

Міністерство освіти і науки України

НТУ «Дніпровська політехніка»



**ДНІПРОВСЬКА  
ПОЛІТЕХНІКА**  
1899

# **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до самостійної роботи

з ДИСЦИПЛІНИ

«Автоматизація технологічних процесів

у нафтогазовій галузі»

ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ

185 «Нафтогазова інженерія та технології»

Дніпро

2024

Міністерство освіти і науки України  
НТУ «Дніпровська політехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до самостійної роботи**  
**з ДИСЦИПЛІНИ**  
**«Автоматизація технологічних процесів у нафтогазовій**  
**галузі»**  
**ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 185**  
**«Нафтогазова інженерія та технології»**

Рекомендовано до видання навчально-методичним  
управлінням університету

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
на засіданні кафедри  
нафтогазової інженерії  
та буріння  
Протокол № 19  
від 09.07.2024 р.

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2024

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Автоматизація технологічних процесів у нафтогазовій галузі» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Упоряд.: А.О. Ігнатов. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2024. – 14 с.

Упорядник

А.О. Ігнатов, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск

доц. кафедри нафтогазової інженерії та буріння

Расцветаев В.О., канд. техн. наук

## ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Мета вивчення дисципліни.** Формування компетентностей щодо проектування та управління автоматизованими комплексами буріння і експлуатації нафтових і газових свердловин за умов підвищення їх продуктивності.

**Результати навчання.** Після вивчення дисципліни студент повинен мати знання та навички, що допоможуть: проводити вибір засобів контролю та автоматизації технологічних процесів у нафтогазовій галузі; аналізувати технічний стан елементів технологічного обладнання систем видобування, транспортування та зберігання нафти і газу.

**Результати вивчення дисципліни.** Плановані результати освоєння дисципліни визначаються наступними складовими.

Студент повинен знати:

- технічні та технологічні особливості процесу буріння та експлуатації свердловин, як об'єктів керування;
- основні методи формалізації процесу буріння свердловин і способи керування технологічними процесами буріння та експлуатації нафтових й газових свердловин;
- структурні схеми сучасних систем автоматизованого керування режимами буріння нафтових і газових свердловин;
- алгоритм розробки системи автоматизації процесів керування об'єктами у нафтогазовій галузі, що функціонують за умов невизначеності;
- сутність системи автоматичного керування технологічним процесом поглиблення нафтових і газових свердловин.

Студент повинен вміти:

- визначати структурні складові системи автоматичного керування технологічним процесом поглиблення нафтових і газових свердловин;
- за допомогою методів формалізації технологічних процесів в нафтогазовій галузі здійснювати ефективне оперативне автоматичне або автоматизоване керування технологічними процесами буріння та експлуатації нафтових й газових свердловин;
- розробляти комплексні технологічні ланцюжки систем автоматизованого керування режимами буріння нафтових і газових свердловин;
- на базі сучасного програмного забезпечення проектувати алгоритми розробки системи автоматизації процесів керування об'єктами у нафтогазовій галузі, що функціонують за умов невизначеності, а також здійснювати їх техніко-технологічний моніторинг;
- розробляти та впроваджувати системи автоматичного керування технологічним процесом поглиблення нафтових і газових свердловин.

## Тематичний план дисципліни «Автоматизація технологічних процесів у нафтогазовій галузі»

Види, тематика навчальних занять за дисципліною
<b>Теоретичне навчання</b>
Особливості технологічного процесу буріння як об'єкта керування
Формалізація процесу буріння свердловин
Способи керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин
Структурні схеми сучасних систем автоматизованого керування режимами буріння нафтових і газових свердловин
Математична модель технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин
Блок-схема алгоритму розробки системи автоматизації процесів керування об'єктами, що функціонують за умов невизначеності
Структура фаззи-контролера для системи автоматизації процесів буріння
Автоматизований контроль витрат енергії на засадах нечіткої логіки
Система автоматичного керування технологічним процесом поглиблення нафтових і газових свердловин
Математична модель трьохшарошкового долота як ланки системи автоматичного керування
<b>Практичні заняття</b>
Методи керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин
Пристрої для вимірювання осьового навантаження автоматизованих комплексів буріння нафтових і газових свердловин
Вимірювачі тиску автоматизованих комплексів буріння нафтових і газових свердловин

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ПРОРОБКИ

#### ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

#### **1. Основні поняття теорії автоматичного керування**

Регулювання, керування, об'єкт керування.

Система автоматичного регулювання та її елементи.

Основні принципи побудови систем автоматичного регулювання та керування.

#### **2. Елементи систем автоматичного регулювання**

Елементи систем та їх статичні характеристики.

Лінійні та нелінійні елементи.

Динамічні характеристики елементів.

#### **3. Типові ланки систем автоматичного керування та їх характери-**

## **стики**

Види з'єднань елементарних ланок та їх статичні характеристики.

Послідовне та паралельне з'єднання ланок.

Статичні характеристики зустрічно-паралельного з'єднання елементів.

### **4. Об'єкти автоматичного регулювання та їх властивості**

Означення об'єкта регулювання.

Класифікація об'єктів регулювання.

Властивості об'єктів автоматичного регулювання, їх вхідні та вихідні величини.

### **5. Загальні відомості про вимірювання, засоби вимірювань і їх похибки**

Вимірювальні перетворювачі.

Вторинні прилади та системи контролю.

Основні похибки вимірювальних приладів.

### **6. Методи та прилади для вимірювання тиску**

Класифікація методів.

Рідинні, деформаційні та електричні манометри.

Диференційні манометри.

### **7. Методи та прилади для вимірювання температури**

Основні відомості та класифікація методів вимірювання температури.

Термометри розширення та дилатометричні термометри.

Термометри опору та термопари.

### **8. Методи та прилади вимірювання рівня та витрати**

Методи та прилади вимірювання рівня.

Методи та прилади вимірювання витрати.

### **9. Загальна характеристика електричних, пневматичних засобів автоматизації**

Елементна база пневмоавтоматики.

Електричні засоби автоматизації, їх особливості та область застосування.

### **10. Структурні схеми електричних, пневматичних регуляторів**

Структурні схеми електричних регуляторів.

Структурні схеми пневматичних регуляторів.

### **11. Регулятори з аналоговим і імпульсним вихідним сигналом. Мікропроцесорні регулятори**

Основні схеми регуляторів з імпульсним вихідним сигналом.

Регулятори з неперервним вихідним сигналом.

Основні відомості про мікропроцесорні регулятори.

### **12. Основні характеристики виконавчих механізмів та їх класифікація**

Класифікація виконавчих механізмів та їх основні характеристики.

Основні характеристики виконавчих механізмів.

### **13. Класифікація регулюючих органів, їхні витратні та пропускні**

## **характеристики**

Класифікація регулюючих органів.

Конструкція регулюючих органів та їх застосування.

Основні характеристики регулюючих органів.

### **14. Системи регулювання основних технологічних параметрів**

Системи регулювання рівня.

Системи регулювання тиску.

Системи регулювання витрати.

Системи регулювання температури.

Системи регулювання параметрів якості.

### **15. Багатоконтурні системи регулювання**

Основні відомості про каскадні системи регулювання.

Комбіновані системи регулювання.

### **16. Зображення систем автоматизації на функціональних схемах автоматизації**

Призначення функціональних схем автоматизації.

Зображення на функціональних схемах автоматизації технологічних апаратів, машин, трубопроводів та трубопровідної арматури.

Зображення на функціональних схемах автоматизації приладів та технічних засобів автоматизації.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДАТЧИКІВ ЗАГАЛЬНОПРОМИСЛОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ, А ТАКОЖ ПРИЛАДІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИН

### Варіант № 1

1. Класифікація датчиків (за принципом живлення, перетворення вимірюваної величини та ін.)
2. Динамометри, принцип дії і експлуатація.

### Варіант № 2

1. Основні вимоги до КВП (контрольно-вимірювальних приладів) і сфери їх раціонального застосування.
2. Датчики крутного моменту (момент на роторі, на долоті).

### Варіант № 3

1. Вимір тиску промивальної рідини (прилади, їх призначення і принцип дії).
2. Датчики ваги, навантаження (вага інструменту, навантаження на забій).

#### Варіант № 4

1. Вимір витрати промивальної рідини (класифікація приладів, пристрій і принцип дії).
2. Датчики кутової швидкості.

#### Варіант № 5

1. Класифікація приладів для виміру тиску промивальної рідини (за принципом дії, родом вимірюваної величини та ін.).
2. Датчики для виміру температури рідини і газу.

#### Варіант № 6

1. Бурові спідометри і реєстратори швидкості буріння.
2. Датчики для виміру в'язкості рідини і величини рН.

#### Варіант № 7

1. Гідравлічні індикатори ваги, їх пристрій, принципи дії і експлуатації.
2. Магнітопружні вимірники тиску, схема і принцип дії.

#### Варіант № 8

1. Вимірники і обмежувачі крутного моменту.
2. Прилади вимірювання крутного моменту на механічних та автоматичних бурових ключах, їх призначення, схема виконання і експлуатація.

#### Варіант № 9

1. Апаратура комплексного контролю параметрів режиму буріння.
2. Магнітопружні датчики, їх принцип дії і застосування.

#### Варіант № 10

1. Контроль стану бурильного інструменту (загальні відомості, класифікація методів контролю та ін.).
2. Економічна ефективність застосування КВП (контрольно-вимірювальних приладів).

#### Варіант № 11



1. Прилади контролю стану бурильного інструменту.
2. Датчики для виміру механічної швидкості буріння.

#### Варіант № 12

1. Контроль забійних параметрів режиму буріння, типи каналів зв'язку забою з поверхнею.
2. Датчики для виміру витрати рідини (інтенсивність промивання, дебіт свердловини).

#### Варіант № 13

1. Глибинні прилади для контролю і реєстрації параметрів режиму буріння.
2. Датчик для виміру витрати газу (інтенсивність продування).

#### Варіант № 14

1. Глибинні прилади для визначення зон поглинання і рівня промивальної рідини.
2. Датчики для виміру тиску рідини і газу.

#### Варіант № 15

1. Глибинні прилади для визначення температури і тиску.
2. Датчики для визначення рівня рідини.

### МЕХАНІЗАЦІЯ І АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ БУРІННЯ

#### Варіант № 1

1. Механізація спуско-підймальних операцій в бурінні свердловин.
2. Економічна ефективність застосування засобів механізації.

#### Варіант № 2

1. Оцінка рівня механізації бурових робіт.
2. Комплекси автоматизованого виконання спуско-підймальних операцій.

### Варіант № 3

1. Механізація приготування промивальних рідин.
2. Пристрої подачі долота і їх класифікація.

### Варіант № 4

1. Механізація робіт при будівництві бурових вишок.
2. Навантаження на породоруйнівний інструмент як параметр регулювання подачі інструменту.

### Варіант № 5

1. Визначення механічної швидкості буріння з позицій оптимізації роботи породоруйнівного інструменту на забої свердловини.
2. Рейсова швидкість буріння як параметр регулювання подачі інструменту.

### Варіант № 6

1. Автомати подачі долота.
2. Автоматичні бурові ключі: схема конструктивного виконання і особливості експлуатації.

### Варіант № 7

1. Гідравлічні пристрої подачі долота.
2. Бурова як об'єкт автоматичного регулювання.

### Варіант № 8

1. Контроль за якістю промивальних рідин на свердловинах.
2. Автомат подачі долота.

### Варіант № 9

1. Проектування режимів буріння в умовах автоматичного регулювання.
2. Розшифрування діаграми гідравлічного індикатора ваги типу ГІВ.

### Варіант № 10

1. Вимірник крутного моменту на роторі ИМР-2; призначення, кінематична схема, принцип роботи.

