК ТП систем кондиціонування повітря із рециркуляцією повітря.....	113
6.5. АСК ТП холодильних установок.....	119
6.6. АСК ТП технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону.....	124
7. ПРОЦЕС СТВОРЕННЯ АСК ТП.....	128
7.1. Основні напрямки робіт для створення АСК ТП.....	128
7.2. Передпроектна підготовка до створення оригінальної АСК ТП.....	130
7.3. Процес розроблення оригінальної АСК ТП.....	132
7.4. Промислова експлуатація оригінальної АСК ТП.....	139
7.5. Учасники створення оригінальної АСК ТП.....	141
8. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АСК ТП ДИСКРЕТНОЇ ДІЇ.....	145
8.1. Математична модель випуску продукції за критерієм максимального прибутку методом лінійного програмування.....	145
8.2. Математична модель вибору раціональних варіантів вирішення задачі за методом послідовного аналізу.....	151

8.3. Математична модель вибору раціональних варіантів вирішення задачі за методом гілок і меж.....	155
8.4. Математична модель потреби житлового мікрорайону в енергетиці.....	159
ДОДАТКИ.....	166
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	177
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	179

ПЕРЕДМОВА

Найважливішою складовою частиною прискорення науково-технічного прогресу є широке впровадження автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) на основі мікропроцесорних контролерів (МПК). Використання АСК ТП на основі МПК замість традиційних неперервних локальних регуляторів дає змогу [1]:

здійснювати найбільш досконалі алгоритми керування, які можна швидко перенастроювати програмним шляхом при зміні динамічних параметрів об'єкта керування;

враховувати при керуванні не тільки теперішній стан об'єкта керування, а також його передісторію завдяки наявності пам'яті МПК;

розраховувати в автоматичному режимі оптимальну структуру та параметри настроювання цифрових регуляторів при зміні динамічних параметрів об'єкта керування;

обчислювати значення вихідних керованих параметрів технологічних процесів за їх математичними моделями в разі відсутності необхідних первинних (ПП) та передавальних (ПрП) перетворювачів [2];

компенсувати програмним шляхом недоліки ПП та ПрП (нелінійності характеристик, зони нечутливості та зсув нульової позначки);

вводити в закон керування дискретного регулятора рідкі (за часом) вимірювання важковимірюваних параметрів, тощо.

В останні роки при створенні АСК ТП на основі МПК використовують методи сучасної теорії керування складними об'єктами, оцінювання стану і параметрів їх, адаптивного настроювання параметрів цифрових регуляторів, тощо.

У навчальному посібнику розглянуто основи створення, проектування і впровадження АСК ТП на основі МПК для керування складними об'єктами, до яких належать інженерні системи міського господарства [2,3].

Навчальний посібник підготовлено відповідно до робочої навчальної програми з дисципліни "Автоматизовані системи керування технологічними процесами", що викладається студентам спеціальності "Технічне обслуговування, ремонт і реконструкція будівель".

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

1.1. Визначення автоматизованих систем керування технологічними процесами

Перш ніж розглянути основні поняття, які вживають в автоматизованих системах керування технологічними процесами (АСК ТП), визначимо термін *система*, що вживається останнім часом занадто в широкому смислі. Багато авторів використовують тлумачення і визначення, близькі до наступного: система - це сукупність взаємодіючих елементів. Тим часом інші вважають, що система являє собою не тільки набір елементів, що мають спільні ознаки, а певну цілісність, що забезпечується наявністю зв'язків і взаємодії між її елементами [4-6]. Кожній системі властиві наявність єдиної мети і, як наслідок, ціленаправлений характер взаємодії елементів.

Будь-яка система існує не сама собою, а в оточенні зовнішнього середовища, яке взаємодіє з нею в цілому або з окремими її елементами. Взаємодія елементів системи як з посеред себе, так і з зовнішнім середовищем вносить відому невизначеність в поняття про межі системи і перешкоджає її локалізації. Тому доводиться обмежувати кількість зв'язків, які треба було б враховувати, та відкидати несуттєві, що мало впливають на функціонування системи та на точність її математичних моделей. З часом як розширено, так і уточнено знання про систему, в міру як складено більш точну її математичну модель необхідно знову порушувати питання про межі системи та її взаємозв'язках із зовнішнім середовищем, тобто треба коригувати першопочаткове уявлення про систему.

З поміж необмеженої чисельності усіляких систем далі будемо розглядати докладно лише один їх клас - систем керування технологічними процесами виробництва та споживання своєї продукції на підприємствах міського господарства. Самі технологічні процеси централізованого теплопостачання, водяного опалення, гарячого й холодного водопостачан-

ня, вентиляції і кондиціонування повітря, газопостачання, водовідведення, електропостачання, тощо також відносять до інженерних систем міського господарства. Проте далі вони будуть цікавити нас тільки як об'єкти керування.

Основним інструментом для вирішення сучасних проблем керування технологічними процесами (ТП) служать так звані автоматизовані системи керування (АСК), в яких центральна, найголовніша роль і творчі здібності людини поєднуються із широким застосуванням сучасних математичних методів і засобів автоматизації, включаючи мікропроцесорні контролери (МПК).

Відповідно до державного стандарту України (ДСТУ) АСК ТП - це людино-машинна система, що забезпечує автоматизований збір інформації з первинних (ПП) або передавальних (ПрП) перетворювачів сигналів і її первинну обробку (фільтрування сигналів, лінеаризація характеристик ПП і ПрП, "офізичення" сигналів, тобто перетворення сигналів у значення параметрів у фізичних одиницях виміру: °С, Па, м³/г та ін., тощо) для розрахунку, видачі та реалізації керуючих впливів на об'єкт керування відповідно до прийнятих критеріїв керування. АСК ТП здійснює реалізацію впливів на об'єкт керування в темпі з технологічним процесом, тобто в реальному часі, при цьому забезпечує керування об'єктом в цілому, а її технічні засоби беруть участь у виробленні рішень з керування. Зазначеними обставинами АСК ТП якісно відрізняється від традиційних систем автоматичного керування (САК) [2], які представляють технічні засоби для автоматизації дій людини на окремих ділянках технологічного процесу. На відміну від цього в АСК ТП реалізується автоматизований процес прийняття рішень з керування технологічним процесом як єдиним цілим, для чого в ній застосовують різне "інтелектуальне" автоматичне обладнання обробки інформації, в першу чергу сучасні багатофункціональні, високопродуктивні мікропроцесорні контролери (МПК). Таким чином, АСК ТП характеризується єдністю і взаємодією трьох основних складових:

об'єкт керування (ОК) - це технологічні процеси з агрегатами, апаратами, установками та ін. та трубопроводами матеріальних потоків, що з'єднують все устаткування;

технічні засоби (ТЗ) - автоматичне обладнання обробки інформації, в тому числі (МПК);

оперативний персонал (ОП) - оператори-технологи, експлуатаційний персонал.

Щоб одержати уявлення про особливості й характер функціонування сучасних АСК ТП, розглянемо їх спрощену загальну структурну схему (рис. 1.1).

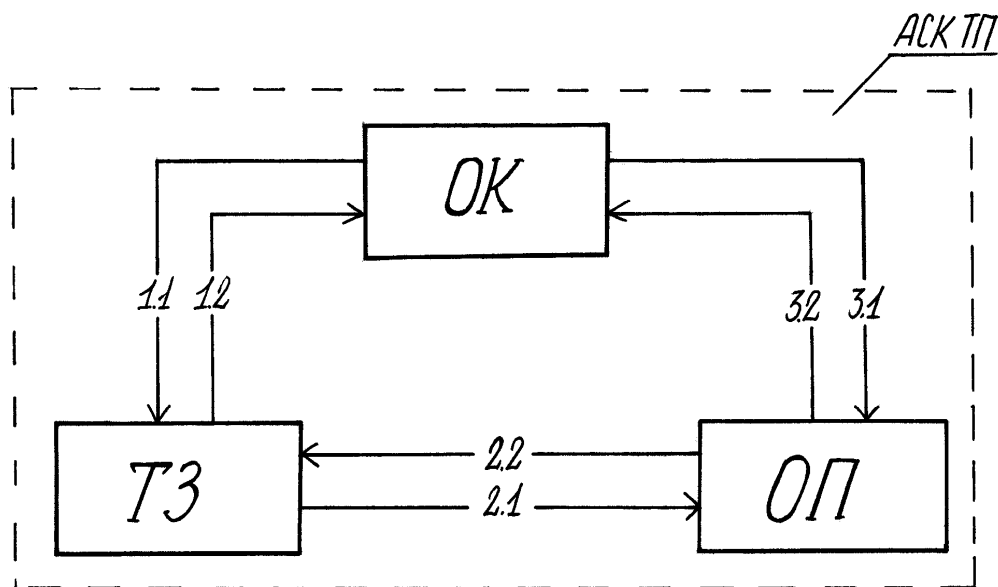


Рис. 1.1 - Потоки інформації, сигнали в автоматичному режимі: 1.1 - з ПП та ПрП про стан об'єкта керування, 1.2 - керуючі впливи на об'єкт керування; сигнали в діалоговому режимі: 2.1 - уточнення значення деяких параметрів, 2.2 - корекція при потребі параметрів настройки відповідних регуляторів; сигнали в ручному режимі: 3.1 - деякі дані аналітичного контролю, 3.2 - дистанційне керування окремими параметрами

У розглянутій структурній схемі АСК ТП важливу роль відіграє людина як елемент цієї системи. Участь людини і та роль, яка їй відведена в процесі керування об'єктом, характеризує організацію цього процесу. В свою чергу співвідношення дій, яку виконують людина і автоматичне обладнання, обумовлює апаратний склад системи керування. Найкращий ва-

ріант розподілу всієї сукупності дій між людиною і автоматичним обладнанням заздалегідь невідомий: він залежить від конкретних умов на об'єкті керування, якості автоматичного обладнання, рівня технічної підготовки операторів-технологів, які беруть участь в керуванні процесом. Звичайно ця проблема виникає ще при проектуванні АСК ТП і її ставлять як задачу оптимального розподілу функцій між людьми та технікою.

Кількість інформації, яку необхідно прийняти і оперативно обробити для формування ефективних керуючих впливів, у сучасних системах керування настільки виросла, що набагато перевищує можливості однієї людини. Тому керування складними об'єктами доручають колективу людей, кількісний ріст якого все рівно не забезпечує потрібної якості керування об'єктом. Постає критичний момент, коли для узгодження і координації окремих керуючих впливів, доведення до відома одних людей про рішення, які прийняли інші люди, потрібні інтенсивні потоки інформації в середині самої системи керування. Тому основним інструментом для розв'язання сучасних проблем керування матеріальними об'єктами є АСК ТП, в яких головна роль і творчі здібності людини поєднуються з широким застосуванням сучасних математичних методів і засобів автоматизації, в тому числі МПК.

1.2. Призначення, цілі, функції та критерії керування АСК ТП

Вищенаведене визначення АСК ТП виразняє, що ця система здійснює переробку технологічної та техніко-економічної інформації для досягнення основної мети - оптимізації функціонування об'єкта керування відповідно до прийнятих критеріїв керування шляхом вибору відповідних керуючих впливів [4-10].

Критерій керування АСК ТП - це показник, який досить повно характеризує якість функціонування об'єкта керування в цілому і приймає числове значення залежно від керуючих впливів, які розраховує, видає та реалізує на об'єкті система керування. Звідси виходить, що критеріями керу-

вання АСК ТП можуть бути як технологічні показники, наприклад, кількісні значення параметрів технологічних процесів - температури, тиску, витрати та ін., так і техніко-економічні показники, наприклад, собівартість продукції при заданій якості, продуктивність об'єкта керування та ін. У математичній формі критерій керування АСК ТП конкретизує мету створення цієї системи.

Не меншу роль, ніж критерії керування АСК ТП, мають обмеження, які повинні виконуватися при виборі керуючих впливів. Обмеження бувають двох видів: фізичні, які не можуть бути порушені навіть при неправильному виборі керуючих впливів, і умовні, які можуть бути порушені, проте порушення приводять до значних збитків, котрі не враховуються критерієм керування. Тому при впровадженні АСК ТП часто найбільш суттєві фактори ураховують якраз обмеженнями, а не критерієм керування.

При проектуванні АСК ТП необхідно визначити конкретні цілі й функції системи. Конкретними цілями функціонування АСК ТП можуть бути:

- зниження питомих витрат палива, енергетичних ресурсів та ін.;
- підвищення якості вихідної продукції;
- зниження витрат "живої" праці;
- забезпечення безпеки функціонування об'єкта керування;
- досягнення раціонального використання обладнання;
- досягнення оптимальних в певному розумінні режимів роботи обладнання і т.д.

Кожна з наведених задач для конкретної АСК ТП може бути метою системи. Досягнення зазначених цілей здійснюється АСК ТП шляхом виконання її функцій. Функції АСК ТП - це сукупність дій системи, які спрямовані на досягнення цілі функціонування. Відомо [4-7] три види функцій АСК ТП: інформаційні, керуючі й допоміжні.

Інформаційні функції

До них відносять функції АСК ТП, наслідком виконання яких є подання оператору-технологу системи або зовнішньому одержувачу інфор-

мації про стан керованого технологічного процесу. Основними інформаційними функціями є:

автоматичний контроль параметрів технологічного процесу (температури, тиску, витрат та ін.), тобто неперервна перевірка відповідності параметрів технологічного процесу допущеним значенням і негайне інформування оператора-технолога про виникнення невідповідностей;

вимірювання або реєстрування за вимогою оператора-технолога тих параметрів технологічного процесу, які його цікавлять за перебігом керування об'єктом;

інформування за вимогою оператора-технолога про виробничу ситуацію на будь-якій ланці об'єкта керування в поточний момент;

фіксація часу відхилення деяких параметрів технологічного процесу за допустимим технологічним регламентом значення;

обчислення за вимогою оператора-технолога деяких комплексних показників, які безпосередньо автоматично не контролюють, але вони характеризують або якість вихідного продукту, або інші важливі показники технологічного процесу;

оперативне обчислення досягнутих техніко-економічних показників роботи технологічного процесу (тобто в реальному часі);

періодичне реєстрування автоматично контрольованих параметрів технологічних процесів або обчислених показників;

виявлення і сигналізація настання небезпечних (передаварійних, аварійних) ситуацій та ін.

Керуючі функції

До них відносять функції АСК ТП, що включають в себе дії для розрахунку, виробки і реалізації керуючих впливів на об'єкт керування. Тут під розрахунком розуміють обчислення за математичними формулами керуючих впливів, під виробкою - визначення на основі одержаної інформації раціональних керуючих впливів, а під реалізацією - дії, що забезпечу-

ють виконання отриманих раніше керуючих впливів і передачі їх на відповідні виконавчі механізми. Основними керуючими функціями є:

автоматичне керування параметрами технологічного процесу в межах, що встановлені технологічним регламентом;

програмна зміна режимів технологічного процесу за наперед заданим законом;

однотактне логічне керування операціями технологічного процесу або апаратами;

автоматичний захист обладнання від аварій;

формування і реалізація керуючих впливів, що забезпечують досягнення або дотримання режимів технологічного процесу, який оптимальний в розумінні технологічного або техніко-економічного критерію керування;

раціональне керування перехідними технологічними процесами;

розподіл матеріальних потоків і навантаження між технологічними агрегатами;

автоматичне керування пуском/зупинкою агрегатів;

автоматичні пуск/зупинка електродвигунів технологічного обладнання або зміна числа обертів цих електродвигунів;

адаптивне керування об'єктом керування в цілому та ін.

Допоміжні функції

Це функції для вирішення внутрішньосистемних задач АСК ТП, в першу чергу контроль за безаварійною роботою технічних засобів АСК ТП.

Залежно від участі обслуговуючого персоналу розрізняють два режими реалізації функції АСК ТП автоматичний і автоматизований. Допоміжні функції повинні виконуватись тільки в автоматичному режимі. Інформаційні функції також в цілому повинні виконуватись в автоматичному режимі, а в автоматизованому режимі виконують тільки операції для аналітичного контролю деяких параметрів технологічних процесів.

Для керуючих функцій визначають три автоматизованих і два автоматичних режимів реалізації. Серед автоматизованих режимів реалізації керуючих функцій визначають:

"ручний" режим, при якому технічні засоби АСК ТП надають потрібну інформацію оператору-технологу (ОТ) про стан об'єкта керування, а вибір і здійснення керуючих впливів виконує ОТ;

режим "порадника", при якому технічні засоби АСК ТП виробляють рекомендації для керування об'єктом, а рішення про їх використання приймає та реалізує ОТ;

"діалоговий" режим, при якому ОТ має можливість коригувати постановку і умови будь-якої задачі, що вирішує АСК ТП.

Серед автоматичних режимів реалізації керуючих функцій визначають: режим супервізорного (супервайзерного, непрямого) керування, при якому технічні засоби АСК ТП змінюють уставки та/або параметри настройки локальних автоматичних регуляторів за заданим алгоритмом;

режим безпосереднього (прямого) керування, при якому керуючі впливи технічні засоби АСК ТП видають безпосередньо на виконавчі механізми.

При побудові АСК ТП часто виникає потреба декомпонувати її на підсистеми. Підсистема АСК ТП - це частина всієї системи, яку виділяють за функціональною або структурною ознаками. Функціональна ознака дозволяє декомпонувати АСК ТП на інформаційну та керуючі підсистеми, або на підсистеми для виконання конкретних задач. Структурна ознака дозволяє декомпонувати АСК ТП на підсистеми, які забезпечують керування частиною об'єкта.

1.3. Класифікація АСК ТП

АСК ТП як об'єкти класифікації характеризуються багатьма суттєвими факторами та показниками, кожний з яких може виступати в ролі класифікаційної ознаки. Відомі [7] п'ять основних класифікаційних ознак АСК ТП, які наведені в табл. 1.1 - 1.5.

1. Класифікація АСК ТП за рівнем, який вона посідає в організаційно-виробничій структурі підприємства (табл. 1.1), ознака має три класи.

Таблиця 1.1

Назва АСК ТП за рівнем	Код класу	Об'єкти керування, які відповідають ознаці
АСК ТП нижнього рівня	1	Технологічні агрегати, установки, ланки виробництва, які не мають в своєму складі других АСК ТП нижнього рівня
АСК ТП верхнього рівня	2	Групи технологічних установок, цехи виробництва, які не мають в своєму складі АСК ТП нижнього рівня
АСК ТП багаторівневі	3	Групи технологічних установок, цехи виробництва, які мають в своєму складі АСК ТП нижнього рівня

2. Класифікація АСК ТП за характером протікання технологічного процесу (ТП) за часом (табл. 1.2), ознака має три класи.

Таблиця 1.2

Назва АСК ТП за характером протікання ТП	Код класу	Характер протікання технологічного процесу
АСК ТП неперервної дії	н*	Технологічні процеси неперервної дії з практично беззупинковою подачею енергії, палива, реагентів, сировини тощо, наприклад, тепlopостачання при опаленні
АСК ТП перервної (періодичної) дії	п	Поєднання технологічних процесів із неперервним і перервним режимами функціонування, наприклад, фільтр швидкісний при нормальному режимі і промивці
АСК ТП дискретної дії	д	Дискретні технологічні процеси, як правило, підприємств із несуттєвою для керування тривалістю технологічних операцій, наприклад, технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель

3. Класифікація АСК ТП за "умовною інформаційною потужністю" (УІП), яку характеризують числом, яке дорівнює сумі параметрів автоматичного контролю і керуючих впливів (табл. 1.3), ознака має п'ять класів.

Таблиця 1.3

Назва АСК ТП за "УІП"	Код класу	Число "УІП" АСК ТП	
		мінімальне	максимальне
АСК ТП із найменшою "УІП"	1	10	40
АСК ТП із малою "УІП"	2	41	160
АСК ТП із середньою "УІП"	3	161	650
АСК ТП із підвищеною "УІП"	4	651	2500
АСК ТП із великою "УІП"	5	2501	не обмежене

Ця ознака дає кількісне оцінювання систем автоматичного керування (САК) і автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП), оскільки для САК "УПП" більше 7 практично не буває.

4. Класифікація АСК ТП за рівнем функціональної надійності (РФН) (табл. 1.4), ознака має три класи.

Таблиця 1.4

Назва АСК ТП за РФН	Код класу	Характеристика РФН
АСК ТП із мінімальним РФН	1	РФН АСК ТП практично не регламентують, не ставлять вимоги на його підвищення
АСК ТП із середнім РФН	2	РФН АСК ТП регламентують, але відмовлення в АСК ТП не приводить до зупинки об'єкта керування (ОК)
АСК ТП із високим РФН	3	РФН АСК ТП жорстко регламентують, тому що відмовлення в АСК ТП можуть привести до зупинки ОК або аварії

5. Класифікація АСК ТП за сукупністю інформаційних і керуючих функцій, тобто за режимом функціонування (РФ) АСК ТП (табл. 1.5), ознака має чотири класи.

Таблиця 1.5

Назва АСК ТП за РФ	Код класу	Об'єкти керування, які відповідають ознаці
АСК ТП із інформаційним РФ	і	В автоматичному режимі виконують інформаційні функції, рішення по керуванню об'єктом приймає і реалізує оператор-технолог (ОТ)
АСК ТП із локально-автоматичним РФ	л	В автоматичному режимі виконують інформаційні функції і функції локального керування окремими параметрами. Рішення по керуванню об'єктом приймає і реалізує ОТ
АСК ТП із РФ "порадника"	п	В автоматичному режимі виконують інформаційні функції і функції локального керування окремими параметрами. За допомогою математичних моделей об'єкта керування АСК ТП формує поради для вибору ОТ керуючих впливів відповідно до критерію керування
АСК ТП із автоматичним РФ	а	Інформаційні і керуючі функції АСК ТП виконують в автоматичному режимі відповідно до критерію керування

Наведені ознаки класифікації і відповідні коди класів АСК ТП застосовують при розробці Технічного завдання для створення таких систем. При цьому код АСК ТП складається з відповідних кодів класів від першої

до п'ятої ознаки. Наприклад, код АСК ТП: 1н33п - тоді повна назва системи - АСК ТП нижнього рівня, неперервної дії, середньої умовної інформаційної потужності, високого рівня функціональної надійності та функціонування в режимі "порадника".

Контрольні запитання до розділу 1

1. Що розуміють під терміном "система" з сучасного погляду?
2. Назвіть визначення автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСК ТП).
3. За якими обставинами АСК ТП якісно відрізняється від системи автоматичного керування (САК)?
4. Які три основні складові АСК ТП Ви знаєте? Назвіть їх визначення.
5. Нарисуйте загальну структурну схему АСК ТП і назвіть потоки інформації цієї системи.
6. Що таке критерій керування АСК ТП?
7. Які види обмежень Ви знаєте?
8. Назвіть конкретні задачі АСК ТП.
9. Що розуміють під функціями АСК ТП?
- 10.Що відносять до інформаційних функцій АСК ТП?
- 11.Назвіть основні інформаційні функції АСК ТП.
- 12.Що відносять до керуючих функцій АСК ТП?
- 13.Назвіть основні керуючі функції АСК ТП.
- 14.Для вирішення яких задач потрібні допоміжні функції АСК ТП?
- 15.Які режими реалізації функцій АСК ТП Вам відомі?
- 16.Назвіть три автоматизованих режими реалізації керуючих функцій АСК ТП.
- 17.Назвіть два автоматичних режими реалізації керуючих функцій.
- 18.Що таке підсистема АСК ТП? За якими ознаками можна декомпонувати систему?

19. Які назви і коди АСК ТП Вам відомі при класифікації системи за рівнем, який вона посідає в організаційно-виробничій структурі підприємства? Назвіть об'єкти керування, відповідні цим назвам і кодам.
20. Які назви і коди АСК ТП Вам відомі при класифікації системи за характером протікання технологічного процесу? Назвіть характер протікання технологічного процесу, відповідний цим назвам і кодам.
21. Що характеризує "умовна інформаційна потужність" (УІП) і як її використовують для кількісного оцінювання АСК ТП і САК?
22. Які назви і коди АСК ТП Вам відомі при класифікації АСК ТП за "УІП"? Назвіть числа "УІП", відповідні цим назвам і кодам.
23. Які назви і коди АСК ТП Вам відомі при класифікації системи за рівнем функціональної надійності (РФН)? Назвіть характеристики РФН, відповідні цим назвам і кодам.
24. Які назви і коди АСК ТП Вам відомі при класифікації АСК ТП за режимом функціонування (РФ) системи? Назвіть характеристики РФ АСК ТП, відповідні цим назвам і кодам.
25. Дайте повну назву АСК ТП за кодом: 1н33п.

2. СКЛАД АСК ТП

2.1. Основні технічні вимоги до АСК ТП та її головні компоненти

Склад і будову будь-якої АСК ТП вибирають так, щоб система відповідала основним технічним вимогам [7] і частковим вимогам, які наводяться в Технічному завданні для її створення. У загальному вигляді АСК ТП в цілому і її підсистеми повинні відповідати наступним основним технічним вимогам:

керувати об'єктом в цілому в реальному часі;

керувати технологічними процесами відповідно до прийнятого критерію керування;

виконувати всі покладені на неї функції відповідно до призначення і мети керування;

мати необхідні показники і характеристики точності, надійності та швидкодії;

відповідати ергономічним вимогам, які пред'являють до способів, форми подання інформації оператору-технологу, розміщення технічних засобів, тощо;

бути пристосованою до взаємозв'язаного функціонування із системами керування із суміжних рівнів ієрархії та іншими АСК ТП, тобто мати властивість технічної і інформаційної сумісності;

мати необхідні метрологічні характеристики інформаційно-вимірювальних каналів;

нормально функціонувати в умовах підвищених вологості й запилення повітря, високої температури повітря, нестабільної сейсмічності;

забезпечити заданий термін функціонування системи (6 років) за умови проведення відновлювальних робіт;

допускати можливість подальшої модернізації та розвитку.

Окрім того, до конкретної АСК ТП за згодою замовника і розробника (див. підрозділ 7.5) системи ставлять інші необхідні вимоги.

До складу будь-якої АСК ТП входять такі головні компоненти (частини системи): оперативний персонал (ОП) та забезпечення - інформаційне (ІЗ), організаційне (ОЗ), математичне (МЗ), програмне (ПЗ) і технічне (ТЗ).

Далі детально розглядаються всі забезпечення, а тут дамо їм короткі визначення.

Технічне забезпечення (ТЗ) - це сукупність технічних засобів, тобто первинних (ПП) і передавальних (ПрП) перетворювачів сигналів, виконавчих механізмів (ВМ), мікропроцесорного контролера (МПК), а також алгоритмів їх функціонування для реалізації всіх функцій АСК ТП.

Математичне забезпечення (МЗ) - це сукупність математичних методів і моделей, а також алгоритмів, що описують технологічні процеси об'єкта керування, достатніх для реалізації всіх функцій АСК ТП.

Програмне забезпечення (ПЗ) - це сукупність машинних програм, що необхідні для реалізації МЗ і функціонування ТЗ АСК ТП. ПЗ розподіляють на загальне (ЗПЗ) і спеціальне (СПЗ).

Інформаційне забезпечення (ІЗ) - це автоматично контрольовані параметри об'єкта керування у вигляді сигналів; а також системи класифікації і кодування інформації; масиви даних і документів, необхідних для реалізації ПЗ АСК ТП.

Організаційне забезпечення (ОЗ) - це сукупність описів функціональної, технічної і організаційної структур АСК ТП, а також інструкцій і технологічних регламентів для оперативного персоналу.

Оперативний персонал (ОП) складається з операторів-технологів (ОТ), які безпосередньо керують об'єктом, і експлуатаційного персоналу (ЕП), який обслуговує технічні, в тому числі МПК і програмні засоби.

Процес функціонування АСК ТП, по суті, є процес ціленаправленого перетворення вхідної інформації у вихідну. В АСК ТП це перетворення виконується спільно двома компонентами: оперативним персоналом і тех-

нічним забезпеченням, які збирають вхідну інформацію від об'єкта керування та інших зовнішніх джерел, обробляють і аналізують її, а потім приймають рішення для керування об'єктом і реалізують ці рішення, для чого формують відповідні керуючі впливи на об'єкт, а також інші сигнали, які несуть вихідну інформацію як своєрідну продукцію системи. Тому оперативний персонал і технічні засоби, які включають мікропроцесорний контролер (МПК), є головними компонентами АСК ТП як людино-машинної системи.

Щоб оперативний персонал і технічні засоби могли функціонувати правильно, відповідно до прийнятих критеріїв керування, необхідно забезпечити їх відповідними правилами і інструкціями. Для оперативного персоналу це завдання виконує документація організаційного забезпечення АСК ТП, а для основної частини технічних засобів - МПК - програмне забезпечення. Інші частини технічних засобів реалізують свої алгоритми апаратними способами, тобто самою конструкцією, а тому не потребують додаткових інструкцій.

Поміж наведених компонентів АСК ТП у процесі її функціонування виникає інтенсивна взаємодія: організаційне і програмне забезпечення визначає поведінку оперативного персоналу і МПК відповідно; крім того, оперативний персонал активно взаємодіє з технічним забезпеченням і при необхідності коригує програмне забезпечення. Всі ці взаємодії усередині АСК ТП, а також її взаємодія із зовнішнім середовищем мають насамперед інформаційний характер тому, що зводяться до передачі та прийому інформації у вигляді різних сигналів, даних, повідомлень, текстів тощо. Такий інформаційний обмін потребує наявності деяких порозумінь про форми і можливі значення інформаційних елементів. Сукупність цих порозумінь складає інформаційне забезпечення, за допомогою якого відбуваються процеси обміну інформацією як всередині АСК ТП, так і з зовнішнім середовищем.

2.2. Організаційне забезпечення, оперативний персонал і організаційна структура АСК ТП

Як було сказано вище, організаційне забезпечення (ОЗ) АСК ТП являє собою сукупність документів, що установлюють порядок і правила функціонування оперативного персоналу (ОП). Сюди входять технологічні інструкції і регламенти, які описують проведення технологічного процесу, інструкції для експлуатації АСК ТП, опис її функціональної, технологічної і організаційної структур, або інші документи аналогічного змісту. Роль ОЗ дуже важлива так, як, по суті, ОЗ регламентує всю діяльність людини - складової частини АСК ТП, від простих операцій по її поточному обслуговуванню до самих складних і відповідальних дій, наприклад, оптимізації технологічного процесу. Тому потрібно, щоб в ОЗ чіткі й строгі правила і розпорядження, які повинні неухильно виконуватись, поєднувались із положеннями про певну свободу в діяльності ОП і стимулювали його творчі можливості для дальшого удосконалення процесу керування об'єктом. Загальні вимоги до ОЗ АСК ТП досить прості:

ОЗ повинно мати сукупність правил і розпоряджень, які регламентують взаємодії ОП з технічними засобами та між собою під час роботи системи;

у документах ОЗ мають бути наведені всі необхідні відомості про порядок експлуатації АСК ТП, в тому числі про заходи для підтримки її точності та надійності;

інструкції для експлуатації АСК ТП повинні мати вказівки про дії ОП в нормальних, передаварійних і аварійних ситуаціях.

Оперативний персонал (ОП) АСК ТП складається з операторів-технологів (ОТ), які безпосередньо ведуть контроль і керування об'єктом, і експлуатаційного персоналу (ЕП), який забезпечує заданий режим функціонування усіх технічних, в тому числі МПК, і програмних засобів системи. Однією з центральних проблем АСК ТП є реалізація оптимальної взаємодії "людина-машина", тобто організація таких потоків інформації до ОП і ко-

мандної інформації від нього, які забезпечують найкраще, найбільш повне використання всіх творчих можливостей ОП. Тому в розробці АСК ТП і відповідних технічних засобів взаємодії "людина-машина" необхідно зважати на психофізіологічні особливості і можливості людини, а ті конструктивні елементи, через які виконується взаємодія (індикатори показуючих пристроїв для передачі інформації людині, рукоятки командних пристроїв для передачі керуючих пристроїв від неї тощо), мають бути зручні людині, тобто повинні бути такими, щоб від людини не потрібно було надмірної уваги для настройки пристроїв тощо. До цього потрібно віднести і вимоги комфорту для оптимальної життєдіяльності людини на робочому місці.

Як ланка переробки інформації людина подібна до універсального обчислювального пристрою. Поступаючись обчислювальним машинам в швидкості, людина виконує операції, які не доступні їм: вирішувати проблеми інтуїтивним способом, орієнтуватись при відсутності повної інформації в непередбачених ситуаціях, приймати творчі рішення тощо. Але за надійністю роботи людина поступається технічним засобам, бо занадто швидко стомлюється, якість її роботи в значній мірі залежить від психологічних факторів тощо. У той же час за сприятливих умов роботи, завдяки можливостям контролювати оточення своїми органами відчуття, угадувати події, спроможність до навчання, пристосовуватися до зміни умов введення людини в АСК ТП докорінним чином поліпшує надійність її роботи.

При розгляді питань ефективного застосування творчих можливостей людини як головної ланки АСК ТП в першу чергу виникає завдання оптимального розподілу функцій між людиною і машиною. На автоматичні пристрої АСК ТП покладають повторювальні, рутинні дії, які зв'язані з виконанням простих задач керування: керування параметрами технологічного процесу на заданому рівні або за заданою програмою; автоматичний захист обладнання за формалізованими алгоритмами тощо. На людину в АСК ТП покладають задачі, які не мають формалізованих алгоритмів, або відсутні пристрої, за допомогою яких можна виконати цю задачу, а також

автоматичне виконання яких на сьогодні не вигідне. Окрім того, людина завжди виконує задачу резерву на випадок відмови автоматичного пристрою.

Склад оперативного персоналу конкретної АСК ТП і взаємовідносини, які встановились поміж його учасниками, визначають організаційну структуру АСК ТП. Елементами цієї структури є посадові особи - виробничі або адміністративні працівники, які здійснюють по можливості керування цим технологічним об'єктом, або групи цих посадових осіб, зформовані за будь-якою змістовою ознакою. Основні зв'язки поміж елементами організаційної структури АСК ТП відповідають відносинам оперативної співпідлеглості вказаних працівників, суттєвим для процесу керування. При необхідності на схемі організаційної структури АСК ТП показують також територіальне розташування оперативного персоналу АСК ТП і його взаємодії з персоналом інших систем та/або рівнів керування.

2.3. Технічне забезпечення і типові технічні структури АСК ТП

Технічне забезпечення (ТЗ) АСК ТП являє собою сукупність технічних засобів і алгоритмів їх функціонування для реалізації всіх функцій АСК ТП. Склад технічного забезпечення АСК ТП змінювався з бігом часу, починаючи з початку 60-х років ХХ ст. донедавна залежно від технічних засобів, які випускала промисловість країни. Тривалий час до складу технічного забезпечення АСК ТП входили засоби отримання, перетворення, передачі й відображення інформації, а також обчислювальні, керуючі й виконавчі пристрої. Тобто технічне забезпечення включало повний набір контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації (КВП та ЗА), а також керуючу обчислювальну машину (КОМ) відповідного типу. До складу технічного забезпечення АСК ТП входять також прилади і пристрої, необхідні для наладки і перевірки працездатності технічних засобів АСК ТП, а також запасні прилади. Технічні характеристики всіх засобів АСК ТП повинні допускати взаємозамінність однойменних технічних за-

собів, бути вибрані з урахуванням впливів навколишнього середовища та забезпечення безпечної експлуатації системи.

Сукупність усіх технічних засобів АСК ТП, які показують у вигляді конструктивно самостійних приладів, вузлів, пристроїв тощо, визначають у вигляді технічної структури АСК ТП, яка відображає основні самостійні частини технічних засобів системи. Зв'язки поміж цими частинами символізують реальні фізичні лінії (електричні проводи, кабелі тощо), які з'єднують окремі засоби автоматизації в сумісно функціонуючий комплекс. За роки розробки і впровадження АСК ТП їх технічні структури змінювались залежновід технічних засобів, які випускала промисловість нашої країни. Технічні структури АСК ТП в чималій мірі залежали також від надійності технічних засобів, їх типізації та уніфікації. Перш ніж описувати типові технічні структури АСК ТП, розглянемо змістовий склад термінів "типізація" і "уніфікація".

Типізацію визначають як "обґрунтоване зведення багатьох зразків вибраних типів конструкцій машин (в т.ч. КОМ), обладнання, приладів, тощо до невеликої кількості найкращих з певного погляду зразків, що мають суттєві якісні ознаки" [7]. У загальному вигляді типізація є оптимізаційною задачею з обмеженнями. Типізація передуває уніфікації, тобто "зведення різних видів продукції і засобів її виробництва до раціонального мінімуму типорозмірів, форм, властивостей тощо" [7]. Уніфікація сприяла тому, що КВП та ЗА, а також КОМ мають на вході і/або виході уніфіковані сигнали постійного струму величинами: 0-5, 0-20, 4-20 мА. Для АСК ТП частіше вживають уніфіковані сигнали постійного струму 4-20 мА [1, 5, 7].

Тривалий час застосовували дві типові технічні структури так званих централізованих АСК ТП, а останні п'ятнадцять років - три типові технічні структури - децентралізованих АСК ТП. Розглянемо ці структури у спрощеному вигляді. Слід мати на увазі, що ПП і ВМ установлюють безпосередньо на об'єкті керування, а ПрП і двопозиційні виконавчі механізми - на оперативних щитах автоматизації [2], але на структурних схемах їх умовно

розміщують так, щоб показати шляхи проходження сигналів між обладнанням.

Типова технічна структура централізованої АСК ТП з супервізорним (супервайзерним, непрямим) режимом керування параметрами технологічного процесу (рис. 2.1)

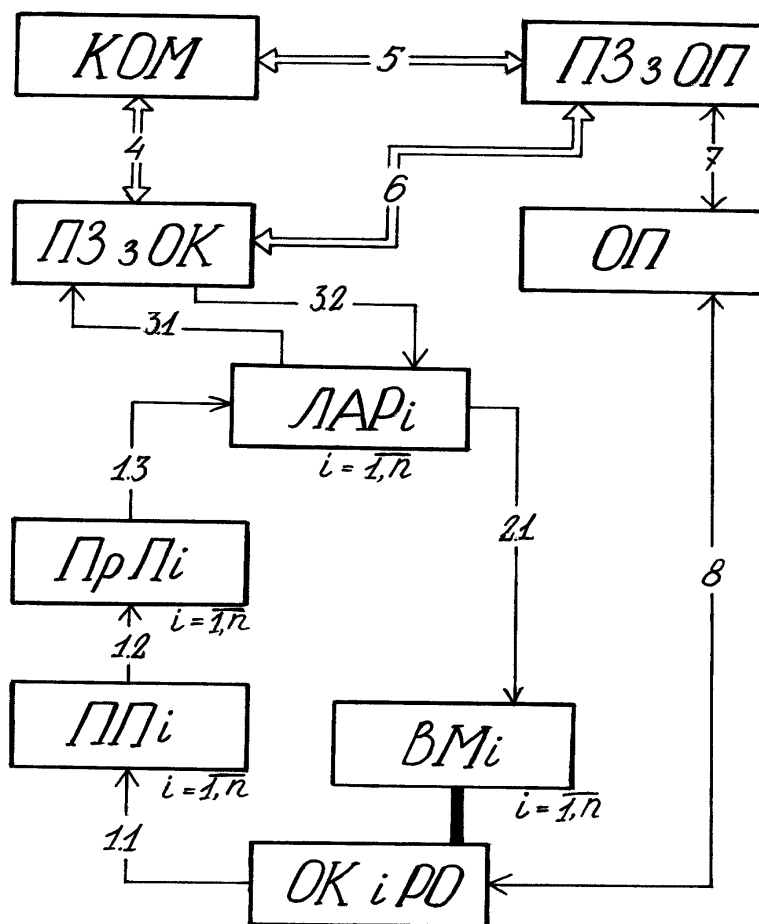


Рис. 2.1 - Обладнання: КОМ - керуюча обчислювальна машина; ПЗ з ОК - пристрої зв'язку з об'єктом керування; ПЗ з ОП - пристрої зв'язку з оперативним персоналом; ЛАР i ($i = \overline{1, n}$) - локальні автоматичні регулятори; ПП i та ПрП i ($i = \overline{1, n}$) - первинні й передавальні перетворювачі сигналів; ВМ i ($i = \overline{1, n}$) - виконавчі механізми, механічно з'єднані зі штоками регулюючих органів; ОК і РО - об'єкт керування і регулюючі органи; ОП - оперативний персонал. Потоки інформації, в автоматичному режимі: 1.1, 1.2, 1.3 - аналогові сигнали про значення відповідних параметрів ($i = \overline{1, n}$) ОК від місця виміру через ПП i та ПрП i до ЛАР i ($i = \overline{1, n}$); 2.1 - аналогові сигнали керуючих впливів від ЛАР i на відповідні ВМ i ($i = \overline{1, n}$); 3.1 - аналогові сигнали для контролю відповідних параметрів ($i = \overline{1, n}$) за допомогою КОМ через ПЗ з ОК; 4, 5, 6 - сигнали в цифровому коді для взаємообміну відповідною

інформацією поміж КОМ, ПЗ з ОК та ПЗ з ОП; в діалоговому режимі: 7 - інформація для взаємообміну поміж ОП і ПЗ з ОП про поточні значення параметрів, параметри настрок відповідних ЛАРі ($i = \overline{1, n}$), корекцію при потребі цих настрок тощо; в ручному режимі: 8 - взаємодія ОП безпосередньо із ОК для аналітичного контролю деяких параметрів і дистанційне керування окремими параметрами за допомогою РО.

Названа централізована АСК ТП забезпечує виконання задач: централізований автоматичний збір інформації про значення відповідних параметрів за допомогою ПП (для тиску ПрП), сигнали від яких поступають до ПрП для перетворення в уніфіковані сигнали, як правило, 4-20 мА постійного струму, які поступають до ЛАР, а від них - через ПЗ з ОК до КОМ; первинну обробку цієї інформації (фільтрування сигналів, лінеризація характеристик ПП і ПрП, "офізичення" сигналів - перетворення сигналів в значення параметрів у фізичних одиницях виміру: °С, Па, м³/ч, м і ін.); реєстрування значень параметрів; розрахунок і видача керуючих впливів через ПЗ з ОК та ЛАРі ($i = \overline{1, n}$) на відповідні ВМі ($i = \overline{1, n}$); контроль роботи ЛАРі ($i = \overline{1, n}$) та корекцію параметрів їх настроєння при потребі; технологічна сигналізація при виході параметрів за норми технологічного регламенту; обслуговування оперативного персоналу при потребі тощо. Взаємообмін відповідною інформацією між КОМ, ПЗ з ОК виконується сигналами в цифровому коді. Оперативний персонал в діалоговому режимі має можливість взаємообміну інформацією через ПЗ з ОП про поточні значення параметрів технологічного процесу, параметри настрок ЛАРі ($i = \overline{1, n}$), корекцію при потребі цих параметрів тощо. При всталеному протіканні технологічного процесу ЛАРі ($i = \overline{1, n}$) стабілізують параметри керування. Оперативний персонал в ручному режимі взаємодіє безпосередньо із ОК для виконання певних задач. Основною задачею централізованих АСК ТП з супервізорним (супервайзерним) режимом керування є автоматична стабілізація перехідних технологічних процесів об'єкта керу-

вання поблизу оптимального значення критерію керування особливо в умовах неконтрольованих збурених впливів.

Надійність роботи розглянутої типової технічної структури централізованої АСК ТП більше всього залежала від надійності КОМ і ЛАРі ($i = \overline{1, n}$). Через те, що надійність КОМ і ЛАР в кінці 60-х до початку 80-х років минулого століття була ще невисокою, фахівці розробили іншу типову технічну структуру централізованої АСК ТП.

Типова технічна структура централізованої АСК ТП
з безпосереднім (прямим) цифровим режимом
керування параметрами технологічного процесу (рис. 2.2)

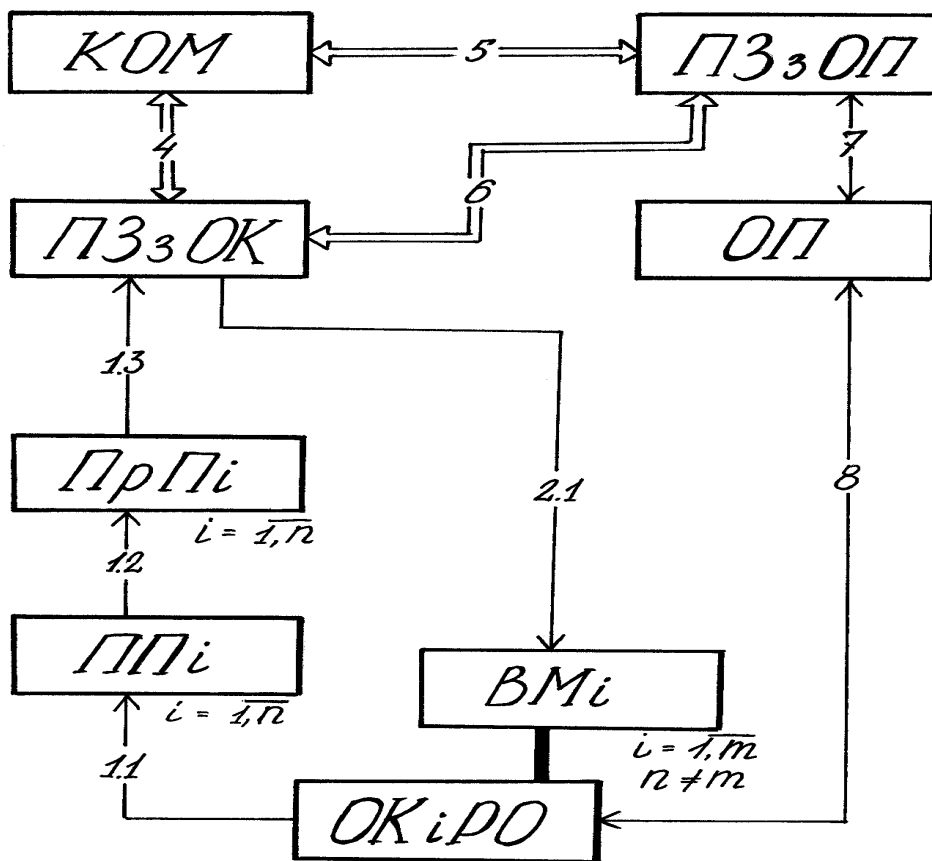


Рис. 2.2 - Обладнання таке ж, як на рис. 2.1, окрім ЛАРі ($i = \overline{1, n}$), які відсутні. Потoki інформації такі ж, як на рис. 2.1, окрім: 3.1 і 3.2 - відсутні, а 1.3 ($i = \overline{1, n}$) - аналогові сигнали поступають безпосередньо до ПЗ з ОК; 2.1 ($i = \overline{1, m}$) - аналогові сигнали керуючих впливів від ПЗ з ОК на відповідні ВМі ($i = \overline{1, m}$); загалом $n \neq m$. ОП - оперативний персонал.

Централізована АСК ТП з безпосереднім (прямим) цифровим режимом керування параметрами технологічного процесу виконує загалом такі ж задачі, як наведені вище для попередньої АСК ТП, окрім того, що керуючі впливи видаються безпосередньо на відповідні ВМі ($i = \overline{1, m}$) і відсутні контроль роботи ЛАРі ($i = \overline{1, n}$) та корекція параметрів їх настрок. Застосування КОМ в режимі безпосереднього (прямого) керування параметрами технологічного процесу дозволяє створювати програмним шляхом розімкнуті системи автоматичного керування відносно керованої величини за збуренням; комбіновані системи багатозв'язаного керування, які ураховують зв'язки між окремими елементами об'єкта керування. В цих системах зпрощується реалізація режимів пуску/зупинки об'єкта керування, операції перемикання ВМі ($i = \overline{1, m}$). Наведене відносять до позитивних сторін таких АСК ТП. Цьому сприяло також те, що надійність КОМ кінця 80-х - початку 90-х років минулого століття значно підвищилась. Але можливості цих централізованих систем обмежувались при значних числах "умовної інформаційної потужності" ("УІП") - для АСК ТП із середньою, підвищеною і великою "УІП" (див. підрозділ 1.4), а також із-за великої довжини (до 100 км) ліній зв'язку. Крім того, навіть незначні відмови в роботі КОМ приводили до порушення керування об'єктом. Саме ці причини, а також те, що на початку 90-х років минулого століття промисловість країни почала випускати високонадійні, багатофункціональні мікропроцесорні контролери (МПК) різних призначень, сприяли тому, що були здійснені розробки децентралізованих АСК ТП. Децентралізація технічної структури АСК ТП є принциповим методом підвищення надійності та живучості цих систем, зниження вартості розробки і експлуатаційних витрат. Найбільш перспективними напрямками децентралізації АСК ТП є: функціонально-цільовий і топологічний. Функціонально-цільовий напрямок децентралізації об'єкта керування - це розподіл складного технологічного процесу на менші частини - підпроцеси за функціональною ознакою, що мають самостійні цілі

функціонування. Топологічний напрямок децентралізації об'єкта керування передбачає можливість територіального (просторового) розподілу технологічного процесу на функціонально-цільові підпроцеси. При цьому число підсистем треба вибирати так, щоб мінімізувати сумарну довжину ліній зв'язку, що утворюють технічну структуру. Виділяють [4-8] три децентралізовані типові технічні структури АСК ТП.

Типова технічна структура децентралізованої АСК ТП із зіркоподібною (радіальною)топологією взаємодії підсистем (рис. 2.3)

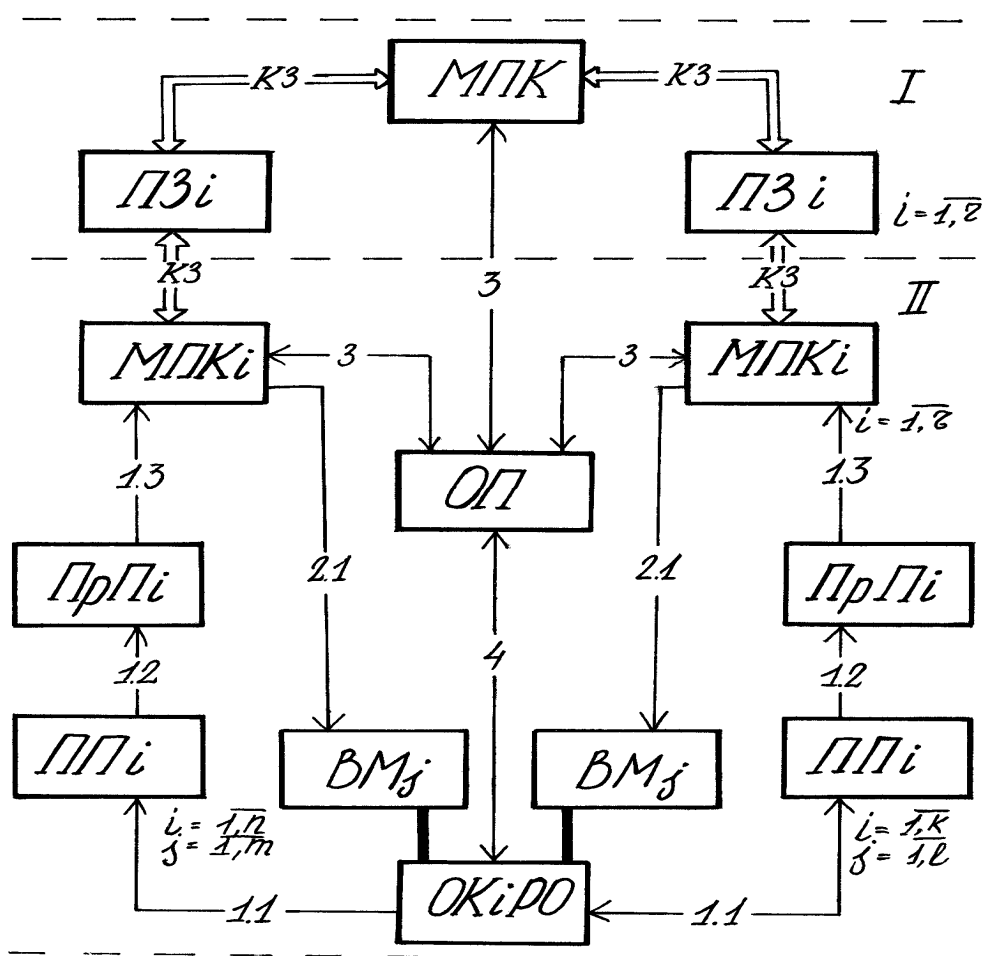


Рис. 2.3 - Обладнання: МПК - мікропроцесорний контролер АСК ТП першого (верхнього) рівня керування; МПКі ($i = \overline{1, r}$) - мікропроцесорні контролери підсистеми другого (нижнього) рівня керування; ПЗі ($i = \overline{1, r}$) - пристрої цифрового зв'язку між МПК і МПКі ($i = \overline{1, r}$); КЗ - канали цифрового зв'язку між МПК, ПЗі ($i = \overline{1, r}$) та МПКі ($i = \overline{1, r}$); ППі та ПрПі ($i = \overline{1, r}, \dots, i = \overline{1, k}$) - первинні й передавальні перетворювачі сигналів; ВМj - виконавчі механізми, механічно з'єднані зі штоками регулюючих органів

($j = \overline{1, m}, \dots, j = \overline{1, L}$), загалом, $n \neq m, \dots, k \neq L$; ОК і РО - об'єкт керування і регулюючі органи. ОП - оперативний персонал. Потоки інформації, в автоматичному режимі: 1.1, 1.2, 1.3 - аналогові сигнали про значення відповідних параметрів ($i = \overline{1, n}, \dots, i = \overline{1, k}$) ОК від місця виміру через ППі та ПрПі до МПКі ($i = \overline{1, r}$); 2.1 - цифрові сигнали керуючих впливів від МПКі на відповідні ВМ j ($j = \overline{1, m}, \dots, j = \overline{1, L}$); в діалоговому режимі: 3 - інформація для взаємообміну поміж ОП і МПКі ($i = \overline{1, r}$) і МПК; в ручному режимі: 4 - взаємодія ОП безпосередньо із ОК для аналітичного контролю деяких параметрів і дистанційне керування окремими параметрами за допомогою РО.

Структура АСК ТП, що розглядається, є дворівневою. МПК і МПКі ($i = \overline{1, r}$) працюють в реальному часі. АСК ТП першого (верхнього) рівня керування на базі МПК координує роботу всіх підсистем АСК ТП другого (нижнього) рівня керування на базі МПКі ($i = \overline{1, r}$), окрім того здійснює оптимізацію задач керування для всього ОК, розподілу енергетичних ресурсів, що поступають на ОК, техніко-економічних показників ОК та ін. У той же час підсистеми АСК ТП другого (нижнього) рівня самостійно виконують відповідні функції на базі МПКі ($i = \overline{1, r}$). Пристрої цифрового зв'язку ПЗі ($i = \overline{1, r}$) між МПК і МПКі ($i = \overline{1, r}$) поліпшують взаємообмін інформацією в цифровому коді. Канали цифрового зв'язку КЗ між МПК, ПЗі ($i = \overline{1, r}$) та МПКі ($i = \overline{1, r}$) виконують з багатовиткового мідного кабелю. В цілому надійність цієї децентралізованої АСК ТП вище надійності централізованої АСК ТП з безпосереднім (прямим) цифровим керуванням параметрами об'єкта. У той же час надійність всієї системи залежить від надійності кожної підсистеми АСК ТП другого (нижнього) рівня керування, а в разі навіть тимчасової відмови МПК АСК ТП першого (верхнього) рівня, підсистеми АСК ТП другого (нижнього) рівня будуть виконувати тільки свої функції незалежно одна від одної. До того ж для реалізації цієї структурної схеми потрібно багато кабельної продукції. Названих недоліків позбавлена наступна структурна схема.

Типова технічна структура децентралізованої АСК ТП із кільцевою (петлевою) є топологією взаємодії підсистем (рис. 2.4)

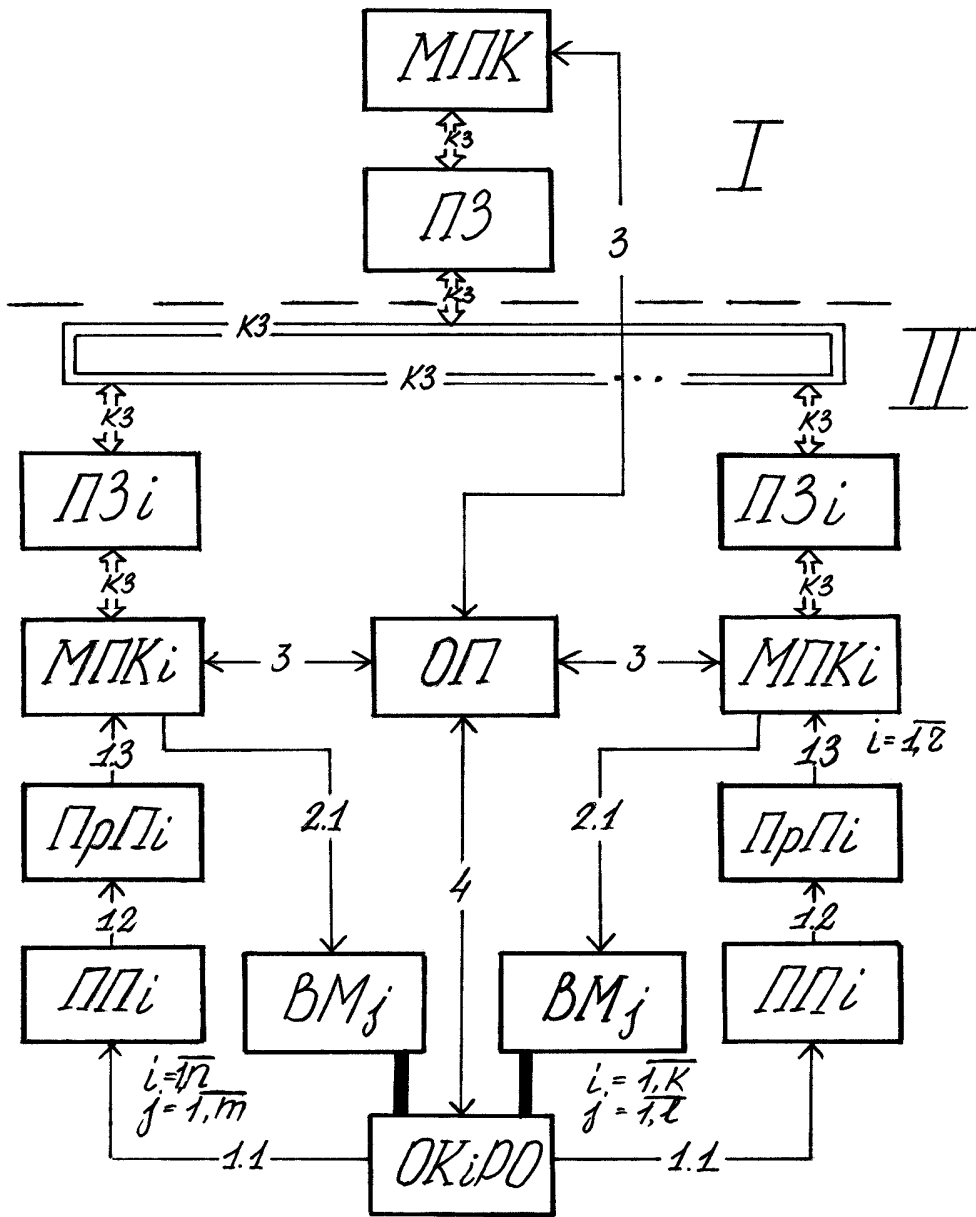


Рис. 2.4 - Обладнання таке ж, як на рис. 2.3, окрім того, додатково введений ПЗ - пристрій цифрового зв'язку поміж МПК АСК ТП першого (верхнього) рівня керування і кільцем (петлею) із ПЗі ($i = \overline{1, r}$) - підсистемами цифрового зв'язку поміж МПКі ($i = \overline{1, r}$) підсистем - АСК ТП другого (нижнього) рівня керування, $K3$ - канали цифрового зв'язку поміж МПК, ПЗ, ПЗі ($i = \overline{1, r}$) та МПКі ($i = \overline{1, r}$). ОП - оперативний персонал. Потоки інформації такі ж, як на рис. 2.3.

Структура цієї АСК ТП також дворівнева, а принцип дії аналогічний попередній. Але через те, що в наведеній технічній структурі обмін інфор-

мацією між МПК і МПКі ($i = \overline{1, r}$) відбувається за посередництвом ПЗ і ПЗі ($i = \overline{1, r}$) і каналів цифрового зв'язку (КЗ) між ними, появилася можливість динамічного перерозподілу функцій координації спільної роботи всіх підсистем - АСК ТП на другому (нижньому) рівні на базі МПКі ($i = \overline{1, r}$) у разі тимчасової відмови МПК АСК ТП першого (верхнього) рівня керування. Крім цього для реалізації такої технічної структури необхідно значно менше кабельної продукції порівняно з зіркоподібною (радіальною) топологією взаємодії підсистем. Проте надійність всієї АСК ТП залежить від надійності ПЗ і ПЗі ($i = \overline{1, r}$), які забезпечують взаємообмін інформацією в цифровому коді між відповідним обладнанням. Ліквідації цього недоліку сприяла наступна структурна схема.

Типова технічна структура децентралізованої АСК ТП із загальною шинною (магістральною) топологією взаємодії підсистем (рис. 2.5)

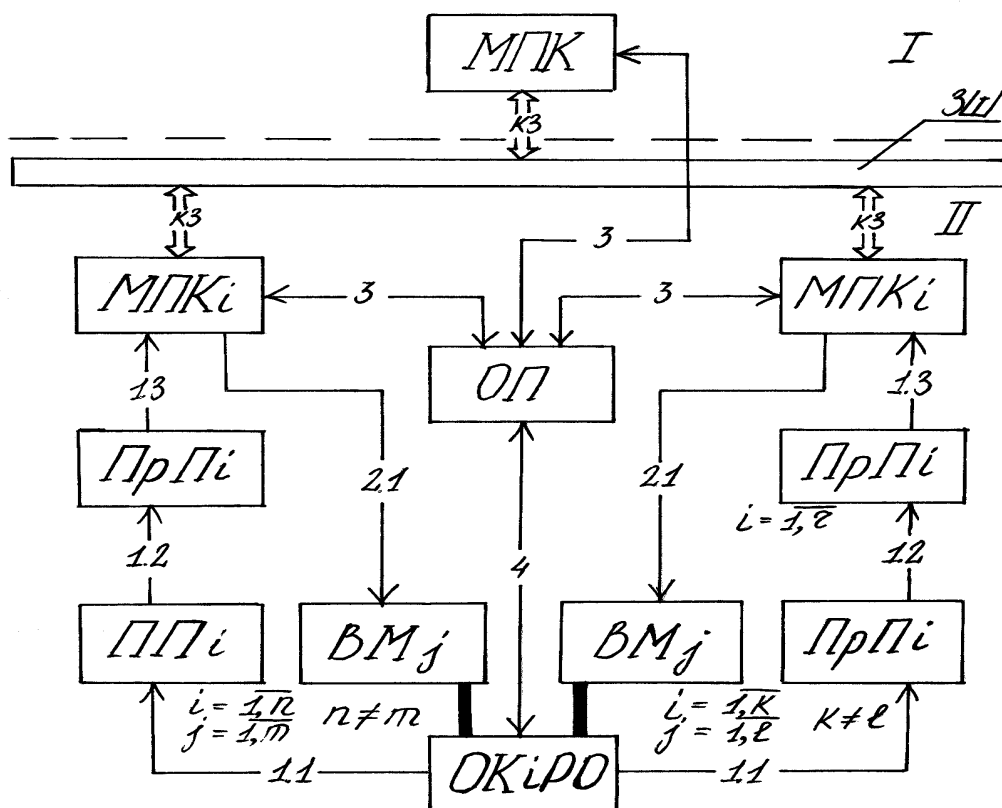


Рис. 2.5 - Обладнання таке ж, як на рис. 2.4, окрім ПЗ і ПЗі ($i = \overline{1, r}$), які відсутні, а додатково введена ЗШ - "загальна шина" (магістраль). Поток інформації такі ж, як на рис. 2.4

Технічна структура наведеної АСК ТП в повній мірі відповідає виразу "все геніальне - просте", вона забезпечує надійний і широкий обмін інформацією між підсистемами - АСК ТП другого (нижнього) рівня на МПКі ($i = \overline{1, r}$) і АСК ТП першого (верхнього) рівня керування на МПК. Надійність децентралізованих АСК ТП із загальною шинною (магістральною) топологією взаємодії підсистем значно вище надійності попередньої системи, тому саме ця типова технічна структура АСК ТП знайшла найбільше застосування. Принцип роботи цієї АСК ТП не відрізняється принципово від роботи попередньої системи. Висока надійність децентралізованих АСК ТП із загальною шинною (магістральною) топологією взаємодії підсистем відповідає надійності сучасних ПЕОМ і МПК, які також мають децентралізовані структури із загальною шиною (магістраллю) взаємодії відповідних блоків (модулів).

2.4 Математичне забезпечення і алгоритмічна структура АСК ТП

Математичне забезпечення (МЗ) АСК ТП являє собою сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів, які використовують при розробці й функціонуванні цих систем. В міру того, як розвивалось застосування обчислювальної техніки в АСК ТП їх математичне забезпечення разом із побудованим на його основі програмним забезпеченням набуває все більшого значення і стає співвимірним, а іноді і вище за вартість технічного забезпечення цієї ж системи. Образно кажучи, математичне забезпечення - це "ідеологічний зміст" АСК ТП, або так званий "м'який товар" на відміну від "твердого товару", як називають технічне забезпечення АСК ТП. Керування об'єктом включає в себе комплекс операцій, які необхідні для формування відповідних ціленаправлених впливів на об'єкт, наприклад, операції автоматичного контролю (отримання інформації), аналізу (вироблення і прийняття рішення) і виконання (реалізація керуючих впливів). Операції отримання інформації та реалізації керуючих впливів у сучасних АСК ТП виконуються автоматично за допомогою засобів технічного за-

безпечення (див. підрозділ 2.3). Щодо операцій вироблення і прийняття рішень для керування об'єктом, то, як правило, перш ніж вибрати спосіб їх реалізації, треба знати оптимальний (або хоча би раціональний) алгоритм їх виконання. Для цього кожен задачу керування потрібно сформулювати математично.

Математичне формування будь-якої задачі оптимального керування включає в себе два елементи: математичну модель об'єкта і критерій керування (див. підрозділ 1.2). Математична модель являє собою систему математичних співвідношень, які описують поведінку об'єкта керування і ті умови (збурюючі впливи, обмеження та ін.), в яких він функціонує. Для подання моделі в аналітичній формі необхідно знати фізичну природу об'єкта керування, його структуру та конструктивні особливості. Математична модель завжди більше або менше наближена і не враховує цілий ряд явищ, які виникають в об'єкті, але в той же час вона може з успіхом використовуватися для визначення керуючих впливів при різних сукупностях значень параметрів об'єкта керування. Це можна зробити як в темпі з ходом технологічного процесу, так і в режимі випереджуючого аналізу, оскільки велика швидкодія сучасних МПК дозволяє виконувати відповідні випереджуючі розрахунки. Якщо характеристики об'єкта керування зазнають змін, то відповідність моделі об'єкта повинна неперервно перевірятися та уточнюватися на основі поточної інформації про стан об'єкта. Користуючись математичною моделлю, застосовують різні керуючі впливи для того, щоб отримати і зафіксувати реакції моделі на ці впливи, а потім вибирають з них ті, які найбільше задовольняють критерію керування.

Переробна інформація в МПК виконується за алгоритмами, які відображають технологічні інструкції для провадження процесу. Кожний алгоритм, який виконує МПК, приблизно відповідає тим міркуванням та обчисленням, які повинен виконати оператор-технолог при відсутності МПК. Такий алгоритм-інструкція, представлений формальною мовою математичних формул і логічних умов, визначає послідовність дій, кожна з яких ві-

дповідіає виконанню МПК будь-якої елементарної операції. Такими операціями є додавання, віднімання, множення, ділення, логічне додавання тощо.

Послідовність дій не свавільна, а реалізує деякий метод вирішення задачі. Цей метод інколи первісно задають у вигляді математичної формули, інколи в словесній (описувальній) формі або у вигляді сплетіння логічних умов. У всіх випадках його потрібно сформулювати настільки докладно й чітко, щоб не залишалось місця для неоднокового тлумачення або двозначності, щоб завжди після кінцевого числа елементарних операцій був отриманий певний числовий або логічний (дискретний) результат. Якщо ці умови виконуються, то інструкція для вирішення задачі висловлена формальною мовою математичних формул і логічних умов, називається алгоритмом вирішення задачі. В АСК ТП використовують алгоритми керування - це також формальна інструкція, в якій мова іде про те, як треба обробляти інформацію про об'єкт керування, щоб отримати доцільні керуючі впливи. Алгоритм керування, який відображує загальну ціль системи керування, занадто складний і може бути розділений на велике число підалгоритмів, які відповідні окремим задачам (функціям) системи керування. Ці підалгоритми сполучені між собою так, що в певних виробничих ситуаціях "працюють" окремі ланки загального алгоритму керування. Таким чином, безліч окремих підалгоритмів функціонує не у фіксованій послідовності (один за одним) і не хаотично, а вишиковується у всілякі ланцюги залежно від зміни виробничої ситуації.

Пояснимо сказане прикладом. Розглянемо фрагмент функціональної схеми автоматизації технологічного процесу (ФСА ТП) [2] системи гарячого водопостачання при одноступеневій паралельній схемі підключення водопідігрівача (рис. 2.6) для цілодобового споживання гарячої води при різних її витратах протягом доби.

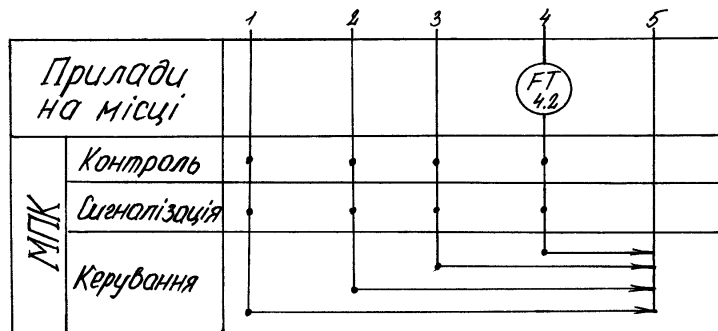
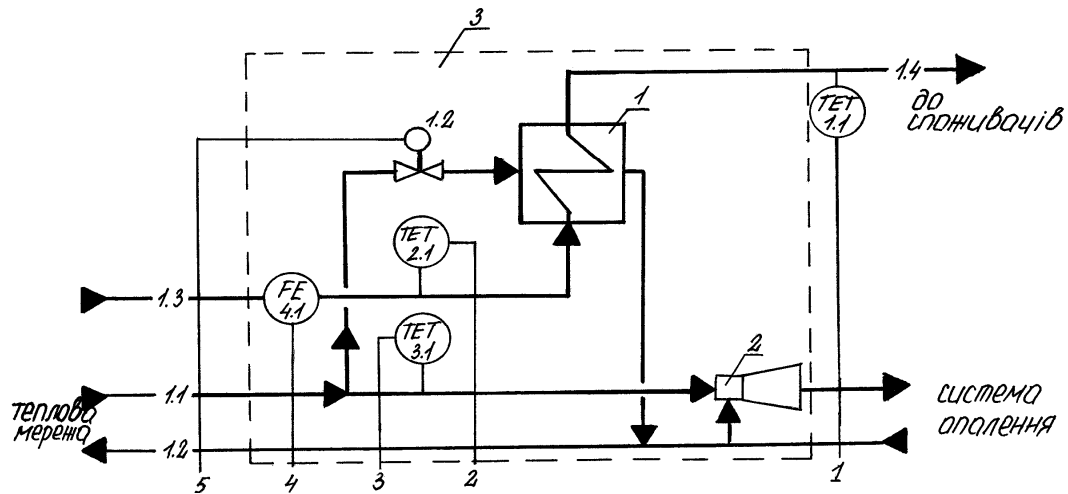


Рис. 2.6 - Матеріальні потоки: 1.1 - гарячий теплоносій у подавальному трубопроводі (поперед ЦТП); 1.2 - теплоносій у зворотньому трубопроводі (після ЦТП); 1.3 - холодна вода; 1.4 - гаряча вода для споживачів. Обладнання: 1 - одноступеневий водопідігрівач; 2 - елеватор; 3 - ЦТП (центральний тепловий пункт); МПК - мікропроцесорний контролер

В одноступеневому водопідігрівачу (1) холодну воду (1.3) нагрівають (до заданого значення температури (~60°C) гарячої води (1.4) в місцях її споживання) гарячим теплоносієм (1.1) у вузлах гарячого водопостачання, що знаходяться в ЦТП (3). Необхідно керувати заданою температурою гарячої води (1.4) для цілодобового споживання при різних витратах протягом доби. Для реалізації цієї окремої задачі треба реалізувати наступні функції: автоматичні контроль температур гарячої і холодної води, температури гарячого теплоносія, витрати холодної води; технологічна сигналізація при виході цих параметрів за норми технологічного регламенту; розрахунок і видача керуючих впливів для керування температурою гарячої

води на зміну витрати гарячого теплоносія в одноступеневий водопідігрівач і корекцію її за температурою гарячого теплоносія, за температурою і витратами холодної води.

Для реалізації наведених функцій застосовано МПК типу КР-300 [2]. Для автоматичного контролю температур гарячої і холодної води, а також гарячого теплоносія як ПП застосовано термодетектори з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА типу ТСМУ-0288 (поз. 1.1; 2.1; 3.1), які однозначно є і ПрП [2]. Сигнали від них надходять на входи МПК, який за алгоритмом "контроль температури" перетворює ці сигнали в значення температури в °С. Якщо значення температур виходять за допустимі норми технологічного регламенту, МПК за алгоритмом "сигналізація температури" видає світловий та/або звуковий сигнали, реєструє ці значення на лицьовій панелі контролера. Для видачі керуючих впливів МПК за алгоритмом "розрахунок і видача керуючих впливів" розраховує ці впливи і вони надходять на відповідний ВМ. Для автоматичного контролю витрати холодної води як ПП застосовано діафрагму камерну типу ДК-0,6 (поз. 4.1), сигнали від якої надходять на ПрП, в якості якого застосовано вимірювальний тензорезисторний перетворювач різниці тиску на діафрагмі камерній типу САФІР-2460 (поз. 4.2) [2]. Сигнали від ПрП надходять на вхід МПК, який за відповідними алгоритмами (для витрати), як і для температури, виконує необхідні функції, а значення витрати - м³/г. Для зміни величини витрати гарячого теплоносія застосовано однообертний електричний двигун типу МЕО-1 (поз. 1.2), який механічно з'єднаний з відповідним регулюючим органом.

Функціонально наведена задача розподіляється на три взаємозв'язаних частини. Перша частина відповідає процесу керування температурою гарячої води при постійних значеннях других параметрів, які автоматично контролюють, тобто при незмінних параметрах (структурі й коефіцієнтах) математичної моделі одноступеневого водопідігрівача. Друга частина являє собою математичну модель одноступеневого водопідігрівача, парамет-

ри якої змінюються протягом доби, тому потрібна корекція цієї моделі. Третя частина включає всі дії, які дозволяють оператору-технологу в будь-який час візуально контролювати значення параметрів технологічного процесу і відповідних керуючих впливів, що здійснюється за допомогою дисплею МПК. Розроблена ФСА ТП (рис. 2.6) дозволяє зрозуміти замисел вирішення окремої задачі, тобто підхід до вирішення задачі керування температурою гарячої води для споживачів.

Наступним кроком в деталізації цього підходу є побудова спрощеної алгоритмічної структури (блок-схеми алгоритму) задачі, фрагмент цієї структури зображений на рис. 2.7.

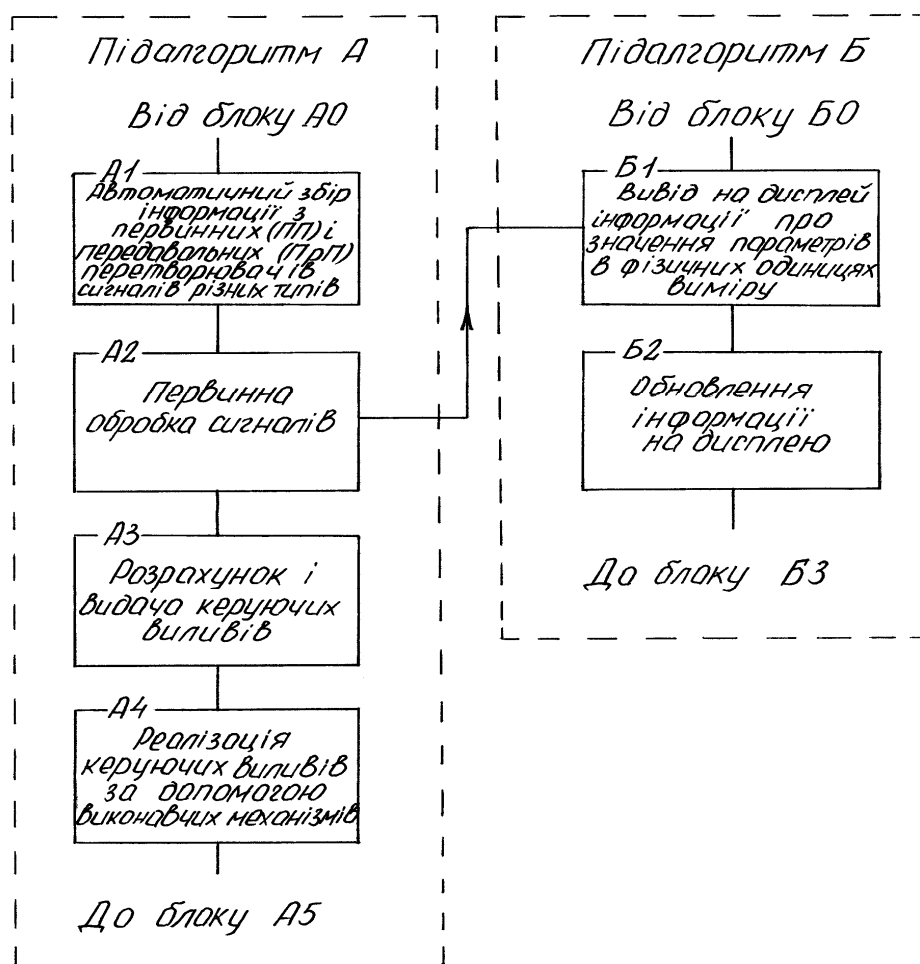


Рис. 2.7 - Фрагмент спрощеної алгоритмічної структури (блок-схеми алгоритму) вирішення задачі керування температурою гарячої води для споживачів

На алгоритмічній структурі алгоритм керування температурою гарячої води умовно розділений на два підалгоритми. Підалгоритм А реалізує

ту частину вирішення задачі, яка виконується в неперервному автоматичному режимі власне для керування температурою гарячої води. Підалгоритм Б виконується тільки за запитом оператора-технолога. Природно, що обидва підалгоритми взаємозв'язані за використанням загальних даних. При цьому перехід виконання дій з одного блока (модуля) до іншого умовно зображено лінією, при цьому для переходу згори-вниз і зліва-праворуч стрілку не треба ставити, а, навпаки, стрілку обов'язково треба ставити. Графічно блоки (модулі) умовно зображують у вигляді прямокутників або ромбів із співвідношенням висоти (малої діагоналі) до ширини (великої діагоналі) 1:1,5; при цьому висоту вибирають з ряду: 10; 20 або 30 мм, а відстань між блоками (модулями) завжди 10 мм.

Алгоритмічна структура розглянутої задачі може бути зображена з різним ступенем деталізації. Звичайно кожному блоку (модулю) спрощеної блок-схеми алгоритму відповідають більш детальні блок-схеми. Як приклад, на рис. 2.8 показаний фрагмент блок-схеми спрощеного алгоритму одного з блоків (модулів) спрощеної алгоритмічної структури - блоку А2 - "Первинна обробка сигналів".

При подальшій деталізації алгоритму виконується докладний опис кожного нового блоку. Він включає математичні формули, логічні умови їх взаємозв'язків і часові характеристики виконання окремих блоків.

Сукупність матеріалів, які відображають алгоритм вирішення задачі, має два напрямлення. По-перше, вона фіксує ідейні аспекти, тобто замисел і метод вирішення задачі, і, по-друге, служить завданням для наступного етапу деталізації алгоритму - етапу перетворення прийнятої сукупності ідей в комплекс взаємодіючих програм МПК.

2.5. Програмне забезпечення АСК ТП і його класифікація

Програмне забезпечення АСК ТП являє собою сукупність програм, що забезпечує реалізацію всіх функцій системи, задане функціонування технічного забезпечення АСК ТП і передбачений розвиток системи. Під про-

грамою розуміють конкретну реалізацію машинного алгоритму для вирішення будь-якої задачі. Програмне забезпечення АСК ТП описують із різним ступенем докладності залежно від того, хто буде користувачем цього опису. Для оперативного персоналу АСК ТП, особливо для операторів-технологів (які не мають навичок у програмуванні) немає необхідності в детальній докладності опису програм. Для операторів-технологів достатньо мати уявлення про роботу відповідної апаратури і виконання програм на так званому "логічному рівні", коли спеціалісти оперують замість фізичного опису будь-яких явищ їх логічними аналогами. Тому на логічному рівні в спрощеній функціональній схемі МПК умовно виділяють три частини: установка виконання програм, програми, дані (рис. 2.9).

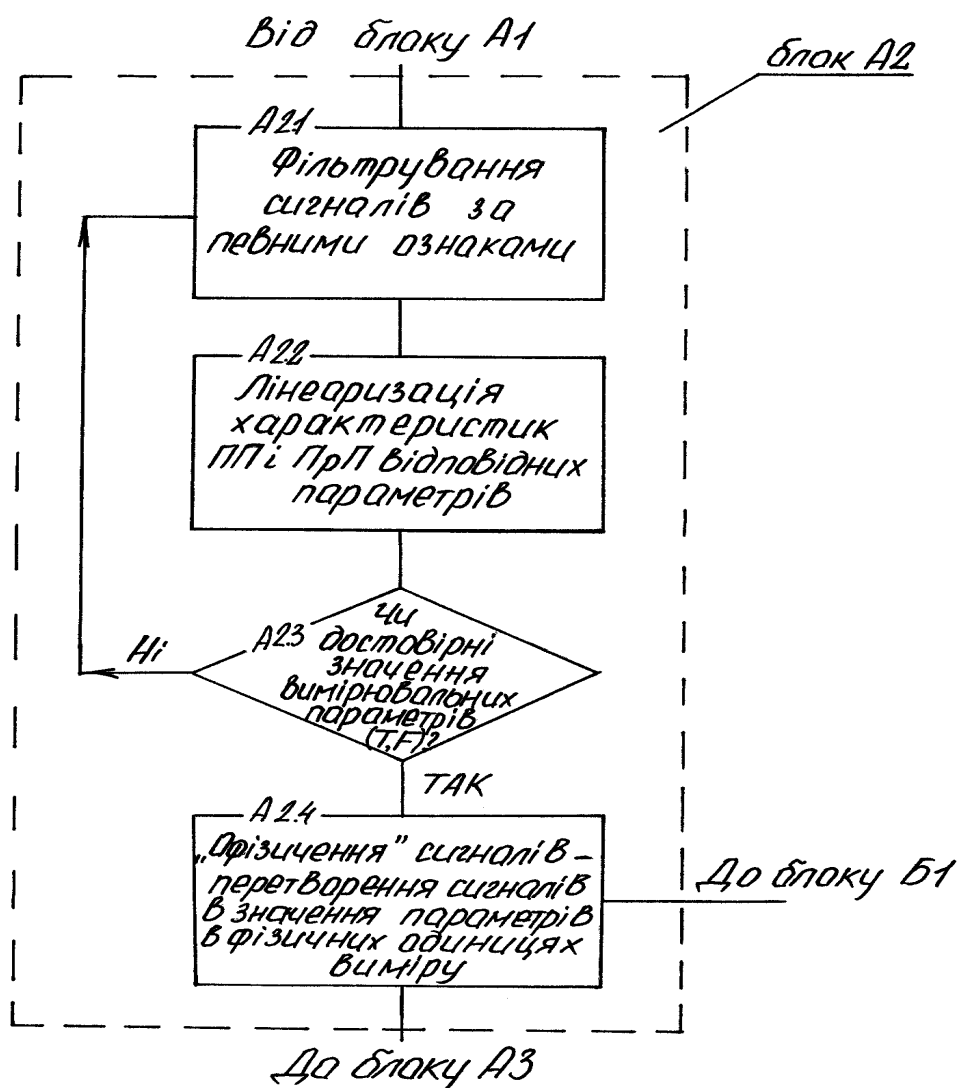


Рис. 2.8 - Фрагмент блок-схеми спрощеного алгоритму блоку А2 - "Первинна обробка сигналів".

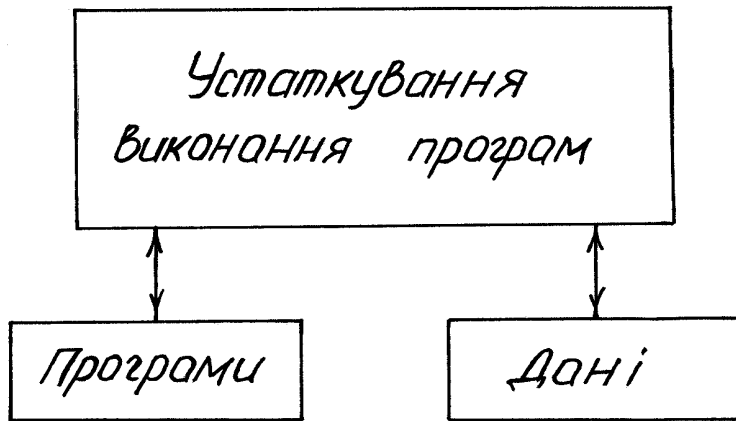


Рис. 2.9 - Спрощена функціональна схема МПК

При такому спрощенні призначення МПК зводиться до перетворення даних, які умовно розділяють на локальні - для однієї програми і глобальні - загальні для декількох програм або навіть для всіх програм конкретної АСК ТП. Характерними прикладами даних служать числа або тексти. Та частина МПК, яка умовно віднесена до програм, містить (зберігає) набори команд, які описують послідовність дій над даними для досягнення поставленої цілі. Іншими словами, програма - це послідовність команд, які необхідно виконати для реалізації заданого алгоритму обробки даних.

Якщо програма реалізує деяку функцію АСК ТП, таку програму називають функціональною. Простим прикладом такої програми є програма, складена з двох команд: а) ввести сигнал від первинно-передавального перетворювача для контролю температури типу ТСМУ-0288; б) вивести значення отриманої температури на дисплей МПК.

Устаткування виконання програм МПК послідовно виконує одну за одною команди програм. Ці команди "примушують" вводити дані з відповідного устаткування (клавіатури, дисплею, передавального перетворювача тощо), виконувати потрібні перетворення даних і здійснювати їх вивід на різноманітне устаткування (виконавчі механізми, дисплей тощо). Для опису послідовності команд використовують спеціальні мови програмування, які для конкретних МПК можуть бути індивідуальними, як для МПК типу КР-300 (див. підрозділ 4.3).

Програмі АСК ТП, незалежно від мови програмування, притаманні наступні три характерні особливості.

Перша з них та, що для кожної програми АСК ТП (в першу чергу - функціональної) існує регламент її виконання, який включає один або декілька з наведених нижче чотирьох режимів виконання програми:

- 1) періодичне включення програми за часовим інтервалом (Т);
- 2) включення програми в певний час доби;
- 3) включення програми за вимогою іншої програми;
- 4) включення програми за вимогою оператора-технолога.

Другою характерною ознакою програм АСК ТП є їх масовість і численність. Через те, що включення в роботу кожної програми виконується за своїм регламентом, бувають випадки, коли одночасно декілька програм будуть вимагати свого виконання. У цьому разі устаткування виконання програм залежно від значущості (пріоритету) програм в першу чергу виконує ту програму, яка в цей момент головніша (її пріоритет більший).

Третьою особливістю програм АСК ТП є те, що для їх зберігання використовують декілька видів пам'яті: устаткування для постійного запам'ятовування (УПЗ), устаткування для оперативного запам'ятовування (УОЗ), магнітні диски, дискети тощо. Їх відмінність полягає в тому, що устаткування виконання програм витрачає суттєво різний час на виконання програм, які зберігаються в устаткуваннях запам'ятовування різних видів.

Поняття "програмне забезпечення (ПЗ) в АСК ТП" охоплює сукупність усіх програмних засобів, які беруть участь у функціонуванні АСК ТП. В ПЗ АСК ТП може бути численність елементів і складна логічна схема їх взаємодії. Але спрощена схема ПЗ АСК ТП має досить простий вигляд і базується на тих поняттях, які були введені вище. Природно, що основними елементами цієї схеми є "програми" і "дані" (рис. 2.10).

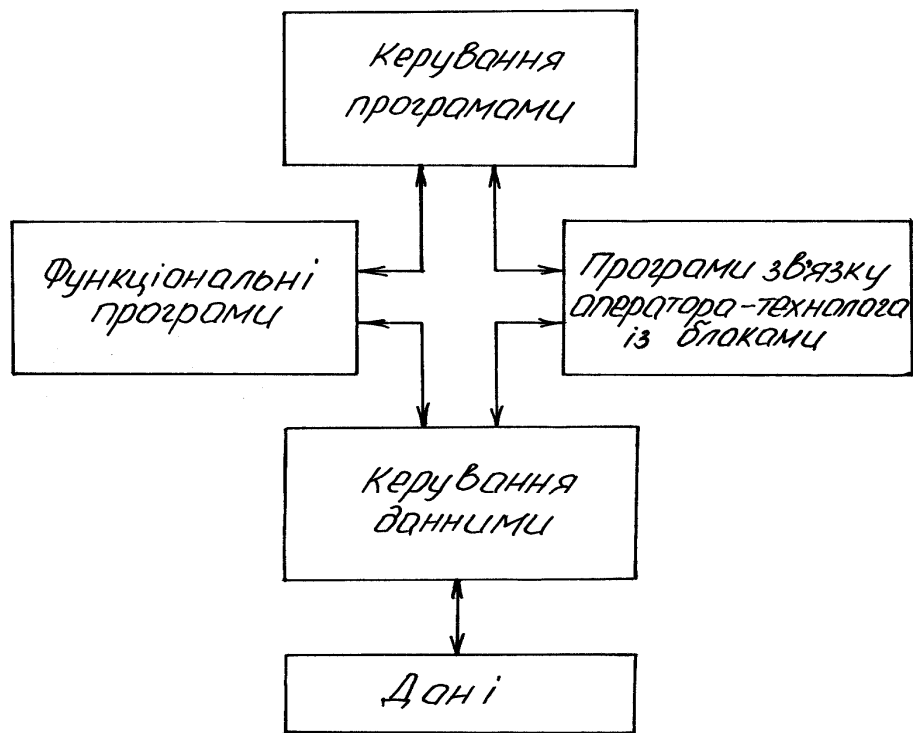


Рис. 2.10 - Спрощена схема програмного забезпечення АСК ТП

Вище було зазначено, що устаткування виконання програм виконує не тільки команди, а на нього також покладене виконання, по-перше, задач, які зв'язані з виконанням великої кількості "функціональних програм" за відповідними регламентами, і, по-друге, - функцій підготовки даних для обробки. Вказані функції в сучасних системах реалізовані "програмно" і являють собою частину ПЗ АСК ТП, яку умовно поділяють на два блоки: "керування програмами" і "керування даними". Блок "керування програмами" фактично організує виконання і взаємодію всіх програм ПЗ АСК ТП. Блок "керування даними" організує зберігання "даних" у відповідних устаткуваннях запам'ятовування і видає "функціональним програмам" "дані" у відповідній формі. Другою частиною є програми зв'язку оператора-технолога (ОТ) із блоками "керування програмами" і "керування даними", до яких ставляться різноманітні вимоги для зручного спілкування оператора-технолога із МПК.