2. Елеватори, їх класифікація, схема конструктивного виконання і особливості експлуатації.

#### Варіант № 11

1. Автоматизовані системи управління процесом буріння свердловин.
2. Застосування обчислювальних машин для управління процесом буріння.

#### Варіант № 12

1. Методика знаходження раціональних параметрів режиму буріння за допомогою контрольно-виміральної апаратури.
2. Комплекси пристроїв для реєстрації технологічних параметрів режиму буріння.

#### Варіант № 13

1. Бурові регулювальники.
2. Тривалість спуско-підйомних операцій і шляху скорочення витрат часу.

#### Варіант № 14

1. Контроль стану бурильного інструменту: загальні відомості про методи неруйнівного контролю.
2. Призначення і принцип дії пристроїв подачі долота.

#### Варіант № 15

1. Телеконтроль і телекерування в бурінні: контроль забійних параметрів режиму буріння, типи каналів зв'язку забою з поверхнею.
2. Економічна ефективність впровадження засобів автоматизації.

### **Конспекти тем для відповідей на запитання**

#### **1. Елементи систем автоматизації**

Всі апарати, що використовуються в схемах автоматизованого і автоматичного керування електроустановками, поділяють на: захисні, командні, проміжні, виконавчі, сигнальні. Вибирають апарати за призначенням, напругою, величиною струму, кліматичним виконанням, умовами захисту оточуючого се-

редовища та іншими показниками. При виборі елементів потрібно враховувати режими роботи робочих машин та механізмів, вимоги до техніки безпеки, протипожежні правила.

Командні апарати розраховані для створення первинних імпульсів (команд) на вмикання, вимикання та зміну режиму роботи електроустановки. До них належать шляхові та кінцеві вимикачі, поплавкові, манометричні, температурні та інші реле, контактні термометри тощо.

Шляхові та кінцеві вимикачі призначені для замикання і розмикання кіл керування за допомогою упорів (кулачків) в автоматизованих установках, де потрібна подача командних імпульсів при певному положенні механізму. Вони можуть мати контакти миттєвої та немиттєвої дії. Шляхові та кінцеві вимикачі з контактами немиттєвої дії можна застосовувати в тих випадках, коли машина рухається зі швидкістю 0,4 м/хв, при швидкостях, менших за 0,4 м/хв, потрібно застосовувати кінцеві і шляхові вимикачі з миттєвим розмиканням контактів.

Командні апарати вибирають за напругою, струмом, кількістю і видом контактів, виконанням захисту від навколишнього середовища.

Проміжні апарати здійснюють передачу та підсилення первинних імпульсів, а також забезпечують певну послідовність виконання технологічних операцій. До проміжних апаратів можна віднести реле напруги різних типів, реле часу тощо. Промисловість випускає проміжні реле різних серій. Вони різняться напругою котушки, кількістю і видом (замикаючий, розмикаючий) контактів та розривною потужністю контактів або струмом, які можуть комутувати контакти. Із всіх можливих типів реле потрібно вибирати те, яке споживає найменшу потужність.

Реле часу створює витримку часу між моментом подачі командного імпульсу на замикання або розмикання кола керування та моментом здійснення цих операцій. Деякі реле часу (програмні реле) мають багатоконтактну систему і керують рядом процесів у наперед заданій послідовності. За принципом дії сповільнюючого органу реле часу поділяють на механічні (маятникові), електромеханічні, моторні, електромагнітні, електропневматичні, електронні та ін. Реле часу вибирають за витримкою часу (витримка часу визначається ходом технологічного процесу), за напругою живлення, розривною потужністю контактів, кількістю програм тощо.

Первинні перетворювачі (датчики тиску, вологості, температури, рівня) вибирають залежно від параметрів контрольованої величини, при цьому необхідно враховувати похибку, межі вимірюваної величини. Датчик вибирають так, щоб величина, яку він вимірює, знаходилась в межах  $1/3 - 2/3$  діапазону його шкали.

Струм, який може комутувати датчик, повинен бути більшим робочого струму.

Виконавчі апарати призначені для виконання відповідних робочих функцій системи неавтоматизованого, автоматизованого та автоматичного керування. До виконавчих апаратів автоматизованого і автоматичного керування відно-

сять електромагнітні пускачі, контактори, різноманітні реле тиску, температури, швидкості, електромагнітні клапани, виконавчі механізми з електродвигунним приводом, який може бути однооберттовим і багатооберттовим. Особливістю однооберттових виконавчих механізмів є те, що їх вихідний вал обертається з постійною швидкістю на кут, не більший ніж  $360^\circ$ . Необхідний кут повороту встановлюється за допомогою кінцевих вимикачів. Виконавчі механізми з електродвигунним приводом вибирають залежно від значень моменту, необхідного для приводу заслінок.

Сигнальні апарати призначені для інформації про хід технологічного процесу і стан керованого об'єкта, а також для передавання командних сигналів обслуговуючому персоналу. Для цього застосовуються електричні звукові і світлові сигнальні апарати.

До звукових сигнальних апаратів належать дзвінки, сирени, ревуни.

До світлових апаратів сигналізації належать сигнальні лампи. Промисловість випускає арматуру для сигнальних ламп різних типів: з лампами розжарювання потужністю 10 Вт і з люмінесцентними лампами. В арматуру вмонтовано баластні опори.

Сукупність сигнальних, релейних і комутаційних апаратів утворює систему сигналізації. Залежно від призначення системи сигналізації вони бувають: інформаційні, попереджувальні, аварійні.

Сигналізація положення інформує обслуговуючий персонал про стан і положення електричних апаратів, машин і кіл, наприклад, електродвигун ввімкнено, справний чи несправний тощо.

Сигнальні апарати вибирають за напругою, кольором лінз. Для сигналізації положення застосовують, білі, жовті, зелені лінзи. Для аварійної сигналізації – червоні.

Щити і пульти системи автоматизації виконують роль постів контролю, керування і сигналізації. Вони призначені для розміщення засобів контролю і керування технологічним процесом. Щити систем автоматизації підрозділяють:

- за виконанням – на відкриті (панелі) і захищені (шафні);
- за призначенням – на оперативні, в яких ведеться контроль і керування технологічним процесом;
- неоперативні, призначені для установки апаратів і приладів, які не використовуються безпосередньо оператором для керування і спостереження за ходом технологічного процесу.

Крім цього щити розрізняють за місцем установки:

- місцеві – розташовані поблизу установки;
- агрегатні, на яких встановлюється апаратура керування контролю і сигналізації для одного агрегату;
- блочні – включають в себе засоби автоматизації декількох агрегатів;
- центральні, в яких розташовують апаратуру керування і автоматизації, яка відноситься до всього технологічного процесу.

Більшість приладів і засобів автоматизації повинні розміщуватись у щитах або пультах, це означає, що розміри щитів і пультів залежать від розмірів технічних засобів.

Прилади і апарати на лицьовій стороні щита розміщуються, виходячи з умов забезпечення зручності роботи оператора, а також безпеки обслуговування. Щити з дверима, у яких глибина, тобто відстань від дверей до протилежної стінки, не перевищує 600 мм, відносяться до щитів, які обслуговуються зовні. У таких щитах апарати і прилади з відкритими струмопровідними частинами можна встановлювати на будь-яких внутрішніх стінках. У пультах для розміщення апаратів і приладів, як правило, використовують тільки робочу (верхню) поверхню пульта і передню стінку приставки для приладів.

На внутрішніх стінках рекомендується встановлювати тільки збірки затискачів.

При розміщенні приладів і апаратів в щитах і пультах відстань між відкритими струмопровідними елементами різних фаз, а також між елементами і неізолюваними металевими частинами повинна бути не менше 20 мм по поверхні ізоляції і 12 мм по повітрю.

Апарати і прилади, які встановлюють всередині щитів рекомендується встановлювати на таких відстанях від основи щита:

- трансформатори і інші джерела живлення малої потужності – на відстані 1700 - 2000 мм;
- панелі з вимикачами, запобіжниками, автоматами – на відстані 700 - 1700 мм;
- реле – на відстані 600 - 1900 мм;
- збірки затискачів при вертикальному розташуванні з врахуванням підключення знизу: нижній край збірки – 350 мм, верхній край збірки – 1900 мм;
- збірки затискачів при горизонтальному розташуванні – 350 - 800 мм;
- відстань між збірками затискачів – 200 мм;
- відстань від приладу до стінки щита – 100 мм;
- відстань між приладами по горизонталі – 50 мм, по вертикалі – 40 - 80 мм.

Апарати з рухомими частинами (рубильники, магнітні пускачі, реле) необхідно розташовувати так, щоб вони під дією сили тяжіння не могли самостійно замкнутися коло. Електричні проводки в щитах і пультах виконують відкритими, об'єднуючи їх в джгути. Не дозволяється з'єднувати в загальні джгути проводки кіл живлення, керування і сигналізації з вимірювальними колами приладів. Загальна прокладка кіл різного призначення приводить до того, що в колах вимірювальних приладів виникають електричні перешкоди, які значною мірою спотворюють результати вимірів. Вимірювальні кола прокладають окремо. Монтаж проводок всередині щитів виконують проводом з мідними жилами марки

ПВ, а монтаж проводок до приладів, які встановлені на рухомих елементах (двері, поворотні рамки), – гнучкими проводами марки ПГВ.

## **2. Розробка конструктивних основ створення вибійного механізму подачі інструменту як елемента системи автоматизації процесів буріння свердловин**

При роторному бурінні долото, що знаходиться біля основи бурильної труби, обертається, забезпечуючи тим самим процес поглиблення вибою. Долото просувається в надра шляхом збільшення довжини бурильної труби.

У той же час, обертання долота цілком реалізовується і за допомогою підключення останнього до кабелю. Долото при роторному бурінні кріпиться до бурильної колони, яка у свою чергу збирається з окремих секцій труб за допомогою порожнистих замків; бурильна колона, що знаходиться у свердловині, створює, по суті, два концентричні канали, по центральному з яких йде закачування очисного агента вниз по колоні до долота і назад, по кільцевому, на поверхню. При цьому відбувається винесення шламу зі свердловини. Таким чином, при роторному бурінні немає необхідності зупиняти буріння, для того, щоб видалити шлам.

При використанні колони гнучких труб (КГТ) відбувається заміщення труб та порожнистих трубних замків безперервною колоною сталевих порожнистих труб. Той недолік, що при використанні КГТ немає можливості обертати трубу з поверхні для того, щоб приводити в рух долото, був здоланий розробкою спеціальних вибійних двигунів, які обертають долото. Алмазне долото або компактне долото з полікристалічними алмазними вставками часто використовуються разом зі свердловинними вибійними двигунами, тому що вони можуть витримувати значні окружні швидкості обертання (до  $350 \text{ хв}^{-1}$ ), порівняно з шарошковим інструментом. В той же час, така технологія виявила істотний недолік використання КГТ - неможливість створення раціональних осьових зусиль на породоруйнівний інструмент. Це явище в деякій мірі усунено за рахунок збільшеного числа оборотів породоруйнівного інструменту, проте, на сучасному етапі розвитку технологій КГТ, повністю воно не усунене.

Метод буріння з КГТ дозволяє розміщувати і витягати внутрішньосвердловинний інструмент під час безперервної подачі рідини, що істотно знижує можливість його заклинювання у свердловині. При використанні КГТ не треба сполучати і роз'єднувати труби при проведенні спуско-підіймальних операцій. Таким чином скорочується час роботи з трубами і, відповідно, підвищується безпека персоналу. КГТ дозволяє безперервно контролювати свердловинні параметри, особливо коли колона знаходиться в русі. Той факт, що колона труб постійно пов'язана з буровим насосом, також дає деяку перевагу, пов'язану з появою можливості усунення або контролю викидів.