На сьогодні прийнята класифікація ПЗ АСК ТП, в якій програмні елементи розподілені на два класи: загальне програмне забезпечення (ЗПЗ АСК ТП) і спеціальне програмне забезпечення (СПЗ АСК ТП).

Загальне програмне забезпечення (ЗПЗ) АСК ТП - це частина програмного забезпечення - представляє сукупність програм, яку постачають на сьогодні в комплекті із засобами технічного забезпечення АСК ТП і призначена для організації функціонування технічних засобів АСК ТП, службових програм і розробки програми спеціального ПЗ АСК ТП. До складу ЗПЗ АСК ТП відносять такі програми:

програма-диспетчер, яка оперативно координує роботу окремих програм, організує черги різних програм;

програми керування окремим устаткуванням МПК;

службові програми для формування таблиць, розпечатування результатів розрахунків тощо;

стандартні підпрограми для обчислення функцій, які часто зустрічаються (наприклад, логарифмів натуральних, синусів тощо);

транслятори з алгоритмічних мов;

тести для перевірки і діагностики всіх пристроїв МПК в неперервному і періодичному режимах.

Спеціальне програмне забезпечення (СПЗ) АСК ТП - це частина програмного забезпечення, яку розробляють при створенні конкретних АСК ТП для реалізації інформаційних і керуючих функцій. Його створюють на базі ЗПЗ АСК ТП. Роботи по створенню СПЗ АСК ТП є продовженням і розвитком робіт з алгоритмізації. Тому алгоритмічна система АСК ТП, її блок-схема і власне алгоритми виконання функцій стають вихідними даними для розробки СПЗ АСК ТП. При створенні СПЗ необхідно вирішувати два кола питань. Перше з них пов'язане із структуруванням майбутнього програмного комплексу, тобто перехід від алгоритмічної структури до структури комплексу програм (або визначити склад програм і їх взаємодію). При цьому треба пам'ятати, що число окремих програм СПЗ не збігається з числом функціональних задач. Немає такого збігу і з числом окремих закінчених алгоритмів і підалгоритмів. На етапі програмування всі алгоритми, які буде виконувати МПК, деталізують до такого рівня, щоб їх

можна було виконати за заданими характеристиками. Для цього проводять структурування програм, тобто вирішується питання про те, скільки програм буде відповідати алгоритмічній постановці і як розподілиться весь алгоритм за окремими програмами. Результатом цієї роботи є склад (перелік) програм і схема їх взаємодії.

Друге коло питань пов'язане з організацією взаємодії програм, які взаємодіють в двох аспектах: одна програма може ініціювати (викликати) роботу іншої програми, і/або між програм здійснюється обмін даними.

Процес розробки СПЗ АСК ТП дуже трудомісткий і відповідальний. Наявність трансляторів дозволяє вести програмування окремих модулів (блоків) на тій або іншій мові програмування. Ці роботи виконують поза реальним часом. Найбільш трудомісткою є розробка функціональних програм, для яких використовують спеціальні мови програмування, однаково зрозумілі програмістам і операторам-технологам.

Тривалий час ПЗ АСК ТП розглядали разом з інформаційним забезпеченням, але останнім часом (15-20 років) його виділили в самостійну компоненту.

2.6. Інформаційне забезпечення і інформаційна структура АСК ТП

Інформаційне забезпечення (ІЗ) АСК ТП являє собою сукупність систем класифікації та кодування технологічної і техніко-економічної інформації; сигналів, що характеризують стан об'єкта керування; масивів даних і документів, необхідних для виконання функцій АСК ТП. Тобто, ІЗ АСК ТП - це конкретна реалізація комплексу машинних алгоритмів (програм) функціонування АСК ТП, який визначає способи і конкретні форми інформаційного відображення стану об'єкта керування, як у вигляді даних в МПК, так і у вигляді документів, графіків, сигналів для їх подання операторам-технологам. При розробці ІЗ АСК ТП випускають ряд документів: опис інформаційного забезпечення, опис організації позамашинної інформаційної бази, опис систем класифікації і кодування інформації, перелік

вхідних сигналів і даних, перелік вихідних сигналів і документів, опис масиву інформації.

Опис інформаційного забезпечення АСК ТП залежить від реалізації математичного забезпечення конкретної АСК ТП . Опис організації позамашинної інформаційної бази представляє сукупність всіх документованих відомостей і масивів даних, які необхідні для генерації бази даних і реалізації вказаних функцій і задач.

Основним критерієм при розробці системи класифікації і кодування інформації прийняте максимальне наближення шифрів і кодів, які пропонують, до умовного зображення параметрів, матеріальних потоків і технологічного обладнання об'єкта керування. При цьому шифрувати треба за деякими основними характерними ознаками, їх кількість визначають для конкретного об'єкта керування. Як приклад, розглянемо шифрування одного параметра з переліку вхідних сигналів за п'яти характерних ознак при довжині шифру у вісім позицій (табл. 2.1) для фрагмента ФСА ТП системи гарячого водопостачання при одноступеневій паралельній схемі підключення водопідігрівача (див. рис. 2.6).

Таблиця 2.1 - Шифр параметра (температури) за п'яти основних характерних ознак при його довжині у вісім позицій

1	2	3	4	5	6	7	8	- довжина шифру
T	ГВ	2	ОВП				1	- шифр параметру
1	2	3	4				5	- п'ять основних характерних знак

Першою характерною ознакою є умовне позначення параметра - вона займає одну (першу)позицію. Візьмемо температуру гарячої води для споживачів, тобто для температури T.

Другою характерною ознакою є умовна назва матеріального потоку - вона займає дві (другу і третю) позиції, для гарячої води краще всього умовна назва ГВ.

Третьою характерною ознакою є умовне позначення місця вимірювального параметра відносно входу або виходу обладнання: 1 - вхід; 2 - ви-

хід тощо - вона займає одну (четверту) позицію. Гаряча вода для споживачів, тобто на виході одноступеневого водопідігрівача, тому 2.

Четвертою характерною ознакою є умовна скорочена назва технологічного обладнання, відносно якого установлений первинно-передавальний перетворювач для контролю гарячої води - вона займає три (п'яту, шосту, сьому) позиції, для одноступеневого водопідігрівача краще всього умовна назва ОВП.

П'ятою характерною ознакою є цифрове позначення технологічного обладнання - вона займає одну (восьму) позицію. Одноступеневий водопідігрівач один - тому краще всього цифрове позначення - 1, а були б інші - відповідно 2, 3 тощо. Таким чином шифр вимірювального параметра читається: температура гарячої води на виході першого одноступеневого водопідігрівача.

Оскільки на вхід МПК надходять уніфіковані сигнали постійного струму 4-20 мА, які пропорційні вимірювальним параметрам, то кожному параметру задають початкові й кінцеві значення (розмах шкали), а також - норми технологічного регламенту (мінімальне і максимальне значення регламенту), тоді для температури гарячої води для споживання це будуть: 20-100°C і 40-80°C відповідно.

Опис масивів інформації містить дані для розробки програмного забезпечення АСК ТП з урахуванням прив'язки всіх вхідних і вихідних параметрів до відповідного устаткування МПК, яке також має свою систему кодування і класифікації.

У цілому опис інформаційного забезпечення АСК ТП виконують з урахуванням конкретної кількості вхідних і вихідних параметрів та необхідних відомостей про технічне забезпечення АСК ТП, а також з урахуванням нормативно-довідкової інформації. Після розробки інформаційного забезпечення його використовують для розробки програмного забезпечення АСК ТП, а після введення в дію АСК ТП інформаційне забезпечення

постійно уточнюється і при необхідності доповнюється відповідно до інформаційної структури АСК ТП.

Інформаційна структура АСК ТП

Інформаційна структура визначається функціональним призначенням АСК ТП і характером зв'язків між інформаційно-вимірювальною і керуючою підсистемами які вирішують загальну задачу керування об'єктом (ОК), і подана на рис. 2.11.

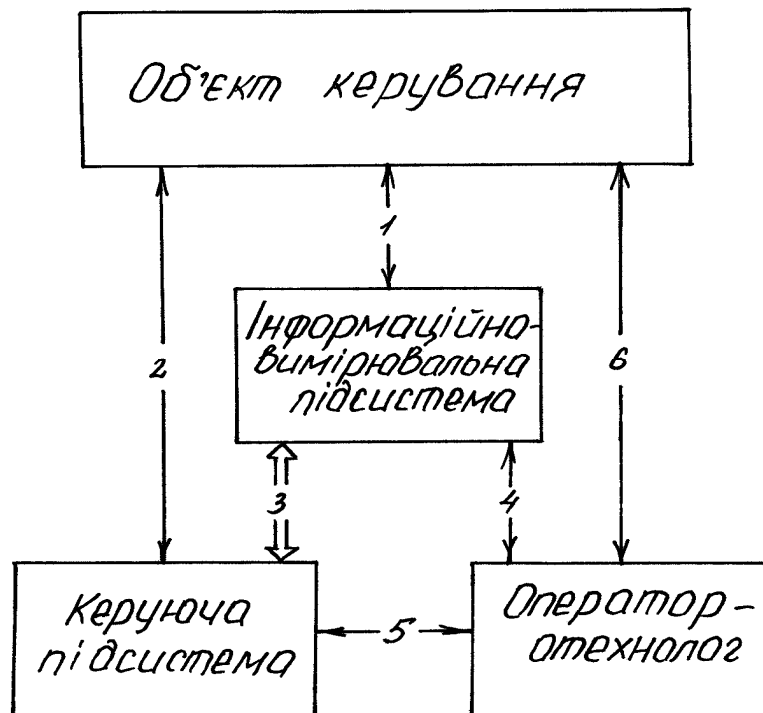


Рис. 2.11 - Інформаційна структура АСК ТП. Потоки інформації в автоматичному режимі: 1 - аналогові сигнали про значення відповідних параметрів; 2 - аналогові сигнали керуючих впливів; 3 - сигнали в цифровому кодї для взаємодії поміж відповідним устаткуванням інформаційно-вимірювальної і керуючої підсистеми; в діалоговому режимі: 4,5 - інформація для взаємообміну поміж оператором-технологом і відповідним устаткуванням інформаційно-вимірювальної і керуючої підсистем; в ручному режимі: 6 - взаємодія оператора-технолога безпосередньо з об'єктом керування

Інформаційно-вимірювальна підсистема в автоматичному режимі збирає дані про значення параметрів технологічного процесу об'єкта керування за допомогою відповідних первинних (ПП) і/або передавальних (ПрП) перетворювачів. Отримані дані відповідним устаткуванням цієї під-

системи МПК проходять первинну обробку (фільтрування сигналів, лінеаризація характеристик ПП і ПрП, "офізичення" сигналів, тобто перетворення сигналів у значення параметрів у фізичних одиницях виміру: °С, Па, м³/г тощо), а потім поступають в цифровому кодї на відповідне устаткування керуючої підсистеми. Керуюча підсистема виконує відповідні функції, керуючі впливи надходять на виконавчі механізми об'єкта керування. Оператор-технолог в діалоговому режимі може спілкуватися з відповідним устаткуванням інформаційно-вимірювальної і керуючої підсистеми, а в ручному режимі - безпосередньо з об'єктом керування.

Контрольні запитання до розділу 2

1. Назвіть основні технічні вимоги до АСК ТП.
2. Наведіть короткі визначення головних компонентів АСК ТП.
3. Що являє собою процес функціонування АСК ТП?
4. Що розуміють під організаційним забезпеченням (ОЗ) АСК ТП?
5. Які загальні вимоги до ОЗ АСК ТП Вам відомі?
6. Назвіть склад оперативного персоналу АСК ТП і його основні задачі.
7. Що розуміють під оптимальною взаємодією "людина-машина"?
8. Наведіть визначення організаційної структури АСК ТП.
9. Що розуміють під технічним забезпеченням (ТЗ) АСК ТП?
10. Наведіть визначення технічної структури АСК ТП.
11. Що розуміють під "типізацією" і "уніфікацією"?
12. Нарисуйте типову технічну структуру централізованої АСК ТП з супервізорним режимом керування параметрами технологічного процесу.
13. Які завдання виконує централізована АСК ТП, зазначена в попередньому запитанні?
14. Нарисуйте типову технічну структуру централізованої АСК ТП з безпосереднім цифровим режимом керування параметрами технологічного процесу.

15. Назвіть позитивні сторони і недоліки централізованої АСК ТП з безпосереднім цифровим режимом керування.
16. Нарисуйте типову технічну структуру децентралізованої АСК ТП з зіркоподібною топологією взаємодії підсистем.
17. Чому типова технічна структура децентралізованої АСК ТП з зіркоподібною топологією взаємодії підсистем дворівнева?
18. Нарисуйте типову технічну структуру децентралізованої АСК ТП з кільцевою топологією взаємодії підсистем.
19. Назвіть позитивні сторони і недоліки децентралізованої АСК ТП з кільцевою топологією взаємодії підсистем.
20. Нарисуйте типову технічну структуру децентралізованої АСК ТП з загальною шинною топологією взаємодії підсистем.
21. Чому технічні структури із загальною шиною знайшли широке застосування в ПЕОМ і МПК?
22. Наведіть визначення математичного забезпечення АСК ТП.
23. Що розуміють під термінами "м'який товар" і "твердий товар"?
24. Що включає математичне формулювання задачі оптимального керування?
25. Що являє собою математична модель об'єкта керування і як її використовують для керування об'єктом?
26. Наведіть визначення алгоритму керування.
27. Що розуміють під алгоритмічною структурою задачі?
28. Наведіть умовні графічні зображення блоків (модулів) блок-схеми алгоритму і перехід виконання дій із одного блока до іншого.
29. Наведіть визначення програмного забезпечення АСК ТП.
30. Що розуміють під "програмою"? Назвіть три характерні особливості програм.
31. Нарисуйте спрощену функціональну схему МПК і поясніть взаємодію її частин.
32. Які програми називають функціональними?
33. Що розуміють під терміном "дані"?

- 34.Визначить взаємодію "програм", "команд" і "даних".
- 35.Назвіть призначення "устаткування виконання програм".
- 36.Нарисуйте спрощену схему програмного забезпечення АСК ТП.
- 37.Назвіть призначення блоків "керування програмою" і "керування даними" із спрощеної схеми програмного забезпечення.
- 38.Назвіть призначення блоку "програма зв'язку оператора-технолога" із другими блоками із спрощеної схеми програмного забезпечення АСК ТП.
- 39.Наведіть визначення "загального програмного забезпечення АСК ТП".
Які програми відносять до нього?
- 40.Наведіть визначення "спеціального програмного забезпечення АСК ТП".
- 41.Що розуміють під структуруванням програм?
- 42.Наведіть визначення інформаційного забезпечення АСК ТП.
- 43.Які документи треба випустити при розробці інформаційного забезпечення АСК ТП?
- 44.Який критерій прийнятий при розробці систем класифікації і кодування інформації?
- 45.Наведіть приклад шифру вимірювального параметра для температури гарячої води на виході одноступеневого водонагрівача.
- 46.Які дані містить опис масивів інформації?
- 47.Чим визначається інформаційна структура? Назвіть блоки цієї структури.
- 48.Назвіть призначення інформаційно-вимірювальної і керуючої підсистем інформаційної структури АСК ТП.

3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ І РЕАЛІЗАЦІЇ АСК ТП

3.1. Системний принцип створення АСК ТП.

Поняття "складні системи"

Розробка і впровадження АСК ТП, які дають максимальний економічний ефект, можливі тільки за системного підходу до вирішення задач автоматизованого керування технологічними процесами. З урахуванням сказаного в попередніх розділах АСК ТП можна віднести до "складних систем" [1, 3, 6, 8, 11], яким притаманні наступні п'ять характерних відмінностей:

наявність підсистем, кожна з яких має свою ціль функціонування, яка, в свою чергу, підпорядкована загальній цілі функціонування АСК ТП;

наявність ієрархічної (багаторівневої) структури системи керування з великим числом зв'язків між підсистемами;

наявність елементів самоорганізації, які визначають поведінку підсистем керування залежно від зміни зовнішніх умов;

наявність в АСК ТП відносно великої номенклатури технічних засобів, які розрізняються за принципом дії і роллю, яку вони виконують у системі;

участь оперативного персоналу в процесі керування технологічними процесами.

При створенні АСК ТП повинні використовуватись найбільш досконалі методи синтезу і оптимізації з урахуванням якості процесу функціонування, надійності, технологічності, взаємозамінності й сумісності.

Сучасна наука надає єдиний комплекс понять про уявлення складних систем і основні ідеї їх створення, але в той же час - ще не містить всіх необхідних методів вирішення задач, які пов'язані з керуванням технологічними процесами, напр., ефективних математичних методів вирішення цілого ряду задач тощо. Крім того навіть сучасні технічні засоби АСК ТП

мають недоліки. Все це не дозволяє сьогодні створювати автоматичні системи керування технологічними процесами і виключити людину з процесу керування, тому нами розглядаються автоматизовані системи керування технологічними процесами.

З урахуванням наведеного системний принцип являє собою методологію дослідження, проектування і впровадження АСК ТП. За системного принципу враховують усі види взаємозв'язків і взаємозалежностей елементів системи і збурюючі впливи на кожний з них. Розглядаючи технологічний процес і систему керування ним як сукупність елементів в певному взаємозв'язку, отримують всілякі структури АСК ТП, які залежно від характеру цілей відрізняють технічну (див. підрозділ 2.3), алгоритмічну (див. підрозділ 2.4), інформаційну (див. підрозділ 2.6) і функціональну структуру АСК ТП. Перші три структури були розглянуті в попередніх підрозділах, а функціональну структуру розглянемо далі.

Проблема синтезу будь-якої із структур АСК ТП являє собою складне науково-дослідницьке завдання. Існує велика кількість методів синтезу конкретної структури АСК ТП, таких як логічний, послідовного аналізу, гілок і меж, градієнта, випадкового пошуку та ін. Деякі з них розглянуті в розділі 8. Вибір відповідного методу залежить від структури об'єкта керування (технологічного процесу), характеру цілей системи, рівня затрат на її створення та ін.

3.2. Функціональна структура АСК ТП

Функціональну структуру АСК ТП визначають класом цілей керування, для досягнення яких призначена система. У цілому АСК ТП призначена для досягнення однієї глобальної цілі керування - провадження технологічного процесу на оптимальному рівні. П'ятирівнева функціональна система АСК ТП (рис. 3.1) знаходиться в ієрархічній залежності.

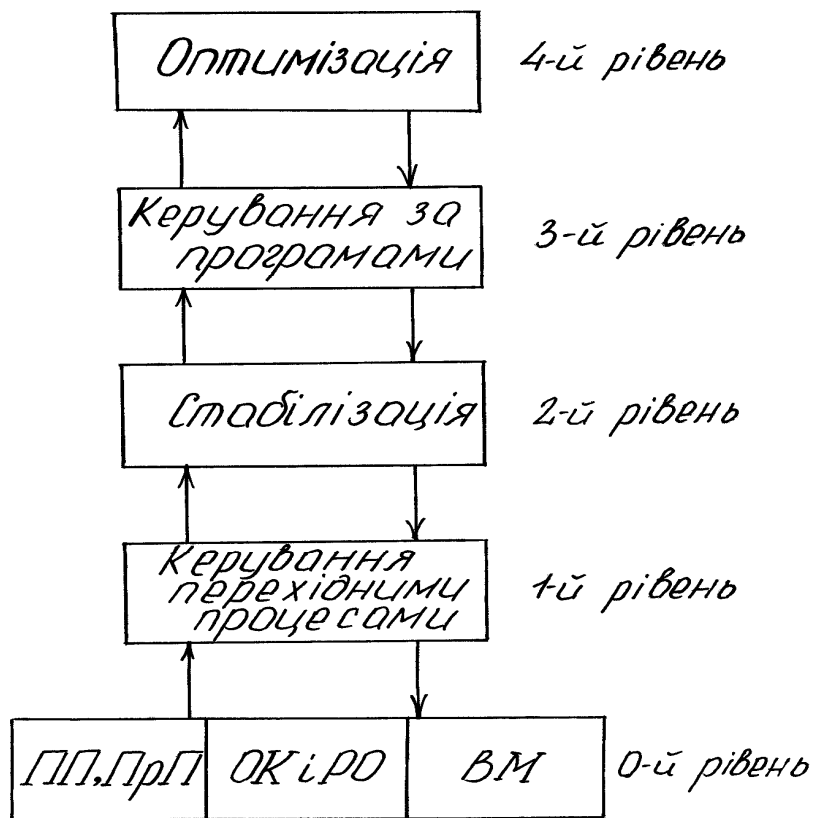


Рис. 3.1 - П'ятирівнева функціональна система АСК ТП. Обладнання: ПП і ПрП - первинні й передавальні перетворювачі сигналів; ВМ - виконавчі механізми; ОК і РО - об'єкт керування і регулюючі органи

Ієрархія організована за класичним принципом: нижні рівні можуть функціонувати самостійно, але в цілому ефективність керування при використанні тільки нижче розташованих рівнів менша, чим при використанні більшого числа рівнів, а тим більше - всіх п'яти. Нульовий рівень умовно складається з об'єкта керування (технологічних процесів ОК) разом з первинними (ПП) і передавальними (ПрП) перетворювачами сигналів про значення автоматично контрольованих параметрів, та виконавчими механізмами (ВМ), які механічно з'єднані з регулюючими органами. На першому рівні знаходиться типова підсистема автоматизованого керування перехідними процесами об'єкта керування, в тому числі пуском, зупинкою обладнання. На другому рівні знаходиться типова підсистема автоматичного керування усталеними перехідними процесами, тобто стабілізація цих процесів. Оскільки для багатьох ОК неможливо досягти повної автоматизації при керуванні сталими і перехідними процесами, на першому і другому

рівнях активну участь в керуванні приймають оператори-технологи. Призначення третього рівня полягає в зміні номінальних значень параметрів технологічних процесів і стану обладнання в відповідності із заданими критеріями керування, що виконує підсистема керування за програмами. На четвертому рівні знаходиться підсистема пошуку оптимальних значень параметрів технологічного процесу відповідно до заданої глобальної функції цілі, тобто оптимізація об'єкта керування. Таким чином, функціональна структура АСК ТП складається з п'яти рівнів, які знаходяться в ієрархічній залежності, при цьому контроль за роботою нижчерозташованих рівнів виконують відповідні вищерозташовані рівні, а керуючі впливи, які надходять від них, є обов'язковими для виконання нижчерозташованими рівнями.

Із аналізу технічної (див. підрозділ 2.3), алгоритмічної (див. підрозділ 2.4), інформаційної (див. підрозділ 2.6) і функціональної структур АСК ТП видно, що функціональна і технічна, з одного боку, а інформаційна і алгоритмічна - з другого боку не є тотожними, а зображують різні аспекти однієї і тієї ж системи. Наприклад, якщо схема функціональної структури відображає склад і порядок виконання функцій АСК ТП, то в схемі технічної структури умовно зображені технічні засоби, за допомогою яких реалізують ці функції.

Наведені структури АСК ТП залежать також від структури відповідного об'єкта керування, для якого необхідно визначити його модель. Питанням моделювання об'єктів керування присвячений наступний підрозділ.

3.3. Фізичне і математичне моделювання об'єктів керування

Для сучасних об'єктів керування характерні: багатofакторність, наявність на входах і виходах неконтрольованих параметрів, зміна характеристик основних збурюючих впливів у широкому діапазоні, складні залежності між параметрами, відсутність повної теоретичної моделі, значні запізнювання по основних каналах керування, розподіленість параметрів тощо.

Все це ускладнює як сам процес визначення моделі, так і її адекватність реальному об'єкту керування. Моделі об'єктів керування можна спрощено поділити на два великих класи (рис. 3.2): фізичні й математичні.

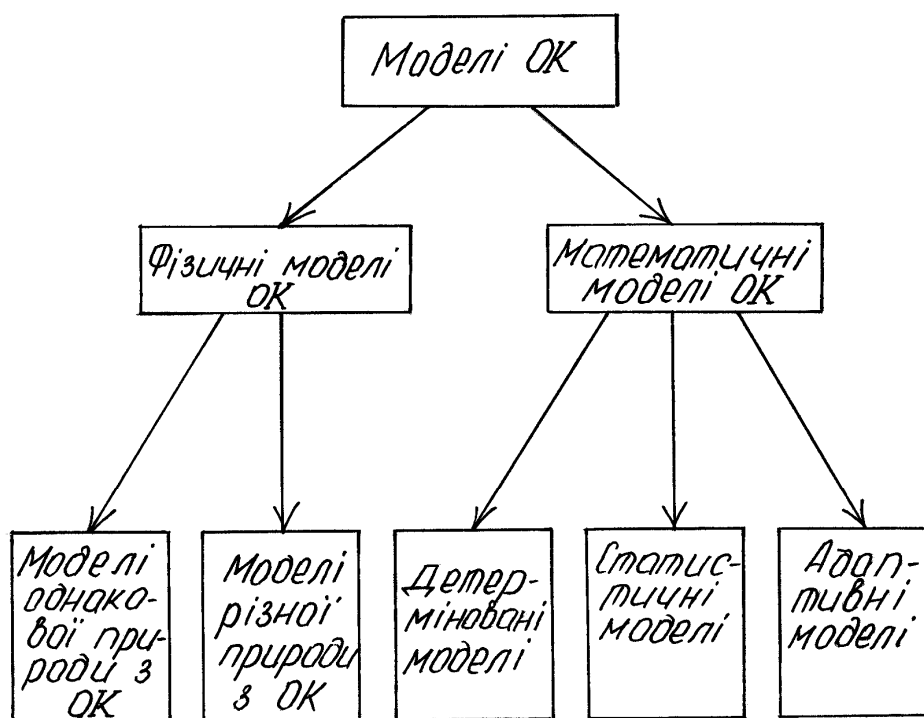


Рис. 3.2 - Спрощена класифікація моделей об'єктів керування (ОК)

Фізична модель ОК - це модель, в якій фізичні процеси, що відбуваються в ній, ідентичні процесам в ОК, а тому математичні залежності, що їх описують, аналогічні. Фізичні моделі ОК, в свою чергу, поділяють на дві категорії:

а) модель однакової природи з ОК, тобто модель відрізняється від ОК тільки кількісними показниками - геометричними розмірами, діапазоном зміни параметрів, які характеризують ОК. Така фізична модель дозволяє вивчити фізичну сутність ОК, його перехідні процеси, граничні умови, уточнити розрахункові формули й основні теоретичні положення;

б) модель різної природи з ОК, тобто побудова такої фізичної моделі заснована на подібності математичних рівнянь, які описують фізичні процеси в ОК і цій моделі. Такі моделі краще можна реалізувати на аналогових обчислювальних машинах [12], для цього потрібно мати передаточні функції [2] окремих ланок ОК.

Математична модель ОК - це модель, яка не потребує фізичної реалізації, а зводиться до чисто математичної задачі пошуку екстремуму функціонала заданого виду. Залежно від виду цього функціоналу екстремум знаходиться або чисто математичним шляхом, або за допомогою деяких обчислювальних процедур. Математичні моделі ОК поділяють на три категорії:

а) детермінована модель - це така модель, опис якої дається у вигляді функціональної залежності між вхідними і вихідними параметрами ОК. Детермінована математична модель повинна відповідати фізичному процесу, його цілям і обмеженням;

б) статистична модель визначається набором статистичних параметрів і функцій розподілу ймовірностей. Статистична математична модель має більш формальний характер, ніж детермінована модель, тобто відображає ОК, відвертаючись від його конкретних фізичних властивостей;

в) адаптивна модель - це модель, яка припускає поточне визначення характеристик ОК при його нормальному функціонуванні, а отримані оцінки використовують для поліпшення самої адаптивної моделі ОК.

Таким чином, проблема математичного опису ОК зводиться до проблеми отримання інформації про стан керованого ОК, оцінювання його параметрів і характеристик, інакше цю проблему називають ідентифікацією ОК.

3.4. Ідентифікація об'єктів керування

Існує декілька підходів до вирішення задачі ідентифікації ОК. При цьому підходи настільки різні, що виникає необхідність в зіставленні й аналізі основних принципів та існуючих методів ідентифікації ОК. Виділяють два підходи до вирішення задачі ідентифікації:

а) фізико-математичний аналіз явищ, які обумовлюють динаміку технологічних процесів ОК;

б) експериментальна ідентифікація, при якій основну інформацію про ОК одержують шляхом безпосереднього вимірювання відповідних параметрів, зважаючи на складність і різноманітність ОК. Методи ідентифікації за фізико-математичним аналізом часто виявляються малоефективними.

Найбільш прийнятими у виробничих умовах є експериментальні методи ідентифікації, які не виключають можливості використання апріорної ("до досвіду") інформації про властивість досліджуваного ОК. Залежно від наявності апріорної інформації про параметри технологічних процесів ОК методи визначення їх характеристик поділяють на дві групи:

а) методи визначення структури і параметрів математичної моделі технологічних процесів ОК;

б) методи визначення параметрів математичної моделі технологічних процесів ОК при заданій або визначеній її структурі.

У першому випадку мають справу з так званою "чорною" або непрозорою "скринькою", а в другому - із "сірою" або напівпрозорою "скринькою". Наявність будь-яких відомостей про структуру моделі ОК або вибір достатньо загальної структури моделі в якості допустимої істотно прискорює процес ідентифікації ОК.

Різні аспекти експериментальної ідентифікації ОК вивчені досить докладно. Різноманітність методів вирішення цієї проблеми обумовлено, з одного боку, особливостями постановки задачі, а з другого - відмінністю (неоднаковістю) властивостей досліджуваного ОК. Тому придатність того чи іншого методу ідентифікації ОК визначається такими його особливостями, як: лінійність або нелінійність характеристик; дискретність або неперервність; ступінь вираженості динамічних властивостей, рівень випадкових перешкод, можливість уведення (впровадження) штучних впливів, тощо.

За виглядом математичні моделі ОК поділяють на статичні (3.1) й динамічні(3.2):

$$y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n; \quad (3.1)$$

$$y(t) = a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) + \dots + a_n x_n(t). \quad (3.2)$$

де y - вихідний сигнал (параметр) ОК;

$x_i (i = \overline{1, n})$ - вхідні сигнали (параметри) ОК;

$a_i (i = \overline{1, n})$ - коефіцієнти при відповідних вхідних сигналах (параметрах);

t - часові зміни (характеристики) вхідного і вихідних сигналів (параметрів).

Причинами, що зумовлюють складність вирішення задачі ідентифікації ОК, можуть бути труднощі здійснення експериментальних досліджень в реальних умовах протікання технологічних процесів ОК, їх складність, відсутність необхідних для конкретного ОК методів дослідження, обчислювальні труднощі при обробці отриманих експериментальних даних, тощо.

За способами накопичення експериментальних даних методи ідентифікації поділяють на активні й пасивні.

Активний експеримент базується на впровадженні в ОК штучного збурення різного виду, як детермінованих, так і випадкових. На сьогодні розроблені відповідні методики проведення активних планів експериментів при детермінованих зондуючих сигналах, які дозволяють швидко розкривати потрібні ефекти, цілеспрямовано наближатися до зони найкращого технологічного режиму, отримувати математичні моделі ОК, які адекватні результатам, одержаним при експерименті. При активному експерименті впроваджують типові збурення [2]: одиничний кидок навантаження (одиничне збурення), одиничний імпульс, гармонічні одиничні коливання, і т.п.

Пасивний експеримент передбачає реєстрацію автоматично контрольованих параметрів в режимі нормальної роботи ОК без впровадження штучного збурення. Цей спосіб подовжує час експерименту, але він має виправдання, особливо для ОК, на які з різних причин неможливо впрова-

джувати штучне збурення. Додаткова перевага цього методу - можливість використання інформації про попередні значення параметрів ОК.

Пасивні методи ідентифікації можна поділити на дві групи:

неітераційні методи - до них належать метод найменших квадратів (МНК), метод кореляційного аналізу;

ітераційні методи - до них належать метод поточного регресійного аналізу, метод стохастичної апроксимації (адаптації).

За результатами пасивних експериментів отримують математичний опис реального ОК різних видів. Проте використання в АСК ТП надто складних математичних моделей позбавляє їх гнучкості й універсальності, перешкоджає їх застосуванню, вимагає використання понадшвидкодуючих технічних засобів з великою ємкістю блоків пам'яті. Тому вибір математичної моделі того чи іншого класу обумовлюється не тільки апріорними даними про структуру досліджуваного ОК і режим його функціонування, але також потрібним ступенем точності (відповідності) математичної моделі реальному ОК і складності реалізації отриманого рішення. Найбільш сповна розроблені методи ідентифікації лінійних ОК. Оскільки більшість технологічних процесів інженерних систем міського господарства з великою ймовірністю можна віднести до лінійних ОК, тому для їх ідентифікації доцільно використовувати лінійні математичні моделі як статичні (див. 3.1), так і динамічні (див. 3.2). Для реалізації цих моделей доцільно використовувати мікропроцесорні контролери типу КР-300.

Контрольні запитання до розділу 3

1. Назвіть п'ять характерних відмінностей "складних систем".
2. Що являє собою системний підхід до вирішення задач автоматизованого керування технологічними процесами?
3. Наведіть визначення функціональної структури АСК ТП як п'ятирівневої ієрархічної схеми.

4. Назвіть призначення кожного з п'яти рівнів функціональної структури АСК ТП.
5. Що являє собою фізична модель ОК і її дві категорії?
6. Що являє собою математична модель ОК?
7. Наведіть визначення детермінованої математичної моделі.
8. Наведіть визначення статистичної математичної моделі.
9. Наведіть визначення адаптивної математичної моделі.
- 10.Що називають ідентифікацією ОК?
- 11.Що розуміють під "чорною" (непрозорою) "скринькою"?
- 12.Що розуміють під "сірою" (напівпрозорою) "скринькою"?
- 13.Який вигляд мають статичні й динамічні математичні моделі?
- 14.Назвіть визначення активного експерименту.
- 15.Назвіть визначення пасивного експерименту.

4. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ КОНТРОЛЕР КР-300

4.1. Призначення і коротка характеристика контролера

Мікропроцесорний контролер (МПК) КР-300 - це компактний багатоканальний, високонадійний, багатофункціональний, високопродуктивний мікропроцесорний контролер. Його використовують для автоматичного керування параметрами технологічних процесів при значних динамічних межах їх зміни. МПК КР-300 ефективно вирішує як прості, так і складні задачі керування.

МПК КР-300 призначений для реалізації наступних задач:

автоматичний збір інформації з первинних (ПП) або передавальних (ПрП) перетворювачів сигналів різних типів і її первинна обробка (фільтрування сигналів, лінеаризація характеристик ПП і ПрП, "офізичення" сигналів, тобто перетворення сигналів у значення параметрів у фізичних одиницях виміру: °С, Па, м³/г, м та ін.), тощо;

розрахунок і видача керуючих впливів на виконавчі механізми різних типів;

контроль параметрів технологічних процесів за межами допустимих значень;

автоматичний захист технологічного обладнання;

керування прямими й побічними параметрами за відповідними законами;

логічне і програмно-логічне керування технологічними агрегатами;

автоматичний пуск і зупинка технологічного обладнання;

математична обробка інформації за різними алгоритмами, в тому числі для таймерів і лічильників;

реєстрування і архівування значень параметрів технологічних процесів;

технічний облік спожитих матеріальних і енергетичних потоків;

обмін даними з іншими мікропроцесорними контролерами в реальному часі;

обслуговування технолога-оператора, прийом і виконання його команд;

аварійна, попереджувальна і робоча сигналізація;

індикація значень прямих і побічних параметрів та видача значень параметрів і різних повідомлень на пульт МПК і/або в ПЕОМ;

обслуговування технічного персоналу при наладці, програмуванні, ремонті, перевірці технічного стану;

самоконтроль і діагностика всіх пристроїв МПК в неперервному і періодичному режимах;

вивід інформації про технічний стан МПК обслуговуючому персоналу.

Вирішення цих завдань підтримується апаратними, програмними і мовними засобами МПК КР-300. Програмування контролера здійснюється за допомогою технологічних мов, що не передбачають залучення професійних програмувальників для розробки технологічних програм, - мови Функціональних Алгоритмічних Блоків - ФАБЛ та процедурної мови високого рівня ПРОцедурний ТЕКСТ - ПРОТЕКСТ. Процес програмування на мові ФАБЛ зводиться до об'єднання в систему конфігурації потрібних алгоритмів, що записані в постійній пам'яті МПК, а на мові ПРОТЕКСТ - до запису умов, що містять алгебраїчні або логічні вирази. Створена таким чином програма записується в енергозахищену флешпам'ять із електричним записом та стиранням.

Грамматика мови ФАБЛ має такі кількісні характеристики:

максимальна кількість алгоритмів - 255;

максимальна кількість функцій одного алгоритму - 255;

максимальна кількість виходів-входів одного алгоритму - 127;

максимальна кількість алгоритмічних блоків - 999.

При розміщенні алгоритмів в алгоритмічних блоках (алгоблоках) діють два правила: будь-який алгоритм можна розміщувати влюбий (за номером) алгоблок; один алгоритм можна розміщувати в різні алгоблоки, тобто використовувати багаторазово (більш детально див. підрозділ 4.3).

МПК КР-300 можна об'єднувати в локальну керуючу систему "МАГІСТР" з конфігурацією "загальна шина" і настроюваною користувачем швидкістю передачі даних. Для такого об'єднання ніякого додаткового устаткування не потрібно. Через мережу "МАГІСТР", контролери можуть обмінюватись інформацією в цифровій формі по коаксіальному кабелю.

Продуктивність мережі забезпечує обмін даними в реальному часі і дозволяє розглядати контролери мережі як єдину розподілену в просторі систему.

МПК КР-300 містить чотири функціональні підсистеми, які піддержуються технологічними мовами програмування (ФАБЛ і ПРОТЕКСТ) і режимами роботи пульта контролера - регулюючу, логічну, групового контролю і керування, програмуючу. Перші три підсистеми піддержуються обома технологічними мовами, а остання - тільки мовою ПРОТЕКСТ. Функції усіх підсистем виконуються паралельно, але пульт контролера в кожний момент часу може взаємодіяти тільки з однією підсистемою, яку визначив оператор.

Регулююча підсистема МПК КР-300 дозволяє виконувати локальне, каскадне, програмне, супервізорне, багатозв'язане керування. Архітектура цієї підсистеми забезпечує можливість вручну або автоматично включати, відключати, переключати, реконфігурувати контури керування, причому всі ці операції виконуються безударно незалежно від складності структури керування. У поєднанні з обробкою аналогових сигналів ця підсистема дозволяє виконувати також логічні перетворення сигналів і не тільки аналогові або імпульсні, але і дискретні команди керування. Регулююча підсистема має наступні характеристики:

- максимальна кількість незалежних контурів керування - 32;
- вид регулятора кожного контуру - аналоговий, імпульсний;
- режим роботи кожного контуру - локальний, каскадний, дистанційний, ручний;

вид завдання кожного контура - ручний, програмний, зовнішній (супервізорний);

закон керування кожного контура - П, ПІ, ПД, ПІД [2];

параметри, які контролюють в кожному контурі - завдання, вхід, розподілення, вихід, два значення будь-яких параметрів або 48-розрядових масивів дискретних сигналів, похибки контуру;

параметри ручного задатчика: спосіб задання - "більше-менше"; час зміни на 100% - 22с; вид балансування - динамічне, статичне;

параметри програмного задатчика: максимальна кількість програм одного контуру(при умові, що загальне число алгоблоків не перевищує 256) - 40; максимальна кількість ділянок однієї програми - 47; виконання програми - одноразове, багаторазове, циклічне; максимальне число багаторазового повторення програми - 8191; команди керування програмою - "вибір програми", "пуск", "стоп", "скид", "перехід до наступної ділянки"; стан програми - "пуск", "стоп", "скид", "кінець програми"; контролюючі параметри - номер програми, номер повторення, номер ділянки, час до закінчення ділянки, стан програми;

керування виходом: спосіб керування у ручному режимі - "більше-менше"; час зміни аналогового сигналу в ручному режимі - 22с, дозволяюча здатність контролю положення виконавчого механізму за цифровим індикатором - 0,025%, те саме - за шкальним світлодіодним індикатором - 5%.

Ручне керування контурами здійснюється за допомогою 12 клавіш, 2 шестирозрядних цифрових індикаторів і набору світлодіодів, які дозволяють: змінювати режими, встановлювати завдання, керувати виконавчими механізмами, контролювати сигнали, індичіювати аварійні ситуації. Засоби оперативного керування при програмному керуванні дозволяють: вибирати потрібну програму; виконувати "пуск", "стоп" і "скид" програми; переходити до наступної ланки програми; контролювати хід виконання програми.

Логічна підсистема МПК КР-300 формує логічну програму крокового керування з аналізом умов виконання кожного кроку, завданням конт-

рольного часу на кожному кроці і умовним або безумовним переходом програми до заданого кроку. В поєднанні з обробкою дискретних сигналів ця підсистема дозволяє виконувати також різнобічні функціональні перетворення аналогових сигналів, виробляти не тільки дискретні, але і аналогові керуючі сигнали. Логічна підсистема має наступні характеристики:

максимальна кількість незалежних одночасно виконуваних програм - 32;
максимальна кількість етапів (при умові, що загальне число алгоблоків не перевищує 256) - 89;

максимальна кількість кроків на кожному етапі - 20;

виконання програми - одноразове, багаторазове, циклічне;

максимальне число багаторазового повторення програми - 8191;

конфігурація програми - лінійна (послідовно крок за кроком), із розгалуженням за умовами;

команди керування - "пуск", "стоп", "скид", "вибір початкових етапу і кроку", "включення і відключення виходу вручну", "пуск одного кроку";

стан програми - "пуск", "стоп", "скид", "пуск одного кроку", "чекання", "кінець програми";

контролюючі параметри однієї програми - номер програми, номер повторення, номер етапу, номер кроку, час до закінчення контрольного терміну, стан програми, значення шести будь-яких сигналів або 48-розрядних масивів дискретних сигналів, похибки програми.

Логічна підсистема забезпечує оперативне керування кроковими програмами за допомогою 12 клавіш, 2 шестирозрядних цифрових індикаторів і набору світлодіодів, які дозволяють: виконувати програму в автоматичному або кроковому режимах; виконувати "пуск", "стоп", "скид" програми; в ручному режимі включати або виключати виконавчі механізми; контролювати хід виконання програми.

Підсистема групового контролю і керування МПК КР-300 здійснює інформаційний контроль і ручне керування великою кількістю аналогових і дискретних сигналів У поєднанні з можливостями контролерів з обміну

даними через контролерну мережу ця підсистема забезпечує роботу контролера в якості диспетчера контролерної мережі, який здійснює збір, контроль і зміну даних інших контролерів. Наведені три підсистеми контролера містять вбудовані програмні засоби взаємодії з пультом контролера, які забезпечують його роботу в стандартних режимах, що описані в інструкції по експлуатації. Ці програмні засоби дозволяють вручну змінювати режим роботи, встановлювати завдання, керувати ходом виконання програми, вручну керувати виконавчими пристроями, контролювати сигнали і індикувати помилки. Підсистема групового контролю і керування має такі характеристики:

максимальна кількість груп сигналів, які контролюють за вибором -7;

максимальна кількість сигналів у групі - 32;

загальна максимальна кількість сигналів, які контролюють за вибором - 224;

виконуючі функції - контроль за цифровим індикатором сигналів будь-якого виду, автоматичний або ручний (за допомогою пульта) режим керування сигналами.

Ця підсистема забезпечує інформаційний контроль і ручне керування великою кількістю аналогових і дискретних сигналів за допомогою 12 клавіш, 2 шестирозрядних цифрових індикаторів і набору світлодіодів.

Програмуюча підсистема забезпечує взаємодії з пультом на більш низькому рівні - клавіш, світлодіодів, цифрових індикаторів, що дозволяє програмувати роботу пульта за допомогою мови ПРОТЕКСТ і створювати нестандартні, в тому числі об'єктноорієнтовані режими роботи пульта. В цьому випадку інструкція з оперативного керування контролером створюється розробником технологічної програми. У цій підсистемі реалізовані наступні функції:

арифметичні операції і операції відношення над цілими (короткими, стандартними і довгими) і дійсними числами в стандартній мові С1;

логічні операції над дискретними значеннями даних і логічними кодами;

операції перетворення типів даних;
використання всіх алгоритмів мови ФАБЛ як вбудованих функцій;
технологічне програмування пульта контролера (читання клавіатури, програмне керування індикаторами).