КГТ може використовуватися для буріння як вертикальних, так і похило-спрямованих свердловин. При бурінні вертикальних свердловин використовується традиційний буровий снаряд спільно зі свердловинним вибійним двигуном. Похило-спрямоване буріння вимагає використання направляючого пристрою для управління траєкторією буріння.

Вертикальні свердловини є найбільшою сферою застосування КГТ; під вертикальними, в цьому аспекті викладу, розуміють такі свердловини, для буріння яких немає необхідності у використанні свердловинного інструменту, контролюючого напрям, кут нахилу і/або азимут.

Похило-спрямоване буріння свердловин на КГТ вимагає застосування направляючих пристроїв в нижній частині безперервної колони для контролю траєкторії дотримання руху породоруйнівного інструменту. Такі операції використовуються при бурінні нових свердловин, подовженні старих, при зарізанні бічних стовбурів у напрямку ліквідованих свердловин і при бурінні горизонтальних дренажних свердловин. Проте в основному КГТ застосовується при бурінні похилих свердловин до нових колекторів з основного стовбура (багатостовбурне буріння).

Відхиляючий і спрямовуючий інструмент у комбінації із спеціальними приладами використовується для вимірів кута нахилу, азимута і для орієнтації торця бурильного інструменту. Для похило-спрямованого буріння на КГТ використовуються два основні типи інструментів, що відхиляють. Електричні інструменти застосовуються спільно з приєднаним до них кабелем, який знаходиться усередині КГТ і передає дані на поверхню. До другого типу відносяться інструменти з гідроімпульсним каналом зв'язку. Такі пристрої передають дані на поверхню, генеруючи імпульси тиску в буровому розчині.

Як показує теорія, а більшою мірою практика буріння, будь-яке з технічних рішень виявляється технологічно і економічно виправданим, якщо воно відрізняється порівняльною нескладністю.

Говорячи про спосіб буріння з використанням колони гнучких труб і технологічні засоби для його реалізації, поза сумнівом їх можна охарактеризувати як досить прості, що є однією з головних переваг цього методу. Саме названа обставина визначає практично необмеженість рейсів при використанні даної технології буріння, а це, як було показано раніше, головний резерв підвищення продуктивності. Найголовніший недолік методу буріння з використанням колони гнучких труб (складність створення необхідного осьового навантаження) зумовив спрямованість усіх наступних конструктивних розробок.

В результаті широкого узагальнення наявних матеріалів з питань створення і експлуатації механізмів подачі інструменту встановлено, що недоліками існуючих вибійних регулювальників осьового навантаження є зайва складність конструкцій, неуніверсальність за призначенням і обмеженість по застосуван-



ню; в той же час є цілком прийнятними шляхи спрощення конструкцій пристроїв, розширення їх функціональності і посилення експлуатаційної надійності, що забезпечує застосовність цих пристроїв в будь-яких гірничо-геологічних умовах, глибоких, спрямованих свердловинах, а також в компоюванні з різними типами бурильних колон.

Конструктивно пристрій подачі інструменту має бути автономним за виконанням, захищеним від зім'яття при механічних діях, мати достатній ресурс роботи в рейсі, дозволяти проводити операції з ліквідації можливих ускладнень (наприклад, при звільненні вибійного компоювання від прихоплення), крім того, мати діафрагмові вузли для гідравлічного управління осьовим навантаженням, а також посиленими опорно-центруючими елементами для забезпечення подовжньої стійкості конструкції.

Існує три етапи управління робочими параметрами пристрою для створення необхідного навантаження на інструмент: перший - на стадії розробки пристрою; другий - на стадії розробки режиму буріння; третій - при зборці компоювання і її експлуатації.

У світлі сказаного також звертає на себе увагу те, що робота вибійної компоювки повинна реалізувати принципи найменш енергоємних і ефективних способів руйнування масиву. Крім того, вибійні механізми подачі інструменту повинні дозволяти ефективно керувати траєкторією свердловини, максимально тобто використовувати особливості конструкції КГТ. Керуючись тим, що будь-яке конструктивне удосконалення вибійного приладу не повинно привести до істотного ускладнення його експлуатаційних параметрів, можна намітити декілька можливих схем руйнування породи вибою:

- обробка зони вибою безпосередньо спеціалізованим породоруйнівним інструментом без автономного регулювання осьового зусилля;
- формування свердловини за рахунок дії на масив, через породоруйнівний інструмент, зосередженого осьового навантаження;
- комбінована схема руйнування, що включає в тій чи іншій мірі принципи перших двох.

Не порушуючи питань механіки руйнування, необхідно помітити, що запропоновані схеми формування вибою свердловини вимагають визначених як конструктивних так і технологічних змін; причому вони мають бути комплексними, іншими словами виконувати не лише безпосередньо покладені на них функції, але і за можливістю сприяти досягненню іншими супутніми процесами своїх максимальних техніко-економічних показників. Усе це вимагає усебічного вивчення і аналізу досить широкого ряду техніко-економічних аспектів механіки руйнування порід і роботи вибійних компоювок приладів та створення ефективних технічних засобів, які будуть в достатньо повній мірі відповідати експлуатаційним особливостям КГТ.

Сформульовані концептуальні положення про конструктивне виконання і технологічні основи роботи вибійних механізмів подачі інструменту дозволили чітко виділити умови, які необхідно створити для підвищення техніко-економічних показників процесу буріння. Такі умови безперечно є функціональними і залежними як від моделі вибійної компоновки, так і технологічного режиму використання.

Одну з найбільших груп пристроїв подачі інструменту складають глибинні стабілізатори осьового навантаження на долото, вибійні стабілізатори моменту, вибійні автомати і регулювальники подачі долота. Ефективність їх застосування максимальна при бурінні свердловин турбобурами на глибину понад 1500 - 2000 м у поєднанні із стандартними конструкціями бурильної колони. Це пов'язано з тим, що із зростанням глибини свердловин збільшуються втрати осьового навантаження на тертя бурильної колони об стінки свердловини, внаслідок чого буровий снаряд або зависає, або періодично прослизає. Навіть у режимі прокручування бурильної колони виникають нерівномірності навантаження на інструмент і явища нестійкого моменту обертання турбобура. Технічних наземних засобів, за допомогою яких можливо ефективно контролювати роботу турбобура на великих глибинах немає. Рішення задачі управління режимом роботи турбобура на великих глибинах полягає у використанні вибійних автоматів або глибинних стабілізаторів. Глибинні стабілізатори призначені для підтримки постійного осьового навантаження на долото незалежно від довжини колони бурильних труб і використовуються при роторному і турбінному бурінні. При використанні глибинного стабілізатора ваги (ГСВ) осьове навантаження на долото може створюватися, як обваженими бурильними трубами (ОБТ), з турбобуром, приєднаним до ГСВ, так і додатково за рахунок гідравлічного перепаду тиску промивальної рідини в стабілізаторі ваги. Глибинні стабілізатори моменту регулюють осьове навантаження, підтримуючи постійну величину моменту на долоті. Застосовуються і інші стабілізатори.

Вибійні автомати подачі долота для турбінного буріння дозволяють регулювати осьове навантаження на долото для підтримки постійного значення перепаду тиску, частоти обертання або обертового моменту на валу турбобура. Вибійні автомати подачі встановлюються над турбобуром. При необхідності між автоматом подачі і турбобуром може бути включений набір ОБТ.

Автомати подачі за перепадом тиску використовують залежність перепаду тиску рідини на лопатках турбобура від частоти обертання. Така залежність характерна тільки для лопаток певного профілю. Зміна частоти обертання внаслідок зміни осьового навантаження на вибій впливає на перепад тиску рідини, що викликає спрацьовування гідромеханічного приводу автомата. У разі зменшення частоти обертання привод підводить турбобур над забоєм, зменшуючи осьове навантаження, а стабілізатор ваги - момент обертання на долоті і навпа-

ки. Автомати регулювання моменту обертання на валу турбобура мають за чутливий елемент пружинний моментомір, що реагує на зміну моменту на долоті і переміщуючий золотник гідромеханічного приводу подачі. Останній, залежно від положення золотника, навантажує або розвантажує долото.

Принцип дії автомата подачі по залежності зміни частоти обертання долота полягає в управлінні осьовим навантаженням за допомогою відцентрового регулювальника, пов'язаного з валом турбобура.

Широке розповсюдження отримав спосіб формування осьового навантаження на долото, який заснований на дискретній подачі бурильної колони до вибою свердловини; він дозволяє передавати осьове зусилля від колони на долото через корпус гідравлічного вибійного двигуна і його осьову опору, формувати осьове гідравлічне зусилля на ротор вибійного двигуна і на долото шляхом створення перепадів тиску в потоці промивальної рідини, що проходить через вибійний двигун і промивальний вузол долота. Для можливості здійснення позначеного процесу над валом гідравлічного вибійного двигуна генерують додаткове гідравлічне осьове зусилля і спільно з частиною осьового зусилля від бурильної колони через пружний елемент передають на верхній торець валу вибійного двигуна і далі на долото; сили тертя колони об стінки свердловини знижують шляхом постійної передачі осьових вібрацій від долота бурильній колоні через верхній торець валу вибійного двигуна, а також шляхом регулювання діапазону параметрів вібрацій, що передаються колоні від валу вибійного двигуна.

Запропонована конструкція гідродинамічного підсилювача осьового навантаження, заснованого на реалізації процесів виникнення і багатократного віддзеркалення гідродударної хвилі в неоднорідному трубопроводі із замкнутою порожниною в сукупності з роботою розподільного вузла потоку промивальної рідини. Такий підхід дозволив запропонувати інженерний метод розрахунку і створити гідродинамічний пристрій, що забезпечує раціональне навантаження на породоруйнівний інструмент.

### **3. Основні елементи систем автоматизації**

Всі апарати, що використовуються в схемах автоматизованого і автоматичного керування електроустановками, поділяють на: захисні, командні, проміжні, виконавчі, сигнальні. Вибирають апарати за призначенням, напругою, величиною струму, кліматичним виконанням, умовами захисту оточуючого середовища та іншими показниками. При виборі елементів потрібно враховувати режими роботи робочих машин та механізмів, вимоги до техніки безпеки, протипожежні правила.

Командні апарати розраховані для створення первинних імпульсів (команд) на вмикання, вимикання та зміну режиму роботи електроустановки. До них належать шляхові та кінцеві вимикачі, поплавкові, манометричні, темпера-

турні та інші реле, контактні термометри тощо.

Шляхові та кінцеві вимикачі призначені для замикання і розмикання кіл керування за допомогою упорів (кулачків) в автоматизованих установках, де потрібна подача командних імпульсів при певному положенні механізму. Вони можуть мати контакти миттєвої та немиттєвої дії. Шляхові та кінцеві вимикачі з контактами немиттєвої дії можна застосовувати в тих випадках, коли машина рухається зі швидкістю 0,4 м/хв, при швидкостях, менших за 0,4 м/хв, потрібно застосовувати кінцеві і шляхові вимикачі з миттєвим розмиканням контактів.

Командні апарати вибирають за напругою, струмом, кількістю і видом контактів, виконанням захисту від навколишнього середовища.

Проміжні апарати здійснюють передачу та підсилення первинних імпульсів, а також забезпечують певну послідовність виконання технологічних операцій. До проміжних апаратів можна віднести реле напруги різних типів, реле часу тощо. Промисловість випускає проміжні реле різних серій. Вони різняться напругою котушки, кількістю і видом (замикаючий, розмикаючий) контактів та розривною потужністю контактів або струмом, які можуть комутувати контакти. Із всіх можливих типів реле потрібно вибирати те, яке споживає найменшу потужність.

Реле часу створює витримку часу між моментом подачі командного імпульсу на замикання або розмикання кола керування та моментом здійснення цих операцій. Деякі реле часу (програмні реле) мають багатоконтактну систему і керують рядом процесів у наперед заданій послідовності. За принципом дії сповільнюючого органу реле часу поділяють на механічні (маятникові), електромеханічні, моторні, електромагнітні, електропневматичні, електронні та ін. Реле часу вибирають за витримкою часу (витримка часу визначається ходом технологічного процесу), за напругою живлення, розривною потужністю контактів, кількістю програм тощо.

Первинні перетворювачі (датчики тиску, вологості, температури, рівня) вибирають залежно від параметрів контрольованої величини, при цьому необхідно враховувати похибку, межі вимірюваної величини. Датчик вибирають так, щоб величина, яку він вимірює, знаходилась в межах  $1/3 - 2/3$  діапазону його шкали.

Струм, який може комутувати датчик, повинен бути більшим робочого струму.

Виконавчі апарати призначені для виконання відповідних робочих функцій системи неавтоматизованого, автоматизованого та автоматичного керування. До виконавчих апаратів автоматизованого і автоматичного керування відносять електромагнітні пускачі, контактори, різноманітні реле тиску, температури, швидкості, електромагнітні клапани, виконавчі механізми з електродвигунним приводом, який може бути однообертним і багатообертним. Особливістю

однооберткових виконавчих механізмів є те, що їх вихідний вал обертається з постійною швидкістю на кут, не більший ніж  $360^\circ$ . Необхідний кут повороту встановлюється за допомогою кінцевих вимикачів. Виконавчі механізми з електродвигунним приводом вибирають залежно від значень моменту, необхідного для приводу заслінок.

Сигнальні апарати призначені для інформації про хід технологічного процесу і стан керованого об'єкта, а також для передавання командних сигналів обслуговуючому персоналу. Для цього застосовуються електричні звукові і світлові сигнальні апарати.

До звукових сигнальних апаратів належать дзвінки, сирени, ревуни.

До світлових апаратів сигналізації належать сигнальні лампи. Промисловість випускає арматуру для сигнальних ламп різних типів: з лампами розжарювання потужністю 10 Вт і з люмінесцентними лампами. В арматуру вмонтовано баластні опори.

Сукупність сигнальних, релейних і комутаційних апаратів утворює систему сигналізації. Залежно від призначення системи сигналізації вони бувають: інформаційні, попереджувальні, аварійні.

Сигналізація положення інформує обслуговуючий персонал про стан і положення електричних апаратів, машин і кіл, наприклад, електродвигун ввімкнено, справний чи несправний тощо.

Сигнальні апарати вибирають за напругою, кольором лінз. Для сигналізації положення застосовують, білі, жовті, зелені лінзи. Для аварійної сигналізації – червоні.

Щити і пульти системи автоматизації виконують роль постів контролю, керування і сигналізації. Вони призначені для розміщення засобів контролю і керування технологічним процесом. Щити систем автоматизації підрозділяють:

- за виконанням – на відкриті (панелі) і захищені (шафні);
- за призначенням – на оперативні, в яких ведеться контроль і керування технологічним процесом;
- неоперативні, призначені для установки апаратів і приладів, які не використовуються безпосередньо оператором для керування і спостереження за ходом технологічного процесу.

Крім цього щити розрізняють за місцем установки:

- місцеві – розташовані поблизу установки;
- агрегатні, на яких встановлюється апаратура керування контролю і сигналізації для одного агрегату;
- блочні – включають в себе засоби автоматизації декількох агрегатів;
- центральні, в яких розташовують апаратуру керування і автоматизації, яка відноситься до всього технологічного процесу.

Більшість приладів і засобів автоматизації повинні розміщуватись у щитах або пультах, це означає, що розміри щитів і пультів залежать від розмірів технічних засобів.

Прилади і апарати на лицьовій стороні щита розміщуються, виходячи з умов забезпечення зручності роботи оператора, а також безпеки обслуговування. Щити з дверима, у яких глибина, тобто відстань від дверей до протилежної стінки, не перевищує 600 мм, відносяться до щитів, які обслуговуються зовні. У таких щитах апарати і прилади з відкритими струмопровідними частинами можна встановлювати на будь-яких внутрішніх стінках. У пультах для розміщення апаратів і приладів, як правило, використовують тільки робочу (верхню) поверхню пульта і передню стінку приставки для приладів.

На внутрішніх стінках рекомендується встановлювати тільки збірки затискачів.

При розміщенні приладів і апаратів в щитах і пультах відстань між відкритими струмопровідними елементами різних фаз, а також між елементами і неізольованими металевими частинами повинна бути не менше 20 мм по поверхні ізоляції і 12 мм по повітрю.

Апарати і прилади, які встановлюють всередині щитів рекомендується встановлювати на таких відстанях від основи щита:

- трансформатори і інші джерела живлення малої потужності – на відстані 1700 - 2000 мм;
- панелі з вимикачами, запобіжниками, автоматами – на відстані 700 - 1700 мм;
- реле – на відстані 600 - 1900 мм;
- збірки затискачів при вертикальному розташуванні з врахуванням підключення знизу: нижній край збірки – 350 мм, верхній край збірки – 1900 мм;
- збірки затискачів при горизонтальному розташуванні – 350 - 800 мм;
- відстань між збірками затискачів – 200 мм;
- відстань від приладу до стінки щита – 100 мм;
- відстань між приладами по горизонталі – 50 мм, по вертикалі – 40 - 80 мм.

Апарати з рухомими частинами (рубильники, магнітні пускачі, реле) необхідно розташовувати так, щоб вони під дією сили тяжіння не могли самостійно замкнути коло. Електричні проводки в щитах і пультах виконують відкритими, об'єднуючи їх в джгути. Не дозволяється з'єднувати в загальні джгути проводки кіл живлення, керування і сигналізації з вимірювальними колами приладів. Загальна прокладка кіл різного призначення приводить до того, що в колах вимірювальних приладів виникають електричні перешкоди, які значною мірою

спотворюють результати вимірів. Вимірювальні кола прокладають окремо. Монтаж проводок всередині щитів виконують проводом з мідними жилами марки ПВ, а монтаж проводок до приладів, які встановлені на рухомих елементах (двері, поворотні рамки), – гнучкими проводами марки ПГВ.

#### **4. Деякі базові принципи та перспективи подальшого розвитку систем автоматизації**

Автоматизація технологічного процесу становить важливу частину науково-технічного прогресу у проведенні бурових робіт. Теоретичні дослідження в галузі вдосконалення управління процесом буріння та його оптимізації отримали нові можливості практичної реалізації з появою керуючої мікропроцесорної техніки та створенням на її основі систем автоматизованого управління.

У галузі протягом ряду років проводяться дослідження зі створення мікропроцесорних систем автоматизованого управління бурінням, що реалізують методи та засоби універсального, багатофункціонального управління, здатного на відміну від жорстких аналогових рішень здійснювати гнучку технологію буріння.

Різноманітні зразки систем автоматизованого управління процесом буріння свердловин дозволяють не тільки керувати процесом буріння в реальному часі за будь-яким з відомих алгоритмів, а й збирати, накопичувати та обробляти інформацію про процес буріння, а також діагностувати працездатність окремих вузлів та механізмів.

Автоматизація технологічних процесів на основі сучасної техніки має забезпечити інтенсифікацію виробництва, підвищення якості та зниження собівартості продукції.

Необхідність цього впливає із аналізу виробничої діяльності бурових організацій щодо виконання планових завдань. Незважаючи на те, що впровадження сучасного обладнання, інструментів, прогресивної технології буріння, засобів механізації та автоматизації окремих операцій, удосконалення організацій праці в цілому забезпечило виконання цих завдань, у бурінні залишаються значні резерви підвищення продуктивності праці та покращення її техніко-економічних показників. Ці резерви полягають, перш за все, в оптимізації та автоматизації оперативного управління процесом буріння свердловин та у вдосконаленні організації робіт.

Сьогодні, в умовах інтенсифікованого виробництва, швидкостей буріння, що зросли, різко підвищилося фізичне навантаження на буровий персонал. Враховуючи також і тенденцію до зростання глибин буріння свердловин, можна стверджувати, що зросли психологічне навантаження та відповідальність за рішення, які бурильщик приймає в процесі буріння. Вже зараз час простоїв через неправильні технологічні рішення в процесі буріння становить 5 - 7% зага-

льного балансу робочого часу.

Процес буріння, особливо глибоких свердловин, що протікає в умовах значної невизначеності, піддається сильним і непередбачуваним впливам, основа яких – як гірничо-геологічні, так і техніко-технологічні фактори. Буровики знають, наскільки проєктний геологічний розріз може відрізнятися від фактичного, а отже, проєктна технологія буріння – від фактичної. Бурильнику доводиться відступати від проєктної технології, використати свій досвід, знання, інтуїцію, щоб вчасно виявити зміну категорії буримості порід, несприятливу технологічну ситуацію; хороші майстри працюють на межі мистецтва. Тому навчити бурити добре, не задавати проєктних параметрів режимів буріння, а варіювати ними в залежності від умов дуже складно. Набагато швидше і дешевше навчити бурильника користуватися системою автоматизованого управління процесом буріння, яка вибиратиме та підтримуватиме оптимальні режими буріння відповідно до заданих критеріїв оптимальності та в рамках встановлених обмежень. За допомогою систем автоматизованого управління можна жорсткіше нормувати процес буріння, широко впроваджувати передові технології буріння.

Автоматизація процесу буріння стала практично можливою лише з появою відносно недорогих та надійних ЕОМ, здатних виконувати функції автоматизованого управління технологічним процесом буріння.

Внаслідок впровадження у виробництво нової техніки та прогресивної технології швидкості, до прикладу, алмазного буріння зросли в 1,5 - 2 рази і, на думку фахівців, зберегти надалі темпи зростання продуктивності лише за рахунок технічних рішень навряд чи можливо.

Отже, з одного боку, є об'єктивна необхідність автоматизації процесу буріння, з іншого – існують необхідні передумови до створення систем автоматизованого управління. Звідси випливає, що необхідно розглянути докладніше деякі аспекти техніко-економічного обґрунтування розробки систем управління.

Фахівцями, які мають великий досвід у галузі створення керуючих систем з ЕОМ, для складних технологічних процесів, які потенційно необхідно автоматизувати, наводять такі загальні характеристики та фактори: необхідність окремих та значних перебудов робочих режимів; потужність установки; швидка змінність окремих процесів; складність процесу та ін.

Процес буріння свердловин характеризується частими та значними перебудовами робочих режимів. Це пов'язано як з частою стохастичною зміною властивостей порід, що розбурюються, так і з іншими факторами, наприклад, зміною властивостей породоруйнівного інструменту в процесі буріння і властивостей очисного агента, періодичним подовженням бурильного валу; специфічними операціями, зумовленими постановкою інструменту на вибій та його



приробкою, підйомом керна, бурильних труб та ін.

На думку фахівців, потужність установки, виражена через розмір капіталовкладень, є одним із критеріїв для обґрунтування необхідності автоматизації технологічного процесу.

Інша загальна особливість багатьох процесів, для яких обґрунтовано застосування автоматизованого управління – часті та сильні відшкодувальні дії, що призводять до економічних втрат.

Процес буріння є не тільки виробничим процесом з точки зору споживання матеріальних і трудових ресурсів та виробництва продукту праці у вигляді сформованого (пробуреного) стовбура свердловини і отриманого керна (за що, власне, і здійснюється оплата бурової бригади), але також і науково-дослідним процесом, якщо пам'ятати основну мету виробництва бурових робіт – отримання інформації про будову земних надр.