МПК КР-300 може виконувати свої функції як в приладному, так і в календарному часі, як у приладних, так і у фізичних розмірностях параметрів технологічних процесів. Окрім класичних задач керування і логічного керування контролер може виконувати функції реєстрації параметрів в оперативній пам'яті і архівації параметрів на твердотільному флеш-диску в календарному часі з наступною видачею цих параметрів на ПЕОМ.

Стандартні аналогові і дискретні первинні і передавальні перетворювачі сигналів і виконавчі механізми підключаються до МПК КР-300 за допомогою індивідуальних кабельних зв'язків. У середині контролера сигнали оброблюються у цифровій формі. Вбудована батарея живлення забезпечує зберігання оперативних даних і роботу таймера-календаря при відсутності живлення на протязі 168 годин. Напруга живлення МПК КР-300 $220\text{В}_{-15\%}^{+10\%}$ при частоті 50 Гц.

4.2. Склад, структурна схема МПК КР-300 і технічні характеристики основних блоків

МПК КР-300 являє собою комплекс технічних засобів, до складу якого входять: центральний мікропроцесорний блок контролера, чотири блоки пристроїв зв'язку з об'єктом керування, комплект блоків підсилювачів і перемикачів сигналів, блоки розширення та перетворювачів інтерфейсів, блоки живлення, міжблочні та клемно-блочні з'єднувачі, тощо. Спрощена структурна схема МПК КР-300 представлена на рис. 4.1.

Розглянемо технічні характеристики основних блоків.

1 - Центральний мікропроцесорний блок контролера - блок контролера БК-300 веде обробку цифрової інформації, здійснює зв'язок за мережею "МАГІСТР" і з верхнім рівнем, веде відлік календарного часу, вироб-

ляє керуючі впливи, тощо. До складу блока контролера БК-300 входять: модуль процесора ПРЦ-300; пульт контролера ПК -300; системна плата СП-300 із чотирма рознімачами для підключення модулів, а також рознімачами для підключення лицевої панелі, модуля стабілізації напруги і блока живлення; модуль стабілізації напруги МСН і конструктивний кожух із розмірами 80x160x320 мм. Модуль процесора ПРЦ-300 має високі функціональні, швидкісні, складнісні і комутаційні можливості і орієнтований на вирішення різних задач автоматизації технологічних об'єктів. Він виконує наступні функції:

обробка інформації за заданими користувачем алгоритмами;

забезпечує роботу контролера в складі локальної контролерної мережі "МАГІСТР" з настроюваною користувачем швидкістю передачі даних;

зв'язок контролера з верхнім рівнем за шлюзним каналом із заданою користувачем швидкістю, що виключає необхідність застосування спеціального блоку шлюзу;

ведення календарного часу;

реєстрація параметрів технологічних процесів за принципом "чорної скриньки";

архівації параметрів технологічних процесів на твердотільному флеш-диску;

зберігання резидентного програмного забезпечення, програм користувачів, констант і коефіцієнтів, приладних і системних параметрів контролера лише в енергозахищену флеш-пам'ять з електричним записом та стиранням.

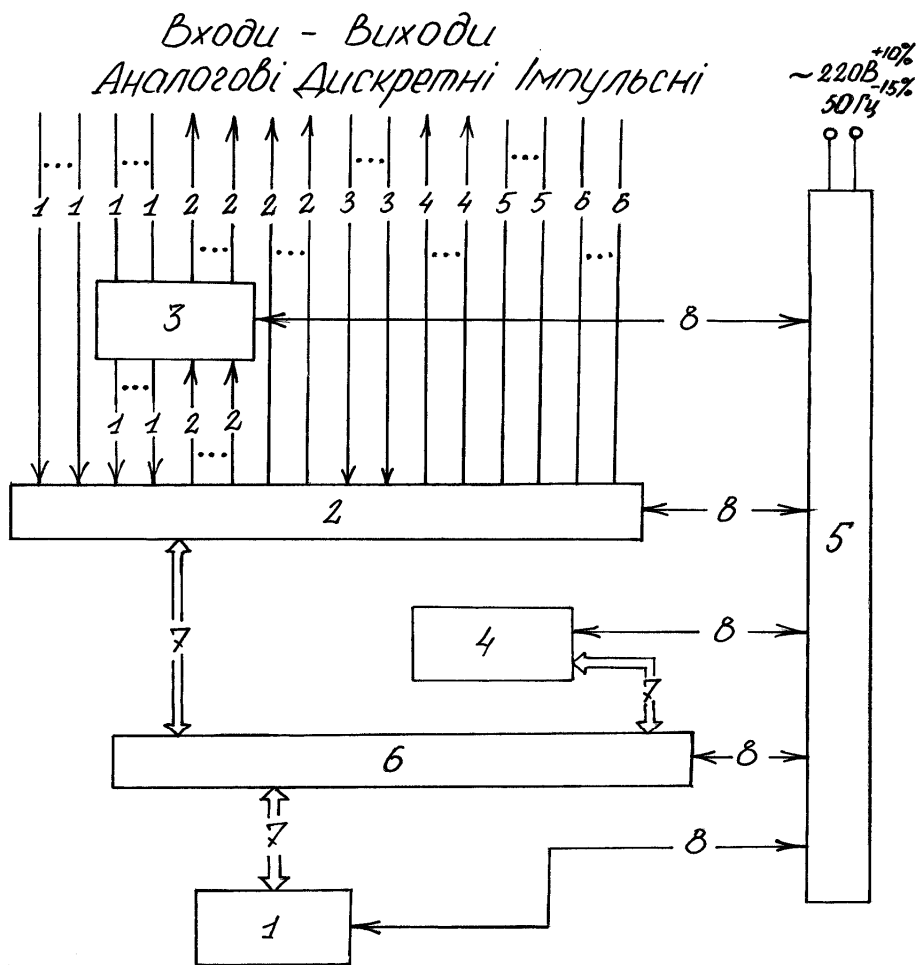


Рис. 4.1 - Обладнання: 1 - центральний мікропроцесорний блок контролера; 2 - блок пристроїв зв'язку з об'єктом керування - 4 шт.; 3 - комплект блоків підсилювачів і перемикачів сигналів; 4 - блоки розширення та перетворювачів інтерфейсів; 5 - блоки живлення; 6 - міжблочні та клемно-блочні з'єднувачі. Потоки інформації: 1 - вхідні аналогові сигнали постійного струму про значення параметрів технологічного процесу; 2 - вихідні аналогові сигнали (керуючі впливи) до виконавчих механізмів; 3 - вхідні дискретні сигнали про стан відповідного обладнання; 4 - вихідні дискретні сигнали (керуючі впливи) до виконавчих пристроїв; 5 - вхідні число-імпульсні сигнали; 6 - вихідні імпульсні сигнали (керуючі впливи) до виконавчих пристроїв; 7 - сигнали в цифровому коді поміж відповідним обладнанням; 8 - напруга живлення необхідного значення

Апаратура процесора має наступні основні технічні характеристики:

розрядність даних, що обробляється, - 8,16, 32;

продуктивність процесора - до 5 млн. операцій за секунду;

обсяг пасивної пам'яті - 512 Кб (кілобайт);

обсяг оперативної пам'яті - 256 Кб;

обсяг пам'яті твердотільного флеш-диску - 1 Мб (мегабайт);
таймер-календар з виданням року, місяця, дати, дня тижня, годин, хвилин, секунд;
тривалість циклу контролера - 0,01-0,4 секунди;
два зовнішніх асинхронних послідовних канали із швидкістю передачі даних - до 500 Кб.од;
похибка цифрової обробки - $1 \cdot 10^{-38}$;
пристрій автоматичної підзарядки акумуляторів.

Пульт контролера ПК-300 виконаний у вигляді конструктивного автономного виробу і має засоби вводу інформації - клавіатуру й засоби виводу інформації - екран, індикатори і звуковий сигнал; призначений для відладки програм і системи керування об'єктом.

На лицьовій панелі блоку контролера БК-300 розміщені органи оперативного контролю і керування контролером. Живлення блоку контролера БК-300 - напруга 220В, 24В; частота 50Гц.

2 - Блок пристроїв зв'язку з об'єктом керування - блок ПЗ з ОК - забезпечує ввід-вивід в МПК КР-300 сигналів: вхідних аналогових уніфікованих сигналів постійного струму 0-5, 0-20, або 4-20мА; вихідних аналогових уніфікованих сигналів постійного струму (керуючих впливів) - значення такі ж, як для вхідних сигналів; вхідних дискретних сигналів (при цьому відсутність сигналу "0" - 0-7В; наявність сигналу "1" - 18-30В); вихідних дискретних (керуючих впливів) - значення такі ж, як для вхідних сигналів; вхідних число-імпульсних сигналів і вихідних імпульсних сигналів - значення такі ж, як для дискретних сигналів; і призначений для збільшення числа входів-виходів контролера. Аналогові вхідні сигнали розміщують на модулях аналогових вхідних сигналів МАВ, а вихідних - аналогові сигнали (керуючі впливи) - на модулях вихідних аналогових сигналів МВА, кожний з них по 8 каналів. Аналогові вхідні сигнали за допомогою аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП) перетворюють в цифровий код, а керуючі впливи в цифровому коді за допомогою цифро-аналогових перетворю-

вачів (ЦАП) - в вихідні аналогові сигнали. Всього модулів: МАВ - 21шт; МВА - 6шт. Дискретні вхідні сигнали розміщують на модулях дискретних вхідних сигналів МДВ, а вихідні дискретні сигнали (керуючі впливи) - на модулях вихідних дискретних сигналів МВД, кожний з них по 16 каналів. Дискретні вхідні сигнали за допомогою дискретно-цифрових перетворювачів (ДЦП) перетворюють в цифровий код, а керуючі впливи в цифровому коді за допомогою цифро-дискретних перетворювачів (ЦДП) - в вихідні дискретні сигнали. Всього модулів МДВ і МВД - по 9шт. Число-імпульсні вхідні сигнали розміщують на модулях число-імпульсних сигналів МІВ, а вихідні імпульсні сигнали (керуючі впливи) - на модулях вихідних імпульсних сигналів МВІ, кожний з них по 16 каналів. Число-імпульсні вхідні сигнали за допомогою імпульсно-цифрових перетворювачів (ІЦП) перетворюють в цифровий код, а керуючі впливи в цифровому коді за допомогою цифро-імпульсних перетворювачів (ЦІП) - в вихідні імпульсні сигнали. Всього модулів: ІЦП і ЦІП - по 2шт. Всього в МПК КР-300 максимальна кількість: аналогових вхідних сигналів - 140, вихідних аналогових сигналів - 40, дискретних і число-імпульсних сигналів - 144, вихідних дискретних і число-імпульсних сигналів - 144. Окрім названих модулів до складу блока ПЗ з ОК входять: системна плата СП-300 із чотирма рознімачами для підключення чотирьох модулів контролера, а також рознімачами для підключення модуля стабілізації напруги і блока живлення, окрім того на ній розміщені генератори імпульсів 2МГц і 1КГц; модуль стабілізації напруги МСН і конструктивний кожух з розмірами 80x160x320мм (такий як у БК-300). Живлення блоку ПЗ з ОК - напруга 220В; 24В; частота 50Гц.

3 - Комплект блоків підсилювачів і перемикачів сигналів - БПТ-10, БПО-10, БПП-10, БПР-10 призначений для підсилення вхідних і вихідних сигналів, перемикання вихідних сигналів. Підсилювач БПТ-10 підсилює сигнали від термопари для перетворення їх в уніфіковані сигнали постійного струму 0-5, 0-20, 4-20мА і забезпечує компенсацію термоелектрорушійної сили вільних спаїв термопари. Підсилювач БПО-10 підсилює сиг-

нали від термоперетворювачів опору для перетворення їх в уніфіковані сигнали постійного струму 0-5, 0-20, 4-20мА і забезпечує настройку початкового значення опору і діапазон змінювання опору. Підсилювач БПП-10 підсилює потужність вихідних сигналів (керуючих впливів). Перемикач БПР-10 призначений для перемикання вихідних сигналів. Живлення комплексу цих блоків від нестабілізованої напруги 24В постійного струму.

4 - Блоки розширення та перетворювачів інтерфейсів забезпечують об'єднання декількох (до 31) МПК КР-300 в локальну керуючу мережу "МАГІСТР" з конфігурацією "загальна шина". Кожний контролер КР-300, незалежно від того включений він в мережу чи ні, може взаємодіяти із будь-яким зовнішнім абонентом (наприклад, ЕОМ верхнього рівня), який має інтерфейси RS-232 або RS-485. Контролер КР-300 має два зовнішніх послідовних порти, на яких реалізовані зовнішні інтерфейси контролери - шлюзовий канал ШК і канал маркерної мережі МК.

Канал ШК використовується для зв'язку з верхнім рівнем в режимі "ведений", резервування контролерів і має наступні характеристики: інтерфейси каналу - RS-232 /інтерфейс радіальний послідовного зв'язку/, RS-485; швидкість передачі даних - 1.2; 2.4; 4.8; 9.6; 12.2; 38.4; 57.6; 115.2Кбод, залежить від інтерфейсу і встановлюється користувачем; довжина ліній зв'язку - до 4км, залежить від інтерфейсу (для RS-232 - до 20м) і швидкості передачі даних.

Канал МК використовується для підключення до маркерної локальної мережі, резервування контролерів і має наступні характеристики: інтерфейс каналу RS-485; число контролерів в мережі - до 31; метод доступу до мережі - інтервально-маркерний; швидкість передачі даних - 38.4; 57.6; 115.2; 250; 500Кбод, встановлюється користувачем; довжина ліній зв'язку мережі - до 1,2км в залежності від швидкості передачі даних.

5 - Блоки живлення - БЖ-Ш, БЖ-4М, БЖ-1 тощо забезпечують відповідною напругою всі блоки контролера, при цьому для живлення МПК КР-300 застосовують напругу $220\text{В}_{-15\%}^{+10\%}$, частотою 50Гц. Більшість ланцю-

гів живлення підключаються через рознімачі на 9 або 23 контактів. Виключенням є підключення "під гвинт" за допомогою клем в ланцюгах живлення 220В для блоків БЖ-Ш, БЖ-4М і БЖ-1. Окрім названих типів блоків живлення в контролері КР-300 передбачені акумулятори, які забезпечують збереження його працездатності при відключенні мережі живлення до 168 годин (7 діб).

6 - Міжблочні й клемно-блочні з'єднувачі МБЗ, МБЗ-1, КБЗ-1, КБЗ-2, КБЗ-3, КБЗ-22, КБЗ-32, КБЗ-33, ШЗ забезпечують з'єднання електричних ланцюгів між відповідними блоками, приладами, шлюзами, сигналами вводу-виводу тощо. Вони, по суті, є "системними шинами", які здійснюють зв'язок різних функціональних блоків МПК КР-300.

4.3. Технологічні мови МПК КР-300

Програмування контролера, як було сказано в підрозділі 4.1, здійснюється за допомогою технологічних мов, що не передбачають залучення професійних програмувальників для розробки технологічних програм - ФАБЛ і ПРОТЕКСТ. Розглянемо більш детально ці мови.

Мова Функціональних Алгоритмічних БЛоків (ФАБЛ). Граматичною основою мови ФАБЛ є структурна схема, яка складається із елементів, що називають алгоритмічними блоками (алгоблоками), і зв'язків поміж ними. Кожний алгоблок є формальним структурним елементом, якому при програмуванні присвоюється функція шляхом розміщення в алгоблоці певного алгоритму з бібліотеки алгоритмів мови. Після цього алгоблок набуває відповідні входи і виходи, через які алгоритм отримує вхідні дані і видає вихідні. Програмування задач на мові ФАБЛ зводиться при цьому до виконання наступної послідовності процедур: розміщення в алгоблоках необхідних алгоритмів; конфігурація алгоблоків шляхом установлення зв'язків поміж входами і виходами алгоблоків, а отже, і алгоритмів. Виконання програми здійснюється шляхом послідовного виконання алгоритмів, які розміщені в алгоблоках, за порядком збільшення номерів алгоблоків, від

першого до останнього. На цьому закінчується один цикл виконання програми і розпочинається наступний і т.д. При обробці кожного алгоблоку виконуються наступні дії: завантаження вхідних значень алгоритму; обчисленні і запам'ятовування вихідних і внутрішніх значень. У загальному вигляді алгоритм має свої входи, виходи і функціональне ядро.

Входи алгоритму діляться на дві групи: сигнальні й настроєчні. Сигнали, які поступають на сигнальні входи алгоритму, оброблюються ним відповідно призначенню алгоритму, а сигнали, які поступають на настроєчні входи алгоритму, керують його параметрами настройки. Таким чином, усі параметри настройки алгоритму задаються за допомогою сигналів, які поступають на настроювальні входи алгоритму.

Сигнальні й настроювальні входи повністю "рівноправні", тобто мають однакові можливості конфігурації. На виході алгоритму формуються сигнали, які є результатом обробки алгоритмів вхідних сигналів. Число входів і виходів алгоритму не фіксовано, а визначається видом алгоритму. Наведені входи і виходи алгоритму називаються явними, тому їх можна вільно конфігурувати. У той же час деякі алгоритми мають неявні входи і виходи, а тому вони не доступні для конфігурування, оскільки мають спеціальне призначення. До них відносять алгоритми прийому і передачі даних до мережі "МАГІСТР", оперативного керування, тощо. У загальному вигляді, алгоритм має чотири реквізити (параметри): бібліотечний номер; модифікатор типу (код підалгоритму); модифікатор розміру; масштаб часу. Бібліотечний номер зображає собою трьохзначне десятинне число і є основним параметром, який характеризує властивості алгоритму або групи алгоритмів. Граматика мови ФАБЛ має кількісні характеристики, які наведені вище (див. підрозділ 4.1).

При конфігуруванні для кожного явного входу алгоритму задається джерело сигналу. Всі можливі конфігурування однакові як для сигнальних, так і для настроєчних входів. Кожний вид алгоблоку, незалежно від того, який алгоритм в ньому розміщений, може знаходитись в одному з двох

станів: зв'язаному і вільному. Вхід називають зв'язаним, якщо він з'єднаний з виходом будь-якого алгоблоку, в протилежному разі вхід називають вільним. Сигнали на вільних входах представляють в одному із трьох варіантів: у вигляді констант; у вигляді коефіцієнтів; у вигляді змінної мови ПРОТЕКСТ.

Відмінність між константами і коефіцієнтами полягає в можливості їх зміни: константи можна задавати і змінювати тільки в режимі програмування, а коефіцієнти можна задавати і змінювати не тільки в режимі програмування, а й в режимі реального часу, тобто в процесі керування технологічним процесом. Зміна мови ПРОТЕКСТ має статус коефіцієнта. Таким чином, у процесі конфігурування для кожного входу алгоблоку визначають, чи є він зв'язаним або вільним. Для зв'язаних входів, крім того, задають номер алгоблоку і номер виходу, з яким даний вхід з'єднаний, а для вільних входів задають вид сигналу: константа, коефіцієнт або змінна мови ПРОТЕКСТ, а також значення константи і коефіцієнта або номер змінної.

Зазначені конфігураційні можливості дозволяють будувати керуючі структури різноманітних конфігурацій. Так, зв'язки сигнальних входів з виходами алгоблоків і змінними мови ПРОТЕКСТ дозволяють виконувати складну алгоритмічну обробку сигналів. Аналогічний зв'язок налаштовувальних входів дозволяє виконувати автоматичну зміну любого параметру настройки (автопідстройки) засобами мов ФАБЛ або ПРОТЕКСТ. Якщо сигнальний вхід залишається вільним, на ньому можна вручну задавати будь-який фіксований сигнал. Якщо вільний налаштовувальний вхід, можна вручну задавати параметри настройки.

Обслуговування алгоблоків виконується циклічно із сталою часу циклу. Спочатку обслуговується перший алгоблок, потім другий і т.д., поки не буде обслугований останній алгоблок. Коли час в межах сталої часу циклу закінчується, програма знову переходить до обслуговування першого алгоблоку. Час одного циклу є параметром, який вибирають при програмуванні контролера. Цей час змінюється в діапазоні 0,01-0,4с з кроком 0,01с.

Час обслуговування всіх запрограмованих алгоблоків має бути не більше заданого часу циклу. Якщо після обслуговування всіх алгоблоків залишається деякий час, його використовують для самодіагностики контролера, при цьому вона може бути повністю виконана за декілька циклів, а потім розпочатися спочатку.

Мова ПРОцедурного ТЕКСТу (ПРОТЕКСТ). Алгоритмічна мова ПРОТЕКСТ є технологічною мовою високого рівня для вирішення логічних задач і задач обробки даних за алгоритмами користувача. ПРОТЕКСТ є граматичним аналогом процедурних мов СІ, ПАСКАЛЬ, але із зрізаними для контролера КР-300 можливостями і спеціальною бібліотекою вмонтованих функцій, які орієнтовані на вирішення задач автоматичних контролю і керування технологічними процесами. На рис. 4.2 показана спрощена схема перетворення інформації контролером КР-300.

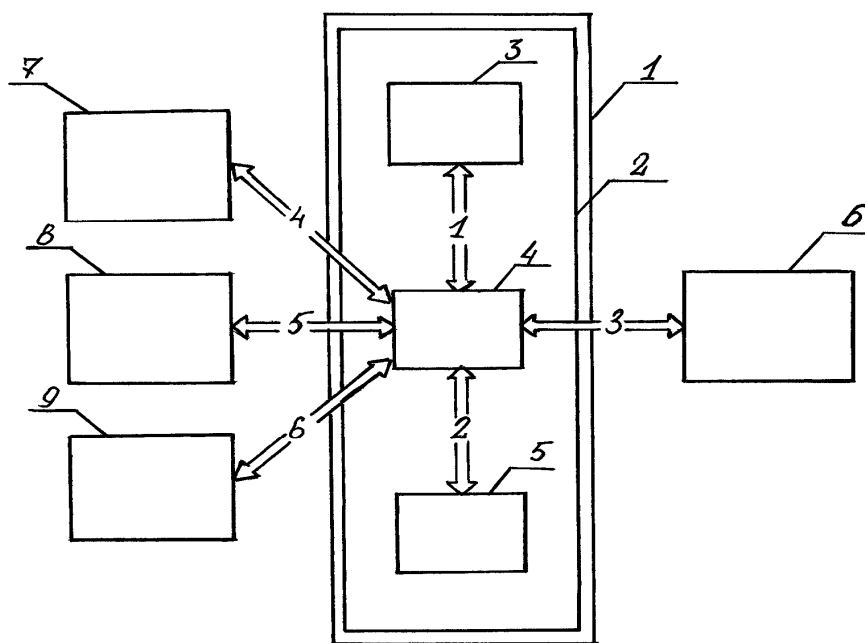


Рис. 4.2 - Модулі й програми: 1 - резидентне програмне забезпечення МПК КР-300; 2 - програмне забезпечення користувача; 3 - програми ФАБЛ; 4 - програми ПРОТЕКСТ; 5 - бібліотека алгоритмів; 6 - локальна контролерна мережа "МАГІСТР"; 7 - модулі аналогових вхідних (МВВ) і вихідних (МВВ) сигналів; 8 - модулі дискретних вхідних (МДВ) і вихідних (МВД) сигналів; 9 - пульт блоку контролера. Сигнали в цифровому коді між програмою ПРОТЕКСТ і: - (1) програмою ФАБЛ; - (2) бібліотекою алгоритмів; - (3) локальною контролерною мережею "МАГІСТР"; - (4) модулями МВВ і МВВ; - (5) модулями МДВ і МВВ; - (6) пультом блоку контролера

Вхідні й вихідні сигнали можуть надходити від двох основних джерел: модулів МАВ і МВА (7), МДВ і МВД (8), та локальної контролерної мережі "МАГІСТР"(6). Вихідні сигнали формуються з вхідних за допомогою програмного забезпечення користувача (2), яке складається із програми ФАБЛ (3) і програми ПРОТЕКСТ (4). Останні три програми є складовими резидентного програмного забезпечення (1). З точки зору програми ПРОТЕКСТ обробка даних складається із: читання вхідних сигналів і запису їх в комірках пам'яті, які називають вхідними перемінними; проведення необхідних арифметико-логічних перетворювань над ними за алгоритмами із бібліотеки (5); збереження результатів в вихідних перемінних, на основі яких модулі МВА і МВД формують вихідні сигнали (керуючі впливи) для подачі їх на виконавчі механізми. Вхідні й вихідні перемінні можуть отримувати також деякі значення від других джерел: від виходів алгоблоків програми ФАБЛ, пульта контролера, контролерної мережі "МАГІСТР", у той же час - передавати їм значення. Передача інформації між змінними й фізичними виводами обладнання відбувається за допомогою спеціальних команд вводу-виводу.

Взагалі розподіл змінних на вхідні й вихідні умовний, оскільки в мові ПРОТЕКСТ немає жорсткої відповідності між перемінними і фізичними виводами обладнання. Тому одна і та ж змінна може використовуватися одночасно і для вводу інформації від будь-яких модулів, і для проміжних обчислень, і для виводу результатів на лицьову панель блоку контролера БК-300. Логіку керування технологічним об'єктом задають в програмі ПРОТЕКСТ за допомогою набору наступних структурних елементів: змінні, константи, вислови, операції, алгоритми, блоки, секції, керуючі процедури. Ці елементи, які записують за певними правилами, і створюють послідовність команд у програмі ПРОТЕКСТ.

Кожна операція на мові ПРОТЕКСТ, як і в математичних формулах, має визначений пріоритет, який задає порядок виконання операцій. Якщо вираз містить декілька операцій, то спочатку виконуються операції з най-

більшим пріоритетом. Якщо є декілька операцій з однаковим пріоритетом, то вони виконуються зліва направо. Потім з решти операцій вибирають операції з найбільшим пріоритетом, і процес продовжується, поки не будуть виконані всі операції. Цей порядок виконання операцій може бути змінений за допомогою дужок. Якщо будь-яка частина виразу міститься в дужках, то вона повинна виконуватися раніше від інших.

Контрольні запитання до розділу 4

1. Назвіть основні задачі, для реалізації яких призначений МПК КР-300.
2. Які технологічні мови використовують для програмування МПК КР-300?
3. Назвіть основні кількісні характеристики граматики мови ФАБЛ.
4. Що являє собою локальна контролерна мережа "МАГІСТР"?
5. Що дозволяє виконувати регулююча підсистема МПК КР-300?
6. Назвіть основні характеристики регулюючої підсистеми МПК КР-300.
7. Назвіть параметри програмного задатчика регулюючої підсистеми МПК КР-300.
8. Як здійснюється ручне керування регулюючої підсистеми МПК КР-300?
9. Що формує логічна підсистема МПК КР-300?
10. Назвіть основні характеристики логічної підсистеми МПК КР-300.
11. Що забезпечує логічна підсистема МПК КР-300?
12. Що здійснює підсистема групового контролю і керування МПК КР-300?
13. Назвіть основні характеристики підсистеми групового контролю і керування МПК КР-300.
14. Що забезпечує програмуюча підсистема МПК КР-300?
15. Які функції реалізовані в програмуючій підсистемі МПК КР-300?
16. Назвіть склад основних блоків МПК КР-300.
17. Назвіть склад основних модулів блока контролера БК-300.
18. Які функції виконує модуль процесора ПРЦ-300?
19. Назвіть основні технічні характеристики модуля процесора ПРЦ-300.
20. Що являє собою пункт контролера ПК-300?

- 21.Що забезпечує блок пристроїв зв'язку з об'єктом керування?
- 22.Наведіть визначення МАВ і МВА та відповідно - АЦП і ЦАП.
- 23.Наведіть визначення МДВ і МВД та відповідно - ДЦП і ЦДП.
- 24.Наведіть визначення МІВ і МВІ та відповідно - ІЦП і ЦІП.
- 25.Наведіть призначення блоку підсилювача БПТ-10.
- 26.Наведіть призначення блоку підсилювача БПО-10.
- 27.Наведіть призначення блоку підсилювача БПП-10.
- 28.Наведіть призначення блоку перемикача БПР-10.
- 29.Що забезпечують блоки розширення та перетворювачів інтерфейсів?
- 30.Для чого використовують шлюзовий канал ШК?
- 31.Для чого використовують канал маркерної мережі МК?
- 32.Яка напруга живлення використовується для МПК КР-300, для чого в ньому передбачені акумулятори?
- 33.Що являють собою міжблочні й клемно-блочні з'єднувачі?
- 34.Наведіть визначення граматичної основи мови ФАБЛ, що називають алгоритмічними блоками (алгоблоками)?
- 35.Назвіть послідовність процедур при програмуванні задач на мові ФАБЛ.
- 36.Наведіть основні дії при обробці алгоблоків.
- 37.Що являють собою сигнальні й настроєчні входи алгоритму?
- 38.Що називають явними входами й виходами алгоритму?
- 39.Що відносять до неявних алгоритмів?
- 40.Назвіть відмінність між константами і коефіцієнтами - сигналами на вільному вході алгоблоку, в яких режимах програмування їх задають?
- 41.Що називають зв'язаним входом алгоблоку?
- 42.Як використовується обслуговування алгоблоків?
- 43.Наведіть визначення граматичної мови ПРОТЕКСТ.
- 44.Нарисуйте спрощену схему перетворення інформації МПК КР-300.
- 45.Що називають вхідними й вихідними перемінними в програмі ПРОТЕКСТ?
- 46.Як задають логіку керування технологічним об'єктом у програмі ПРОТЕКСТ?
- 47.Як виконують операції на мові ПРОТЕКСТ?

5. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ

5.1. Класифікація автоматизованих систем

Щоб чітко зрозуміти відмінні особливості та місце конкретної автоматизованої системи (АС) в загальній ієрархії господарства країни, розглянемо деякі основні поняття. Кожне підприємство (організація) - це відокремлена соціально-економічна одиниця господарства країни, яка зайнята випуском (реалізацією) певної продукції. Для нього характерні виробничо-технічна, організаційно-економічна єдність і оперативно-господарська самостійність; воно має необхідні кадри, матеріально-технічні ресурси і кошти для здійснення закінченого виробничого процесу. З точки зору основної виробничо-господарської діяльності (ОВГД) підприємств (організацій), АС можна класифікувати на наступні:

Автоматизована система наукового дослідження (АСНД) в науково-дослідних організаціях, продукцією ОВГД яких є: звіти про науково-дослідну роботу; випуск спробних (експериментальних) партій нових видів виробів; випуск монографій і статей; вихідні дані (технічні завдання) на розробку проектно-конструкторської документації; заявки на патенти.

Автоматизована система проектування, більш уживана назва - система автоматизованого проектування (САПР) в проектно-конструкторських організаціях, продукцією ОВГД яких є: техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) будівництва або реконструкції конкретних об'єктів; проект (раніше - технічний проект); робоча документація (раніше - робочий проект); комплектування обладнанням, контрольно-вимірювальними приладами та засобами автоматизації об'єктів, які будують або реконструюють; авторський нагляд.

Автоматизована система керування технологічними процесами (АСКТП) - предмет розгляду цього навчального посібника.

Автоматизована система керування виробництвом (АСКВ) для промислових або непромислових підприємств, які мають декілька виробництв з різними видами ОВГД, як правило, самостійних.

Автоматизована система керування підприємством (АСКП) вирішує організаційно-економічні, виробничо-технічні та ін. завдання. Підприємство розглядається як об'єкт з багаточисельними зовнішніми і внутрішніми зв'язками. Зовнішні зв'язки визначають місце конкретного промислового або непромислового підприємства, яке воно займає в господарстві країни. Нормальне функціонування, наприклад, промислового підприємства можливе лише за наявності необхідних зв'язків між виробництвом і постачанням (постачальниками сировини або напівсировини), виробництвом і реалізацією (збутом) готової продукції. При цьому постачання має бути забезпечене коштами, які поступають залежно від збуту готової продукції, а сам збут можливий після закінчення всього виробничого циклу (так зване "замкнене коло"), тому, мабуть, на сьогодні в Україні ще не всі підприємства розпочали працювати після занепаду колишнього Союзу. Внутрішні зв'язки визначають досить складну сукупність виробничих, техніко-економічних, адміністративно-господарських, суспільно-соціальних стосунків, які є на підприємствах (організаціях). Важливу роль в керуванні підприємством мають функціональні підрозділи: виробничий, плановий, праці і заробітної плати, бухгалтерії, постачання, збуту, головного механіка, головного енергетика, фінансовий, а також служби основного і допоміжного виробництв, до якого все ще відносять служби автоматизованих систем усіх рівнів. Треба підкреслити, що останні десять років функціональні підрозділи багатьох промислових і непромислових підприємств купили і освоїли велику кількість персональних ЕОМ, які дозволяють їм вирішувати велике коло задач для поліпшення роботи як відповідних підрозділів, так і підприємства в цілому.

Підгалузеві й галузеві автоматизовані системи керування (П/гАСК і ГАСК) повинні вирішувати організаційно-економічні завдання підгалузі

або галузі для координації роботи відповідних підприємств підгалузі (П/ГАСК), а також відповідних підгалузей(ГАСК). Після занепаду Союзу значні розробки і досягнення, які мали місце в цих напрямках, на сьогодні поновлюють, але поки ще не в тій мірі, як це потрібно.

Автоматизована система керування господарством України (АСК ГУ), на превеликий жаль, в цьому напрямку роботи поновлюють ще менше, ніж для попередніх систем.

Наведені вище автоматизовані системи знаходяться у складній ієрархічній залежності, розгляд якої являє собою самостійне дослідження. Нас же більше цікавить ієрархія керування підприємствами.

5.2. Рівні ієрархії керування підприємством

Для промислових і непромислових підприємств розрізняють три рівні ієрархії керування (рис. 5.1).

Нижній рівень - це технологічні агрегати, установки, ланки виробництва, цехи виробництва, для яких основним завданням є керування технологічними процесами за допомогою АСК ТП різного рівня (див. підрозділ 1.4).

Середній рівень - це виробництва, деякі заводи, які входять до складу підприємства, основним завданням яких є оперативна координація робіт окремих виробничих одиниць, розподіл навантаження між виробництвами, тощо за допомогою АСКВ.

Верхній рівень, який забезпечує планування виробничої і адміністративно-господарської діяльності підприємства за допомогою АСКП.

Донедавна (десь 20 років) на великих промислових підприємствах одночасно були впроваджені декілька АСК ТП, три-чотири АСКВ та АСКП, функціональні можливості яких використовувались не повною мірою, тому що самі системи були реалізовані на розрізнених технічних засобах, які були не сумісні за інформаційним, технічним та програмним забезпеченням. Тому були розроблені так звані інтегровані автоматизовані системи керування підприємством.

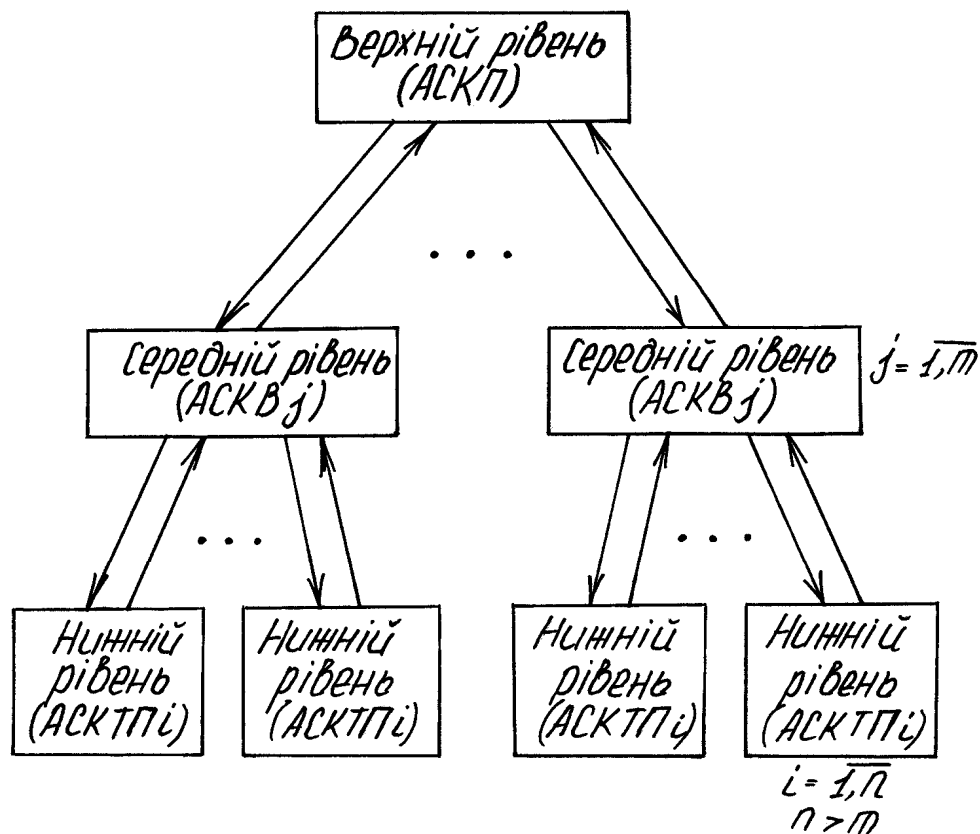


Рис. 5.1 - Ієрархія керування підприємством. Інформація із нижнього рівня (від АСК ТП $_i$, $i = \overline{1, n}$) поступає до середнього рівня (відповідні АСКВ $_j$, $j = \overline{1, m}$, при цьому $n > m$), а потім - до верхнього рівня (АСКП), а керуючі або координуючі впливи - навпаки

5.3. Інтегрована автоматизована система керування промисловим або непромисловим підприємством

Автоматизована система керування промисловим або непромисловим підприємством в цілому за трьома рівнями ієрархії називається інтегрованою (ІАСК). Вона характеризується насамперед розширенням своїх функціональних можливостей і застосуванням сумісних технічних засобів, що надає системам АСКП, АСКВ, АСК ТП нові якості, в першу чергу підвищення загальної ефективності керування. Визначеною особливістю ІАСК є наявність тісної взаємодії окремих систем (АСКП; АСКВ $_j$, $j = \overline{1, m}$; АСК ТП $_i$, $i = \overline{1, n}$; $n > m$) та їх підсистем, які спроможні охопити всі сторони діяльності підприємства на основі єдиних принципів і системного підходу. Відрізняють наступні основні п'ять форм інтеграції автоматизованих систем:

1) функціональна, яка забезпечує єдність цілей, сукупність узгоджених критеріїв керування і взаємодії всіх функцій ІАСК;

2) програмно-алгоритмічна, яка передбачає наявність взаємозв'язаного комплексу математичних моделей, алгоритмів їх реалізації, програм керування і прикладних програм;

3) технічна, при якій реалізують застосування сумісних багатомашинних комплексів, мереж мікропроцесорних контролерів, тощо;

4) інформаційна, яка передбачає можливість створення банку даних, що базується на єдиній системі кодування, класифікації, нагромадження, зберігання і оновлювання інформації;

5) організаційна, яка забезпечується раціональним сполученням можливостей оперативного персоналу і технічних засобів в єдиний людиномашинний комплекс, чітким розподілом задач, прав і обов'язків поміж учасниками процесу керування на всіх його рівнях ієрархії.

Характерним прикладом практичного застосування наведених форм інтеграції автоматизованих систем може бути інтегрована автоматизована система керування (ІАСК) міським господарством. При цьому міське господарство розглядають як велике підприємство, що має ієрархічну структуру із своєрідним характером функціонування його складових систем і підсистем та відповідних трьох рівнів ієрархії керування (див. підрозділ 5.2).

5.4. ІАСК міським господарством

ІАСК міським господарством притаманні наведені в попередньому підрозділі форми інтеграції і вона являє собою сукупність економіко-математичних методів, засобів обчислювальної і організаційної техніки та зв'язку. Розглянемо деякі теоретичні основи створення ІАСК міським господарством.

Ефективність керування міським господарством визначається оптимальністю вирішення планових задач розподілу всіх видів ресурсів і удо-

сконаленням функціонування технологічних підсистем міського господарства. Основними показниками якості організаційного керування є своєчасність, комплектність (повнота) і оптимальність прийняття рішення. Ступінь задоволення названих показників якості визначається, по-перше, якістю початкової інформації - її точністю, повнотою і часом запізнення при надходженні, по-друге, досконалістю системи її переробки і прийняття рішень. Застаріла, неповна і недостатньо точна інформація не дозволяє ефективно вирішувати задачі керування. Висока якість початкової інформації є тільки необхідною, але недостатньою умовою ефективного керування. При виконанні цієї умови якість керування визначається швидкістю, допустимою розмірністю вирішуваних задач, ступенем досягнутої оптимальності системи керування, і т.д.

В умовах зростання потоків інформації, яке пов'язане з кількісними і якісними змінами характеристик міського господарства, система керування ним, що була донедавна, стала малоефективною. Це зумовлено обмеженими можливостями людини як системи переробки інформації, і обмеженістю кількості керуючого персоналу. Таке становище призвело до того, що інформаційна пропускна можливість керуючого органу не відповідає вимогам, які забезпечують ефективне керування. Окрім того, багато які проблеми керування неможливо вирішити простим збільшенням численності керуючого персоналу. Підвищення ефективності керування можливо тільки на базі використання сучасної цифрової обчислювальної техніки для збору і переробки інформації. У цьому випадку широко використовують сучасні науково-технічні моделі і математичні методи керування. Комплексне вирішення цих задач стосовно керування міським господарством і приводе до необхідності створення ІАСК міським господарством. Ефективність цієї системи залежить від форм інтеграції, а важливою функцією є автоматизація координації організаційних, функціональних і інформаційних аспектів діяльності АСК усіх рівнів ієрархії, що узгоджується із системним принципом створення таких систем.

ІАСК міським господарством притаманні наступні основні особливості:

1) складність функціонально-виробничої структури (різнохарактерність служб, їх багаточисельність, масштабність), яка вимагає застосування великих обчислювальних потужностей для окремих систем і підсистем та організації складних інформаційних зв'язків поміж ними;

2) багаторівнева система керування з різними вимогами до технічних і програмних засобів керування різних рівнів;

3) наявністю різнорідних АСК і складністю організації їх сумісного функціонування;

4) великими швидкостями протікання взаємозв'язаних технологічних процесів (тепло-, газо-, водо-, електропостачання, тощо) і необхідністю координування їх роботи в реальному масштабі часу;

5) просторовою розбіжністю систем, яка визначається територіальними розмірами підприємств.

Основною функцією ІАСК міським господарством є координація організаційних, функціональних і інформаційних аспектів діяльності АСК усіх видів ієрархії. Ця функція має принципове значення для забезпечення суттєвого підвищення ефективності керування. Крім того, це погоджується із системним принципом створення високоефективних АСК будь-якого рівня.

Зважаючи на наведене вище, ІАСК міським господарством представляє собою сукупність автоматизованих систем, які організаційно об'єднані в трирівневу ієрархічну структуру, яка в спрощеному вигляді представлена на рис. 5.2.

На верхньому загальноміському рівні (1) повинна функціонувати автоматизована система керування цим рівнем (АСКВЗР), в якій виділяють такі підсистеми, які мають всі ознаки автоматизованих систем: розвитку міста - 1.1 (АСРМ); державної статистики - 1.2 (АСДС); фінансових органів - 1.3 (АСФО); планових розрахунків - 1.4(АСПР); тощо - 1.5.

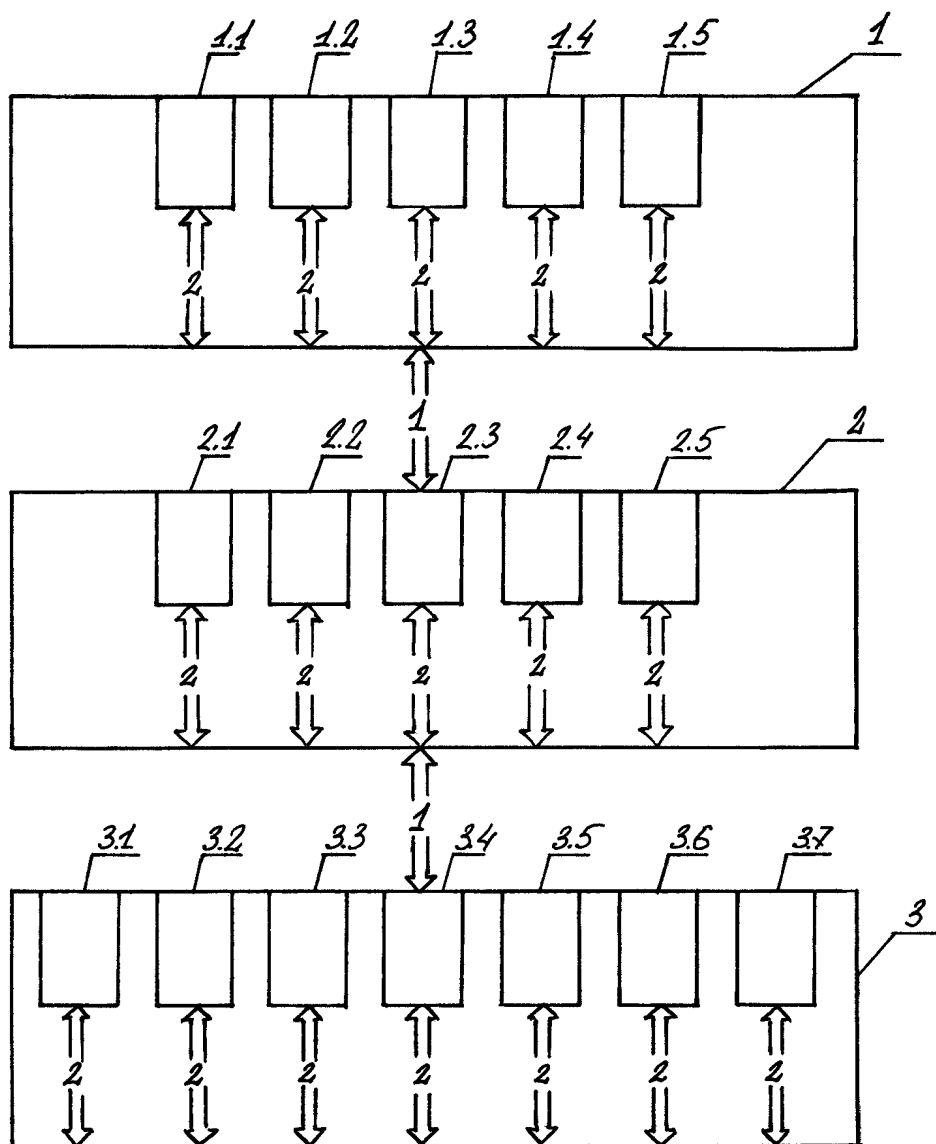


Рис. 5.2 - Спрощена трьохрівнева ієрархічна структура ІАСК міським господарством: 1 - верхній загальноміський рівень (АСКВЗР); 2 - середній функціональний рівень (АСКСФР); 3 - нижній технологічний рівень (АСКНТР)

АСКВЗР (1) базується на автоматизованій системі керування середнім функціональним рівнем - 2 (АСКСФР), в якій виділяють підсистеми, які також мають всі ознаки автоматизованих систем керування: громадським транспортом - 2.1 (АСКГТ); комунальним господарством - 2.2 (АСККГ); трудовими ресурсами - 2.3 (АСКТР); забезпеченням продовольством - 2.4 (АСКЗП), тощо 2.5.

АСКСФР (2) також базується на автоматизованій системі керування нижнім технологічним рівнем - 3 (АСКНТР), в якій виділяють підсистеми

керування відповідними технологічними процесами, тобто АСК ТП: тепlopостачання - 3.1 (АСК ТП ТП); газопостачання - 3.2 (АСК ТП ГП); водопостачання - 3.3 (АСК ТП ВП); водовідведення - 3.4 (АСК ТП ВВ); електропостачання - 3.5 (АСК ТП ЕП); технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель - 3.6 (АСК ТП ТОР і РБ); тощо - 3.7, причому територіально ці системи знаходяться в районах міста.

Обмін інформацією між автоматизованими системами трьох рівнів виконується по лініях цифрового зв'язку (1), а всередині рівнів - по лініях цифрового зв'язку (2).

Таким чином, основу ІАСК міським господарством повинні складати існуючі й розроблені автоматизовані системи керування відповідними ланками міського господарства, які в умовах автоматичного обміну інформацією отримують нові кількісні і якісні можливості для вирішення задач керування. У той же час розробка будь-якої підсистеми ІАСК міським господарством не в комплексі з іншими підсистемами дозволяє отримати тільки локальний економічний ефект, який зв'язаний з поліпшенням технології внутрішнього функціонування, але не дає змогу підвищити ефективність керування міським господарством в цілому. Тому ІАСК міським господарством треба розробляти в комплексі з урахуванням глобального критерію керування, обґрунтування якого являє собою самостійне дослідження.

Розглянемо іншу інтегровану автоматизовану систему керування (ІАСК) тепловою електростанцією як об'єктом міського господарства.

5.5. ІАСК тепловою електростанцією як об'єктом міського господарства

Незважаючи на порівняно просту схему виробництва з двома видами продукції (електро- і теплоенергія) і відносно невеликою номенклатурою споживання сировини, сучасна тепла електростанція (ТЕС) є досить складним об'єктом керування з багаточисленими внутрішніми і зовнішніми зв'язками і обмеженнями. Ряд специфічних особливостей електроенергети-

ки, які відрізняють її від інших виробництв, зокрема одночасність виробництва і споживання електроенергії; неможливість її зберігання (на сьогодні); велика одинична потужність технологічних агрегатів, тощо, приводять до появи в структурі керування ТЕС двох тісно взаємозв'язаних контурів керування: оперативно-диспетчерського і виробничо-господарського. У кожному з них є технологічне обладнання, технічні засоби, матеріальні ресурси, колективи людей та інші компоненти виробничого процесу. Незважаючи на те, що ці контури дуже впливають один на одного і повинні функціонувати узгоджено в загальній системі керування ТЕС, цілі і завдання у них різні. Ціллю оперативно-диспетчерського керування (ОДК) є забезпечення заданого виробництва електричної і теплової енергій допустимої якості в заданий термін. Ціллю виробничо-господарського керування (ВГК) є створення можливості для виконання вищенаведеної задачі з мінімальними витратами, а також матеріальне та інші забезпечення виробництва.

Створення оптимальних умов експлуатації для таких складних об'єктів керування, як ТЕС неможливо без впровадження інтегрованої АСК (ІАСК ТЕС), основним призначення якої є забезпечення якісного виробництва електричної і теплової енергії відповідно до завдання за умов існування реального обмеження. Для оптимального вибору рівнів ієрархії керування ІАСК ТЕС необхідно мати відповідну математичну модель, яку побудувати сьогодні важко. Тому виконують декомпозицію задач ІАСК ТЕС за декомпозицією технологічного об'єкта керування (ТЕС), який має трирівневу ієрархічну структуру. Спрощена трирівнева ієрархічна структура ІАСК ТЕС подана на рис. 5.3.

На верхньому рівні АСК ТЕС вирішує задачі оперативно-диспетчерського керування ТЕС, визначення і аналіз загальностанційних техніко-економічних показників, координацію роботи АСКВ ЕЕ і АСКВ ТЕ середнього рівня. Далі (для скорочення викладу) розглянемо тільки задачі АСКВ ЕЕ, яка вирішує функції оптимального розподілення активного

навантаження між енергоблоками (BE_i), розподілення видів і кількості палива між парогенераторами енергоблоків, вибору оптимального складу діючого обладнання, тощо. На нижньому рівні реалізовані функції відповідних АСК ТП. Задачі АСК ТП одного з енергоблоків далі розглянемо більш детально (див. підрозділ 6.1).

Проектування і реалізація конкретних функцій АСК ТЕС являє собою самостійне дослідження, яке може бути розглянуто поза обсягом цього навчального посібника.

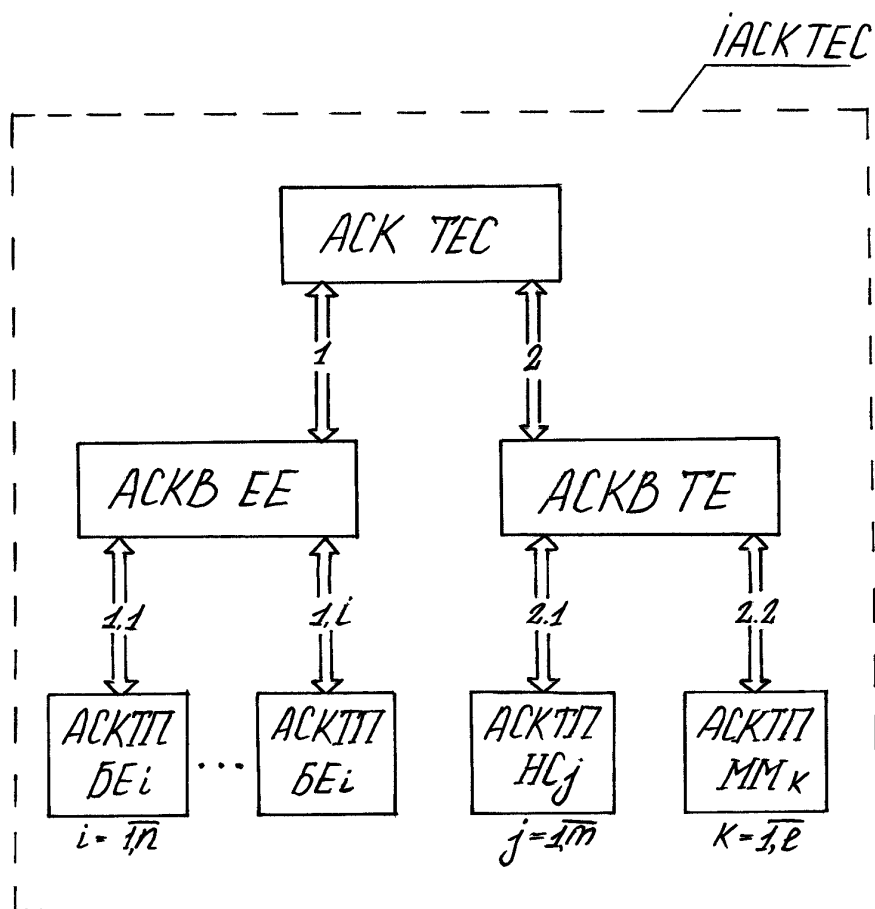


Рис. 5.3 - АСК ТЕС - автоматизована система керування тепловою електростанцією - верхній рівень; АСКВ - автоматизована система керування виробництвом, ЕЕ - електричної енергії, ТЕ - теплової енергії, - середній рівень; АСК ТП - автоматизована система керування технологічними процесами, BE_i - i -го енергоблоку, $i = \overline{1, n}$, $НС_j$ - j -ї насосної станції, $j = \overline{1, m}$, $ММ_k$ - k -ї магістральної мережі, $k = \overline{1, L}$, - нижній рівень. Цифровий зв'язок: 1 - між АСК ТЕС і АСКВ ЕЕ; 1.1, 1.i, $i = \overline{1, n}$ - між АСКВ ЕЕ і відповідними АСК ТП BE_i ; 2 - між АСК ТЕС і АСКВ ТЕ; 2.1 - між АСКВ ТЕ і АСК ТП $НС_j$, $j = \overline{1, m}$; 2.2 - між АСКВ ТЕ і АСК ТП $ММ_k$, $k = \overline{1, L}$

Контрольні запитання до розділу 5

1. Що розуміють під терміном "підприємство" ("організація")?
2. За яким показником класифікують автоматизовані системи?
3. Назвіть визначення автоматизованої системи наукового дослідження.
4. Назвіть визначення системи автоматизованого проектування (САПР).
5. Назвіть визначення автоматизованої системи керування виробництвом (АСКВ).
6. Назвіть визначення автоматизованої системи керування підприємством (АСКП).
7. Що визначають внутрішні зв'язки підприємства?
8. Що визначають зовнішні зв'язки підприємства?
9. Назвіть визначення підгалузевих і галузевих автоматизованих систем керування (П/и АСК і ГАСК).
10. Які рівні ієрархії керування підприємством Вам відомі? Коротко назвіть їх визначення.
11. Нарисуйте ієрархію керування підприємством.
12. Назвіть визначення інтегрованої автоматизованої системи керування підприємством.
13. Які форми інтеграції автоматизованих систем Вам відомі? Коротко дайте визначення кожної із форм інтеграції.
14. Що являє собою інтегрована автоматизована система керування міським господарством?
15. Назвіть теоретичні основи створення ІАСК міським господарством.
16. Назвіть основні особливості ІАСК міським господарством.
17. Що є основною функцією ІАСК міським господарством?
18. Нарисуйте спрощену трьохрівневу ієрархічну структуру ІАСК міським господарством.
19. Які автоматизовані системи Вам відомі на верхньому загальноміському рівні?

20. Які автоматизовані системи керування Вам відомі на середньому функціональному рівні?
21. Які автоматизовані системи керування нижнім технологічним рівнем Вам відомі?
22. Що являє собою сучасна теплова електростанція як об'єкт міського господарства?
23. Які контури керування ТЕС Вам відомі? Назвіть ціль керування кожним із них.
24. Нарисуйте спрощену трьохрівневу ієрархічну структуру ІАСК ТЕС.
25. Які завдання вирішує автоматизовані системи на кожному рівні ієрархічної структури ІАСК ТЕС?

6. РОЗРОБКА АСК ТП ДЕЯКИХ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

У зв'язку з тим, що на сьогодні відсутні математичні моделі, які адекватно описують більшість технологічних процесів інженерних систем міського господарства як об'єктів керування, розробка нижченаведених АСК ТП розглянута тільки з точки зору проектування відповідних функціональних схем автоматизації (ФСА) за однаковою методикою [2]:

короткий опис (або посилання на літературу) технологічного процесу, для якого повинна бути розроблена ФСА;

перелік функцій, які треба реалізувати;

перелік сучасних контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації (КВП та ЗА), у тому числі мікропроцесорного контролера (МПК) типу КР-300 (див. розділ 4);

повна назва систем автоматичних: контролю параметрів технологічного процесу; технологічної сигналізації виходу цих параметрів за межі технологічного регламенту; керування параметрами технологічного процесу.

Розробку відповідних ФСА виконано за фрагментами - тільки для реалізації тих функцій, які наведені.

6.1. АСК ТП енергоблоку ТЕС

Фрагмент розробленої ФСА пароводяного тракту енергоблоку зображено на рис. 6.1.

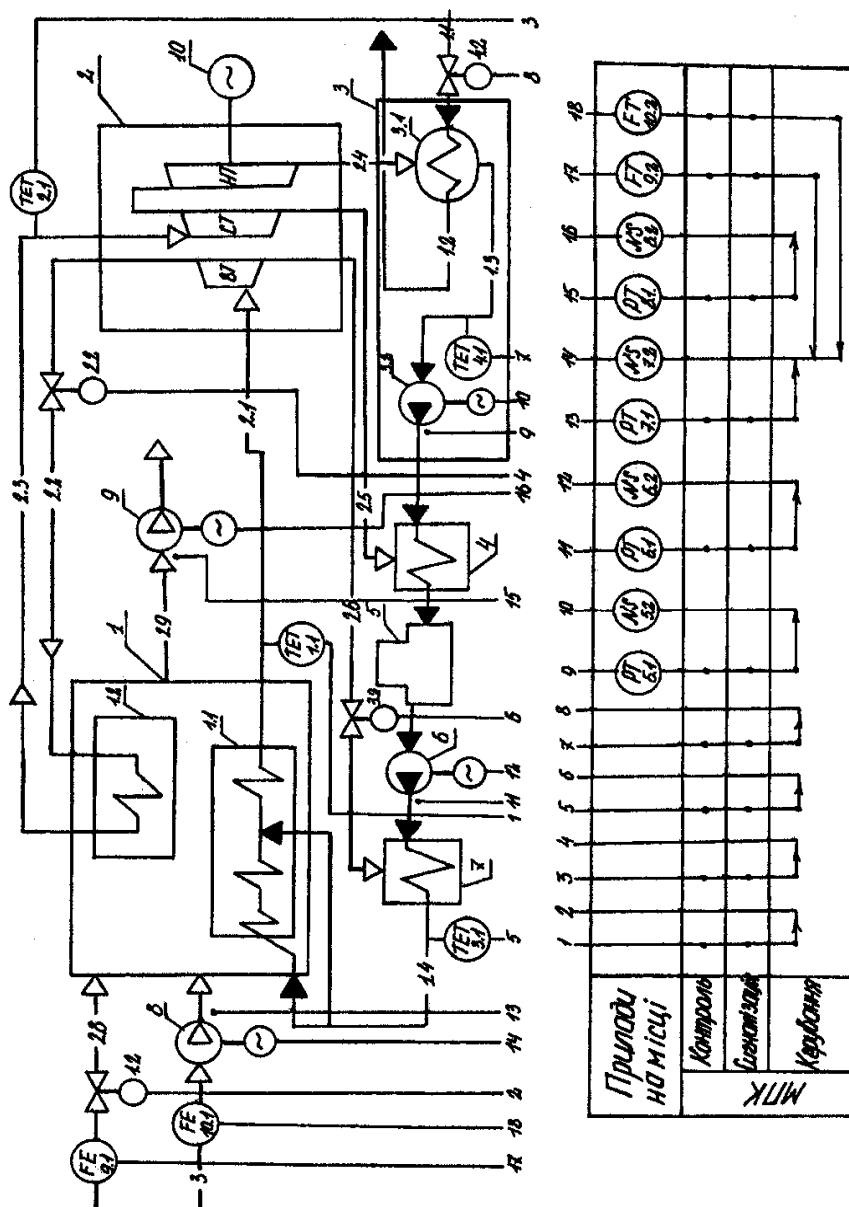


Рис. 6.1 Матеріальні потоки: 1.1 - охолоджувана (циркуляційна) вода; 1.2 - нагріта вода; 1.3 - вода і конденсат; 1.4 - вода технічна до котлоагрегату; 2.1 - пара після водяного економайзера; 2.2 - пара до паропідігрівача; 2.3 - пара після паропідігрівача; 2.4 - пара після частини парової турбіни низького тиску (НТ); 2.5 - пара після частини парової турбіни середнього тиску (СТ); 2.6 - пара після частини парової турбіни високого тиску (ВТ); 3 - повітря до котлоагрегату; 28 - природний газ до котлоагрегату; 29 - дим після котлоагрегату. Обладнання: 1 - прямотекучий котлоагрегат в складі: 1.1 - водний економайзер; 1.2 - пароперегрівач; 2 - парова турбіна із трьох частин: ВТ - високого тиску, СТ - середнього тиску, НТ - низького тиску; 3 - конденсаційна установка в складі: 3.1 - конденсатор; 3.2 - конденсаційний насос із електродвигуном; 4 - регенераційний підігрівач низького тиску (РПНТ); 5 - деаератор; 6 - насос живлення котлоагрегату із електродвигуном; 7 - регенераційний підігрівач високого тиску (РПВТ); 8 - вентилятор подачі повітря до котлоагрегату з електродвигуном; 9 - димосос з електродвигуном; 10 - електричний генератор

У прямотекучому котлоагрегаті (1) відбувається процес перетворення теплової енергії природного газу (28), що спалюється, і технічної води (1.4) в енергію перегрітої пари. Процес генерації пари в прямотекучому котлоагрегаті (1) здійснюється підігрівом технічної води (1.4) у водяному економайзері (1.1) до температури кипіння (фазовий перехід при надкритичному тиску), утворенням пари (2.1), яка надходить до турбіни (2). Пара (2.2) після неї нагрівається в пароперегрівачі(1.2) до пари (2.3) із заданою температурою. Пара (2.3) із пароперегрівача (1.2) поступає в парову турбіну (2). В її проточній частині відбувається процес розширення пари і перетворення теплової енергії водяної пари в механічну енергію обертання ротора турбіни і електричного генератора (10). Таким чином, пара (2.2) після частини турбіни (2) високого тиску (ВТ) надходить у пароперегрівач (1.2), після нього пара (2.3) надходить у частину турбіни (2) із середнім тиском (СТ) і потім - в частину турбіни (2) з низьким тиском (НТ). З останньої частини турбіни (2) пара (2.4) надходить до конденсаційної установки (3), де в конденсаторі (3.1) конденсується за допомогою охолоджуваної (циркуляційної) води (1.1), тепло конденсації відводиться нагрітою водою (1.2) в систему охолодження (на рис. 6.1 не показана), а потім знову надходить до конденсаційної установки (3). Пара (2.5) після частини турбіни (2) СТ надходить до регенераційного підігрівача (4) низького тиску (РПНТ), а після частини турбіни (2) ВТ - до такого ж підігрівача (7) тільки високого тиску (РПВТ). Воду і конденсат (1.3) після конденсатора (3.1) конденсаційним насосом (3.2) із електродвигуном подають через РПНТ (4) в деаератор (5), а із нього насосом живлення (6) із електродвигуном через РПВТ (7) технічну воду (1.4) подають в котлоагрегат (1). Для забезпечення відповідних температур і тиску в прямотекучому котлоагрегаті (1) повітря (3) подають вентилятором подачі його (8) із електродвигуном, а дим (29) відводять димососом (9) з електродвигуном.

Для теплоенергетичного обладнання енергоблоку характерні високі швидкості протікання перехідних процесів, які визначаються процесами

спалення природного газу (28) і змінами електричного навантаження. Забезпечення працездатності енергоблоку досягається за рахунок керування контрольованими параметрами в діапазоні регламентних значень, серед яких в першу чергу - температура і тиск у відповідних місцях технологічної схеми енергоблоку. При цьому це завдання повинна вирішуватися для багатьох можливих режимів за умов значних зовнішніх збурюючих впливів і зміни характеристик обладнання в ході експлуатації. Тому АСК ТП енергоблоку повинна розраховувати і видавати керуючі впливи на забезпечення заданих навантажень і ліквідації збурюючих впливів за умов, які зумовлені можливостями конструкційних матеріалів теплоенергетичного обладнання. Це необхідно для досягнення максимально можливого коефіцієнта корисної дії (ККД) і забезпечення безаварійності і довговічності його роботи.

Для фрагмента ФСА пароводяного тракту енергоблоку (рис. 6.1) реалізовано такі функції:

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування температурою пари після водяного економайзера зміною витрат природного газу;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування температурою пари після пароперегрівача зміною витрат пари до нього;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування температурою води технічної до котлоагрегату зміною витрат пари після частини парової турбіни високого тиску;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування температурою води і конденсату після конденсатора зміною витрат охолоджуваної (циркуляційної) води;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування тиском в нагнітальному патрубку насоса конденсаційного зміною числа обертів його електродвигуна;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування тиском в нагнітальному патрубку насоса живлення котлоагрегату зміною обертів його електродвигуна;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування тиском в нагнітальному патрубку вентилятора подачі повітря до котлоагрегату зміною числа обертів його електродвигуна;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування вакуумом (розрідженням) у всмоктувальному патрубку димососа із котлоагрегату зміною числа обертів його електродвигуна;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування співвідношенням витрат природного газу і повітря до прямотекучого котлоагрегату зміною числа обертів електродвигуна вентилятора подачі повітря.

Для автоматичного контролю температури матеріальних потоків у відповідних точках технологічної схеми, як ПП/ПрП застосовано термоперетворювачі опору платинові з уніфікованими сигналами постійного струму 4 -20 мА типу ТСПУ-0288 (поз. 1.1; 2.1; 3.1; 4.1), сигнали від яких надходять на відповідні входи МПК КР-300. За алгоритмами "контроль температури" ці сигнали перетворюються у значення температури (°С). У випадку, коли значення температури виходить за межі значень технологічного регламенту (верхнє чи нижнє), МПК за іншими алгоритмами виконує функцію "технологічна сигналізація" з видачею звукових та світлових сигналів і реєстрацією цих значень на лицьовій стороні контролеру КР-300. Для видачі керуючих впливів МПК за алгоритмами "керування" розраховує величину цих впливів і надсилає їх на відповідні виконавчі механізми.

Для автоматичного контролю тиску матеріальних потоків у відповідних точках технологічної схеми як ПрП застосовано вимірювальний тензорезис-торний перетворювач надлишкового (надмірного) тиску із уніфікованими сигналами постійного струму 4-20 мА типу САФІР-21 (поз. 5.1; 6.1; 7.1) сигнали від яких надходять на відповідні входи МПК. За відповідними алгоритмами, як для температури, сигнали перетворюються у зна-

чення тиску (МПа). У випадку, коли значення тиску виходять за межі значень технологічного регламенту (верхнє чи нижнє), МПК виконує аналогічні дії, як для температури. Для видачі керуючих впливів МПК за третіми алгоритмами "керування" розраховує величину цих впливів і надсилає їх на відповідні виконавчі механізми.

Для автоматичного контролю розрідження (вакууму) диму перед димососом як ПрП застосовано вимірювальний тензорезисторний перетворювач розрідження (вакууму) із уніфікованими сигналами постійного струму 4-20 мА типу САФІР-22 (поз. 8.1), сигнали від якого надходять на відповідний вхід МПК. За відповідними алгоритмами, як для температури, ці сигнали перетворюють у значення вакууму (КПа). У випадку, коли значення розрідження виходять за межі значень технологічного регламенту (верхнє чи нижнє), МПК виконує аналогічні дії, як для температури. Для видачі керуючих впливів МПК за алгоритмом "керування" розраховує величину цих впливів і надсилає їх на відповідний виконавчий механізм.

Для автоматичного контролю витрат матеріальних потоків у відповідних точках технологічної схеми як ПП застосовано діафрагму камерну типу ДК-6 (поз. 9.1; 10.1), сигнали від яких надходять на ПрП - вимірювальний тензоре-зисторний перетворювач перепаду тиску на камерній діафрагмі з уніфікованими сигналами постійного струму 4-20 мА типу САФІР-24 (поз. 9.2; 10.2), сигнали від яких надходять на відповідні входи МПК. А далі МПК виконує аналогічні алгоритми, як для температури або тиску, тільки значення витрат ($\text{м}^3/\text{Г}$).

Для зміни витрат матеріальних потоків як виконавчий механізм (ВМ) застосовано однообертовий електричний двигун типу МЕО-1 (поз. 1.2; 2.2; 3.2; 4.2).

Для автоматичного пуску/зупинки електродвигунів відповідного обладнання або для зміни числа обертів електродвигуна як ВМ застосовано пускач магнітоелектричний типу ПМЕ (поз. 5.2; 6.2; 7.2; 8.2).

Умовне зображення функцій, які реалізовано МПК КР-300 на рис. 6.1 показано колами $\text{Ø}2\text{мм}$, що зафарбовані.

Опис застосованих контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації (ПП, ПрП, ВМ) наведено в [2].

Зважаючи на сказане, при розробці фрагмента ФСА реалізовано наведені нижче системи.

Система автоматичного керування температурою пари після водяного економайзера з видачею керуючих впливів на зміну витрат природного газу в прямотекучий котлоагрегат. Система складається із:

ПП/ПрП - поз. 1.1 - ТСПУ-0288;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 1.2 - МЕО-1.

Система автоматичного керування температурою пари після пароперегрівача з видачею керуючих впливів на зміну витрат пари до нього. Система складається із:

ПП/ПрП - поз. 2.1 - ТСПУ-0288;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 2.2 - МЕО-1.

Система автоматичного керування температурою води технічної до котлоагрегату з видачею керуючих впливів на зміну витрат пари після частини парової турбіни високого тиску до відповідного регенераційного підігрівача. Система складається із:

ПП/ПрП - поз. 3.1 - ТСПУ-0288;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 3.2 - МЕО-1.

Система автоматичного керування температурою води і конденсату після конденсатора з видачею керуючих впливів на зміну витрат охолоджуваної (циркуляційної) води до конденсатора. Система складається із:

ПП/ПрП - поз. 4.1 - ТСПУ-0288;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 4.2 - МЕО-1.

Система автоматичного керування тиском в нагнітальному патрубку насоса конденсаційного із видачею керуючих впливів на зміну числа обертів його електродвигуна. Система складається із:

ПрП - поз. 5.1 - САФІР-21;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 5.2 - ПМЕ.

Система автоматичного керування тиском в нагнітальному патрубку насоса живлення котлоагрегату із видачею керуючих впливів на зміну числа обертів його електродвигуна. Система складається із:

ПрП - поз. 6.1 - САФІР-21;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 6.2 - ПМЕ.

Система автоматичного керування тиском в нагнітальному патрубку вентилятора подачі повітря до котлоагрегату із видачею керуючих впливів на зміну числа обертів його електродвигуна. Система складається із:

ПрП - поз. 7.1 - САФІР-21;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 7.2 - ПМЕ.

Система автоматичного керування розрідженням (вакуумом) у всмоктувальному патрубку димососа із видачею керуючих впливів на зміну числа обертів його електродвигуна. Система складається із:

ПрП - поз. 8.1 - САФІР-22;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 8.2 - ПМЕ.

Система автоматичного керування співвідношенням витрат природного газу і повітря до прямотекучого котлоагрегату із видачею керуючих впливів на зміну числа обертів електродвигуна вентилятора подачі повітря. Система складається із:

ПП - $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 9.1} \\ \text{поз. 10.1} \end{array} \right\}$ - ДК-0,6;

ПрП - $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 9.2} \\ \text{поз. 10.2} \end{array} \right\}$ - САФІР-24

МПК КР-300

ВМ - поз. 7.2 - ПМЕ.

Реалізація АСК ТП енергоблоку ТЕС дозволяє підвищити його продуктивність на 15-20% порівняно з дистанційним керуванням цим енергоблоком.

6.2. АСК ТП газопостачання

Фрагмент розробленої ФСА газопостачання зображено на рис. 6.2.

Вирішення проблеми газопостачання на сучасному етапі розвитку техніки пов'язано із застосуванням мікропроцесорної техніки в міське господарство, що приводить до розробки автоматизованих систем керування процесами газорозподілу і газоспоживання, які забезпечують ефективні технологічні режими в міському газопостачанні. Для правильного розв'язання задач, пов'язаних з питаннями автоматичного керування міськими системами газопостачання, необхідно враховувати особливості нестандартних процесів газопередачі в газорозподільних мережах і в першу чергу, в міських газопроводах високого і середнього тиску. З цієї точки зору особливе значення набуває методика моделювання динамічних характеристик міських газових мереж. Основним завданням системи автоматичного керування є підтримання потрібного тиску газу за часом в різних місцях міської газової мережі. Це завдання може бути успішно вирішене за рахунок аналізу неусталеного руху газу в розподільчих газопроводах. Відомо, що нестаціонарні процеси передачі газу в газопроводах виражають дуже складною системою нелінійних диференціальних рівнянь в часткових похідних. Аналітичне вирішення такої системи можливе тільки із застосуванням сучасних ПЕОМ. Для приблизних інженерних розрахунків можна скористатися

зображенням газопроводу у вигляді аперіодичної типової елементарної ланки із запізненням.

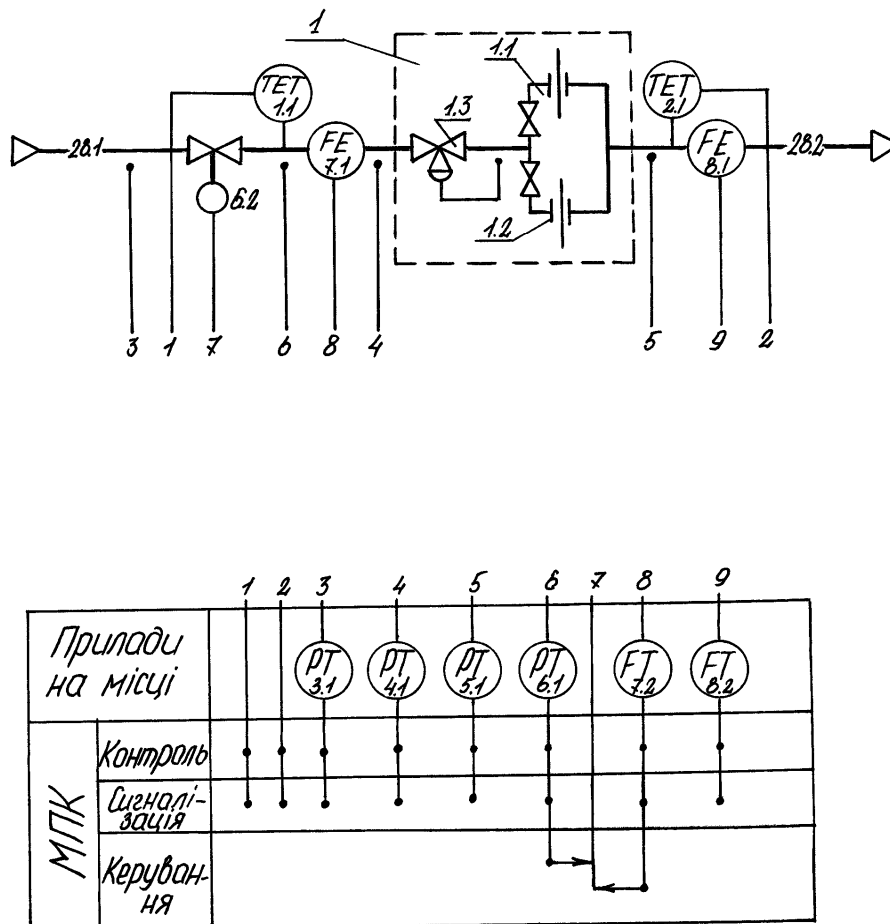


Рис. 6.2 - Матеріальні потоки: 28.1 - природний газ високого тиску (~5,5 МПа); 28.2 - природний газ середнього тиску (~1,2 МПа). Обладнання: 1 - установка редукування газу: 1.1 - дросель на денний режим роботи; 1.2 - дросель на нічний режим роботи; 1.3 - спеціальний регулятор тиску газу прямої дії.

Керування тиском газу здійснюється на газорозподільних станціях (ГРС) в газорегуляторних пунктах (ГРП). ГРС складається із: вхідних газопроводів, пилеуловлюючих установок, установок редукування газу першого і другого ступеня, одоризаційного обладнання, ємкостей для збору конденсату, вихідних газопроводів, приладів автоматичних керування і захисту.

Закон керування тиском газу вибирають із урахуванням динамічних властивостей газової мережі, характеру режимів газоспоживання і заданої статичної похибки керування. На ГРС застосовують ПІ-регулятори, оскі-

льки режим газоспоживання різко змінний. На ГРП, що обслуговують обмежену кількість споживачів з відомими витратами, застосовують П-регулятори.

При розробці АСК ТП ГРС або ГРП окрім керування тиском газу треба також реалізовувати такі функції: автоматичний контроль температури, тиску і витрат газу перед і після установок редукціонування газу; автоматичну сигналізацію зниження тиску газу; автоматичний захист; дистанційне перемикання або відключення установок редукціонування газу.

Для фрагмента ФСА ТП газопостачання (рис. 6.2) реалізовано наступні функції:

автоматичні контроль і технологічна сигналізація температури газу поперед установки редукціонування газу (УРГ);

автоматичні контроль і технологічна сигналізація температури газу після УРГ;

автоматичні контроль і технологічна сигналізація тиску газу поперед ГРС;

автоматичні контроль і технологічна сигналізація тиску газу поперед УРГ;

автоматичні контроль і технологічна сигналізація тиску газу після УРГ;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування тиском газу поперед УРГ із корекцією за витратами газу поперед УРГ;

автоматичні контроль і технологічна сигналізація витрат газу поперед УРГ;

автоматичні контроль і технологічна сигналізація витрат газу після УРГ.

Для автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування відповідними параметрами застосовують ті самі контрольно-вимірювальні прилади і засоби автоматизації, як для попередньої АСК ТП (див. підрозділ 6.1), тобто для температури: ПП/ПрП - поз. 1.1; 2.1 - ТСМУ-0288 (мідний) замість ТСПУ-0288(платиновий); для тиску: ПрП - поз. 3.1; 4.1; 5.1; 6.1 - САФІР-21; для витрат: ПП - поз. 7.1; 8.1 - ДК-0,6; ПрП - поз. 7.2; 8.2 - САФІР-24, тому МПК КР-300 виконує алгоритми аналогічні відповідним параметрам, а керуючі впливи видає на ВМ: 6.2 - МЕО-1.

Умовне зображення функцій, які реалізовано МПК КР-300, на рис. 6.2 показано колами $\varnothing 2$ мм, що зафарбовані.

Зважаючи на сказане, при розробці фрагмента ФСА реалізовано наведені нижче системи.

Система автоматичних контролю і сигналізації температури газу поперед УРГ складається із:

ПП - поз. 1.1 - ТСМУ-0288;

МПК - КР-300.

Система автоматичних контролю і сигналізації температури газу після УРГ складається із:

ПП - поз. 2.1 - ТСМУ-0288;

МПК - КР-300.

Система автоматичних контролю і сигналізації тиску газу поперед ГРС складається із:

ПрП - поз. 3.1 - САФІР-21;

МПК-КР-300.

Система автоматичних контролю і сигналізації тиску газу поперед УРГ складається із:

ПрП - поз. 4.1 - САФІР-21;

МПК - КР-300.

Система автоматичних контролю і сигналізації тиску газу після УРГ складається із:

ПрП - поз. 5.1 - САФІР-21;

МПК - КР-300.

Система автоматичних контролю, сигналізації і керування тиском газу поперед УРГ з видачею керуючих впливів на зміну витрат газу на УРГ і корекцією за витратами цього газу складається із:

ПП - поз. 7.1-ДК-6;

ПрП - $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 6.1 - САФІР-21;} \\ \text{поз. 7.2 - САФІР-24;} \end{array} \right.$

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 6.2 - МЕО-1.

Система автоматичних контролю і сигналізації витрат газу поперед УРГ складається із:

ПП - поз. 7.1 - ДК-6;

ПрП - поз. 7.2 - САФІР-24;

МПК - КР-300.

Система автоматичних контролю і сигналізації витрат газу після УРГ складається із:

ПП - поз. 8.1 - ДК-6;

ПрП - поз. 8.2 - САФІР-24;

МПК - КР-300.

Розроблена АСК ТП газопостачання забезпечує більш високу надійність роботи обладнання порівняно із системами дистанційного керування.

6.3. АСК ТП водогрійного котла потужністю до 3 Гкал/г

Фрагмент розробленої ФСА водогрійного котла потужністю до 3 Гкал/г зображено на рис. 6.3.

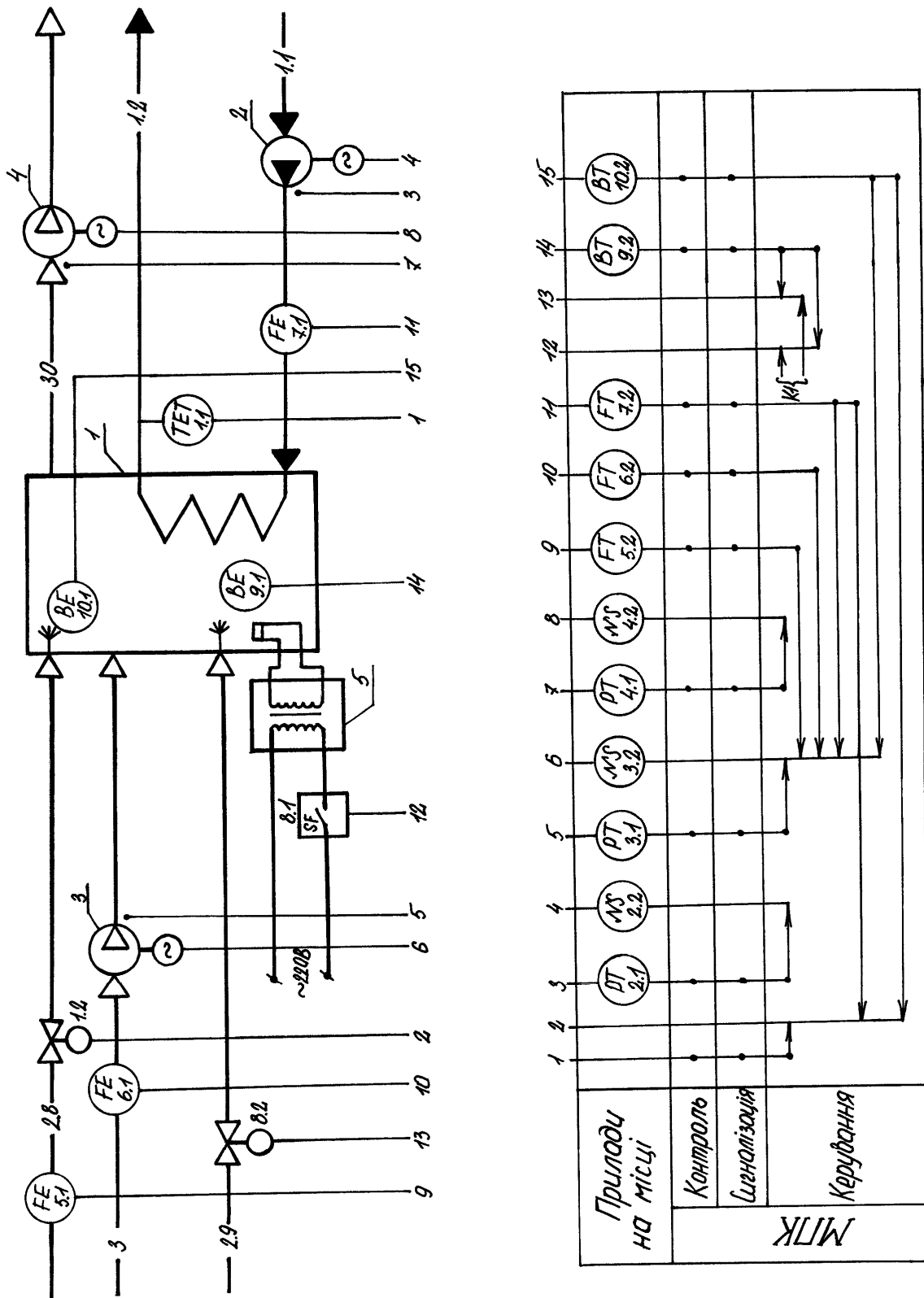


Рис. 6.3 - Матеріальні потоки: 1.1 - холодна вода до водогрійного котла; 1.2 - гаряча вода після водогрійного котла; 3 - повітря до водогрійного котла; 2.8 - природний газ; 2.9 - природний газ для запалювання полум'я; 3.0 - дим після водогрійного котла. Обладнання: 1 - водогрійний котел; 2 - насос подачі холодної води до водогрійного котла із електродвигуном; 3 - вентилятор подачі повітря до водогрійного котла із електродвигуном; 4 - димосос із електродвигуном; 5 - електрична котушка запалювання полум'я

У водогрійному котлі (1) потужністю до 3 Гкал/г відбувається процес перетворення теплової енергії природного газу (28), що спалюється, для нагріву холодної води (1.1), яка подається насосом (2) з електродвигуном до нього. Гаряча вода (1.2) після водогрійного котла (1) надходить споживачам. Для забезпечення заданої температури цієї води (1.2), необхідно виконувати її автоматичні контроль і керування нею зміною витрат природного газу (28) до водогрійного котла (1). Нормальну роботу відповідних насоса (2), вентилятора (3) і димососа (4) забезпечують автоматичними контролем тиску в нагнітальних патрубках насоса (2) і вентилятора (3) і розрідження в всмоктувальному патрубку димососа (4) та керування ними зміною числа обертів відповідних електродвигунів. Оскільки температура гарячої води (1.2) залежить також від витрат холодної води (1.1), то необхідно керувати співвідношенням витрат холодної води (1.1), природного газу (28) і повітря (3) до водогрійного котла (1) зміною витрат повітря (3), а для цього виконують контроль витрат цих параметрів. Окрім того, при аварійному припиненні витрат холодної води (1.1), виконують автоматичне відключення витрат природного газу (28) і повітря (3) до водогрійного котла (1). Для запалювання полум'я в водогрійному котлі (1) застосовують електричну котушку запалювання полум'я (5) типу КЗПЕ, напруга живлення якої 220В перемінного струму. Необхідно забезпечити автоматичне запалювання полум'я і контроль горіння цього полум'я і основного факела. Тому для фрагмента ФСА ТП водогрійного котла (рис. 6.3) реалізовано наступні функції:

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування температурою гарячої води після водогрійного котла зміною витрат природного газу;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування тиском в нагнітальному патрубку насоса подачі холодної води зміною числа обертів його електродвигуна;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування тиском в нагнітальному патрубку вентилятора подачі повітря зміною числа обертів його електродвигуна;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування вакуумом (розрідженням) у всмоктувальному патрубку димососа зміною числа обертів його електродвигуна;

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування співвідношенням витрат холодної води, природного газу і повітря до водогрійного котла зміною числа обертів електродвигуна вентилятора подачі повітря;

автоматичний контроль витрат холодної води до водогрійного котла і при аварійному припиненні подачі холодної води автоматичне відключення подачі природного газу і повітря до водогрійного котла;

автоматичні включення котушки запалювання полум'я за таймером К1 і подача природного газу для запалювання цього полум'я;

автоматичні контроль горіння полум'я запалювання, технологічна сигналізація і керування відключенням котушки запалювання полум'я і припиненням подачі природного газу для запалювання полум'я;

автоматичні контроль горіння основного факела, технологічна сигналізація і керування відключенням подачі природного газу і повітря до водогрійного котла.

Для автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування відповідними параметрами застосовують ті самі контрольно-вимірювальні прилади і засоби автоматизації, як для попередніх АСК ТП (див. підрозділи 6.1 і 6.2), тобто для температури: ПП/ПрП - поз. 1.1 - ТСМУ-0288; для тиску ПрП - поз. 2.1; 3.1 - САФІР-21; для розрідження: ПрП - поз. 4.1 - САФІР-22; для витрат: ПП - поз. 5.1; 6.1; 7.1 - ДК-0,6; ПрП - поз. 5.2; 6.2; 7.2 - САФІР-24, тому МПК КР-300 виконує алгоритми аналогічні відповідним параметрам, а керуючі впливи видає на ВМ: поз. 1.2; 8.2 - МЕО-1; поз. 2.2; 3.2; 4.2 - ПМЕ.

Для автоматичного включення котушки запалювання полум'я МПК КР-300 по таймеру К1 видає керуючі впливи на подачу природного газу для запалювання полум'я (ВМ - поз. 8.2 - МЕО-1) і подачу електричного струму на котушку запалювання факелу (ВМ - поз. 8.1 - SF - вимикач автоматичний) [2].