Виникає логічна нестиківка: плануючи, проєктуючи та нормуючи процес буріння, ми тим самим стверджуємо, що знаємо предмет праці – земні надра. Але свердловини бурять, отже, ми знаємо предмет праці і прагнемо отримати нові знання про будову земних надр. Поки підготовляється процес буріння, його проєктування розглядається як детермінований процес. Після початку буріння та в ході буріння цей виробничий процес набуває характеру стохастичного, науково-дослідного, інформаційного процесу. Суперечність між виробничим та науково-дослідним характером процесу буріння є його особливістю, яку необхідно враховувати під час створення системи автоматизованого управління.

З погляду методики автоматичного управління процес буріння мало досліджений. Аналіз діаграми запису параметрів режимів буріння, записаний з максимально допустимою частотою, показує практично безперервні зміни як параметрів, так і показників процесу буріння. Саме тут необхідно визначити з якою частотою потрібно керувати процесом буріння та як його ефективність залежатиме від частоти управління. За ручного управління ці питання не виникали. При автоматичному управлінні це завдання є важливим.

Керуючі впливи від системи управління до керованого об'єкта повинні надходити своєчасно і відповідно до умов буріння, що змінилися. Від швидкості управління багато в чому залежать якість управління та кінцевий результат. А оскільки процес буріння динамічний і вимагає частого коригування керуючих впливів, принаймні в породах, що сильно перемежуються, то очевидно, що автоматизована система управління має перевагу перед людиною.

Складні з технологічної чи експлуатаційної точки зору процеси можуть бути об'єктом автоматизації управління із застосуванням ЕОМ. Технологічна складність процесу буріння обумовлена великою кількістю технологічних змінних, значення яких тією чи іншою мірою визначають ефективність цього процесу, і безліччю взаємодій між ними, що вимагає застосування не завжди

очевидних керуючих впливів. Це особливо проявляється у різних технологічних ситуаціях, від правильності розпізнавання яких залежить управляючі впливи бурильників. Експлуатаційна складність обумовлена технологічною складністю та характеризується вимогою ведення процесу буріння на оптимальному рівні, в рамках встановленої системи обмежень. Це погіршується і тим, що бурильникові для вибору правильного рішення необхідно пам'ятати і передісторію буріння за порівняно тривалий період часу.

Ручне управління навіть двома-трьома параметрами процесу буріння на оптимальному рівні в умовах порід, що часто перемежуються, і глибокої свердловини навряд чи можливо.

Автоматизоване керування процесом буріння дозволяє успішно змінювати практично одночасно два-три параметри з недоступною людині частотою. Отже, джерелом ефективності автоматизованого управління є, принаймні, зменшення проміжку часу, пошук оптимального режиму, швидка перебудова з одного режиму на інший у зв'язку з умовами, що змінилися, а також практично повне виключення порушень процесу, що призводять до аварійних ситуацій. Крім того, стратегія управління процесом буріння може бути побудована на обліку показників, що обчислюються (наприклад, поглиблення за оборот). Ці непрямі змінні розраховуються керуючою ЕОМ, яка використовує інформацію про основні параметри процесу буріння, що вимірюються серійною контрольно-вимірювальною апаратурою.

Одне з основних джерел економічної ефективності – підвищення якості управління за його автоматизації.

Якщо управління процесом буріння розглядати як підтримання параметрів процесу (наприклад, механічної швидкості) можливо ближче до заданого режиму, який встановлюється бурильнику інженером-технологом на основі його знань геолого-технічних умов буріння, то якістю управління буде те, наскільки точно протягом тривалого часу процес буріння відповідатиме заданим режимам, установкам тощо. Як показує практика, зусиль бурильника зазвичай недостатньо, щоб підтримувати процес у межах заданого режиму або показника. Це зумовлено випадковим характером чинників, які впливають на процес буріння, і обмеженими можливостями людини.

Система автоматизованого управління забезпечує підвищення якості управління завдяки своїй особливості швидко реагувати на збурення і генерувати впливи, що управляють, в яких враховується взаємний вплив параметрів і показників процесу. Крім того, система гарантує якість управління, що є особливо важливим.

Крім описаного підходу до управління, що полягає у підтримці заданого стану процесу (так зване локальне регулювання), у системі мають бути реалізовані перспективні методи управління, які не можна здійснити за допомогою

традиційного ручного управління. До них можна зарахувати такі методи; реалізовані в процесі автоматизованого управління, як оперативна оптимізація, адаптивне налаштування, регулювання збурення, управління за обчислюваних непрямих змінних, які не піддаються безпосередньому виміру (наприклад, досягнення мінімального відношення потужності на буріння до механічної швидкості буріння), і т.д.

Інше джерело ефективності систем автоматизованого управління – збільшення продуктивності праці в результаті зростання механічної швидкості буріння, зменшення кількості аварій та ускладнень, збільшення продуктивного часу за рахунок об'єктивного документованого контролю.

Очевидно, у найближчому майбутньому не передбачається скорочення обслуговуючого персоналу бурової установки, оскільки принаймні з точки зору техніки безпеки бурова установка повинна обслуговуватися не менше ніж двома робітниками. Але можна говорити про умовне вивільнення чисельності при автоматизованому управлінні навіть у процесі буріння свердловини. Оскільки система управління приймає принаймні частину функцій обслуговуючого бурового персоналу, то час, що вивільнився, робітники можуть виконувати різні допоміжні роботи. Крім того, за рахунок підвищення швидкостей буріння можливе скорочення кількості бурових установок, а отже, і чисельності робітників.

Зниження собівартості 1 м буріння свердловини – наступне джерело ефективності систем автоматизованого управління процесом буріння. Це досягається з одного боку, за рахунок зростання продуктивності праці, а з іншого – за рахунок менших питомих витрат матеріалів, інструменту, енергії, збільшення міжремонтних термінів обладнання і т.д.

На даний час досить розповсюдженими є системи, що керують лише за одним параметром – навантаженням на породоруйнівний інструмент (долото); вказані системи, внаслідок жорсткої, апаратної реалізації алгоритму управління, мають дуже обмежені функціональні можливості.

До неявних джерел економічної ефективності можна віднести функції контролю та реєстрації параметрів, а також показники процесу буріння, виконані системою управління. Отримані об'єктивні дані є основою для оптимального проектування процесу буріння, його нормування та ін.

У майбутньому з впровадженням гідрофікованих бурових установок нового покоління можливе зростання ефективності за рахунок розширення функціональних можливостей системи управління процесом буріння, таких як автоматизація спуско-підйомних операцій, діагностика стану верстата, оперативна обробка даних свердловинної геофізики, облік витрат матеріалів тощо.

Використання систем автоматизованого управління має соціальне значення. Насамперед, це усунення відмінностей між розумовою і фізичною працею, поліпшення умов праці та техніки безпеки, оскільки в результаті автоматизації

буровий персонал може бути видалений на безпечну відстань від частин, що рухаються і обертаються, і створення комфортабельних умов роботи.

## **5. Стан розробок у сфері питань автоматизації процесу буріння**

За наявними даними, створенням систем автоматизованого управління процесом буріння останнім часом займаються великі зарубіжні фірми. До прикладу японська фірма розробляє бурові верстати з комп'ютерним управлінням. Одна з моделей є малогабаритним гідравлічним верстатом із вбудованою мікро-ЕОМ; цей верстат призначений для геологічної зйомки та буріння цементувальних свердловин глибиною до 100 м при будівництві дамб і гребель. Розробники обґрунтовано вважають, що ефективність та безпека буріння значно залежать від кваліфікації оператора-бурильника. Тому мета розробки бурового верстата з вбудованою ЕОМ полягає у забезпеченні високої надійності, ефективності та безпеки роботи при бурінні верстатом незалежно від кваліфікації бурильника і тим більше у відкритті можливості автоматичного буріння верстатом свердловини заданої глибини в невідомих гірничо-геологічних умовах. Система управління збирає інформацію за шістьма параметрами і за заданою програмою виконує оптимальне управління верстатом, спуско-підйомні операції тут також автоматизовані. Фахівці фірми стверджують, що застосування верстатів із програмним управлінням дозволило отримати значний економічний ефект.

У ФРН розпочали оптимізацію процесів буріння з урахуванням можливостей мікроелектроніки при розробці рудних родовищ свердловинами великого діаметра. Започатковані науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи показують, що їх результати можуть бути використані і за інших видів буріння.

Автори вважають, що автоматичне регулювання при бурінні свердловин великого діаметра дозволяє:

- підвищити швидкість буріння у разі зниження питомого зносу споживання енергії;
- створити умови обслуговування бурового верстата однією людиною та обслуговування однією бригадою кількох верстатів;
- скоротити непродуктивний час на початку та наприкінці зміни;
- максимально збільшити швидкість буріння за мінімізації витрат.

У розробці передбачається діагностика бурового верстата, реєстрація та індикація параметрів режимів буріння та деяких режимів роботи. Оптимізацію процесу буріння заплановано здійснити шляхом адаптивного регулювання за допомогою обчислювальних пристроїв.

В запропонованому інженерному огляді, присвяченому аналізу стану зокрема розвідувального буріння та напрямів його розвитку, зарубіжні фахівці стверджують, що подальший розвиток цього способу, ймовірно, призведе до

підвищення продуктивності, автоматизації бурового процесу з метою скорочення часу на спуско-підйомні операції та забезпечення адаптивного регулювання параметрів буріння з пошуком оптимальних поєднань швидкості подачі, осьового навантаження, крутного моменту і частоти обертання бурильної колони. На базі ЕОМ середнього класу розроблено станцію автоматичної оптимізації та геолого-технологічного контролю буріння глибоких свердловин, призначену для оперативного управління процесом буріння з метою його оптимізації, розпізнавання та попередження ускладнень та аварій, ліквідації аварій, автоматичного збору, обробки, накопичення та видачі геолого-технологічної та техніко-економічної інформації про процес буріння глибоких свердловин на нафту та газ.

Основні функції станції такі: оптимізація режимів буріння, які забезпечують досягнення екстремального значення критерію оптимальності (максимум рейсової швидкості або проходки на долото, мінімум 1 м проходки); коригування обраного оптимального режиму буріння за зміни умов буріння в процесі рейсу; розпізнавання на ранній стадії передаварійних та аварійних ситуацій та ймовірнісна оцінка моменту їх настання; накопичення, зберігання та подання у різній формі геолого-технологічної інформації про процес буріння, кратної 1 м буріння або рейсу.

Станція може працювати з будь-якими нафтовими буровими установками, укомплектованими необхідним набором технологічних датчиків та розрахованими на буріння експлуатаційних та пошуково-розвідувальних свердловин на нафту та газ глибиною 4000 - 6500 м. В першу чергу доцільно використовувати станцію на нових площах в умовах малої вивченості розрізів подібної геолого-технологічної інформації щодо умов буріння.

Доволі значною є розробка, що включає кабіну бурильника з розміщеним у ній обчислювально-керуючим комплексом, датчики технологічних параметрів та виконавчий механізм для керування важелем гальма лебідки. Система призначена для ведення в автоматичному режимі процесу буріння роторним та турбінним способами глибоких свердловин на нафту та газ серійними буровими установками з використанням шарошкових доліт. Систему обслуговує один оператор. Обчислювально-керуючий комплекс включає обчислювальний блок, пульт управління, пристрої зв'язку з об'єктом і оператором, систему подання інформації та формування керуючих сигналів, систему живлення. Комплекс призначений для прийому та аналізу інформації про процес буріння за сигналами датчиків технологічних параметрів, а також для логічної та математичної обробки її відповідно до алгоритму управління, формування інформаційних та керуючих сигналів та забезпечення всіх пристроїв системи електроживлення.