Для автоматичного контролю горіння полум'я запалювання і основного факела як ПП застосовують прилад наявності полум'я типу Ф 24.2, принцип дії якого заснований на детектуючих властивостях полум'я (поз. 9.1; 10.1), сигнали від яких надходять на ПрП - нормуючий перетворювач із уніфікованими сигналами постійного струму 4-20мА типу Ш-703 (поз. 9.2; 10.2), сигнали від яких надходять на відповідні входи МПК, а далі - аналогічні алгоритми, як для інших параметрів.

Умовне зображення функцій, які реалізовано МПК КР-300 на рис. 6.3 показано колами Ø2мм, що зафарбовані, а таймер - як К1.

Зважаючи на сказане, при розробці фрагмента ФСА ТП реалізовано наведені нижче системи.

Система автоматичного керування температурою гарячої води після водогрійного котла з видачею керуючих впливів на зміну витрат природного газу до цього котла. Система складається із:

ПП/ПрП - поз. 1.1 - ТСМУ-0288;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 1.2 - МЕО-1.

Система автоматичного керування тиском в нагнітальному патрубку насоса подачі холодної води до водогрійного котла з видачею керуючих впливів на зміну числа обертів його електродвигуна. Система складається із:

ПрП - поз. 2.1 - САФІР-21;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 2.2 - ПМЕ.

Система автоматичного керування тиском в нагнітальному патрубку вентилятора подачі повітря до водогрійного котла з видачею керуючих впливів на зміну числа обертів його електродвигуна. Система складається із:

ПрП - поз. 3.1 - САФІР-21;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 3.2 - ПМЕ.

Система автоматичного керування розрідженням (вакуумом) у всмоктувальному патрубку димососа із водогрійного котла з видачею керуючих впливів на зміну числа обертів його електродвигуна. Система складається із:

ПрП - поз. 4.1 - САФІР-22;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 4.2 - ПМЕ.

Система автоматичного керування співвідношенням витрат холодної води, природного газу і повітря до водогрійного котла з видачею керуючих впливів на зміну числа обертів його електродвигуна вентилятора подачі повітря. Система складається із:

ПП $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 5.1} \\ \text{поз. 6.1} \\ \text{поз. 7.1} \end{array} \right\}$ - ДК-0,6;

ПрП $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 5.2} \\ \text{поз. 6.2} \\ \text{поз. 7.2} \end{array} \right\}$ - САФІР-24;

МПК - КР-300;

ВМ - поз. 3.2 - ПМЕ.

Система автоматичного керування відключенням подачі природного газу і повітря при аварійному припиненні подачі холодної води до водогрійного котла. Система складається із:

ПП - поз. 7.1 - ДК-0,6;

ПрП - поз. 7.2 - САФІР-24;

МПК - КР-300;

ВМ - $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 1.2 - МЕО-1;} \\ \text{поз. 3.2 - ПМЕ.} \end{array} \right.$

Система автоматичного керування включенням котушки запалювання полум'я за таймером К1 із видачею керуючих впливів на подачу природного газу для запалювання полум'я. Система складається із:

таймер - К1 (відповідний алгоритм МПК);

МПК - КР-300;

ВМ - $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 8.1 - SF (вимикач автоматичний);} \\ \text{поз. 8.2 - ПМЕ.} \end{array} \right.$

Система автоматичного керування відключенням котушки запалювання полум'я при аварійному потуханні його із видачею керуючих впливів на припинення подачі природного газу для запалювання полум'я. Система складається із:

ПП - поз. 9.1 - Ф 24.2;

ПрП - поз. 9.2 - Ш-703;

МПК - КР-300;

ВМ - $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 8.1 - SF;} \\ \text{поз. 8.2 - МЕ0-1.} \end{array} \right.$

Система автоматичного керування горінням основного факелу в водогрійному котлі із видачею керуючих впливів на відключення подачі природного газу і повітря до водогрійного котла при аварійному потуханні основного факелу. Система складається із:

ПП - поз. 10.1 - Ф 24.2;

ПрП - поз. 10.2 - Ш-703;

МПК - КР-300;

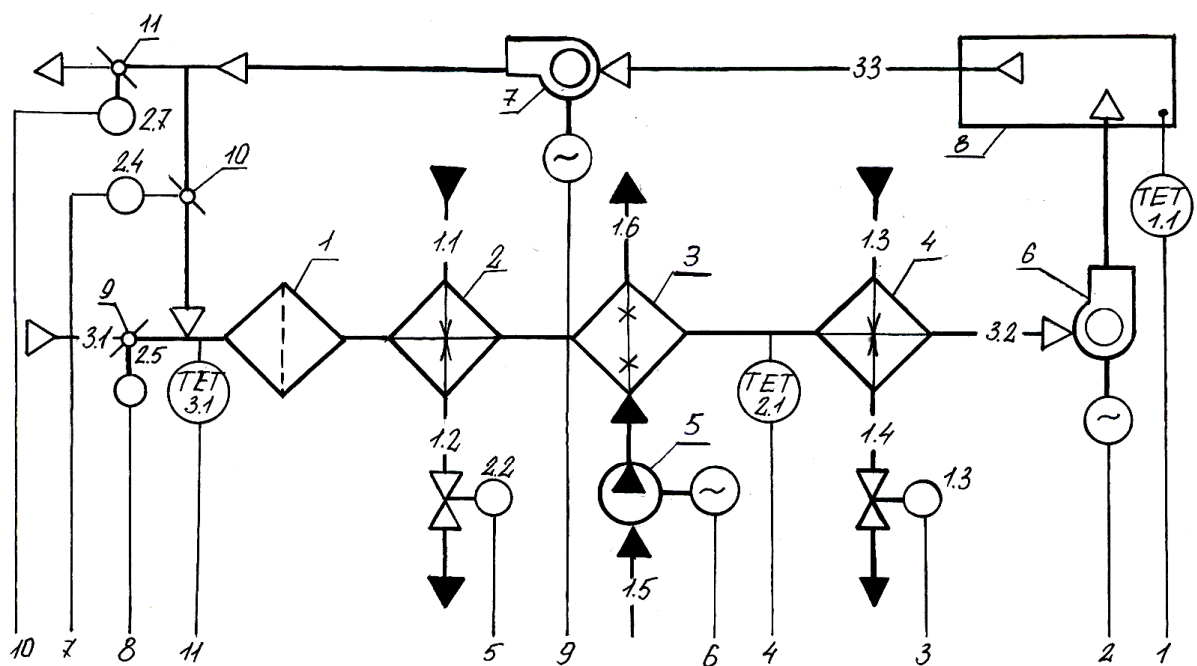
ВМ - $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 1.2 - МЕ0-1;} \\ \text{поз. 3.2 - ПМЕ.} \end{array} \right.$

Реалізація АСК ТП водогрійного котла потужністю 3 Гкал/г сприяє підвищенню його продуктивності на 15-20% порівняно з дистанційним керуванням цим котлом.

6.4. АСК ТП систем кондиціонування повітря

(СКП) з рециркуляцією повітря

Фрагмент розробленої ФСА СКП із рециркуляцією повітря зображено на рис. 6.4.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Прилади на місці		NS 1.2				NS 2.3			NS 2.6		
МПК	Контроль	•		•							•
	Сигналізація	•		•							•
	Керування	•	•		•	•	•	•	•	•	•

Рис. - 6.4. Матеріальні потоки: 1.1 - гарячий теплоносій перед калорифером першого підігріву; 1.2 - теплоносій після цього калорифера; 1.3 - гарячий теплоносій перед калорифером другого підігріву; 1.4 - теплоносій після цього калорифера; 1.5 - холодна вода перед зрошувальною камерою; 1.6 - вода після цієї камери; 3.1 - зовнішнє повітря; 3.2 - повітря, що подається у приміщення; 3.3 - рециркуляційне повітря. Обладнання: 1 - фільтр повітря; 2 - калорифер першого підігріву; 3 - зрошувальна камера; 4 - калорифер другого підігріву; 5 - насос подачі холодної води на зрошувальну камеру із електродвигуном; 6 - вентилятор для подачі повітря у приміщення з електродвигуном; 7 - вентилятор рециркуляційного повітря із електродвигуном; 8 - приміщення; 9 - клапан зовнішнього повітря; 10 - клапан рециркуляційного повітря; 11 - клапан для викиду повітря.

Основним завданням розробки ФСА СКП є автоматичне керування температурою і відносною вологістю повітря в приміщеннях. Точність стабілізації температури повітря у приміщеннях складає $\pm 1^{\circ}\text{C}$, а відносної вологості $\pm 7\%$, що відповідає вимогам комфорту. Відносна вологість вимірюється і керування нею виконується як для температури - за температурою "точки роси", що контролюють за зрошувальною камерою кондиціонера. Температурою "точки роси" за зрошувальною камерою в різних схемах СКП і в різну пору року керують за допомогою зміни: витрати теплоносія через калорифер першого підігріву; співвідношення витрат зовнішнього і рециркуляційного повітря; витрати холодної води, що подається на зрошувальну камеру та ін. Розглянемо розробку ФСА СКП із рециркуляцією повітря для трьох пір року: взимку, в перехідний період (осінь-зима чи зима-весна) і влітку. Відповідно до цього при розробці фрагмента ФСА цієї СКП (рис. 6.4) необхідно реалізувати такі функції:

автоматичні контроль температури повітря в приміщенні, технологічна сигналізація при виході температури за межі значень технологічного регламенту, розрахунок і видача керуючих впливів на відповідні виконавчі механізми;

автоматичні контроль температури "точки роси", технологічна сигналізація при виході температури за межі значень технологічного регламенту, розрахунок і видача керуючих впливів на відповідні виконавчі механізми;

автоматичні контроль температури повітря поперед фільтра, технологічна сигналізація при виході температури за межі значень технологічного регламенту, розрахунок і видача керуючих впливів на відповідні виконавчі механізми.

Для автоматичного контролю температури у відповідних точках технологічної схеми в якості ПП/ПрП застосовано термоперетворювачі опору мідні з уніфікованими сигналами постійного струму 4-20мА типу ТСМУ-0288 (поз. 1.1, 2.1, 3.1), сигнали від яких надходять на відповідні входи МПК КР-300. За алгоритмами "контроль температури" ці сигнали перетво-

рюються в значення температури (°C). У випадку, коли значення відповідних температур виходять за межі значень технологічного регламенту (верхнє чи нижнє), МПК за іншими алгоритмами виконує функцію "технологічна сигналізація" з видачею звукових та світлових сигналів і реєстрацією цих значень на лицевій стороні контролера КР-300. Для видачі керуючих впливів МПК за третіми алгоритмами розраховує величину цих впливів і надсилає їх на відповідні виконуючі механізми для реалізації. В якості виконавчих механізмів застосовано такі ж, як у попередній ФСА (тому наводити їх не має рації). Очевидно, що реалізація наведених функцій без достатньо повного математичного опису технологічних процесів, що мають місце у СКП із рециркуляцією, неможлива. Умовне зображення функцій, які реалізовано МПК КР-300, на ФСА показано колами Ø2мм (зафарбовані).

Зважаючи на сказане, при розробці ФСА реалізовано наведені нижче системи.

Взимку. Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування температурою повітря у приміщенні з видачею керуючих впливів на: зміну обертів електродвигуна вентилятора для подачі повітря в приміщення і зміну витрати теплоносія через калорифер другого підігріву.

Система складається із:

ПП/ПрП - поз. 1.1 - ТСМУ-0288;

МПК-КР-300;

ВМ - $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 1.2 ПМЕ} \\ \text{поз. 1.3 МЕО-1} \end{array} \right.$

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування температурою "точки роси" із видачею керуючих впливів на: зміну витрат теплоносія через калорифер першого підігріву; зміну положення клапана зовнішнього повітря; зміну положення клапана рециркуляційного повітря. Система складається із:

ПП/ПрП - поз.2.1 - ТСМУ-0288;

МПК КР-300;.

$$\text{ВМ} - \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 2.2} \\ \text{поз. 2.5} \\ \text{поз. 2.4} \end{array} \right\} \text{МЕО-1};$$

В перехідний період (зима-весна).

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування температурою повітря в приміщенні з видачею керуючих впливів на: припинення подачі теплоносія через калорифер другого підігріву і зміну обертів електродвигуна вентилятора для подачі повітря в приміщення. Система складається із:

ПП/ПрП - поз. 1.1 - ТСМУ-0288;

МПК КР-300;

$$\text{ВМ} - \left\{ \begin{array}{ll} \text{поз. 1.3} & \text{МЕО-1;} \\ \text{поз. 1.2} & \text{ПМЕ.} \end{array} \right.$$

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування температурою "точки роси" з видачею керуючих впливів на: припинення подачі теплоносія через калорифер першого підігріву; зміну положення клапана для викиду повітря; зміну числа обертів електродвигуна вентилятора рециркуляційного повітря. Система складається із:

ПП/ПрП - поз.2.1 - ТСМУ-0288;

МПК КР-300;.

$$\text{ВМ} - \left\{ \begin{array}{ll} \text{поз. 2.2} & \text{МЕО-1;} \\ \text{поз. 2.7} & \text{МЕО-1;} \\ \text{поз. 2.6} & \text{ПМЕ.} \end{array} \right.$$

Влітку. Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування температурою повітря в приміщенні із видачею керуючих впливів на зміну обертів електродвигуна вентилятора для подачі повітря в приміщення. Система складається із:

ПП/ПрП - поз. 1.1 - ТСМУ-0288;

МПК КР-300;

ВМ - поз. 1.2 - ПМЕ.

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування температурою "точки роси" із видачею керуючих впливів на: автоматичний пуск електродвигуна насоса подачі холодної води на зрошувальну камеру або/і зміну обертів цього електродвигуна; повне закриття клапана рециркуляційного повітря; повне відкриття клапана зовнішнього повітря. Система складається із:

ПП/ПрП - поз.2.1 - ТСМУ-0288;

МПК КР-300;.

ВМ - $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 2.3} \quad \text{ПМЕ}; \\ \text{поз. 2.4} \quad \text{МЕО-1}; \\ \text{поз. 2.5} \quad \text{МЕО-1.} \end{array} \right.$

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування температурою повітря перед фільтром із видачею керуючих впливів (при досягненні значення температури повітря перед фільтром на 0,5°C більше значення комфортної температури в приміщенні) на: повне закриття клапана зовнішнього повітря; повне відкриття клапана рециркуляційного повітря; повне закриття клапана для викиду повітря. Система складається із:

ПП/ПрП - поз.3.1 - ТСМУ-0288;

МПК КР-300;.

ВМ - $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 2.5} \\ \text{поз. 2.4} \\ \text{поз. 2.7} \end{array} \right\} \text{МЕО-1};$

Слід зауважити, що за динамічними властивостями СКП із приміщеннями відносять до об'єктів із розподіленими параметрами, нестационарні процеси в яких описуються диференціальними рівняннями в часткових похідних. Аналітичне вирішення цих рівнянь вкрай утруднено, тому для інженерних розрахунків використовують спрощені залежності, які повністю справедливі тільки для об'єктів із зосередженими параметрами [1-6].

Реалізація АСК ТП СКП з рециркуляцією повітря сприяє зниженню витрат теплової енергії на 15-20%.

6.5. АСК ТП холодильних установок неавтономних кондиціонерів

Для забезпечення неавтономних кондиціонерів холодом застосовують холодильні станції різної холодопродуктивності. Холодильні станції звично комплектують двома або більше холодильними установками, що працюють з проміжним холодоносієм, як правило водою. Розглянемо розробку фрагмента АСК ТП холодильної станції (рис. 6.5) на прикладі однієї холодильної машини.

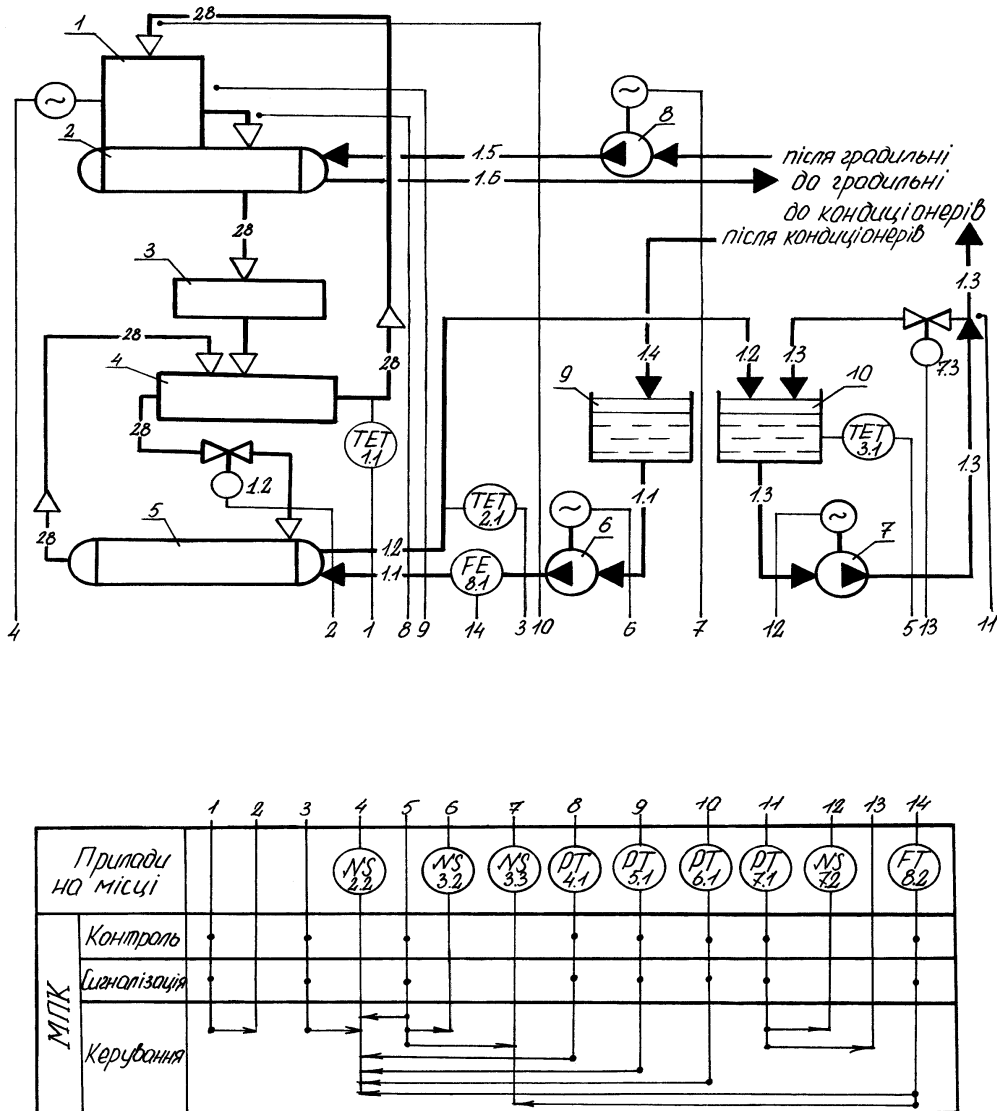


Рис. 6.5 - Матеріальні потоки: 1.1 вода - перед випарювачем; 1.2 - вода після випарювача (1-3°C); 1.3 - вода, що надходить до кондиціонерів (6-8°C); 1.4 - вода після кондиціонерів; 1.5 - вода після градирні; 1.6 - вода до градирні; 28 - холодоагент. Обладнання: 1 - компресор із електродвигуном; 2 - конденсатор; 3 - ресивер; 4 - теплообмінник; 5 - випарювач; 6 - насос подачі води на випарювач з електродвигуном; 7 - насос подачі води до кондиціонерів з електродвигуном; 8 - насос подачі води на конденсатор із електродвигуном; 9 - бак води після кондиціонерів; 10 - бак холодної води.

Для нормальної роботи компресора (1) необхідно забезпечити контроль і керування підвищеним тиском холодоагента (28) перед конденсатором (2) при нагнітанні і знизеним тиском перед компресором (1) при всмоктуванні його. Температура холодоагента (28), яку подають на компресор (1), має бути постійною, тому її контролюють і підтримують на заданому рівні зміною витрат холодоагента (28) після теплообмінника (4), що подають на випарювач (5). Для зменшення тертя механізмів холодильної машини, що обертаються, їх постійно змащують, тому контролюють тиск змащування, наприклад, компресора (1). Передбачають захист випарювача (5), щоб уникнути замерзання води (1.2) в трубах після випарювача (5). Для цього на виході випарювача (5) контролюють температуру води (1.2), значення якої повинно бути в межах 1-3°C. Якщо за будь-якої причини значення температури знижується, треба зупинити електродвигун компресора (1).

Для дублювання захисту випарювача (5) передбачають контроль витрати води (1.1) перед випарювачем (5). Якщо витрати стануть нижче критичного значення необхідно також зупинити електродвигун компресора (1), а через деякий час (-10с) і електродвигун насоса подачі води на конденсатор (2) із оборотного водопостачання після градирні (на ФСА немає).

Температура води в баці (10) холодної води має бути 6-8°C При підвищенні температури цієї води збільшують витрати води (1.1) на випарювач (5) і води (1.5) на конденсатор (2) за рахунок зміни обертів електродвигунів відповідних насосів (6 і 8). Для підтримки постійного тиску води (1.3), що подається насосом (7) до кондиціонерів (на ФСА немає), необхідно забезпечити його контроль і керування. Воду після кондиціонерів (1.4) повертають в бак (9).

Для розробки цього фрагмента ФСА необхідно реалізувати наступні функції:

автоматичні контроль, технологічна сигналізація і керування температурою холодоагента після теплообмінника;

автоматичні контроль, технологічна і керування температурою води після випарювача із корекцією за витратами води перед випарювачем;

автоматичні контроль, технологічна і керування температурою води в баці холодної води;

автоматичні контроль, технологічна і керування підвищеним тиском холодоагента перед конденсатором;

автоматичні контроль, технологічна і керування зниженим тиском перед компресором;

автоматичні контроль, технологічна і керування тиском води, що подається до кондиціонерів.

Для автоматичного контролю температури відповідних параметрів в якості ПП/ПрП застосовано термоперетворювачі з уніфікованими сигналами постійного струму 4-20мА типу ТСМУ-0288 (поз. 1.1; 2.1; 3.1). Шляхи проходження сигналів на МПК і алгоритми, що використовуються для реалізації заданих функцій, наведені в підрозділі 6.4.

Для автоматичного контролю тиску відповідних параметрів в якості ПрП застосовано тензорезисторні перетворювачі надлишкового тиску із уніфікованими сигналами постійного струму 4-20мА типу САФІР-21 (поз. 4.1; 5.1; 6.1; 7.1), шляхи проходження сигналів на МПК і алгоритми, що використовуються для реалізації заданих функцій, наведені в підрозділі 6.4.

Для автоматичного контролю витрати води в якості ПП, застосовано діафрагму камерну типу ДК-0,6 (поз. 8.1), сигнали від якого надходять на ПрП - вимірювальний тензорезисторний перетворювач різниці тиску на діафрагмі камерній типу САФІР-24 (поз. 8.2). Шляхи проходження сигналів на МПК і алгоритми, що використовуються для реалізації заданих функцій, наведені в підрозділі 6.4.

Для автоматичного пуску/зупинки електродвигунів насосів і компресора або зміни їх обертів в якості ВМ застосовано пускач магнітоелектричний типу ПМЕ (поз. 2.2; 3.2; 3.3; 7.2), а для автоматичної зміни витрат мате-

ріальних потоків або припинення чи відновлення їх подачі в якості ВМ застосовано однооберговий електричний двигун типу МЕО-1 (поз. 1.2; 7.3).

Умовне зображення функцій, які реалізовані МПК КР-300 на ФСА, показано колами $\varnothing 2\text{мм}$ (зафарбовані).

Зважаючи на наведене при розробці ФСА реалізовано наведені нижче системи.

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування температурою холодоагента після теплообмінника із видачею керуючих впливів на зміну витрат холодоагента в випарювач. Система складається із:

ПП/ПрП - поз. 1.1 - ТСМУ-0288;

МПК КР-300;

ВМ - поз. 1.2 - МЕО-1.

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування температурою води після випарювача із видачею керуючих впливів на зміну обертів електродвигуна компресора із корекцією за витратою води поперед випарювача або на зупинку електродвигунів компресора і насоса подачі води на конденсатор. Система складається із:

ПП/ПрП - поз. 2.1 - ТСМУ-0288;

ПП - поз. 8.1 - ДК-0,6;

ПрП - поз. 8.2 - САФІР-24;

МПК КР-300;

ВМ $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 2.2} \quad \text{ПМЕ}; \\ \text{поз. 3.2} \quad \text{ПМЕ}. \end{array} \right.$

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування температурою води в баці холодної води із видачею керуючих впливів на зміну обертів електродвигунів компресора, насоса подачі води на випарювач і насоса подачі води на конденсатор або зупинку цих електродвигунів. Система складається із:

ПП - поз.3.1 - ТСМУ-0288;

МПК КР-300;.

ВМ - $\left. \begin{array}{l} \text{поз. 2.2} \\ \text{поз. 3.2} \\ \text{поз. 3.3} \end{array} \right\}$ - ПМЕ.

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування підвищеним тиском холодоагента поперед конденсатора із видачею керуючих впливів на зміну обертів електродвигуна компресора або його зупинку. Система складається із:

ПрП - поз. 4.1 - САФІР-21;

МПК КР-300;

ВМ - поз. 2.2 - ПМЕ.

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування пониженим тиском холодоагента поперед компресора із видачею керуючих впливів на зміну обертів електродвигуна компресора або його зупинку. Система складається із:

ПрП - поз. 6.1 - САФІР-21;

МПК КР-300;

ВМ - поз. 2.2 - ПМЕ.

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування тиском змащування компресора із видачею керуючих впливів на зупинку електродвигуна компресора. Система складається із:

ПрП - поз. 5.1 - САФІР-21;

МПК КР-300;

ВМ - поз. 2.2 - ПМЕ.

Система автоматичних контролю, технологічної сигналізації і керування тиском води, що подається до кондиціонерів, із видачею керуючих впливів на зміну обертів електродвигуна насоса подачі води до кондиціонерів і зміну витрат цієї води до баку холодної води. Система складається із:

ПрП - поз. 7.1 - САФІР-24;

МПК КР-300;

$$\text{ВМ} \begin{cases} \text{поз. 7.2} & \text{ПМЕ;} \\ \text{поз. 7.3} & \text{МЕО-1.} \end{cases}$$

Реалізація АСК ТП холодильних установок неавтономних кондиціонерів забезпечує більш високу надійність їх роботи порівняно із ФСА на локальних КВП та ЗА.

Розглянуті в підрозділах 6.1-6.5 АСК ТП є системи неперервної дії (див. підрозділ 1.3).

Далі розглянемо одну з автоматизованих систем керування нижнього технологічного рівня ієрархії керування ІАСК міським господарством (див. підрозділ 5.4), яка є системою дискретної дії.

6.6. АСК ТП технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону

Для оптимального планування в розумінні заданого (вибраного) критерію оптимізації технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону потрібний аналіз великої кількості даних про: термін експлуатації і спорудження будівель; всі види енергоресурсів (тепло-, газо-, водо-, електропостачання); фінансовий стан району, тощо. Урахувати всі фактори, які впливають на якість технічного обслуговування, ремонт і реконструкцію будівель мікрорайону вручну неможливо через практично необмежене число варіантів. Тому для визначення оптимальних рішень за цими питаннями необхідно використовувати автоматизовані системи керування технологічними процесами дискретної дії (див. підрозділ 1.3). Для її створення потрібно вирішити цілий ряд питань, які пов'язані з розробкою деяких математичних моделей: якості технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону; забезпеченості енергоресурсами; демографічних характеристик сімей, тощо, необхідних для керування указаними дискретними технологічними процесами. Ціль керування в такій АСК ТП - це найбільш повне задоволення максимального числа вимог на своєчасне і якісне технічне обслуговування, ремонт і реконструкцію буді-

вель при обмежуванні, яких занадто багато. У такому разі критерій оптимальності (Z) можна записати у вигляді

$$Z = \max L \cdot Q, \quad (5.1)$$

де L - кількість задоволених запитів на поліпшення якості технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону;

Q - множина обмежень.

Алгоритм оптимального керування досягненням наведеної цілі включає такий перелік основних задач:

1) збір, аналіз і узагальнення необхідної інформації про якість технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону та підготовка відповідних початкових даних;

2) вибір і обґрунтування векторного (узагальнюючого) критерію ефективності і оптимізації, що ураховує поодинокі критерії і з єдиних методологічних позицій дозволяє аналізувати і оптимізувати систему керування;

3) розробка математичної моделі прогнозування поліпшення якості технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону;

4) розробка математичної моделі проведення поточного технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель за наявності будь-яких обмежень.

Отже, процес розробки алгоритму є закнутим з множиною прямих і зворотних зв'язків, які виділяють і уточнюють як при розробці таких АСК ТП, так і в процесі їх експлуатації.

АСК ТП технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону повинна мати необхідні зв'язки з аналогічними системами інших мікрорайонів і бути сумісною за технічним, інформаційним, математичним і програмним забезпеченням із автоматизованою системою керування нижнім технологічним рівнем - З(АСК НТР) (див. підрозділ 5.4).

Для реалізації АСК ТП технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону дискретної дії, як і для попередніх п'яти АСК ТП неперервної дії, доцільно застосовувати МПК КР-300 (див. розділ 4). Розгляд і реалізація конкретних функцій цієї АСК ТП являє собою самостійне дослідження, яке необхідно розглядати поза обсягом цього навчального посібника. Деякі задачі, які можна вирішувати при експлуатації цієї АСК ТП, розглянуті в розділі 8.

Контрольні запитання до розділу 6

1. Нарисуйте фрагмент АСК ТП у вигляді ФСА пароводяного тракту енергоблоку.
2. Розкажіть коротко про технологічний процес, що відбувається в прямотекучому котлоагрегаті.
3. Які параметри характеризують процеси спалення природного газу в прямотекучому котлоагрегаті?
4. Назвіть основні функції, які реалізують при впровадженні АСК ТП пароводяного тракту енергоблоку.
5. Які прилади застосовують при автоматичному контролі температури матеріальних потоків?
6. Які прилади застосовують при автоматичному контролі тиску матеріальних потоків?
7. Які прилади застосовують при автоматичному контролі витрат матеріальних потоків?
8. Які виконавчі механізми застосовують для реалізації відповідних функцій?
9. Які особливості розробки АСК ТП газопостачання?
10. Назвіть основні функції, які реалізують при впровадженні АСК ТП газопостачання.
11. Назвіть основні функції, які реалізують при впровадженні АСК ТП водогрійного котла потужністю 3 Гкал/г.

12. Які прилади використовують для запалювання полум'я у водогрійному котлі?
13. Які прилади використовують для контролю горіння полум'я запалювання і основного факела?
14. Назвіть системи автоматичного керування при аварійних потуханнях полум'я запалювання і основного факела в водогрійному котлі потужністю 3 Гкал/г.
15. Нарисуйте фрагмент ФСА СКП з рециркуляцією повітря.
16. Які функції реалізовано при розробці фрагмента ФСА СКП із рециркуляцією повітря?
17. Назвіть повні назви автоматичних систем контролю, технологічної сигналізації і керування фрагмента ФСА СКП з рециркуляцією повітря, їх основні елементи.
18. Нарисуйте фрагмент ФСА холодильних установок неавтономних кондиціонерів.
19. Які функції реалізовано при розробці фрагмента ФСА за п. 18?
20. Назвіть повні назви автоматичних систем контролю, технологічної сигналізації і керування фрагмента ФСА за п. 18.
21. Назвіть дані, необхідні для оптимального планування технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону.
22. Чому АСК ТП технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону дискретної дії?
23. Назвіть мету керування в системі (за п. 22), напишіть критерій оптимальності для цієї системи.
24. Які завдання реалізує алгоритм оптимального керування для досягнення цілі АСК ТП технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону?
25. Яким методом реалізовані ФСА в розділі 6 цього посібника?

7. ПРОЦЕС СТВОРЕННЯ АСК ТП

7.1 Основні напрямки робіт для створення АСК ТП

Завдання, яка може бути вирішено при створенні АСК ТП діючого об'єкта керування, формулюють таким чином: на базі сучасних технічних засобів автоматизації побудувати для діючого об'єкта економічно ефективну систему керування, яка відповідає заданим цілям, вимогам і раціонально використовує можливості людини і техніки. Можна використовувати два підходи до вирішення поставленого завдання: інтуїтивний і формалізований. При першому підході на основі апріорних уявлень про об'єкт керування і логічних міркувань пропонується комплекс алгоритмів керування і вибираються технічні засоби для його реалізації. При цьому ефективність прийнятих рішень спирається на інтуїцію розробника і перевіряється експериментально на об'єкті керування. При другому підході на початковому етапі робиться спроба формалізувати уявлення про об'єкт і всю задачу керування ним. Далі або у вигляді математичних формул, або за допомогою цілого ряду додаткових спрощених пропозицій пропонується (або синтезується) алгоритм керування об'єктом. Важливою особливістю другого підходу є те, що ефективність прийнятих рішень до експериментальної перевірки на об'єкті, перевіряють за допомогою керуючих обчислювальних машин в лабораторних (стендових) умовах. З коротких характеристик наведених підходів можна сказати, що перший - простий, а другий - дозволяє використовувати досягнення теорії автоматичного керування і тому більш надійний. У той же самий час при ускладненні задач керування об'єктом ефективність першого підходу значно падає і домінуюче значення набуває формалізований підхід.

Умовно виділяють чотири основні етапи, які пов'язані з формалізацією задачі створення АСК ТП:

- змістовий опис діючого об'єкта і його системи керування;
- формулювання мети керування автоматизованого об'єкта;

складання структурної схеми об'єкта керування і декомпозиції задачі керування;

складання апріорного математичного опису об'єкта керування.

Зрозуміло, що як і в будь-якому творчому процесі, ця регламентація виконання робіт може бути змінена. Часто, в міру поглиблення знань про об'єкт керування необхідно повертатися до попередніх етапів дослідження, виправляти раніше прийняті рішення, знову повторювати виконані етапи, тощо.

Виконання першого етапу відбувається тільки після вивчення об'єкта і діючої системи керування ним, спрямованого на отримання і систематизацію відомостей про конструктивне оформлення і принципи дії об'єкта, його часові характеристики, структуру діючої системи керування, критерії керування і обмежування, а також про втрати, пов'язані із недоліками діючої системи керування. Такі недоліки є результатом обмежених можливостей оперативного персоналу, які більше всього проявляються при керуванні складними об'єктами, швидкоплинними технологічними процесами, тощо. Можливі втрати також через неправильний розподіл інформаційних потоків, відсутність приладів для контролю параметрів або органів керування для зміни характеристик будь-яких матеріальних або енергетичних потоків. Очевидно, що знання цих причин зробить наступну роботу для формалізації задач керування більш ціленаправленою і дозволить апріорно оцінювати ефективність тих або інших рішень.

Якщо АСК ТП створюється для діючого об'єкта вперше, то можливість випробування її в реальному часі до закінчення всіх робіт практично виключена. Сумісну роботу оперативного персоналу і МПК (див. розділ 4) не можна розпочинати, поки розробка АСК ТП не дійде до отримання готових і відлагоджених програм і закінчення повної розробки операцій, які повинні виконуватися оперативним персоналом. Усе, що не було враховано в процесі розробки системи, або невдалі рішення і помилки виявляються тільки при введенні в дію і подальшої експлуатації АСК ТП. Тому при

створенні АСК ТП надзвичайне значення набувають перші етапи робіт, коли приймаються принципові рішення. Робота на перших етапах складає за часом і трудоемкістю 40-60% всієї розробки АСК ТП.

Еволюцією АСК ТП планують заздальгідь, тобто в процесі розробки, коли визначають черги вводу функцій системи в дію. Ці обставини ще більше підсилюють значення перших етапів розробки системи, складання плану на тривалий період, урахування взаємозамінних окремих частин системи, в тому числі тих, які вводяться в експлуатацію в різний час. Оскільки в АСК ТП оперативний персонал має домінуюче значення, а обладнання - допоміжне, при створенні цих систем необхідно урахувати такі фактори, як психологічні й соціальні особливості оперативного персоналу, суб'єктивний вплив. Крім того, при створенні АСК ТП необхідно приділяти особливу увагу процедурам, які пов'язані з переробкою інформації оперативним персоналом, а також передбачити реакцію у випадку їх порушення. Суттєву увагу треба приділяти також процесу підготовки оперативного персоналу для роботи за указаними процедурами: розробці робочих інструкцій, навчанню, тренуванню, виявленню і усуненню помилок.

Розглянемо склад і зміст робіт для створення оригінальної (вперше створюваної) АСК ТП для діючого об'єкта з неперервними технологічними процесами. Держстандарт України визначив три періоди робіт для створення оригінальної АСК ТП: 1) передпроектна підготовка до створення; 2) процес розроблення; 3) промислова експлуатація. Ці три періоди діляться на цілий ряд стадій, які, в свою чергу, підрозділяються на етапи, назви яких визначаються напрямком і/або змістом відповідних робіт. Розглянемо їх більш детально.

7.2. Передпроектна підготовка до створення оригінальної АСК ТП

Перший період робіт складається з двох стадій:

- 1) дослідження діючого об'єкта і системи керування ним;

2) розроблення техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) створення оригінальної АСК ТП.

7.2.1. Дослідження діючого об'єкта і системи керування ним

Роботи першої стадії направлені на виявлення основних джерел очікуваної ефективності створюваної АСК ТП. Змістовно стадія зводиться до ретельного вивчення і аналізу діючого об'єкта і системи керування ним, виявленню існуючих недоліків керування, які призводять до зменшення ефективності технологічних процесів, і виявленню причин цих недоліків. У результаті проведення стадії необхідно виявити "вузькі місця", невикористані резерви технологічних процесів, причини аварій, тощо. Особливу увагу необхідно приділити визначенню технологічного потенціалу об'єкта керування, тобто існуючого запасу щодо продуктивності й підвищення якості вихідної продукції, який визначається в першу чергу конструкцією агрегатів, властивостями вхідних продуктів і потенціалом керування, тобто граничними значеннями тих же параметрів, які можуть бути досягнуті шляхом оптимізації керування при наявності АСК ТП.

7.2.2. Розроблення ТЕО створення оригінальної АСК ТП

Роботи другої стадії першого періоду виконують в два етапи. На першому визначається основна мета робіт, яка полягає у формуванні обґрунтованих пропозицій замовника щодо створення АСК ТП з визначеними основними функціями і технічними характеристиками. Відповідальність за розробку ТЕО АСК ТП несе замовник, а підставою для виконання всіх робіт першого періоду є рішення керівництва підприємства (або відомства), яке визначає термін проведення цих робіт, джерела і обсяг фінансування робіт. Розробка ТЕО виконується замовником системи сумісно із генеральною проектною організацією, а при необхідності до робіт залучують спеціалізовані організації, зокрема передбачуваного розробника системи. Для досягнення вказаної вище цілі виконується також аналіз відомих випадків застосування АСК ТП для аналогічних об'єктів, що дозволяє розробити обґрунтовані із позиції за-

мовника початкові технічні вимоги до оригінальної АСК ТП. Робота другого етапу цієї стадії складається в установленні функціонального призначення передбаченої для розробки оригінальної АСК ТП, попередньої оцінки затрат на її створення і ефективності, яка зв'язана із усуненням недоліків, котрі виявлені при виконанні попередньої стадії. Основні результати робіт цього етапу оформляються у вигляді техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) створення оригінальної АСК ТП, в якому викладення початкових технічних вимог зводиться до чіткого і впорядкованого переліку бажаних функцій створюваної оригінальної АСК ТП, і вимог до якості їх виконання (за швидкістю, надійністю, метрологією тощо). В ТЕО приводиться також попередній розрахунок очікуваних показників техніко-економічної ефективності оригінальної АСК ТП, який виконують за відповідними методиками. Після розробки ТЕО замовник системи погоджує його з генеральною проектною організацією і передбачуваним розробником системи, а цей документ стає першим серед інших, які розроблюють при створенні оригінальної АСК ТП. На цьому закінчується перший період створення АСК ТП.

7.3. Процес розроблення оригінальної АСК ТП

Другий період робіт складається з п'яти стадій:

- 1) розроблення технічного завдання (ТЗ) на створення оригінальної АСК ТП;
- 2) розроблення проекту оригінальної АСК ТП;
- 3) розроблення робочої документації;
- 4) виготовлення несерійних і комплектування серійними технічними засобами оригінальної АСК ТП;
- 5) введення в дію (впровадження) оригінальної АСК ТП.

7.3.1. Розроблення ТЗ на створення оригінальної АСК ТП

Основна мета роботи першої стадії полягає в підтвердженні доцільності і детальному обґрунтуванні можливості створення ефективної оригі-

нальної АСК ТП з визначеними функціями і технічними характеристиками, які наведені замовником системи в ТЕО. Тому першим етапом цієї стадії є проведення передпроектних науково-дослідних і експериментально-конструкторських робіт, які направлені на вивчення найбільш складних задач керування об'єктом для вибору методів їх вирішення. Цей етап зводиться до виконання наступних робіт: аналіз технологічного процесу як об'єкта керування; аналіз інформаційних потоків, формулювання критерію керування і обмежування; розробка попередніх математичних моделей технологічного процесу і вимірювання; формулювання задач синтезу алгоритмів контролю і керування і попередній вибір методів їх вирішення; формулювання постановок функціональних задач системи. Остання робота полягає у визначенні функцій, які повинна реалізувати система, і в уточненні вимог до їх виконання. На другому етапі стадії виконується попередня оцінка можливості реалізації цих функцій за допомогою сучасних засобів автоматизації і обчислювальної техніки. Як правило, такі дослідження проводять в лабораторних умовах аналітичними методами або шляхом експериментального моделювання на ПЕОМ. На третьому етапі першої стадії початкові технічні вимоги до АСК ТП, які наведені в ТЕО, переробляються за результатами передпроектних науково-дослідних і експериментально-конструкторських робіт в обґрунтоване, погоджене і затверджене "Технічне завдання (ТЗ) на створення оригінальної АСК ТП", яке є основним документом, на відповідність якому виконується перевірка системи при її передачі в промислову експлуатацію. Відповідальність за розробку ТЗ несе генеральний розробник системи. Основними вихідними документами першої стадії другого періоду робіт є: затверджене "Технічне завдання (ТЗ) на створення оригінальної АСК ТП", у якому приводиться розрахунок очікуємих показників техніко-економічної ефективності; "Науково-технічний звіт" з результатами проведених передпроектних досліджень і ескізної розробки АСК ТП. Ці документи є початковими для виконання

науково-дослідних і проектних робіт на наступних стадіях розробки системи (проект і робоча документація).

"Технічне завдання" погоджується з усіма організаціями - учасниками робіт і затверджується відомствами розробника і замовника оригінальної АСК ТП, при цьому замовник системи відкриває фінансування робіт для наступних стадій робіт.

7.3.2. Розроблення проекту оригінальної АСК ТП

Основна мета робіт цієї стадії полягає в обґрунтуванні і розробці основних технічних рішень створюваної оригінальної АСК ТП і визначення кошторису затрат на розробку системи.

Основними учасниками робіт цієї стадії є генеральний розробник, який залучує співвиконавців. Роботи на стадії виконують за наступними етапами. На етапі "Системотехнічний синтез оригінальної АСК ТП" розроблюють основні рішення системи в цілому (схеми функціональної і організаційної структур АСК ТП, опис постановок функціональних задач, тощо). Окрім того складаються завдання на роботи для проектування системи, які повинні виконувати співвиконавці. Етап "Апаратурно-технічний синтез" присвячений визначенню характеристик інформаційно-вимірювальних каналів, структури комплексів технічних засобів системи, функціональних схем автоматизації, тощо. Етап "Розробка завдань для проектування в суміжних частинах проекту" містить вимоги до приміщень; забезпеченню технічних засобів системи різними видами енергії і засобами зв'язку; іншим розробкам, які виконуються в суміжних частинах проекту будівництва або реконструкції об'єкта та необхідних для створення АСК ТП. На етапі "Підготовка заявок на розробку нових засобів автоматизації" визначають технічні вимоги до нових технічних засобів і погодження цих вимог із розробниками засобів. Етап "Розробка технічних завдань на оперативно-диспетчерське обладнання, яке не випускається серійно" містить технічні завдання на нестандартизоване обладнання, які передаються організаціям

заводів-виробників. Етапи "Розробка кошторису затрат на створення АСК ТП", "Розрахунок очікуваної техніко-економічної ефективності АСК ТП" і "Складання патентного формуляру" завершуються складанням проектно-кошторисних документів, які включають до складу загальносистемної документації. Етап "Проектування спеціального математичного і інформаційного забезпечення АСК ТП" являє собою основну сукупність робіт, які виконуються для розробки всіх алгоритмів системи, загального алгоритму функціонування АСК ТП як людино-машинної системи, а також складають "Завдання на програмування задач оригінальної АСК ТП", яке передають спеціалізованим виконавцям.