Відповідно до алгоритму управління, система проводить вимірювання ваги бурового інструменту, приробку бурового долота, пошук ефективного зна-

чення осьового навантаження на долото та підтримання його в процесі буріння. Якщо подальше буріння економічно недоцільне, то система продукує сигнал про закінчення рейсу та припиняє подачу інструменту. Крім того, система забезпечує безаварійне буріння, своєчасно визначаючи зношування опори шарошкового долота. Відомості про хід процесу буріння та режими роботи обладнання видаються бурильнику за допомогою стрілочних приладів, цифрової індикації, транспарантів, що світяться, а також фіксуються на папері, що може бути вихідним документом для формування інформаційного банку і служить контрольним документом, який об'єктивно представляє стан бурового інструменту та обладнання та відображає роботу бурової бригади.

Система призначена для буріння свердловин глибиною 3500 - 4000 м. Потужність що споживається не більше 0,5 кВт. Як показали результати промислових випробувань, застосування системи дозволяє скоротити витрату доліт і час проведення свердловини на 15 - 20% за умови забезпечення повної безаварійності.

Також створено гідрофіковану установку з рухомих обертачем і трубоутримувачем, в управлінні якої використано мікропроцесор. За допомогою мікропроцесора координується функціонування елементів гідроправління, виконуються розрахунки різних операцій та контролюється їх відповідність попередньо прийнятим завданням. При спуско-підйомних операціях мікропроцесор синхронізує послідовність спрацьовування гідропатрона обертача та трубоутримувача, переміщення вгору і вниз та контролює інтервали часу між проходженням послідовних сигналів.

Можливе розширення функцій системи управління, а саме: повне відтворення різних програм, заздалегідь відпрацьованих експериментально; захист за максимальним крутним моментом при згвинчуванні і розгвинчуванні бурильних труб; обмеження за граничним осьовим навантаженням під час буріння, що підвищує надійність бурильної колони і т. д. Передбачаються реєстрація та обробка інформації про процес буріння, яка потім буде використана для інтерпретації цього процесу та геологічного розрізу.

Для буріння геологорозвідувальних свердловин на корисні копалини розроблена система автоматизованої оптимізації управління технологічним процесом буріння; вона призначена для автоматичного управління технологічним процесом буріння свердловин алмазним породоруйнівним інструментом по заданій величині поглиблення коронки за оборот або заданій механічній швидкості і може застосовуватися на всіх бурових верстатах з гідравлічною системою подачі, що використовуються при алмазному бурінні.

Практично система являє собою аналоговий регулятор і відрізняється від відомих високою надійністю та ефективністю, які залежать від правильного вибору в кожному конкретному випадку поглиблення коронки за оборот, що зада-

ється бурильником (технологом). За невідповідності заданої поглибки (швидкості буріння) умовам буріння, тобто у разі перевищення заданої швидкості буріння, оптимальної для даних умов, спрацьовує захист за споживаною потужністю або тиск бурового розчину в нагнітальній лінії промивного насоса і відбувається автоматичний "підрив" інструменту. Часте повторення описаної ситуації служить сигналом необхідності зменшення заданої поглибки за оборот.

Оптимальні величини глибини за оборот для кожної системи (гірська порода-коронка) вибирають за спеціальною, раніше розробленою, діаграмою або визначають дослідним шляхом за спеціальною методикою в процесі буріння.

Недолік системи виступає обмежена здатність до вдосконалення, що притаманне всім аналоговим рішенням. Введення елементів адаптації, вдосконалення алгоритмів управління спричинить великі труднощі і, отже, викличе подорожчання системи.

## **6. Шляхи вирішення задачі автоматичного керування процесом буріння**

Необхідна умова якісного вирішення задачі автоматичного управління процесом буріння – отримання інформації про стан процесу з необхідною оперативністю та точністю. Необхідна оперативність отримання інформації визначається необхідністю управління процесом у реальному масштабі часу, тобто керуючі впливи повинні сформуватися без запізнення (або з допустимим запізненням) щодо змін стану керованого процесу. Це забезпечується тим, що технологічні параметри повинні вимірюватися з частотою, оптимальною для тимчасових характеристик процесу буріння, до яких відносяться тривалість перехідних процесів у приводі подачі бурового верстата, інерційні властивості бурильної колони, нестационарний характер процесу.

Крім того, тимчасові характеристики істотно залежать від геолого-технічних умов буріння: глибини свердловини, фізико-механічних властивостей порід, що розбурюються, типів бурильних труб і компоновання бурильної колони, властивостей очисного агента, режиму промивання свердловини і т.п. Розрахунок точних тимчасових характеристик можливий лише з урахуванням адекватного математичного опису процесу буріння (моделі), який визначає не тільки якісні, а й точні кількісні залежності вхідних і вихідних змінних, що характеризують процес буріння для конкретних геолого-технічних умов.

Однак існуючі в даний час математичні описи процесу буріння мають якісний характер і дозволяють лише приблизно оцінити (від одиниць до декількох десятків секунд) тимчасові характеристики процесу буріння. Ця оцінка також підтверджується численними експериментальними даними. Таким чином, тимчасові характеристики процесу буріння, а отже, і частота опитування параметрів, не можуть бути точно визначені на підставі розрахунків. На цьому етапі

розвитку автоматизованого управління процесом буріння доцільно розглядати період опитування параметрів як технологічну константу, конкретне значення якої для певних умов встановлюють експериментальним шляхом за відповідними методиками.

За даними експериментальних досліджень і випробувань, при бурінні різними буровими установками свердловин глибиною 100 - 300 м при періоді опитування параметрів з інтервалом 3 - 5 с, забезпечуються: цілком задовільна якість стабілізації режимних параметрів буріння, своєчасна та ефективна реакція на зміни процесів та ліквідація аномальних технологічних процесів на початкових стадіях розвитку. При таких великих періодах опитування параметрів неможливий аналіз високочастотних процесів у бурінні, наприклад, вібрацій, діапазон яких становить, за оцінками, від сотень герц до десятків кілогерц. Для реалізації опитування параметрів із такими високими частотами необхідні спеціальні технічні засоби та складний математичний апарат обробки вимірювань. Тому в даний час доцільно проводити спеціальні дослідження високочастотних процесів у бурінні та формувати за їх результатами рекомендації щодо управління режимами буріння, наприклад, у вигляді системи обмежень.

Для цілей управління режимами буріння в реальному масштабі часу можливо обмежитися вирішенням задачі формування часового ряду вимірювань (тренду), який адекватний реальним закономірностям зміни стану процесу буріння, що дозволяє виявляти взаємозалежність зміни параметрів та прогнозувати тенденції зміни стану процесу. Якість формування тренду кожного параметра буріння також визначається точністю вимірювань окремих точок (миттєвих значень), що становлять тренд.

Процедура отримання миттєвого значення параметра, що є безперервним електричним сигналом, полягає в квантуванні цього сигналу за рівнем, яке полягає в тому, що в діапазоні безперервних значень функції вибирається кінцеве число дискретних значень функції, розподілених, наприклад, рівномірно по всьому діапазону. На момент вимірювання значення функції замінюється значенням найближчого дискретного рівня. Функція при цьому набуває східчастого вигляду. При квантуванні виникає похибка квантування, що визначається кроком квантування.

Однак основна проблема полягає у виділенні корисного сигналу на тлі випадкових перешкод, джерело яких не вимірювальні тракти, а стохастичні збурення, що виникають у процесі буріння і є наслідком умов буріння, що змінюються, і нестабільності роботи бурового обладнання. Завдання полягає у формуванні виміру необхідного параметра буріння в певний момент часу таким чином, щоб сукупність цих вимірювань відображала закономірну зміну даного параметра в межах тимчасового інтервалу, що аналізується.

Формування одного виміру кожного виду параметрів проводиться за пев-



ною кількістю опитувань, яка розглядається як статистична вибірка значень вимірюваної величини, що спостерігаються (під опитуванням розуміється одноразовий програмний запуск системи для вимірювання миттєвого значення заданого параметра в момент запуску); швидкодія системи дозволяє проводити опитування з частотою 10 - 30 Гц залежно від амплітуди вимірюваного сигналу. В якості значення параметра обчислюється середнє вибіркове – перший момент вибіркового розподілу випадкової величини. Для одномірних розподілів – це середнє арифметичне значення щодо елементів вибірки.

При обробці статистичних вибірок середнє арифметичне є оцінкою математичного очікування, точність якого залежить від кількості елементів вибірки. Оскільки кількості елементів вибірки у разі формування вимірювань параметрів необхідно вибирати з міркувань отримання достатньої точності, для оцінки цієї точності при невеликих обсягах вибірок можна скористатися найкращими лінійними оцінками середнього квадратичного відхилення

Очевидно, що зі збільшенням кількості елементів вибірки точність формування виміру підвищується і за кількості елементів вибірки, рівним 4 і кількості елементів вибірки, рівним 8 вказана точність цілком задовільна. Крім того, для виявлення тенденцій у зміні стану процесу буріння точність формування вимірювань різних параметрів може бути неоднаковою. Наприклад, механічну швидкість і крутний момент (потужність), як найбільш інформативні параметри необхідно вимірювати з великою точністю (з кількістю елементів вибірки, рівним 8), ніж осьове навантаження і частоту обертання (з кількістю елементів вибірки, рівним 4).

Для параметрів витрати промивальної рідини тиску на насосі, зміни яких носять пульсуючий характер, можна обмежитися кількістю елементів вибірки, рівним 2.

Параметри обробляються не у фізичних одиницях параметрів буріння, а в деяких абстрактних одиницях (кодах), пропорційних виміряній напрузі сигналу з відповідного датчика. Наступний етап формування виміру – масштабування, тобто переведення значень вимірів, що отримані у кодах, у фізичні одиниці.

Для деяких вимірюваних параметрів потрібна додаткова математична обробка, пов'язана з особливостями вимірювання. Наприклад, при вимірі осьового навантаження на породоруйнівний інструмент необхідно враховувати вагу снаряда в залежності від того, як проводиться буріння: з додатковим навантаженням або розвантаженням на вибій свердловини. Така додаткова обробка здійснюється спеціальними підпрограмами, що враховують конкретні характеристики бурових установок та датчиків технологічних параметрів. У системі автоматичного управління процесом буріння має бути реалізована можливість зміни певних характеристик підсистеми опитування та первинної обробки інформації шляхом введення в систему відповідних даних із пульта оператора системи. До

таких характеристик відносяться період виміру параметрів, кількість опитувань у вимірі, масштабні коефіцієнти, вибір необхідної підпрограми обробки. Дані зміни повинен проводити фахівець служби контрольно-вимірювальних пристроїв виробничого підрозділу під час проведення налагоджувальних та перевірочних робіт.

Оцінка та прогнозування змін стану процесу буріння здійснюється шляхом формування та аналізу часового ряду (тренду) кожного з вимірюваних параметрів. Безпосередньо аналіз трендів, оцінка та прогнозування змін стану процесу проводиться іншими підсистемами системи автоматичного керування процесом буріння. Завдання підсистеми збору та первинної обробки інформації – формування тренду, який, з погляду програмної реалізації, повинен бути масивом осередків пам'яті, в якому зберігаються значення параметрів, упорядковані в часі.

Такий масив пам'яті формується з використанням так званої стекової організації зберігання даних, суть якої полягає в наступному: в масиві пам'яті фіксованого об'єму, що містить деяку кількість значень певної змінної, нове значення даної змінної, яке заноситься в цей масив (стек), здійснюється за рахунок виключення з нього за певним правилом одного з попередніх елементів.

Очевидно, що маючи дані за відносно тривалий інтервал часу, можна досить надійно розпізнавати зміни стану процесу, що виникають, і прогнозувати тенденції розвитку технологічних ситуацій. Аналіз тимчасових рядів, що формуються таким чином, проводиться іншими підсистемами системи з математичних методів і алгоритмів, відповідних завдань, які вирішуються кожною з підсистем.

Важлива перевага подібної структури даної підсистеми – можливість простої зміни або заміни підпрограми обробки вимірювань параметрів, а отже, можливість роботи системи з різними датчиками та вимірювальними приладами.