Документація цієї стадії поділяється на: загальносистемну; математичного, інформаційного і технічного забезпечення. До складу загальносистемної документації повинні включатися пояснювальна записка до "Проекту оригінальної АСК ТП"; опис постановок функціональних задач, які забезпечують виконання всіх функцій системи; схема функціональної структури системи; розрахунок очікуваної економічної ефективності; кошторис затрат на створення оригінальної АСК ТП. До складу документації математичного забезпечення повинні включатися пояснювальна записка до розділу "Спеціальне математичне забезпечення оригінальної АСК ТП"; алгоритми контролю і керування; алгоритми функціонування системи в реальному часі, які забезпечують роботоздатність, надійність і можливість розвитку системи в межах, які вказані в "Технічному завданні..."; алгоритми функціонування комплексу технічних засобів; завдання на програмування задач оригінальної АСК ТП. До складу документації інформаційного забезпечення повинні включатися пояснювальна записка до розділу цієї ж назви; перелік вхідних аналогових і дискретних сигналів і даних, та їх характеристики; перелік вихідних сигналів і документів та способи їх представлення і використання при виконанні відповідних функцій системи; схема збору, обробки і використання інформації. До складу документації технічного забезпечення повинні включатися пояснювальна записка до ро-

зділу "Технічне забезпечення оригінальної АСК ТП"; структурна схема комплексу технічних засобів; структурна схема мікропроцесорного контролера; плани розміщення пунктів керування, диспетчерських щитів, мікропроцесорного контролера, тощо; відомості контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації, мікропроцесорної техніки, електроапаратури, трубопровідної арматури, щитів і пунктів, основних монтажних матеріалів і виробів, нестандартизованого обладнання, тощо.

"Проект оригінальної АСК ТП" генеральний розробник погоджує із замовником, після цього він затверджується відомством замовника. Затверджений проект є початковим документом для продовження робіт на стадії розроблення робочої документації.

7.3.3. Розроблення робочої документації оригінальної АСК ТП

Основна мета робіт, що виконуються на цій стадії, полягає в розробці робочих рішень створюваної оригінальної АСК ТП із випуском проектно-кошторисної документації, яка необхідна і достатня для придбання, монтажу і налаштування комплексу технічних засобів системи, і документації програмного і організаційного забезпечення, яка необхідна і достатня для налаштування і експлуатації системи. Підставою для робіт цієї стадії є затверджений проект за умови продовження фінансування робіт. Початковими документами для виконання розроблення робочої документації оригінальної АСК ТП є затверджені "ТЗ" і "Проект", а також дані замовника про будівлі, енергопостачання, тощо. Основні виконавці цієї стадії визначаються планом організаційно-технічних заходів для створення цієї системи. Результатом виконання робіт стадії є випуск робочої документації і передача замовнику спеціального програмного забезпечення на носіях, які необхідні і достатні для налаштування оригінальної АСК ТП, а потім і її експлуатації. Робоча документація оригінальної АСК ТП поділяється на: загальносистемну; програмного, технічного і організаційного забезпечення. До складу загальносистемної робочої документації включається допра-

цьована аналогічна документація стадії "проект". До складу робочої документації технічного забезпечення включається допрацьована аналогічна документація стадії "проект", окрім того - специфікації на замовлення контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації, мікропроцесорної техніки, тощо. До складу робочої документації організаційного забезпечення включається технічний опис оригінальної АСК ТП, інструкції оперативному персоналу для експлуатації оригінальної АСК ТП. На етапі робіт по розробці робочої документації програмного забезпечення виконується: синтез повної програмної структури оригінальної АСК ТП; аналіз програмної структури для виділення програмних модулів, які необхідно виготовити, як окрему програму; програмування і перевірка модулів; виготовлення програм-оригіналів, дублікатів і копій; розробка і оформлення програмної і експлуатаційної документації оригінальної АСК ТП в цілому; доопрацювання робочої документації і інформаційного забезпечення. Розроблена робоча документація оригінальної АСК ТП передається замовнику системи.

7.3.4. Виготовлення несерійних і комплектування серійними технічними засобами оригінальної АСК ТП

Основна мета робіт цієї стадії полягає у виготовленні несерійних і придбанні серійних технічних засобів, монтажі й налаштуванні всього комплексу технічних засобів системи, його автономною наладкою і випробуванням. Основними виконавцями цієї стадії є замовник системи і спеціалізовані організації для виконання наведених вище робіт. Після виконання робіт цієї стадії складають двосторонній акт про готовність комплексу технічних засобів до реалізації у складі оригінальної АСК ТП.

7.3.5. Введення в дію (упровадження) оригінальної АСК ТП

Основна мета робіт цієї стадії полягає у фізичній реалізації системи і передачі її в промислому експлуатацію. Основними етапами робіт цієї стадії є: підготовка об'єкта до введення в дію системи; наладка і випробування

системи; дослідна (експериментальна) експлуатація системи; прийомно-здаточні випробування системи. Підготовка об'єкта до введення в дію (впровадження) оригінальної АСК ТП включає: організаційно-технічні роботи, зокрема будівельні роботи й модернізацію технологічного обладнання; проведення навчання оперативного персоналу замовника АСК ТП для роботи із системою; забезпечення оперативного персоналу інструктивно-методичними матеріалами, тощо. Відладка і випробування оригінальної АСК ТП охоплює: наладку технічних засобів і програмного забезпечення оригінальної АСК ТП; проведення попередніх випробувань системи, за результатами яких визначаються кількісні і якісні характеристики виконання окремих функцій, виявляється можливість сумісного функціонування всіх підсистем і визначаються характеристики системи в цілому. Виявлені недоліки при випробуванні системи заносяться до двостороннього протоколу і у визначенні терміни повинні бути усунені до передачі системи до дослідної (експериментальної) експлуатації. Дослідна (експериментальна) експлуатація оригінальної АСК ТП повинна проводитися замовником системи за участю виконавця для перевірки працездатності системи і готовності оперативного персоналу до роботи в умовах промислової експлуатації. На цьому етапі виконуються наступні роботи: включення оригінальної АСК ТП до дослідної (експериментальної) експлуатації; визначення експлуатаційних характеристик цієї системи; додаткова наладка програм і обладнання; корекція експлуатаційної документації; розрахунок економічної ефективності оригінальної АСК ТП за результатами цієї експлуатації. При цьому складається двосторонній протокол цієї експлуатації. Якщо одержані показники економічної ефективності системи краще аналогічних показників, які розраховані на стадії "Розроблення проекту...", готується програма і методика проведення прийомно-здаточного випробування системи і випускається замовником системи наказ про проведення цього випробування. Прийомно-здаточні випробування оригінальної АСК ТП проводяться із ціллю перевірки відповідності створеної системи загальним технічним ви-

могам до оригінальної АСК ТП; вимогам, які є в "Технічному завданні на створення оригінальної АСК ТП", і прийому її в промислову експлуатацію. Прийомно-здаточні випробування оригінальної АСК ТП повинен організувати і проводити замовник системи, який сумісно із генеральним виконавцем показує міжвідомчій комісії наступну технічну документацію: "Техніко-економічне обґрунтування...", "Технічне завдання...", "Проект розроблення...", протокол дослідної (експериментальної) експлуатації, програму і методику проведення прийомно-здаточного випробування, експлуатаційну документацію на оригінальну АСК ТП. Комісія після вивчення всіх представлених матеріалів приймає рішення про готовність (неготовність) оригінальної АСК ТП для проведення прийомно-здаточного випробування. Це випробування проводять протягом 12-15 діб. Після закінчення прийомно-здаточного випробування комісія складає акт, у якому формується висновок про відповідність (невідповідність) оригінальної АСК ТП вимогам, які ставляться до неї, доцільність (недоцільність) передачі її до промислової експлуатації. При передачі оригінальної АСК ТП до промислової експлуатації комісія визначає термін проведення відповідних стадій.

7.4. Промислова експлуатація оригінальної АСК ТП

Третій період робіт складається з трьох стадій:

- 1) аналіз функціонування оригінальної АСК ТП;
- 2) визначення фактичної економічної ефективності оригінальної АСК ТП;
- 3) підготовка підсумкових матеріалів і документів оригінальної АСК ТП.

7.4.1. Аналіз функціонування оригінальної АСК ТП

Роботи першої стадії третього періоду виконують згідно із циклами штатної експлуатації і річними міжремонтними термінами конкретного об'єкта. Основна мета робіт, які виконуються на цій стадії, полягає в отри-

манні об'єктивних і систематизованих даних про якість створеної оригінальної АСК ТП, поточний стан і реальний економічний ефект від використання цієї системи на основі досвіду її промислової експлуатації терміном за два міжремонтних цикли. Для цього визначаються показники експлуатаційної надійності системи в цілому і окремих її функцій, показники техніко-економічної ефективності системи і оцінюється функціонально-алгоритмічна повнота (розвинення) системи. Роботи, які виконуються на цій стадії, включають наступні етапи: обстеження стану оригінальної АСК ТП; експериментально-статистичні дослідження, аналіз отриманих результатів; розробка рекомендації і заключних матеріалів обстеження.

7.4.2. Визначення фактичної економічної ефективності оригінальної АСК ТП

Роботи цієї стадії виконують на основі отриманих об'єктивних даних про реальні техніко-економічні показники функціонування оригінальної АСК ТП протягом двох міжремонтних циклів. Матеріали визначення фактичної економічної ефективності оригінальної АСК ТП входять як обов'язковий розділ до зведеного науково-технічного звіту за результатами аналізу функціонування оригінальної АСК ТП. Якщо фактична економічна ефективність оригінальної АСК ТП вище економічної ефективності цієї системи, яка розрахована за результатами дослідної (експериментальної) її експлуатації (див. підрозділ 7.3.5), створена оригінальна АСК ТП відомством замовника повинна бути затверджена як вперше розроблена для конкретного технологічного об'єкта керування і повинна бути використана як аналог для створення АСК ТП аналогічних або близьких за технологією об'єктів. Підсумкові матеріали створеної оригінальної АСК ТП готують при виконанні третьої стадії.

7.4.3. Підготовка підсумкових матеріалів і документів оригінальної АСК ТП

Результати робіт за попередніми стадіями третього періоду створення оригінальної АСК ТП використовують для підготовки підсумкових матеріалів і документів як технічні висновки, які затверджуються відомством замовника. Створена оригінальна АСК ТП повинна бути використана для розвитку і вдосконалення як цієї системи, так і розробки уніфікованих і типових рішень технічних структур і програмного забезпечення, які необхідні для тиражування цієї АСК ТП, або створення АСК ТП аналогічних технологічних об'єктів керування. При цьому обсяги робіт і терміни їх виконання відповідних стадій значно зменшуються.

7.5. Учасники створення оригінальної АСК ТП

У роботах для створення оригінальної АСК ТП беруть участь:

1) замовник - юридична особа (організація), яка формує технічні вимоги до оригінальної АСК ТП, фінансує роботи для її створення, приймає участь у виконанні відповідних стадій і відповідає за введення в дію і промислову експлуатацію оригінальної АСК ТП;

2) генеральний розробник - юридична особа (організація), як правило, головний науково-дослідний і проектний інститут відомства, яке виконує весь (або частину) комплекс робіт для створення оригінальної АСК ТП і несе відповідальність за науково-технічний рівень розробки і її відповідальність технічним вимогам, які наведені в "Технічному завданні на створення оригінальної АСК ТП";

3) співвиконавець - юридична особа (організація), яке приймає участь у виконанні частини робіт для створення системи за договором із генеральним розробником або замовником і несе відповідальність за якість виконаних робіт і відповідність їх технічним вимогам.

Контрольні запитання до розділу 7

1. Дайте визначення інтуїтивного підходу до створення АСК ТП.
2. Дайте визначення формалізованого підходу до створення АСК ТП.
3. Назвіть чотири етапи, пов'язані з формалізацією задачі створення АСК ТП.
4. Наведіть порядок виконання першого етапу формалізації задачі створення АСК ТП.
5. Назвіть особливості створення АСК ТП для діючого об'єкта.
6. Визначить, як планують еволюцію створюваної АСК ТП?
7. Що розуміють під оригінальною АСК ТП?
8. Назвіть три періоди робіт створення оригінальної АСК ТП для діючого об'єкта.
9. Наведіть роботи першої стадії передпроектної підготовки до створення оригінальної АСК ТП.
10. Наведіть роботи другої стадії - "Розроблення ТЕО створення оригінальної АСК ТП".
11. Які матеріали наводять в "ТЕО створення оригінальної АСК ТП".
12. Назвіть п'ять стадій другого періоду - "Процесу розроблення оригінальної АСК ТП".
13. Наведіть основну ціль робіт на стадії "Розроблення ТЗ...".
14. Які роботи виконують на стадії - "Розроблення ТЗ на створення оригінальної АСК ТП"?
15. Які матеріали наводять в "ТЗ створення оригінальної АСК ТП"?
16. Наведіть основну мету робіт на стадії "Розроблення проекту оригінальної АСК ТП".
17. Які роботи виконують на етапі "Системотехнічний синтез оригінальної АСК ТП"?
18. Які матеріали включають до складу загальносистемної документації оригінальної АСК ТП?

19. Які роботи виконують на етапі "Проектування спеціального математичного і інформаційного забезпечення АСК ТП"?
20. Які матеріали включають до складу загальносистемної документації?
21. Які матеріали включають до складу документації математичного забезпечення?
22. Які матеріали включають до складу інформаційного забезпечення?
23. Які матеріали включають до складу технічного забезпечення?
24. На якій стадії робіт створення оригінальної АСК ТП затверджені "ТЗ створення оригінальної АСК ТП" і "Проект оригінальної АСК ТП" повинні бути подані як початкові документи?
25. Наведіть основну мету робіт на стадії "Розроблення робочої документації оригінальної АСК ТП".
26. Які роботи виконують на етапі "Розробка робочої документації програмного забезпечення оригінальної АСК ТП"?
27. Назвіть основну мету робіт на стадії "Виготовлення несерійних і комплектування серійними технічними засобами".
28. Наведіть основну мету робіт на стадії "Введення в дію оригінальної АСК ТП".
29. Назвіть основні етапи робіт стадії за попереднім пунктом.
30. Які роботи виконують на етапі "Підготовка об'єкта до введення в дію оригінальної АСК ТП"?
31. Які роботи виконують на етапі "Відладка і випробування оригінальної АСК ТП"?
32. Які роботи виконують на етапі "Дослідна експлуатація оригінальної АСК ТП"?
33. Які роботи виконують на етапі "Приймочно-здаточні випробування оригінальної АСК ТП"?
34. Назвіть стадії робіт третього періоду - "Промислова експлуатація оригінальної АСК ТП".

35. Які роботи виконують на стадії "Аналіз функціонування оригінальної АСК ТП"?
36. Які роботи виконують на стадії "Визначення фактичної економічної ефективності оригінальної АСК ТП"?
37. Які роботи виконують на стадії "Підготовка підсумкових матеріалів і документів оригінальної АСК ТП"?
38. За яких умов створена оригінальна АСК ТП повинна бути використана як аналог?
39. Назвіть учасників створення оригінальної АСК ТП і їх визначення.

8. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АСК ТП ДИСКРЕТНОЇ ДІЇ

Про основи математичного моделювання об'єктів керування коротко було розглянуто в підрозділах 3.3 і 3.4. Але мова там була про технологічні процеси неперервної дії, для яких створюють АСК ТП неперервної дії (див. підрозділ 1.3). Не менш складні задачі треба вирішити при створенні математичних моделей АСК ТП дискретної дії. Тому в цьому розділі розглянемо деякі методи, за допомогою яких отримують математичні моделі для їх реалізації при експлуатації АСК ТП дискретної дії.

Розробку математичних моделей виконують за однаковою методикою:

- повна назва математичної моделі;
- дані для розробки математичної моделі;
- задача для вирішення;
- алгоритм вирішення задачі для розробки математичної моделі та контрольний приклад;
- висновок за результатом вирішення задачі.

8.1. Математична модель випуску продукції за критерієм максимального прибутку методом лінійного програмування

Об'єкти керування, для яких створюють АСК ТП дискретної дії, відрізняються один від другого за об'ємами інформації, цілями та критеріями керування, а отже за параметрами, характеристиками тощо. Об'єкт керування, для якого треба розробити математичну модель в цьому підрозділі, має специфічний характер і випускає продукцію певних видів.

8.1.1. Дані для розробки математичної моделі

1. Об'єкт керування випускає продукцію двох видів: P_j , $j = \overline{1,2}$;
2. Для випуску продукції використовують сировину чотирьох видів: C_i , $i = \overline{1,4}$;

3. Для випуску продукції кожного виду (j) за відповідним видом сировини (i) відомі питомі витратні коефіцієнти A_{ij} (одиниці виміру в загальному вигляді не мають значення):

$$A_{11}=3; \quad A_{12}=1;$$

$$A_{21}=2; \quad A_{22}=2;$$

$$A_{31}=1; \quad A_{32}=3;$$

$$A_{41}=2; \quad A_{42}=1.$$

4. Відомі обмеження на об'єми запасів кожного виду сировини Z_i (одиниці виміру такі ж, як за п. 3):

$$Z_1 \leq 18; \quad Z_2 \leq 16; \quad Z_3 \leq 17; \quad Z_4 \leq 15.$$

5. Задані прибутки від реалізації одиниці продукції кожного виду P_j (будь-яких умовних одиниць):

$$P_1=7; \quad P_2=5.$$

8.1.2. Задача для вирішення

Визначити об'єми x_j ($j = \overline{1,2}$) продукції кожного виду, щоб отримати максимальний прибуток, при цьому відомі обмеження:

$$x_1 \geq 2; \quad x_2 \geq 1.$$

8.1.3. Алгоритм вирішення задачі для розробки математичної моделі та контрольний приклад

1. Дані для розробки математичної моделі подають у вигляді табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Запаси сировини, Z_i	Питомі витратні коефіцієнти, A_{ij}	
	A_{i1}	A_{i2}
$Z_1 \leq 18$	$A_{11}=3$	$A_{12}=1$
$Z_2 \leq 16$	$A_{21}=2$	$A_{22}=2$
$Z_3 \leq 17$	$A_{31}=1$	$A_{32}=3$
$Z_4 \leq 15$	$A_{41}=2$	$A_{42}=1$
Прибуток від реалізації одиниці продукції, P_j	$P_1=7$	$P_2=5$

2. Записують функцію цілі - випуск продукції першого і другого видів за критерієм максимального прибутку (Z):

$$\text{а) у загальному вигляді: } Z = \sum_{j=1}^2 P_j \cdot x_j \rightarrow \max ; \quad (8.1.1)$$

$$\text{б) для нашої задачі: } Z = 7x_1 + 5x_2 \rightarrow \max . \quad (8.1.2)$$

3. Обмеження на запаси сировини записують за кожним видом сировини у вигляді

$$\left. \begin{aligned} 3x_1 + x_2 &\leq 18 \\ 2x_1 + 2x_2 &\leq 16 \\ x_1 + 3x_2 &\leq 17 \\ 2x_1 + x_2 &\leq 15 \end{aligned} \right\} . \quad (8.2)$$

4. Отримана система нерівностей (8.2) є математичною моделлю задачі лінійного програмування. Через те, що ця модель має дві невідомі змінні (x_1 та x_2), задача найбільш просто може бути вирішена графічно, тобто має так звану геометричну інтерпретацію.

5. Для цього на плоскій діаграмі (площині) x_1x_2 треба побудувати область допустимого вирішення задачі "Д" у вигляді многокутника, що обмежений прямими лініями, які відповідають математичній моделі лінійного програмування (8.2). Для реалізації задачі побудови многокутника області допустимого вирішення "Д" від системи нерівностей (8.2) переходять до системи рівностей (8.3):

$$\left. \begin{aligned} 3x_1 + x_2 &= 18 \\ 2x_1 + 2x_2 &= 16 \\ x_1 + 3x_2 &= 17 \\ 2x_1 + x_2 &= 15 \end{aligned} \right\} \quad (8.3)$$

і встановлюють граничні значення невідомих змінних x_1 та x_2 за кожним видом сировини. Так, за першим видом сировини:

$$3x_1 + x_2 = 18,$$

за умови $x_1=0; x_2=18;$

за умови $x_2=0; x_1=6,$

за другим видом сировини:

$$2x_1 + 2x_2 = 16,$$

за умови $x_1=0; x_2=8;$

за умови $x_2=0; x_1=8,$

за третім видом сировини:

$$x_1 + 3x_2 = 17,$$

за умови $x_1=0; x_2=5,667;$

за умови $x_2=0; x_1=17,$

за четвертим видом сировини:

$$2x_1 + x_2 = 15,$$

за умови $x_1=0; x_2=15;$

за умови $x_2=0; x_1=7,5.$

6. Отримані значення невідомих змінних x_1 та x_2 за кожним видом сировини і задані обмеження: $x_1 \geq 2; x_2 \geq 1$ наносять на площину x_1x_2 (рис. 8.1), при цьому масштаб для x_1 та x_2 може бути різним.

7. Побудований багатокутник ABCDE являє собою область допустимого вирішення задачі "Д" за методом лінійного програмування. Тому для визначення прибутку за величинами змінних x_1 та x_2 , що відповідають кожній вершині цього багатокутника, спочатку визначають значення відповідних змінних x_1 та x_2 , а потім функцію цілі:

для вершини А: $x_1=2; x_2=1$, тому

$$Z_A = 7 \cdot 2 + 5 \cdot 1 = 19; \quad Z_A = 19;$$

для вершини В: $x_2=1$, а x_1 визначають із рівняння: $3x_1 + x_2 = 18$, тому

$$x_1 = (18-1)/3 = 5,667; \quad x_1 = 5,667;$$

$$Z_B = 7 \cdot 5,667 + 5 \cdot 1 = 44,669; \quad Z_B = 44,669;$$

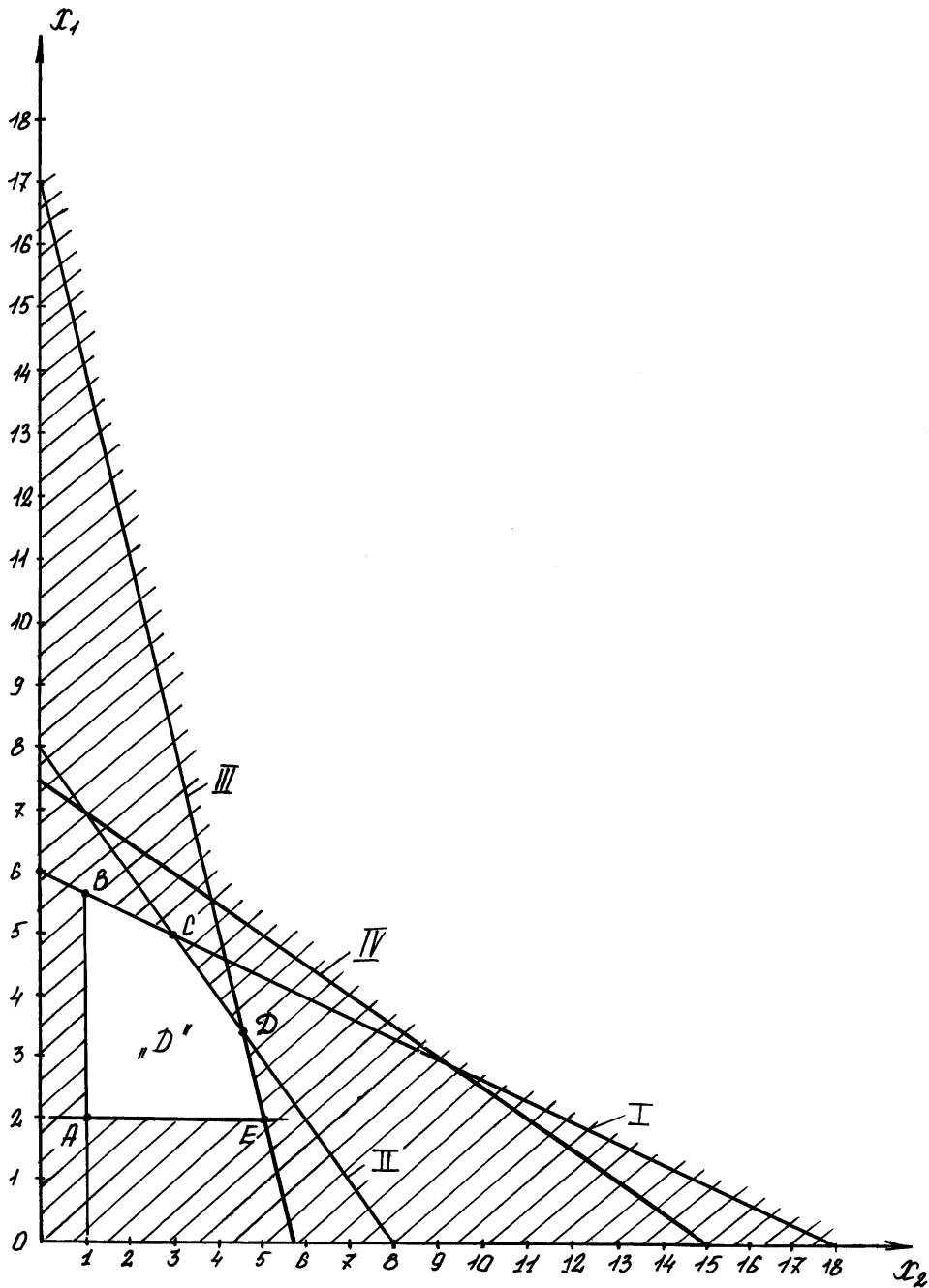


Рис. 8.1 - Область допустимого вирішення задачі "Д" у вигляді багатокутника АВСДЕ

для вершини Е: $x_1=2$, а x_2 визначають з рівняння: $x_1 + 3x_2 = 17$, а тому

$$x_2 = (17-2)/3 = 5; \quad x_1 = 2;$$

$$Z_E = 7 \cdot 2 + 5 \cdot 5 = 39; \quad Z_E = 39;$$

для вершини С: значення x_1 та x_2 визначають із вирішення рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} 3x_1 + x_2 &= 18; \\ 2x_1 + 2x_2 &= 16; \end{aligned} \right\} \quad (8.4)$$

з першого рівняння: $x_2=18-3x_1$,

підставляють в друге рівняння: $2x_1+2(18-3x_1)=16$,

і визначають $x_1=5$;

потім підставляють в рівняння: $x_2 = 18 - 3 \cdot 5 = 3$; $x_2 = 3$, тому

$$Z_C = 7 \cdot 5 + 5 \cdot 3 = 50; \quad Z_C = 50;$$

для вершини Д: значення x_1 та x_2 знаходять із вирішення рівнянь:

$$\left. \begin{array}{l} 2x_1 + 2x_2 = 16; \\ x_1 + 3x_2 = 17; \end{array} \right\} \quad (8.5)$$

з другого рівняння: $x_1=17-3x_2$,

підставляють в перше рівняння: $2(17-3x_2)+2x_2=16$,

і визначають $x_2=4,5$;

а потім підставляють в рівняння: $x_1 = 17 - 3 \cdot 4,5 = 3,5$; $x_1 = 3,5$, тому

$$Z_D = 7 \cdot 3,5 + 5 \cdot 4,5 = 47; \quad Z_D = 47.$$

Таким чином у вершинах многокутника АВСДЕ отримали значення функції цілі відповідно:

$$Z = \{19; 44,669; 50; 47; 39\}$$

8. Згідно з теорією лінійного програмування за умовами задачі максимальний прибуток отримують при реалізації продукції першого виду (Π_1) $x_1=5$, і - другого виду (Π_2) $x_2=3$ (будь-яких умовних) одиниць, тобто $Z_C=50$ (других умовних) одиниць, наприклад, грн.

8.1.4. Висновок за результатами вирішення задачі

Розроблена математична модель випуску продукції двох видів за критерієм максимального прибутку методом лінійного програмування за умовами та обмеженнями задачі, отримані значення для першого виду продукції $x_1=5$ та другого виду $x_2=3$ (умовних одиниць), при цьому максимальний прибуток $Z_C=50$ умовних одиниць.

8.2. Математична модель вибору раціональних варіантів вирішення задачі за методом послідовного аналізу

Об'єкти керування, до яких належать міські інженерні мережі, будівлі тощо, відносять до складних систем (див. підрозділ 3.1) з відновлюємими елементами. Якісне керування такими об'єктами і їх елементами впливає на їх працездатність, збільшення терміну експлуатації, зниження собівартості ремонтів, забезпечення безпеки роботи тощо. Раціональна за деяким критерієм організація ремонту таких об'єктів можлива при розробці математичної моделі, яка розглядається в цьому підрозділі. При цьому важливою стає задача вибору раціонального варіанта її вирішення. За достатньою великою кількістю варіантів вирішення задачі вибір раціонального за деяким критерієм простим перебором утруднений, а в ряді випадків навіть неможливий. Тому знаходять застосування комбінаторні алгоритми, які ґрунтуються на організації великої кількості генерованих варіантів у вигляді деревовидних (ярусних) графів. Генерація великої кількості розв'язань цієї технічної задачі відносять до області дискретного програмування. Для скорочення часу і вартості перебору застосовують різні методи, в тому числі "послідовного аналізу", "гілок і меж" тощо. У цьому підрозділі розглянемо перший метод, а в наступному - другий.

8.2.1. Дані для розробки математичної моделі

1. Об'єкт, зображений у вигляді деревовидного шестиярусного графа (рис. 8.2).

Цей граф являє собою математичну модель дискретного програмування задачі вибору самого короткозамкненого маршруту за заданим критерієм від вершини 1 (перший ярус), яку називають кореневою, через початкові вершини 2, 3, 4, 5 (другий ярус) і всі можливі сполучення цих вершин поміж собою (третій, четвертий та п'ятий яруси) до вершини 1 (шостий ярус), яку називають висячою. Об'єкт відповідним чином представляє задачу пошуку раціонального плану проведення, наприклад, ремонту будинку (комплексу будинків).

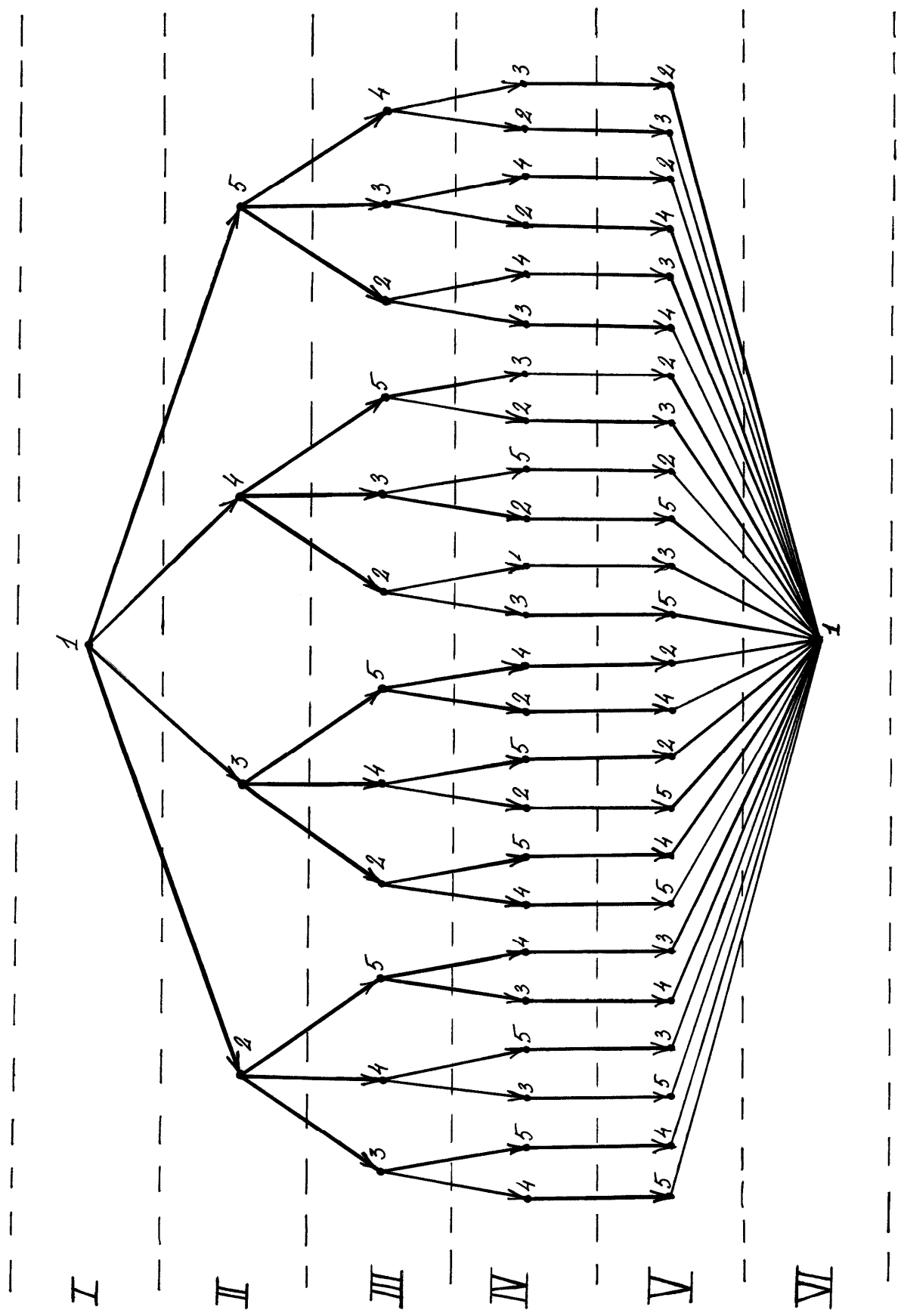


Рис. 8.2 - Деревовидный шестиярусный граф

2. Задані параметри гілок переходу від однієї вершини $i(i = \overline{1,5})$ до другої $j(j = \overline{2,5})$, тобто C_{ij} та C_{ji} , у вигляді питомої вартості видів ремонту (умовні одиниці):

$$\begin{array}{ccccc} C_{12}=3; & C_{13}=2; & C_{14}=4; & C_{15}=5; & C_{21}=6; \\ C_{31}=5; & C_{41}=7; & C_{51}=6; & C_{23}=11; & C_{24}=12; \\ C_{25}=10; & C_{32}=16; & C_{42}=15; & C_{52}=13; & C_{34}=13; \\ C_{35}=10; & C_{43}=9; & C_{53}=15; & C_{45}=14; & C_{54}=11. \end{array}$$

8.2.2. Задача для вирішення

Визначити самий короткий замкнений маршрут за критерієм мінімальної сумарної питомої вартості видів ремонту від кореневої - 1 до висячої цієї ж вершини 1.

8.2.3. Алгоритм вирішення задачі та контрольний приклад

1. За методом послідовного аналізу першим кроком має бути вибір перспективних маршрутів (\hat{x}_1) від кореневої вершини 1 до початкових вершин 2, 3, 4, 5 відповідно. Результати вибору заносять в табл. 8.2 (перший стовпець) і визначають сумарну питому вартість видів ремонту (L_1) кожного з чотирьох маршрутів, а оскільки ці маршрути (від кореневої вершини до початкових) відповідають питомій вартості зазначених переходів (C_{ij}), то їх заносять в табл. 8.2 (другий стовпець).
2. Від кожної з початкових вершин (2, 3, 4, 5) можливі три відповідних маршрути, тому другим кроком (x_2) є запис цих маршрутів (третій стовпець) та визначення сумарної питомої вартості (L_2) кожного із них (четвертий стовпець).
3. За наслідком аналізу сумарної питомої вартості (L_2) зазначених маршрутів (x_2) за заданим критерієм визначають мінімальні з них, при цьому для надійності результату - не менше 50% із зазначених маршрутів. Ці маршрути стають перспективними (\hat{x}_2) і для них записують відповідні сумарні (L_3) питомі вартості (відповідно п'ятий і шостий стовпці).

Таблиця 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
\hat{x}_1	L_1	x_2	L_2	\hat{x}_2	L_3	x_3	L_4	\hat{x}_3	L_5	x_4	L_6	\hat{x}_4	L_7	x_5	L_8	\hat{x}_5	L_9
1,2	3	1,2,3	14	1,2,3	14	1,2,3,4	27	1,2,3,5	24	1,2,3,5,4	35	1,2,3,5,4	35	1,2,3,5,4,1	42	1,2,5,4,3,1	39
1,3	2	1,2,4	15	1,2,4	15	1,2,3,5	24	1,2,4,3	24	1,2,4,3,5	34	1,2,4,3,5	34	1,2,4,3,5,1	40		
1,4	4	1,2,5	13	1,2,5	13	1,2,4,3	24	1,2,5,4	25	1,2,5,4,3	34	1,2,5,4,3	34	1,2,5,4,3,1	39		
1,5	5	1,3,2	18	1,3,4	15	1,2,4,5	29	1,3,5,2	25	1,3,5,2,4	37						
		1,3,4	15	1,3,5	12	1,2,5,3	28	1,3,5,4	23	1,3,5,4,2	38						
		1,3,5	12	1,4,3	13	1,2,5,4	24	1,4,3,5	23	1,4,3,5,2	36						
		1,4,2	19			1,3,4,2	30										
		1,4,3	13			1,3,4,5	29										
		1,4,5	18			1,3,5,2	25										
		1,5,2	18			1,3,5,4	23										
		1,5,3	20			1,4,3,2	29										
		1,5,4	16			1,4,3,5	23										

4. Із кінцевих вершин визначених перспективних маршрутів (\hat{x}_2) можливі два відповідних маршрути, тому третім кроком (x_3) є запис цих маршрутів (сьомий стовпець) і визначення сумарної питомої вартості (L_4) кожного з них (восьмий стовпець).
5. За результатом аналізу сумарної питомої вартості (L_4) зазначених маршрутів (x_3) за заданим критерієм визначають мінімальні з них, при цьому для цілковитої надійності результату - не менше 50% із зазначених маршрутів. Ці маршрути стають перспективними (\hat{x}_3) і для них записують відповідні сумарні (L_5) питомі вартості (відповідно дев'ятий і десятий стовпці).
6. Із кінцевих вершин визначених перспективних маршрутів (\hat{x}_3) можливий тільки один відповідний маршрут, тому четвертим кроком (x_4) є запис цих маршрутів (одинадцятий стовпець) і визначення сумарної питомої вартості (L_6) кожного з них (дванадцятий стовпець).
7. За результатом аналізу сумарної питомої вартості (L_6) зазначених маршрутів (x_4) за заданим критерієм визначають мінімальні із них, при цьому для надійності результату - не менше 50% із зазначених маршрутів. Ці маршрути стають перспективними (\hat{x}_4) і для них записують від-

повідні сумарні (L_7) питомі вартості (відповідно тринадцятий і чотирнадцятий стовпці).

8. Із кінцевих вершин визначених перспективних маршрутів (\hat{x}_4) можливі тільки маршрути до висячої вершини 1, тому п'ятим кроком (x_5) є запис цих маршрутів (п'ятнадцятий стовпець) і визначення сумарної питомої вартості (L_8) кожного з них (шістнадцятий стовпець).
9. За результатом аналізу сумарної питомої вартості (L_8) зазначених маршрутів (x_5) за заданим критерієм визначають мінімальні із них, а оскільки маршрути від кореневої 1 до висячої цієї ж вершини 1 закінчені, то мінімальний із них стає перспективним (\hat{x}_5) і для нього записують мінімальну сумарну питому вартість (L_9) видів ремонту (відповідно сімнадцятий і вісімнадцятий стовпці).

8.2.4. Висновок за результатами вирішення задачі

Розроблена математична модель дискретного програмування задачі вибору раціонального варіанта за методом послідовного аналізу за умовами задачі та визначений самий короткий замкнений маршрут (\hat{x}_5) за критерієм мінімальної сумарної питомої вартості видів ремонту від кореневої вершини 1 до висячої цієї ж вершини 1 (L_9), тобто $\hat{x}_5=1, 2, 5, 4, 3, 1$, а $L_9=39$ (умовних одиниць). Розроблена математична модель дозволила значно скоротити час і вартість розв'язання задачі порівняно з методом повного перебору.

8.3. Математична модель вибору раціональних варіантів

вирішення задачі за методом гілок і меж

Метод гілок і меж вживають для вирішення таких же задач, як метод послідовного аналізу, тому використання цього методу покажемо на прикладі деревовидного шестиярусного графа (див. рис. 8.2).

8.3.1. Дані для розробки математичної задачі

1. Об'єкт такий же, як на рис. 8.2.
2. Параметри гілок переходу від однієї вершини $i (i = \overline{1,5})$ до другої $j (j = \overline{2,5})$, тобто C_{ij} та C_{ji} , у вигляді питомої вартості видів ремонту (умовні одиниці) ті самі, що і для попереднього методу.

8.3.2. Задача для вирішення

Визначити самий короткий замкнений маршрут за критерієм мінімальної сумарної питомої вартості видів ремонту від кореневої вершини 1 до будь-якої з початкових вершин 2, 3, 4, 5, а потім від кожної з них - до наступних відповідних вершин з обчисленням оптимістичної оцінки (див. 8.3.3.) кожного маршруту, аж до висячої вершини 1.

8.3.3. Алгоритм вирішення задачі та контрольний приклад

1. За методом гілок і меж першим кроком є вибір будь-якого маршруту від кореневої вершини 1 через одну з початкових вершин (2, 3, 4, 5) із повним перебором наступних відповідних вершин до висячої вершини 1, цей маршрут називають базовим і для нього обчислюють сумарну питому вартість видів ремонту.
2. Скороченню перебору відповідає відсічення гілок дерева графа: чим ближче до кореневої вершини дерева графа відсікається гілка, тим ефективніше зменшується число варіантів, які треба розглядати.
3. Для вибраного ланцюга маршруту розглядають сумарну питому вартість видів ремонту і запам'ятовують початковий ланцюг від кореневої (1) до початкової (одної із 2, 3, 4, 5) вершини.
4. Далі розглядають можливість використання других ланцюгів маршрутів (від кореневої вершини 1), які містять іншу послідовність початкових вершин.
5. Для кожного нового ланцюга послідовно обчислюється оптимістична оцінка. Якщо значення отриманої оптимістичної оцінки для чергового

ланцюга більше оцінки аналогічного ланцюга базового маршруту (див. перший крок), ланцюг (що розглядали) вважається безперспективним, а всі послідувачі його гілки дерева графа відсікають і переходять до розгляду чергового ланцюга.

6. Якщо ж значення отриманої оптимістичної оцінки для чергового ланцюга менше оцінки аналогічного ланцюга базового маршруту, то із кінцевої вершини цього ланцюга здійснюють розгалуження до послідувачих вершин і розглядають нові ланцюги маршруту.
7. Процес продовжують до отримання маршруту із повною послідовністю вершин від кореневої 1 до висячої 1 вершин. Якщо сумарна питома вартість отриманого маршруту менше за сумарну питому вартість базового маршруту, то цей маршрут стає базовим.
8. Ітерації виконують, аж поки не буде отриманий базовий маршрут, оптимальний за заданим критерієм.
9. Ефективність методу гілок і меж залежить від алгоритму отримання оптимістичних оцінок ланцюгів маршрутів. Розглянемо один із можливих алгоритмів:

9.1. Заповнюють матрицю відношення питомих вартостей $\{C_{ij}\}$ гілок переходу від вершин $i(i = \overline{1,5})$ до $j(j = \overline{1,5})$:

$$\{C_{15}\} = \begin{array}{c|ccccc} \diagdown & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & - & 3 & 2 & 4 & 5 \\ 2 & 6 & - & 11 & 12 & 10 \\ 3 & 5 & 16 & - & 13 & 10 \\ 4 & 7 & 15 & 9 & - & 14 \\ 5 & 6 & 13 & 15 & 11 & - \end{array} \quad (8.6)$$

9.2 Оскільки за методом послідовного аналізу (див. 8.2.4) був визначений самий короткий замкнутий маршрут $\hat{x}_5 = 1, 2, 5, 4, 3, 1$, за критерієм мінімальної сумарної питомої вартості видів ремонту $L_9 = 39$ (умовних одиниць) будемо вважати цей маршрут базовим. Тоді нові початкові ланцюги маршрутів будуть: 1,3; 1,4; 1,5.

9.3 Із матриці відношення $\{C_{15}\}$ викреслюють рядок з номером $i=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ і один із стовпців із початковими номерами: 3, 4, 5. Будемо вважати, що це стовпець з початковим номером - 5. Тоді отримують нову матрицю $\{C'_{15}\}$:

$$\{C'_{15}\} = \begin{array}{c|cccccc} \begin{array}{c} \diagdown \\ \diagup \end{array} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & \text{"min } C'_{15} \text{"} \\ \hline 1 & - & - & - & - & - & - \\ \hline 2 & 6 & - & 11 & 12 & - & 6 \\ \hline 3 & 5 & 16 & - & 13 & - & 5 \\ \hline 4 & 7 & 15 & 9 & - & - & 7 \\ \hline 5 & 6 & 13 & 15 & 11 & - & 6 \end{array} \quad (8.7)$$

9.4. У матриці $\{C'_{15}\}$ на першому етапі одержання оптимістичної оцінки в кожному рядку знаходять мінімальні значення елементів "min C'_{15} ", які записують праворуч матриці $\{C'_{15}\}$.

9.5. Мінімальні значення елементів "min C'_{15} " вираховують з других елементів в кожному рядку і отримують другу нову матрицю $\{C''_{15}\}$:

$$\{C''_{15}\} = \begin{array}{c|ccccc} \begin{array}{c} \diagdown \\ \diagup \end{array} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & - & - & - & - & - \\ \hline 2 & 0 & - & 5 & 6 & - \\ \hline 3 & 0 & 11 & - & 8 & - \\ \hline 4 & 0 & 8 & 2 & - & - \\ \hline 5 & 0 & 7 & 9 & 5 & - \\ \hline \text{"min } C'_{15} \text{"} & 0 & 7 & 2 & 5 & - \end{array} \quad (8.8)$$

9.6. У матриці $\{C''_{15}\}$ на другому етапі одержання оптимістичної оцінки в кожному стовпці знаходять мінімальні значення елементів "min C'_{15} ", які записують внизу матриці $\{C''_{15}\}$.