## **7. Деякі характеристики автоматизованих систем керування процесом буріння**

Загалом автоматизовані системи управління процесом спорудження свердловини, які призначені для контролю технологічних параметрів буріння з метою оперативного управління та оптимізації режимів буріння свердловин на нафту та газ, повинні забезпечувати:

- автоматичний збір, а також обробку з розрахунком похідних параметрів і подання поточної інформації у наочній формі на засобах відображення та реєстрації бурильника і бурового майстра;
- документування результатів буріння у цифро-аналоговому та графічному вигляді, включаючи рапорт за зміну,
- контроль виходу технологічних параметрів за встановлені користувачем межі зі світловою та звуковою сигналізацією цих подій;

- аварійну сигналізацію при виході параметрів "Вага на гаку", "Тиск на вході" за граничні значення з видачею сигналів блокування відповідного бурового обладнання;

- автономне функціонування пульта бурильника при відключенні ЕОМ;
- високу експлуатаційну надійність та довговічність за мінімальних витрат на технічне обслуговування та метрологічне забезпечення.

До необхідного типового елемента будь-якої системи автоматичного керування належать датчики технологічних параметрів. Призначення датчика – перетворення контрольованої чи регульованої величини на іншу величину, зручну для подальшого застосування.

Як правило, в автоматизованій системі управління процесом буріння присутні наступні датчики:

- Датчик ваги на гаку, який встановлюється на нерухомій гілці талевого каната. В якості первинного перетворювача в датчику використовується тензометричний силовимірювальний елемент.

- Датчик контролю моменту на роторі (тензометричний), який встановлюється на редукторі приводу ротора замість фіксуєчої сережки-стяжки або опори, що фіксує. Контролюється зусилля розтягування або стиснення, що діє на датчик.

- Датчик контролю насосів (індуктивний датчик наближення), який встановлюється на шківі приводу насоса.

- Датчик контролю швидкості обертання ротора – визначає швидкість обертання вала приводу ротора. В якості первинного перетворювача застосовується датчик наближення. Встановлюється на трансмісії.

- Датчик тиску (тензорезисторний) встановлюється на лінії нагнітання.

- Датчик глибин дає вихідну інформацію для розрахунку глибини вибою, подачі, положення талевого блоку. Датчик ланцюгової передачі пов'язаний з валом лебідки.

- Датчик-індикатор зміни витрати бурового розчину на виході (в жолобі), що перетворює кут відхилення лопатки від вертикального положення в електричний сигнал залежно від рівня та швидкості потоку.

- У поєднаному датчику густини - рівня бурового розчину (БР) та густини БР на виході в якості первинного перетворювача застосовується диференціальний манометр. Вимірюється гідростатичний тиск у занурених у буровий розчин трубках, через які під тиском продувається повітря.

- Датчик сумарного вмісту горючих газів, виконаний на основі первинного термохімічного перетворювача, монтується разом із датчиком-індикатором зміни витрати на виході. Аналогічні датчики застосовуються для контролю газоутримання та сигналізації у вибухонебезпечній зоні.

- Датчик температури БР на вході та виході виконаний на основі спеціальної мікросхеми та встановлюється відповідно у робочій ємності та в жолобі.

- Датчик температури повітря (аналоговий), розміщено у кабельній розподільній коробці.

- Датчик моменту ключа (тензометричний), встановлюється на приводному тросі ключа.
- Датчик на турбобурі (тензометричний), встановлюється на вузол стопора ротора.

Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУ ТП) повинні мати можливість та засоби зв'язку з об'єктом управління. Одна з головних відмінностей між системами обробки даних та АСУ ТП полягає в тому, що остання має бути здатна в реальному часі отримувати інформацію про стан об'єкта управління, реагувати на цю інформацію та здійснювати автоматичне керування ходом технологічного процесу. Для вирішення цих завдань ЕОМ, на базі якої будується АСУ ТП, повинна відноситися до класу керуючих обчислювальних машин (КОМ), тобто представляти собою керуючий обчислювальний комплекс (КОК). КОК можна визначити як обчислювальну машину, орієнтовану на автоматичний прийом та обробку інформації, що надходить у процесі управління, та видачу керуючих впливів безпосередньо на виконавчі органи технологічного обладнання. Така орієнтація забезпечується пристроями зв'язку з об'єктом (ПЗО) – набором спеціалізованих блоків для інформаційного обміну між керуючою ЕОМ та об'єктом управління. Розрізняють пасивні та активні КОК.

Пасивні пристрої виконують команди опитування датчиків та команди видачі керуючих впливів. Вони містять комплекти вхідних та вихідних блоків та блок управління. До складу вхідних і вихідних блоків, що забезпечують прийом аналогової та дискретної інформації, входять перетворювачі форми інформації типу аналог-код та код-аналог, комутатори, підсилювачі тощо. Блок управління забезпечує необхідний обмін інформацією з керуючою ЕОМ та управління всіма блоками пристрою, розшифровує команди, які надходять від ЕОМ, і забезпечує необхідний обмін інформацією через блоки вводу-виводу.

Активні КОК здатні працювати в автономному режимі стеження за станом керованого об'єкта (процесу), а також виконують певні алгоритми перетворення інформації, наприклад, алгоритми реєстрації параметрів та сигналізації про відхилення їх від норми, регулювання за одним із відносно простих законів за активним принципом дозволяє підвищити надійність АСУ ТП загалом та ефективність використання керуючої обчислювальної машини внаслідок скорочення потоку інформації, що надходить від об'єкта управління керуючою ЕОМ.

Продуктивність розглянутої системи розраховується шляхом оцінки повного часу, що витрачається на одне перетворення відповідних сигналів.

## **8. Технологічне обладнання як об'єкти автоматизації**

Об'єкт автоматизації (ОА) – це реальна технологічна установка, функціонування якої характеризується деякими показниками якості – технологічними параметрами, що є вихідними координатами, а також штучно створюваними вхідними впливами, які прямо чи побічно впливають на стан параметрів. Най-

простіші об'єкти автоматизації мають одну вихідну величину і відповідно один вхідний вплив. Наприклад, у водонагрівача вихідною величиною (параметром) є температура води, а регулюючим впливом – електрична напруга, що подається на електронагрівники (рис. 11.1).

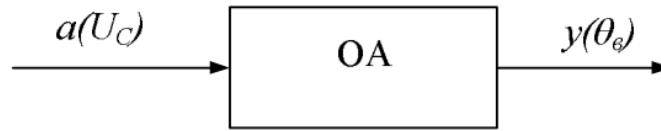


Рис. 1. Структура водонагрівача як об'єкта регулювання температури води:  $a$  – вхідна координата – електрична напруга;  $y$  – вихідна координата – температура води

До простих можна віднести також технологічні установки з декількома вхідними і вихідними координатами, якщо між цими координатами не існує функціональних взаємозв'язків. Такий об'єкт можна розглядати як декілька найпростіших за відповідними параметрами і каналами вхідних впливів.

При невеликій кількості взаємозалежних координат звичайно вдається установити головні для даного процесу параметри, яким варто віддати перевагу в процесі регулювання, тоді інші можна розглядати як другорядні (залежні).

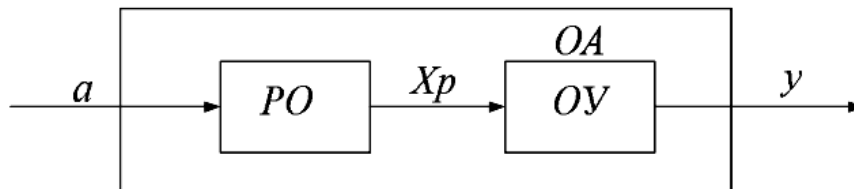


Рис. .2. Структура найпростішого об'єкта автоматизації

У найпростішому випадку в структурі об'єкта автоматизації можна виділити об'єкт керування ОК – технологічний процес, розглянутий ізольовано, і регулюючий орган РО – пристрій, що забезпечує цілеспрямований вплив на об'єкт керування (рис. 11.2). Об'єкти керування (рис. 11.3) характеризуються трьома узагальненими координатами. Перша координата – вихідна величина  $y$  чи параметр процесу, що характеризує наявність в об'єкті речовини, або його енергетичний потенціал. Друга координата – збурення  $X_3$  – сумарний (результуючий) потік речовини чи енергії, обумовлений ходом процесу (навантаження) і впливом середовища (перешкоди).

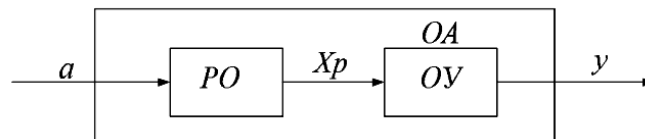


Рис. 3. Структура найпростішого об'єкта автоматизації

І нарешті, третя координата – регулюючий вхідний вплив  $X_p$  – величина

штучно утвореного впливу, покликано компенсувати дію збурення і забезпечити нормальне функціонування процесу. Щоб об'єкт знаходився в рівновазі, повинна бути дотримана умова  $X_p = X_z$  чи  $X_p - X_z = 0$ . Наявність  $\Delta x = X_p - X_z$  дозволяє повертати об'єкт до оптимального значення параметра після його природного відхилення. Регулюючий вхідний вплив на об'єкт  $X_p$  одночасно є вихідною координатою регулюючого органа РО, входом якого служить вплив, що прикладається до нього при ручному керуванні – відкриття заслінок чи засувок, подача електричної напруги на електроприводи, електротеплові чи освітлювальні установки, ввімкнення швидкостей, муфт, трансмісій тощо. Наявність регулюючого органа – неодмінна умова і вимога керованості технологічного об'єкта.

Взаємозв'язок між узагальненими координатами об'єктів керування виражається статичними і динамічними характеристиками. Статична характеристика об'єктів керування – це залежність між вихідною координатою (параметром процесу) і результуючим значенням вхідної координати – впливом при сталих режимах, тобто функція.

При розв'язку задач автоматизації керування технологічними процесами потрібно мати вихідну інформацію, що характеризує наступне:

- дані про ємності об'єктів автоматизації і зв'язки між ними;
- вимоги до показників якості (параметрів) технологічних процесів;
- значення, інтенсивність зміни в часі і місце прикладання збурювання;
- значення регулюючого впливу і властивостей регулювальних органів.

Кожна ділянка, де може накопичуватися речовина чи енергія в об'єкті (ємність), повинна бути охарактеризована окремо і повинні бути надані дані про з'єднання між всіма ємностями: опір потоків, характеристика пружних елементів тощо. Для вирішення завдань автоматизації важливі всебічні відомості про збурення. Насамперед, це кількісна характеристика як всіх потоків речовини чи енергії розглянутого об'єкта керування, що беруть участь у технологічному процесі (навантаження), так і викликаних зовнішніми факторами (перешкоди). Ці зведення можуть бути представлені максимальними, мінімальними чи усередненими значеннями самих потоків чи залежностями, що їх характеризують, а також імовірністю сполучення різних факторів. В одноємнісних об'єктах збурювання можуть бути прикладені на стороні подачі чи витрати, у багатоемнісних – до різних ємностей, а в об'єктах з розосередженими параметрами – до певних ділянок. Відомості про регулювальні органи, через які здійснюється регулюючий вплив на об'єкт керування, беруть з паспортних даних пристроїв, що здійснюють ці впливи.