9.7. Обчислюють сумарну оптимістичну оцінку мінімального замкнутого маршруту з кореневої 1 до висячої 1 вершин через вибрану початкову вершину 5 (Δ_{15}) за формулою

$$\Delta_{15} = C_{15} + \sum_{i=2}^5 \min C'_{15} + \sum_{j=1}^4 \min C''_{15}$$

тобто

$$\Delta_{15}=5+(6+5+7+6)+(0+7+2+5)=43$$

9.8. Одержану сумарну оптимістичну оцінку $\Delta_{15}=43$ порівнюють із мінімальною сумарною питомою вартістю видів ремонту базового маршруту $L_9=39$ (див. 8.2.4). Сумарна оптимістична оцінка $\Delta_{15}=43$ належить замкнутому маршруту: 1, 5, 2, 3, 4, 1, а його сумарна питома вартість

$$C_{15}+C_{52}+C_{23}+C_{34}+C_{41}, \text{ тобто } L=5+13+11+13+7=49.$$

Оскільки значення сумарної питомої вартості $L=49$ за оптимістичною оцінкою (Δ_{15}) більше за $L_9=39$, треба вибирати новий початковий ланцюг: 1,3 або 1,4 й виконати всі дії за пунктами 9.1 - 9.8.

9.9. Ітерації виконують, аж поки не буде отриманий базовий маршрут, оптимальний за заданим критерієм.

8.3.4. Висновок за результатами вирішення задачі

Розроблена математична модель дискретного програмування задачі вибору раціонального варіанта за методом гілок і меж за умовами задачі та визначений алгоритм вирішення цієї задачі. Ефективність методу гілок і меж розглянута залежно від алгоритму отримання оптимістичних оцінок окремих ланцюгів замкненого повного маршруту від кореневої до висячої вершини 1.

8.4. Математична модель потреби житлового мікрорайону в енергетиці

Об'єктом керування в цьому підрозділі є житловий мікрорайон, на території якого розташовані житлові будинки, кафе, магазини, салони краси тощо, для нормальної експлуатації яких потрібні холодна і гаряча вода, електроенергія, теплова енергія, і т. ін. При розробці математичної моделі потреби житлового мікрорайону в енергетиці критеріями цієї потреби за-

стосовують різні показники. Для спрощення викладу без утрати спільності підходу для всіх видів енергії застосуємо один вид критерію - об'єм енергії, який потрібний для нормальної експлуатації 1 м^2 площі відповідних будівель.

8.4.1. Дані для розробки математичної моделі

1. Житловий масив мікрорайону складається із:

- а) житлових будинків - $500 \cdot 10^3 \text{ м}^2$;
- б) кафе - $1 \cdot 10^3 \text{ м}^2$;
- в) магазинів - $0,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2$;
- г) салонів краси - $1 \cdot 10^3 \text{ м}^2$;
- д) пралень - $2 \cdot 10^3 \text{ м}^2$.

2. Потужність водонасосної станції (наприклад, за рік)

$$- 700 \cdot 10^3 \text{ м}^2.$$

3. Потужність парокотельної установки (наприклад, за рік)

$$- 4 \cdot 10^3 \text{ Гкал.}$$

4. Відомі критерії потреби в різних видах енергії для нормальної експлуатації 1 м^2 площі відповідних будівель (A_{ij}) (для скорочення викладу будуть наведені далі). Серед видів енергії для нормальної експлуатації житлового масиву мікрорайону задані наступні з урахуванням їх кодування:

x_1 - холодна вода (тис. м^3);

x_2 - паливо (Гкал);

x_3 - гаряча вода (м^3);

x_4 - пара (Гкал);

x_5 - електроенергія (кВт год).

1. Для отримання кожного виду енергії (x_i) потрібні деякі витрати других видів енергії, тому відомі питомі витратні коефіцієнти - V_i k , $i = \overline{1,5}$; $k = \overline{2,5}$ (для скорочення викладу будуть наведені далі).

8.4.2. Задача для вирішення

Розробити математичну модель потреби житлового мікрорайону в наведених вище видах енергії.

8.4.3. Алгоритм вирішення задачі та контрольний приклад

1. Для складання всіх масивів даних з урахуванням кодування видів енергії (див. підрозділ 8.4.1, п. 4) продовжують кодування всіх споживачів житлового масиву (див. підрозділ 8.4.1, п. 1):

x_6 - житлові будинки	}	(m^2)
x_7 - кафе		
x_8 - магазини		
x_9 - салони краси		
x_{10} - пральні		

2. З урахуванням заданого значення питомих витратних коефіцієнтів (v_{ik}) і критеріїв потреби в різних видах енергії (a_{ij}) складають матрицю відповідності потреби у всіх видах енергії відповідним споживачам, при цьому $i = \overline{1,5}$ (тобто всього п'ять видів енергії); $k = \overline{2,5}$ (в загальному вигляді кожний вид енергії споживається для отримання другого виду енергії); $j = \overline{6,10}$ (відповідні споживачі: x_6-x_{10}) у вигляді табл. 8.3, де в рядках записані види енергії: x_i ($i = \overline{1,5}$); в стовпцях - споживачі $\overline{x_{k,j}}$ ($k = \overline{2,5}$; $j = \overline{6,10}$), а значення відповідних показників записані умовні.

Таблиця 8.3

	v_{ik} / a_{ij}	v_{i1}	v_{i2}	v_{i3}	v_{i4}	v_{i5}	v_{i6}	v_{i7}	v_{i8}	v_{i9}	v_{i10}
Види енергії	x_1	—	0	1	0,5	0	0,05	0,01	0,02	5	0,01
	x_2	—	—	0,5	1,2	0	0	0	0,05	0,1	0,01
	x_3	—	—	—	0	0	1	0,001	0,5	10	0,001
	x_4	—	—	—	—	0	0	0	0,1	2,0	0
	x_5	—	—	—	—	—	25	500	300	100	200
споживачі		$\overline{x_1}$	$\overline{x_2}$	$\overline{x_3}$	$\overline{x_4}$	$\overline{x_5}$	$\overline{x_6}$	$\overline{x_7}$	$\overline{x_8}$	$\overline{x_9}$	$\overline{x_{10}}$

3. З урахуванням матриці відповідності записують математичну модель потреби житлового мікрорайону за кожним видом енергії x_i в загальному вигляді:

$$x_i = \sum_{\substack{i=1 \\ k=2}}^5 b_{ik} \cdot \overline{x_k} + \sum_{j=6}^{10} a_{ij} \cdot \overline{x_j}. \quad (8.9)$$

4. На підставі (8.9) записують систему із п'яти лінійних рівнянь для визначення потреби в кожному виді енергії:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= b_{12} \cdot \overline{x_2} + b_{13} \cdot \overline{x_3} + b_{14} \cdot \overline{x_4} + b_{15} \cdot \overline{x_5} + a_{16} \cdot \overline{x_6} + a_{17} \cdot \overline{x_7} + \\ &\quad + a_{18} \cdot \overline{x_8} + a_{19} \cdot \overline{x_9} + a_{110} \cdot \overline{x_{10}}; \\ x_2 &= b_{23} \cdot \overline{x_3} + b_{24} \cdot \overline{x_4} + b_{25} \cdot \overline{x_5} + a_{26} \cdot \overline{x_6} + a_{27} \cdot \overline{x_7} + \\ &\quad + a_{28} \cdot \overline{x_8} + a_{29} \cdot \overline{x_9} + a_{210} \cdot \overline{x_{10}}; \\ x_3 &= b_{34} \cdot \overline{x_4} + b_{35} \cdot \overline{x_5} + a_{36} \cdot \overline{x_6} + a_{37} \cdot \overline{x_7} + a_{38} \cdot \overline{x_8} + a_{39} \cdot \overline{x_9} + a_{310} \cdot \overline{x_{10}}; \\ x_4 &= b_{45} \cdot \overline{x_5} + a_{46} \cdot \overline{x_6} + a_{47} \cdot \overline{x_7} + a_{48} \cdot \overline{x_8} + a_{49} \cdot \overline{x_9} + a_{410} \cdot \overline{x_{10}}; \\ x_5 &= a_{56} \cdot \overline{x_6} + a_{57} \cdot \overline{x_7} + a_{58} \cdot \overline{x_8} + a_{59} \cdot \overline{x_9} + a_{510} \cdot \overline{x_{10}}; \end{aligned} \right\} (8.10)$$

слід мати на увазі, що x_i ($i = \overline{2,5}$) та $\overline{x_k}$ ($k = \overline{2,5}$) за умовами та алгоритмом вирішення задачі це одні і ті ж величини, тому визначити x_1 із першого рівняння системи (8.10) неможливо, оскільки невідомі значення x_2, x_3, x_4 , та x_5 для другого рівня - невідомі значення x_3, x_4 , та x_5 і так аж до п'ятого рівняння.

5. На підставі аналізу системи рівнянь (8.10) приходять до висновку, що спочатку визначають потребу в електроенергії x_5 із урахуванням відповідних значень критеріїв потреби електроенергії (див. матрицю відповідності табл. 8.3):

$$x_5 = 25 \cdot 500 \cdot 10^3 + 500 \cdot 1 \cdot 10^3 + 300 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 100 \cdot 1 \cdot 10^3 + 200 \cdot 2 \cdot 10^3 = 13650 \cdot 10^3 [\text{кВт.год}].$$

6. Знаходять після визначення x_5 потребу в парі - x_4 (див. табл. 8.3):

$$x_4 = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 2,0 \cdot 1 \cdot 10^3 = 2,05 \cdot 10^3 [\text{Гкал}].$$

7. Знаючи потужність парокотельної установки (див. п.3 даних для розробки математичної моделі), визначають коефіцієнт завантаження цієї установки - $K_{\text{пкУ}}$:

$$K_{\text{пкУ}} = \frac{2,05 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 51,25\% .$$

8. Далі визначають потребу в гарячій воді - x_3 (див. табл. 8.3):

$$x_3 = 1 \cdot 500 \cdot 10^3 + 0,001 \cdot 1 \cdot 10^3 + 0,5 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 100 \cdot 1 \cdot 10^3 + 0,001 \cdot 2 \cdot 10^3 = 510,25 \cdot 10^3 [\text{м}^3].$$

9. Визначають потребу в паливі: з урахуванням потреби в парі - x_2' ; а також - потужності парокотельної установки - x_2'' ; та визначеної потреби в гарячій воді - x_3 :

$$x_2' = 0,6 \cdot 510,25 \cdot 10^3 + 1,2 \cdot 2,05 \cdot 10^3 + 0,05 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 0,1 \cdot 1 \cdot 10^3 + 0,01 \cdot 2 \cdot 10^3 = 308,75 \cdot 10^3 [\text{Гкал}];$$

$$x_2'' = 0,6 \cdot 510,25 \cdot 10^3 + 1,2 \cdot 4,00 \cdot 10^3 + 0,05 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 0,1 \cdot 1 \cdot 10^3 + 0,01 \cdot 2 \cdot 10^3 = 311,09 \cdot 10^3 [\text{Гкал}].$$

10. У такому разі вирішують, що краще економити паливо, тобто залишати перший розрахунок (x_2') - але тоді потужність парокотельної установки повністю не використовується, або залишати другий розрахунок

(x_2) - тоді буде більша потреба в паливі. Ці питання не відносяться до задачі, що розглядається в цьому підрозділі, їх вирішують методами ситуаційного аналізу за умов економічних можливостей мікрорайону або навіть району чи міста.

11. Знаходять потребу в холодній воді x_1 з урахуванням визначених потреб в інших видах енергії:

$$x_1 = 1 \cdot 510,25 \cdot 10^3 + 0,5 \cdot 2,05 \cdot 10^3 + 0,05 \cdot 500 \cdot 10^3 + 0,01 \cdot 1 \cdot 10^3 + \\ + 0,02 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 5 \cdot 1 \cdot 10^3 + 0,01 \cdot 2 \cdot 10^3 = 541,32 \cdot 10^3 [\text{м}^3].$$

12. Знаючи потужність водонасосної станції (див. п.2 даних для розробки математичної моделі), визначають коефіцієнт завантаження цієї станції $K_{\text{внс}}$:

$$K_{\text{внс}} = \frac{541,32 \cdot 10^3}{700 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 77,33\% .$$

8.4.4. Висновок за результатами вирішення задачі

Розроблена математична модель потреби житлового мікрорайону в п'яти видах енергії за умовами та обмеженнями задачі, наведений контрольний приклад її вирішення при експлуатації АСК ТП дискретної дії.

Контрольні запитання до розділу 8

1. Назвіть основні дії алгоритму вирішення задачі для розробки математичної моделі випуску продукції за критерієм максимального прибутку методом лінійного програмування.
2. Запишіть функцію цілі в загальному вигляді для випуску продукції першого і другого видів за критерієм максимального прибутку.
3. Що являє собою геометрична інтерпретація математичної моделі задачі лінійного програмування?

4. Розв'язання яких технічних задач відносять до області дискретного програмування?
5. Що являє собою деревовидний багатоярусний (в нашому випадку - шестиярусний) граф?
6. Назвіть основні дії алгоритму вирішення задачі для визначення самого короткого замкненого маршруту за критерієм мінімальної сумарної питомої вартості видів ремонту від кореневої до висячої цієї ж вершини методом послідовного аналізу.
7. Які маршрути називають базовими при вирішенні задачі за методом гілок і меж?
8. Назвіть основні дії алгоритму вирішення задачі за методом гілок і меж.
9. Назвіть основні дії алгоритму отримання оптимістичної оцінки деякого ланцюга маршруту від кореневої до початкової вершин.
10. Які дії виконують на першому етапі одержання оптимістичної оцінки?
11. Які дії виконують на другому етапі одержання оптимістичної оцінки?
12. Яка формула запису для обчислення сумарної оптимістичної оцінки мінімального замкненого маршруту із кореневої вершини через вибрану початкову вершину?
13. Як довго виконують ітерації для пошуку оптимістичної оцінки мінімального замкненого маршруту за методом гілок і меж?
14. Назвіть основні дії алгоритму вирішення задачі розробки математичної моделі потреби житлового мікрорайону в деяких видах енергії.
15. Що являє собою матриця відповідності потреби всіх видів енергії відповідним споживачам?

ДОДАТКИ

За останні три - чотири роки з'явилась інформація про виготовлення і використання нових контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації (КВП та ЗА) для загальнопромислового або спеціального призначення, зокрема для автоматизації інженерних систем [2], які сумісні за уніфікованими сигналами постійного струму 4-20мА відповідних входів-виходів з мікропроцесорними контролерами (МПК), що застосовують в АСК ТП неперервної або дискретної дії. Технічні характеристики та/або призначення деяких з цих КВП та ЗА розглянуті в ДОДАТКАХ.

**Д1. Спеціальний електронний регулятор температури (СЕРТ)
типу "ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т"**

СЕРТ типу "ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т" призначений для використання в ЦТП або ІТП для автоматичного керування температурою в системах теплопостачання житлових, громадських і адміністративних приміщеннях та економії теплоти за рахунок автоматичної зміни співвідношення витрат теплоносія, що поступає в регулятор з подавального і зворотнього трубопроводів.

До складу регулятора входять (див. рис. Д1):

первинні перетворювачі сигналів для автоматичного контролю температури: теплоносія в подавальному в систему опалення (поз. 1.1) і зворотньому із системи опалення (поз. 2.1) трубопроводах; зовнішнього повітря (поз. 3.1); повітря у середині приміщення системи опалення в двох контрольних точках (поз. 4.1; 5.1);

пристрій керування типу "ТЕПЛУР", який виконаний на базі однокристалевої мікро-ЕОМ (поз. 1.2);

елеватор гідравлічний з керованою площею отвору сопла, яке суміщене із спеціальним електричним приводом (поз. 1.3).

СЕРТ типу "ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т" забезпечує виконання наступних функцій:

автоматичну стабілізацію заданої температури повітря усередині приміщення залежно від температури зовнішнього повітря відповідно до заданого температурного графіка;

автоматичну корекцію заданого температурного графіка за усередненою температурою повітря в двох контрольних точках приміщення системи опалення;

автоматичне обмеження температури теплоносія в зворотньому трубопроводі із системи опалення;

автоматичну зміну заданої температури повітря усередині приміщення в святкові або вихідні дні за сигналами таймера, який реалізований однокристалевою мікро-ЕОМ

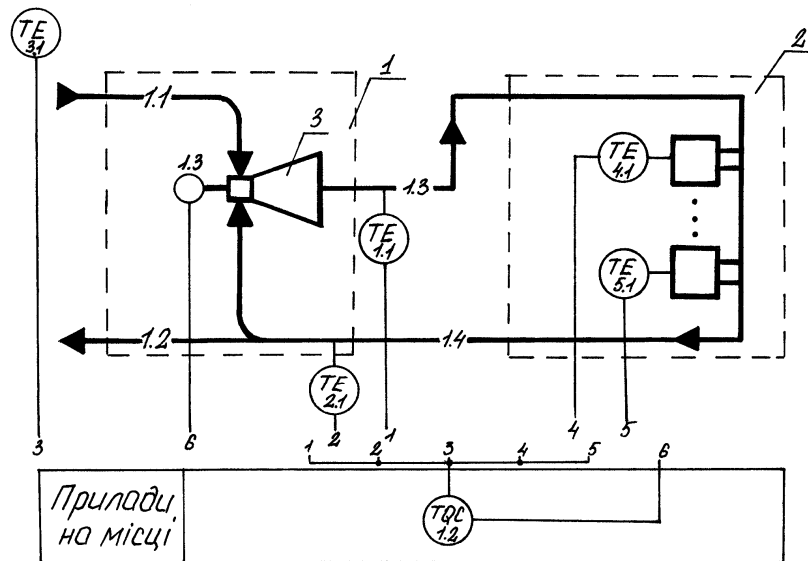


Рис. Д1 - Фрагмент функціональної схеми автоматизації (при адресному методі її розробки) ІТП і системи опалення із застосуванням СЕРТ типу "ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т". Матеріальні потоки: 1.1 - теплоносій в подавальному трубопроводі на вході ІТП; 1.2 - теплоносій в зворотньому трубопроводі на виході ІТП; 1.3 - змішаний теплоносій в систему опалення; 1.4 - теплоносій в зворотньому трубопроводі із системи опалення. Обладнання: 1 - індивідуальний тепловий пункт (ІТП); 2 - система опалення (СО); 3 - елеватор гідравлічний з керованою площею отвору сопла. КВП та ЗА: поз. 1.1; 2.1; 3.1; 4.1; 5.1 - первинні перетворювачі сигналів для автоматичного контролю температури у відповідних місцях (див. вище); поз. 1.2 - пристрій керування типу "ТЕПЛУР", виконаний на базі однокристалевої мікро-ЕОМ, умовно зображений як автоматичний регулятор, що виконує операції інтегрування вхідних сигналів за певним алгоритмом; поз. 1.3 - спеціальний електричний привід, умовно зображений як виконавчий механізм.

Деякі технічні характеристики СЕРТ типу "ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т" наведені в табл. Д1.

Таблиця Д1

№ п/п	Назва характеристики	Одиниця виміру	Значення
1.	Температура гарячого теплоносія в подавальному трубопроводі на вході ІТП, не більше	°С	150
2.	Робочий тиск теплоносія, не більше	МПа	1,6
3.	Перепад тиску теплоносія в подавальному і зворотньому трубопроводах, не більше	МПа	0,3
4.	Задана температура в приміщенні	°С	18-24
5.	Діаметр отвору сопла елеватора гідравлічного (за типом регулятора)	мм	6; 8; 10; 12; 14; 16; 18
6.	Теплопродуктивність системи опалення ($\pm 15\%$) - за типом регулятора	Гкал/г	0,1; 0,19; 0,3; 0,43; 0,58; 0,76; 0,94

СЕРТ типу "ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т" реалізує пропорційно-інтегральний (ПІ) закон керування, випускається ТОВ "НТЦ АСУ", м. Кострома (Російська Федерація) (тел/факс (0942)22-41-09).

Д2. Мікропроцесорний контролер (МПК) "РЕМІКОНТ Р-2000"

МПК "РЕМІКОНТ Р-2000" призначений для використання в багатьох галузях промисловості, сільському і міському господарстві.

Конструктивно "РЕМІКОНТ Р-2000" представляє собою багатоплатний контролер, який виконаний в стандарті 19" (стандарт МЕК 297, висота 4U). Центральний процесор виконаний на базі одноплатної мікро-ЕОМ фірми ACROSSER і має процесор 80386/40 МГц, ОЗП - 2 МБайт, флеш-диск от 0,5 до 1,5 МБайт, діапазон робочих температур 0-60 °С, середня наробка на відмову складає 200 000 год. На флеш-диск встановлена MS DOS 6.22 та універсальний завантажувач програм, які треба виконати.

Загальна кількість входів-виходів:

- дискретних - до 352 (можливе розширення до 768);
- аналогових - до 220 (можливе розширення до 480).

МПК "РЕМІКОНТ Р-2000" працює в мережі RS-485. Кількість учасників мережі 256 (комп'ютерів і контролерів), максимальна довжина мережі 1000 м.

Штатним пакетом для розробки і перевірки прикладних програм для МПК "РЕМІКОНТ Р-2000" є пакет прикладного забезпечення ПЗ ULTRA-LOGIK, який дозволяє виконувати розробку прикладного ПЗ на мові функціональних блоків і перевірку прикладного ПЗ в реальному часі. Можлива також розробка прикладного ПЗ на PASCAL або С3.1.

Для підключення МПК "РЕМІКОНТ Р-2000" до системи SCADA (системи верхнього рівня) в пакеті ПЗ контролера є стандартні DDE і OPC сервера. Випускається МПК "РЕМІКОНТ Р-2000" ВО "Знамя", м. Полтава (Україна) (тел/факс (0532)50-89-18).

Д3. Первинно-передавальні перетворювачі (ПП/ПрП) сигналів для автоматичного контролю температури [2]

Д3.1. Як ПП/ПрП для автоматичного контролю температури застосовують термоперетворювачі опору типу КВАНТ ДТІ, призначені для безперервного перетворювання величини температури вимірювального середовища в уніфікований сигнал постійного струму 0(4)-20 мА чи напруги 0-10 В. Діапазон вимірювальних температур від 250 до 450°C. Напруга живлення 24 або 36 В постійного струму. Електричне підключення може здійснюватись за допомогою дво-, три- або чотири провідної лінії зв'язку. Матеріал захисної арматури сталь І2ХІ8Н10Т. Довжина занурення ПП/ПрП може складати: 40, 80, 120, 200, 250, 320, 400, 500 мм. Термоперетворювачі виготовляють з цифровою індикацією (тоді позначення КВАНТ ДТЦІ). Межа основної припустимої похибки ПП/ПрП складає: 0,25; 0,4; 0,5; 0,6 %. Середня наробка на відмову 150 тис. год. Кліматичне виконання дозволяє застосовувати ПП/ПрП при температурі навколишнього середовища від -20 до 60°C або від -40 до 80°C, випускається науково-виробничою фірмою (НВФ) "АГАТ-1, м. Харків, (Україна).

Д3.2. Як ПП/ПрП для автоматичного контролю температури застосовують також температури термоперетворювачі типу ДТ-303 і ДТ-304 та перетворення результатів в уніфікований електричний сигнал постійного струму 4-20 мА. ПП/ПрП типу ДТ-303 виконані в неметалевому корпусі, а типу ДТ-304 - у металевому корпусі. Діапазон вимірювання температури від -50 до 300°C. Довжина занурення ПП/ПрП може складати 30, 60, 80, 100, 120, 160, 200, 250, 320, 400 мм. Живлення від блоку живлення напругою 16 або 36 В постійного струму. Матеріал захисної арматури сталь І2ХІ8Н10Т. Тиск робочого середовища не повинен перевищувати 2 МПа. Застосовують при температурах навколишнього повітря від -40 до 85°C і відносній вологості до 95%, випускається АТВТ "Автоматика" (м. Воронеж).

Д4. Передавальні перетворювачі (ПрП) сигналів для автоматичного контролю тиску [2]

Д4.1. Тензорезисторні ПрП сигналів для автоматичного контролю тиску типу САФІР-М (модельний ряд 5... на основі мікропроцесорного перетворення) наведені в табл. Д.2 (нижня межа вимірювання для всіх типів ПрП - "0").

Таблиця Д.2

Вимірювальна фізична величина	Модель	Значення верхньої межі вимірювання (діапазон вимірювання), одиниці вимірювання	
		кПа	МПа
1	2	3	4
Абсолютний тиск	5020	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40	
	5040; 5041	10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400	
Надмірний надлишковий тиск	5101	0,04; 0,063; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4	
	5110	0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5	
	5115	0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10	
	5120	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40	
	5140; 5141	10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400	
	5150; 5151	25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630	1,0; 1,6
	5160; 5161	630	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25
	5170; 5171		2,5; 4,0; 16; 25; 40; 63; 100*
Вакууметричний тиск	5201	-0,04; -0,063; -0,1; -0,16; -0,25; -0,4	
	5210	-0,16; -0,25; -0,4; -0,63; -1,0; -1,6; -2,5; -4,0	
	5215	-0,4; -0,63; -1,0; -1,6; -2,5; -4,0; -6,3; -10	
	5220	-1,6; -2,5; -4,0; -6,3; -10; -16; -25; -40	
	5240; 5141	-10; -16; -25; -40; -63; -100	
Надмірний і вакууметричний тиск	5301	±0,0200; ±0,0315; ±0,0500; ±0,0800; ±0,1250; ±0,2000	
	5310	±0,080; ±0,125; ±0,200; ±0,315; ±0,500; ±0,800; ±1,250; ±2,000	
	5315	±0,200; ±0,315; ±0,500; ±0,800; ±1,250; ±2,000; ±3,15; ±5,00	
	5320	±0,80; ±1,25; ±2,00; ±3,15; ±5,00; ±8,00; ±12,50; ±20,00	
	5340	±5,0; ±8,0; ±12,5; ±20,0; ±31,5; ±50,0; ±80,0; от -100,0 до (+150,0; +300,0)	
	5350	±80,0; от -100 до (+150; +300; +530; +900)	від -0,1 до 1,5

1	2	3	4
Різниця (перепад) тисків	5410	0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4	
	5415	0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10	
	5420; 5424	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40	
	5440; 5444	10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400	
	5450; 5454	25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630	1,0; 1,6
	5460; 5464	630	1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16
Гідростатичний тиск	5520	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40	
	5540	10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400	

За принципом дії тензорезисторні ПрП типу "САФІР-М" ідентичні тензорезисторним ПрП типу "САФІР" [2].

ПрП типу САФІР-М випускає ЗАТ "Манометр - Харків", м. Харків, (Україна) (тел/факс (057)712-04-48).

Д4.2. Тензорезисторні ПрП для автоматичного контролю тиску типу КВАНТ. За принципом дії ПрП типу КВАНТ ідентичні тензорезисторним ПрП типу "САФІР" [2] та вищерозглянутому ПрП типу "САФІР-М". У порівнянні з цими перетворювачами тиску, ПрП типу "КВАНТ" характеризуються деякими перевагами: підвищена стійкість до зміни умов навколишнього середовища, висока надійність, стабільність вихідного сигналу і механічна міцність. Кліматичне виконання цих ПрП дозволяє застосовувати їх при температурах навколишнього середовища від -40 до 125°C. Середня наробка на відмову складає 150 тис.год. Схема зовнішнього електричного з'єднання ПрП тиску типу "КВАНТ" може бути дво-, три-, чотирьохпроводною. Основні типи й технічні характеристики цих ПрП наведені у табл. Д.3. (Нижня межа вимірювання для всіх типів ПрП - "0").

Таблиця Д.3

Тип ПрП	Модель	Од. вимір.	Значення верхньої межі вимірювання
1	2	3	4
ПрП надмірного (надлишкового) тиску КВАНТ Д1.11	118Т, 218Т, 318Т, 119Т, 219Т, 319Т 120Т, 220Т, 320Т, 121Т, 221Т, 321Т 122Т, 222Т, 322Т, 123Т, 223Т, 323Т 124Т, 224Т, 324Т, 125Т, 225Т, 325Т 126Т, 226Т, 326Т, 127Т, 227Т, 327Т 128Т, 228Т, 328Т, 129Т, 229Т, 329Т 130Т, 230Т, 330Т, 131Т, 231Т, 331Т 132Т, 232Т, 332Т, 133Т, 233Т, 333Т 134Т, 234Т, 334Т, 135Т, 235Т, 335Т 136Т, 236Т, 336Т, 137Т, 237Т, 337Т 138Т, 238Т, 338Т, 139Т, 239Т, 339Т	кПа МПа	40; 60 63; 100 0,16; 0,25 0,4; 0,6 0,63; 1 1,6; 2,5 4; 6 6,3; 10 16; 25 40; 60 63; 100
ПрП абсолютного тиску КВАНТ ДА.13	411П, 511П, 412П, 512П 413П, 513П, 414П, 514П 415П, 515П, 416П, 516П 417П, 517П, 418П, 518П 419П, 519П, 420П, 520П 421П, 521П, 422П, 522П 423П, 523П, 424к/л, 524к/л 425к/л, 525к/л, 426к/л, 526к/л 427к/л, 527к/л, 428к/л, 528к/л 429к/л, 529к/л, 430к/л, 530к/л 431к/л, 531к/л, 432к/л, 532к/л 433к/л, 533к/л, 434к/л, 534к/л	кПа МПа	2,5; 4 6; 6,3 10; 16 25; 40 60; 63 0,1; 0,16 0,25; 0,4 0,6; 0,63 1; 1,6 2,5; 4 6; 6,3 10; 16
ПрП вакууметричного тиску КВАНТ ДВ.14	401В, 501В, 402В, 502В 403В, 503В, 404В, 504В 405в/п, 505в/п, 406в/п, 506в/п 407в/п, 507в/п, 408в/п, 508в/п 409в/п, 509в/п, 410в/п, 510в/п 411в/п, 511в/п, 412в/п, 512в/п 413в/п, 513в/п, 414в/п, 514в/п 415в/п, 515в/п, 416в/п, 516в/п 417в/п, 517в/п, 418в/п, 518в/п 419в/п, 519в/п, 420в/п, 520в/п 421в/п, 521в/п	кПа	0,06; 0,063 0,1; 0,16 0,25; 0,4 0,6; 0,63 1; 1,6 2,5; 4 6; 6,3 10; 16 25; 40 60; 63 100
ПрП надмірного і вакууметричного тиску КВАНТ ДІВ.16	405П, 505П, 406П, 506П 407П, 507П, 408П, 508П 409П, 509П, 410П, 510П 411П, 511П, 412П, 512П 413П, 513П, 414П, 514П 415П, 515П, 416П, 516П 417П, 517П, 418П, 518П 419П, 519П, 420П, 520П 421П, 521П, 422П, 522П 423П, 523П 424П, 524П, 425П, 525П 426П, 526П, 427П, 527П 428к/л, 528к/л, 429к/л, 529к/л	кПа МПа	$\pm 0,125$; $\pm 0,25$ $\pm 0,3$; $\pm 0,33$ $\pm 0,5$; $\pm 0,8$ $\pm 1,25$; ± 2 ± 3 ; $\pm 3,3$ ± 5 ; ± 8 $\pm 12,5$; ± 20 ± 30 ; ± 33 ± 50 ; ± 60 ± 100 ; ± 150 $\pm 0,1$; ± 5 $\pm 0,53$; $\pm 0,9$ ± 1 ; ± 4

Продовження таблиці Д.3

1	2	3	4	
ПрП різниці (перепаду) тисків КВАНТ ДД.12	401В, 501В, 402В, 502В	кПа	0,06; 0,063	
	403В, 503В, 404В, 504В		0,1; 0,16	
	405В, 505В, 406В/п, 506В/п		0,25; 0,4	
	407В/п, 507В/п, 408В/п, 508В/п		0,6; 0,63	
	409В/п, 509В/п, 410В/п, 510В/п		1; 1,6	
	411В/п, 511В/п, 412В/п, 512В/п		2,5; 4	
	413В/п, 513В/п, 414В/п, 514В/п		6; 6,3	
	415В/п, 515В/п, 416В/п, 516В/п		10; 16	
	417В/п, 517В/п, 418В/п, 518В/п		25; 40	
	419В/п, 519В/п, 420В/п, 520В/п		60; 63	
	421В/п, 521В/п, 422В/п, 522В/п		МПа	0,1; 0,16
	423В/п, 523В/п, 424В/п, 524В/п			0,25; 0,4
	425В/п, 525В/п, 426В/п, 526В/п	0,6; 0,63		
	427П, 527П, 428П, 528П	1; 1,6		
	429П, 529П, 430П, 530П	2,5; 4		
	431П, 531П, 432П, 532П	6; 6,3		
	433П, 533П, 434П, 534П	10; 16		
	ПрП гідростатичного тиску КВАНТ ДГ.15	411П, 511П, 412П, 512П	кПа	2,5; 4
413П, 513П, 414П, 514П		6; 6,3		
415П, 515П, 416П, 516П		10; 16		
417П, 517П, 418П, 518П		25; 40		
419П, 519П, 420П, 520П		60; 63		
421П, 521П, 422П, 522П		100; 160		
423П, 523П		250		

ПрП типу КВАНТ випускає науково-виробнича фірма (НВ) "АГАТ-1", м. Харків, (Україна).

Д5. Електромагнітні вимірювальні перетворювачі типу "ИР-61М"

Для автоматичного контролю витрати рідини застосовують перетворювачі вимірювальні електромагнітні типу ИР-61М, що складаються з первинного перетворювача ПР і передавального перетворювача ИУ. Перетворювачі ИУ-61М1 призначені для перетворення в уніфікований вихідний сигнал об'ємної витрати рідких середовищ, а перетворювачі ИУ-61М2 використовуються у складі теплотільників. Первинний перетворювач складається з двох основних вузлів - вузла труби і вузла електромагніта. Вузол труби ПР усіх типорозмірів має принципово однакову конструкцію. Труба виготовлена з немагнітної нержавіючої сталі, а її внутрішня поверхня покрита ізоляційним матеріалом. Прилади ИР-61М1 залежно від первинного перетворювача мають технічні характеристики, що наведені у табл. Д.4.

Таблиця Д.4

Діаметр умовного проходу, мм	Верхні межі швидкості потоку вимірювального середовища, м/с					
	1,25	1,6	2,5	4,0	6,3	10
	Верхні межі вимірювання витрати, 10^{-4} м ³ /с					
15	0,8	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3
25	5,0	6,3	10,0	16	25	40
50	20	25	40	63	100	160
80	50	63	100	160	250	400
100	80	100	160	250	400	630
150	200	250	400	630	1000	1600
200	315	400	630	1000	1600	2500

Для матеріалу покриття внутрішньої поверхні застосовують поліуретан (П) або фторпласт 4Д, температура середовища, що вимірюється від -40 до 100°C.

"ИР-61М" випускає ВО "Промприлад", м. Таллінн, (Естонія).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Згуровский М.З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования. - К.: Вища шк., 1990. - 351с.
2. Бобух А.О. Автоматизация инженерных систем: Навч. посібник. - Харків: ХНАМГ, 2005. - 212с.
3. Автоматизированные системы управления городским хозяйством / Под ред. академика В.М. Глушкова. - К.: Будівельник, 1978. - 144с.
4. Стефани С.П. Основы построения АСУ ТП: Уч. пособие для ВУЗов. - М.: Энергоиздат, 1982. - 352с.
5. Дружинин Г.В. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. - М.: Энергия; 1988. - 216с.
6. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Идентификация и управление / Под ред. проф. В.И. Салыги. - Харьков: Вища шк., 1976. - 180с.
7. Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию и применению автоматизированных систем управления технологическими процессами в отраслях промышленности (ОРММ - 3 АСУ ТП). - М.: Госкомитет по науке и технике, 1988. - 191с.
8. АСУ ТП. Предпроектная разработка алгоритмов управления / Скурихин В.И., Дубровский В.В., Шифрин В.Б. - К.: Наук. думка, 1980. - 226с.
9. Основы построения и проектирования автоматизированных систем управления в строительстве / Михайлов В.С., Билецкий О.Б. - К.: Вища шк., 1984. - 392с.

10. Основы построения АСУ / Рахимов Т.Н., Заикин О.А., Советов Б.Я. - Ташкент: Укитувчи, 1984. - 376с.
11. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій: Підручник. - К.: Вища шк., 1995. - 519с.
12. Солодовников В.В., Плотников В.М., Яковлев А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. - М.: Машиностроение, 1985. - 536с.
13. Коваленко В.Я., Краснікова Л.І. Мікро-ЕОМ та їх використання в житлово-комунальному господарстві. - К.: Будівельник, 1991. - 112 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Автоматизований режим реалізації керуючих функцій 13, 14
- Автоматизовані системи (АС)
 - класифікація АС 82
 - рівні керування 84
- Автоматизовані системи керування (АСК)
 - виробництвом (АСКВ) 83
 - інтегрована АСК (ІАСК) див. ІАСК промисловим або непромисловим підприємством
 - підприємством (АСКП) 83
 - технологічними процесами див. Автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСК ТП)
- Автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСК ТП)
 - визначення 8
 - інформаційне забезпечення і інформаційна структура 20, 46
 - класифікація 14
 - математичне забезпечення і алгоритмічна структура 20, 34
 - організаційне забезпечення, оперативний персонал і організаційна структура 9, 20, 22
 - основні технічні вимоги 14
 - призначення, цілі, функції та критерії керування 10, 11
 - програмне забезпечення і його класифікація 20, 40
 - системний принцип створення 53
 - технічне забезпечення і типові технічні структури 20, 24
 - функціональна структура 54
- Автоматичний режим реалізації керуючих функцій 14
- Адаптивна модель об'єкта керування 58
- Активний експеримент 60
- Алгоритм вирішення задачі 36
- Алгоритмічна структура (блок-схема алгоритму) 39
- Аналіз функціонування АСК ТП 139
- АСК ТП інженерних систем міського господарства 107
 - водогрійного котла потужністю 3 Гкал/г 108
 - газопостачання 108
 - енергоблоку ТЕС 95
 - систем кондиціонування повітря із рециркуляцією повітря 113
 - технічного обслуговування, ремонту і реконструкції будівель мікрорайону 124
 - холодильних установок 119
- Блок "керування даними" 44
- Блок "керування програмами" 44

Блок-схема алгоритму 41

Введення в дію (упровадження) АСК ТП 137

Виготовлення несерійних технічних засобів АСК ТП 137

Визначення фактичної економічної ефективності АСК ТП 140

Виконавчий механізм (ВМ) 13, 25, 26, 28, 30, 32, 33, 38, 55

Водогрійний котел потужністю 3 Гкал/г 108, 109

Водопідігрівач одноступеневий 37

Декомпозиція АСК ТП

структурна 14

функціональна 14

Детермінована модель об'єкта керування 58

Децентралізація АСК ТП

топологічний напрямок 30

цільовий напрямок 29

Децентралізована АСК ТП із

зіркоподібною (радіальною) топологією взаємодії підсистем 30

кільцевою (петлевою) топологією взаємодії підсистем 32

шинною (магістральною) топологією взаємодії підсистем 33

Допоміжні функції АСК ТП 13

Дослідження діючого об'єкта і системи керування ним 131

Енергоблок ТЕС 92, 95

ІАСК міським господарством

визначення і теоретичні основи створення 86

основні особливості 88

трирівнева ієрархічна структура 88, 89, 90

ІАСК промисловим або непромисловим підприємством

визначення 85

основні форми інтеграції 86

рівні ієрархії керування підприємством 84

ІАСК тепловою електростанцією

визначення 90

виробничо-господарське керування 91

оперативно-диспетчерське керування 91

трирівнева ієрархічна структура 91, 92

Ідентифікація об'єктів керування

активний експеримент 60

визначення 58

- два підходи до вирішення задачі 58, 59
- динамічні і статичні математичні моделі 59, 60
- пасивний експеримент 60
- Інформаційна структура АСК ТП
 - визначення 49
 - інформаційно-вимірювальна підсистема 49
 - керуюча підсистема 50
- Інформаційне забезпечення АСК ТП
 - визначення 20, 46
 - опис інформаційного забезпечення 47
 - основні характерні ознаки шифрування параметрів 47, 48
- Інформаційні функції АСК ТП 11

- Керуюча обчислювальна машина (КОМ) 24, 26, 28
- Керуючі функції АСК ТП 12
- Критерії керування АСК ТП 10

- Локальний автоматичний регулятор 26, 27

- Математичне забезпечення (МЗ) АСК ТП
 - алгоритм вирішення задачі 36
 - визначення 20, 34
 - "ідеологічний зміст" ("м'який товар") МЗ 34
 - підалгоритм вирішення задач 36
 - приклад реалізації загального алгоритму керування 37, 39
- Математична модель
 - вибору раціональних варіантів вирішення задачі за методом гілок і меж 155
 - послідовного аналізу 151
 - випуску продукції за критерієм максимального прибутку методом лінійного програмування 145
 - потреби житлового мікрорайону в енергетиці 159
- Мікропроцесорний контролер (МПК) КР-300
 - коротка характеристика 63
 - призначення 63
 - склад і технічні характеристики основних блоків 69, 70, 72
 - структурна схема 71
 - технологічні мови
 - мова ПРОТЕКСТ 78
 - мова ФАБЛ 75
 - функціональні підсистеми
 - групового контролю і керування 67

- логічна 66
- програмуюча 68
- регулююча 65
- Мікропроцесорний контролер (МПК) "РЕМІКОНТ Р-2000"
 - призначення 170
 - технічні характеристики 170
- Моделі об'єктів керування
 - математичні 58
 - фізичні 57

- Об'єкт керування (ОК) 9, 26, 28, 30, 32, 33, 46, 56
- Обмеження при виборі керуючих впливів 11
- Оперативний персонал (ОП) АСК ТП 9, 20, 22
- Організаційна структура АСК ТП 24
- Організаційне забезпечення (ОЗ) АСК ТП
 - визначення 20, 22
 - загальні вимоги 22
- Оригінальна АСК ТП 130, 132, 139, 141
- Основні напрямки робіт для створення АСК ТП 128
- Основні технічні вимоги до АСК ТП 19

- Пасивний експеримент 60
- Первинний перетворювач сигналів (ПП) 26, 28, 30, 32, 33, 38, 176
- Первинно-передавальний перетворювач сигналів (ПП/ПрП) 38, 171
- Передавальний перетворювач сигналів (ПрП) 26, 28, 30, 32, 33, 38, 72, 176
- Передпроектна підготовка до створення АСК ТП 130
- Підготовка підсумкових матеріалів і документів АСК ТП 141
- Підсистема АСК ТП 14, 55, 56
- Поняття "сіра скринька" і "чорна скринька" 59
- Програма 41, 41, 43
- Програмне забезпечення (ПЗ) АСК ТП
 - визначення 20, 40, 43
 - дані 41, 42, 43
 - загальне (ЗПЗ) 45
 - програми 41, 42, 43
 - спеціальне (СПЗ) 45
 - устаткування виконання програм 41, 42
 - функціональні програми 42
- Промислова експлуатація АСК ТП 139
- Процес розроблення оригінальної АСК ТП 132
- Процес створення АСК ТП 128
- Прямотекучий котлоагрегат 96, 97

Регулюючий орган 15, 28, 30, 32, 33, 35
Рівень функціональної надійності АСК ТП 16
Розробка АСК ТП деяких інженерних систем міського господарства 95
Розробка математичних моделей для АСК ТП дискретної дії 145
Розроблення (для створення оригінальної АСК ТП)
техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) 131
технічного завдання (ТЗ) 132
проекту 134
робочої документації 136

Система 7

Система автоматичного керування 8
Системний принцип створення АСК ТП 53
Складні системи 53
Спеціальний електронний регулятор температури (СЕРТ) "Електроніка Р-7Т" 167, 169
Стабілізація процесів (керування усталеними перехідними процесами) 55
Статистична модель об'єкта керування 9
Структурна схема АСК ТП 9
Схема програмного забезпечення АСК ТП 43, 44

Технічна структура АСК ТП 25

Технічне забезпечення (ТЗ) АСК ТП
визначення 20, 24
склад 24
структура 25
Технічні засоби АСК ТП 9, 63, 170
Типізація 25
Типова технічна структура
децентралізованих АСК ТП 30, 32, 33
централізованих АСК ТП 26, 28

Умовна інформаційна потужність АСК ТП 15

Уніфікація 25
Учасники створення оригінальної АСК ТП 141

Функції АСК ТП 11, 12, 13

Функціональна структура АСК ТП 54
Функціональна схема автоматизації технологічних процесів 36, 37, 39,
96, 98, 103, 107, 108, 113, 114, 116, 119, 122
Функціональна схема МПК 42

Централізована АСК ТП із

безпосереднім (прямим)цифровим режимом керування
параметрами 28

супервізорним (супервайзерним, непрямим) режимом керування па-
раметрами 26

Цілі АСК ТП 11

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Автоматизовані системи керування технологічними процесами

Автор: Анатолій Олексійович Бобух

Відповідальний за випуск: М.О. Шульга

Редактор: М.З. Аляб'єв

Коректор: З.І. Зайцева

План 2006, поз. 86

Підп. до друку	Формат 60x84/1/16	Папір офісний
Друк на ризографі.	Умовн.-друк. арк. 8,1	Обл.–вид. арк. 9,0
Тираж 500 прим.	Зам. №	Ціна договірна

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12

Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ
61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12