При розробці схем автоматичного управління і технологічного контролю застосовують різні прилади і засоби автоматизації, що сполучаються з об'єктом управління і між собою за певними схемами. Залежно від використовуваних

приладів і засобів автоматизації (електричних, пневматичних, гідравлічних) і лінійного зв'язку в проектах автоматизації розробляють схеми, які розрізняють за видами і типами. За видами схеми підрозділяють на електричні, пневматичні, гідравлічні і комбіновані. Найбільшого поширення в практиці автоматизації технологічних процесів набули електричні прилади і засоби автоматизації, що пояснюється великою різноманітністю наявної апаратури і приладів і наявністю на об'єктах джерел електроживлення необхідної потужності і напруги. У зв'язку з цим найбільшого поширення набули електричні схеми. У спеціальних умовах, наприклад, в умовах вибухонебезпечних виробництв, в переважній більшості випадків застосовують пневматичні прилади і засоби автоматизації. Це зумовило необхідність виконання великого числа різних пневматичних схем. Через громіздкість гідравлічної апаратури і труднощів передачі гідравлічних командних імпульсів на великі відстані гідравлічні схеми набули невеликого поширення. У ряді випадків в проектах зустрічаються комбіновані електропневматичні, електропнеумогідравлічні, пневмогідравлічні і електрогідравлічні схеми.

За типами схеми автоматизації підрозділяють на структурні, функціональні, принципові, монтажні, з'єднань. Схеми автоматизації, як правило, виконують без дотримання масштабу. У монтажних схемах дотримується дійсне просторове розташування окремих засобів автоматизації і монтажних виробів

У проектах автоматизації виробництва використовують такі електричні схеми: структурні, функціональні, принципові, з'єднань, підключень та ін. Визначення типу та сфери застосування схем автоматизації показано в табл. 1. В конструкторській документації схеми автоматизації кодуються буквами і цифрами залежно від виду і типу схеми. Коди видів і типів схем автоматизації показано в таблиці 1.1.2. Схеми автоматизації мають загальні терміни і поняття.

Таблиця 1

Характеристики типів схем автоматизації

Тип схеми	Визначення типу	Сфера застосування
1. Структурна схема	Визначає основні функціональні частини виробу, їх призначення і взаємозв'язок	Розробляються при проектуванні виробів (установок) на стадіях, що є попередніми відносно розробки схем інших типів, використовуються для загального ознайомлення з виробом (установкою)
2. Функціональна схема	Визначає основні процеси, що протікають в окремих функціональних колах виробу (установки) чи у виробі (установці) в цілому	Використовуються для вивчення принципів роботи виробів (установок), а також при їх налагодженні, контролі і ремонті

3. Принципова (повна) схема	Визначає повний склад елементів і зв'язків між ними, і, як правило, дає детальне уявлення про принципи роботи виробу (установки)	Служать основою для розробки конструкторської документації, наприклад, схем з'єднань (монтажних). Використовуються для вивчення принципів роботи виробів (установок), а також при їх налагодженні, контролі і ремонті
4. Схема з'єднань (монтажна)	Показує з'єднання складових частин виробу (установки) і визначає проводи, джгути, кабелі, якими здійснюються ці з'єднання, а також місця їх приєднання і вводу	Використовується при розробці конструкторської документації і насамперед, креслень, які визначають прокладання і способи кріплення проводів, джгутів, кабелів у виробі (установці), а також для здійснення приєднань і при контролі, експлуатації і ремонті виробів (установок)
5. Схема підключення	Показує зовнішні електричні зв'язки між вимірювальними пристроями і засобами отримання первинної інформації, з одного боку, щитами і пультами автоматизації – з іншого	Використовується при розробці конструкторської документації, а також для здійснення підключень виробів і при їх експлуатації.
6. Загальна схема	Визначає складові частини комплексу і з'єднання їх між собою на місці експлуатації	Використовується при ознайомленні з комплексами, а також при їх контролі і експлуатації. За необхідності загальна схема може розроблятися на збиральну одиницю
7. Схема розташування	Визначає відносне розташування складових частин виробу (установки), а за необхідності, також проводів, двигунів, кабелів, трубопроводів тощо.	Використовується при розробці конструкторської документації, а також при експлуатації і ремонті виробів (установок)

Елемент схеми – складова частина схеми, яка виконує певну функцію у виробі і не може бути розділена на частини, які мають самостійні функції (резистор, трансформатор, розподільник, муфта та ін.).

Таблиця 2

Коди видів і типів схем автоматизації

Вид схеми	Шифр	Тип схеми	Шифр
Електрична	Е	1. Структурна	1
Гідравлічна	Г	2. Функціональна	2
Пневматична	П	3. Принципова (повна)	3
Кінематична	К	4. З'єднань (монтажна)	4
Оптична	Л	5. Підключення	5
Вакуумна	В	6. Загальна	6
Газова	Х	7. Розташування	7
Автоматизації	А	8. Інші	8
Комбінована	С	9. Об'єднана	9

Пристрій – сукупність елементів, що є єдиною конструкцією (блок, шафа, механізм). Пристрій може не мати у виробі певного функціонального призна-



чення.

Функціональна група – сукупність елементів, що виконують у виробі певну функцію і не об'єднані в єдину конструкцію.

Функціональна частина – елемент, пристрій, функціональна група.

Функціональне коло – лінія, канал, тракт певного значення (канал звуку, тракт та ін.).

Лінія взаємозв'язку – відрізок лінії, що вказує на наявність зв'язку між функціональними частинами виробу.

Установка – умовне найменування об'єкта в енергетичних спорудах, на який випускається схема, наприклад, головні (силові) кола.

При розробці систем автоматизації в першу чергу необхідно з'ясувати, з яких місць ті або інші ділянки об'єкта управляються, де розміщені пункти управління, операторські приміщення і який взаємозв'язок між ними, тобто необхідно встановити, яка структура управління об'єктом.

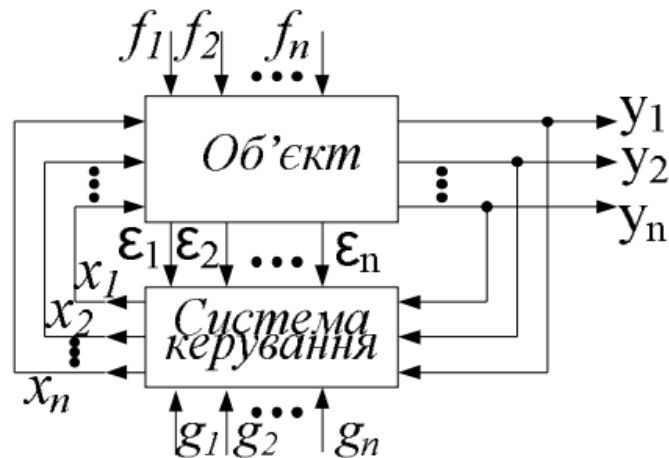


Рис. 4. Структурна схема системи автоматизації

У найзагальнішому вигляді структурна схема системи автоматизації представлена на рис. 4. Система автоматизації складається з об'єкту автоматизації і системи управління цим об'єктом. Завдяки певній взаємодії між об'єктом автоматизації і системою управління система автоматизації в цілому забезпечує необхідний результат функціонування об'єкта, що характеризується параметрами  $y_1, y_2, \dots, y_n$ . Ці параметри називають вихідними параметрами об'єкта автоматизації. До цих параметрів можна віднести як величини, що визначають, наприклад, доцільний кінцевий продукт технологічного процесу, так і окремі параметри, що визначають хід технологічного процесу, його економічність, безаварійну роботу тощо.

Окрім цих основних параметрів, робота об'єктів автоматизації характеризується рядом допоміжних параметрів ( $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$ ), які також повинні контролюватися і регулюватися, наприклад, підтримуватися постійними.

В процесі роботи на об'єкт надходять збурюючі дії  $f_1, f_2, \dots, f_n$ , що викликають відхилення параметрів  $y_1, y_2, \dots, y_n$  від їх оптимальних значень. Ці дії на об'єкт автоматизації, які є непрогнозованими, називають збуренням. Інформація про точні значення  $y_1, y_2, \dots, y_n, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  надходить в систему управління і порівнюється з їх заданими значеннями  $g_1, g_2, g_n$ , внаслідок чого система управління здійснює керуючий вплив  $x_1, x_2, \dots, x_n$  на об'єкт, направлений на компенсацію відхилень вихідних параметрів від їх оптимальних значень. Цей керуючий вплив на об'єкт називають вхідними параметрами об'єкта автоматизації. Таким чином, об'єкт автоматизації в загальному випадку складається з декількох більшою чи меншою мірою зв'язаних одна з одною ділянок управління. Останні фізично можуть представлятися у вигляді окремих установок, агрегатів і так далі або у вигляді локальних каналів управління окремими параметрами одних і тих же установок, агрегатів тощо. У свою чергу система управління залежно від важливості регульованих параметрів, кола інтересів експлуатаційного персоналу, якому важливо знати їх значення для здійснення оптимального управління об'єктом, в загальному випадку повинна забезпечувати різні рівні управління об'єктом автоматизації, тобто повинна включати декілька пунктів управління, в тому або іншому ступені взаємозв'язаних між собою.

### **Приклади питань до диференційного заліку**

- 1 Надати характеристику методам керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин, що ґрунтуються на використанні математичних моделей.
- 2 Надати характеристику пошуковим методам керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин.
- 3 Пояснити сутність використання керуючих впливів для розробки систем автоматизації в нафтогазовій галузі.
- 4 Які контрольно-вимірювальні прилади для вимірювання осьового навантаження при бурінні ви знаєте?
- 5 Надайте загальну характеристику індикатору осьового навантаження.
- 6 Надайте загальну характеристику пружинним динамометрам.
- 7 Основні вузли гідравлічного індикатора ваги.
- 8 Переваги та недоліки приладів ГІВ.
- 9 Схема устрою манометра з серпоподібною трубчастою пружиною.
- 10 Чутливі елементи мембранного манометра.
- 11 Перелічить основні вузли датчику тиску.
- 12 Принцип дії датчика тиску.
- 13 Надайте технічну характеристику вимірникам тиску.
- 14 Наведіть приклади структурних схем сучасних систем автоматизованого керування у нафтогазовій галузі.
- 15 За допомогою яких методів формалізації технологічних процесів в нафтогазовій галузі здійснюється ефективне оперативне автоматичне або автоматизоване керування технологічними процесами?

16 Окресліть алгоритм розробки системи автоматизації процесів керування об'єктами у нафтогазовій галузі.

17 Назвіть основні ознаки системи автоматичного керування технологічним процесом поглиблення нафтових і газових свердловин.

18 Назвіть параметри, які характеризують об'єкти автоматизації у нафтогазовій галузі, що функціонують за умов невизначеності.

19 Назвіть параметри технологічних об'єктів нафтогазової галузі, що піддаються моніторингу.

20 Назвіть параметри, що характеризують комплексні технологічні ланцюжки систем автоматизованого керування режимами буріння нафтових і газових свердловин.

### Рекомендована література

1. Буріння свердловин. Навчальний посібник. Є.А. Коровяка, В.Л. Хоменко, Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, В.О. Расцветаєв ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т "Дніпровська політехніка". - Дніпро: НТУ "ДП", 2021. - 294 с.

2. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Автоматизація технологічних процесів у нафтогазовій галузі» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Упоряд.: А.О. Ігнатов. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. – 20 с.

3. Орловський В. М., Білецький В. С., Вітрик В. Г., Сіренко В. І. Технологія видобування нафти. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, НТУ «ХПІ», ТОВ НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ - 2000», 2022. - 308 с.

4. Основи нафтогазової інженерії / Білецький В. С., Орловський В. М., Вітрик В. Г.; НТУ «ХПІ», ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – Полтава: ТОВ «АСМГ», 2018. – 415 с.

5. Проектування бурового і нафтогазопромислового обладнання / [Білецький В. С., Вітрик В. Г., Матвієнко А. М., Орловський В. М., Савик В. М., Рой М. М., Молчанов П.О, Дорохов М. А., Сизоненко А. В., Проскурня М. І., Дегтярьов В. Л., Шумейко О. Ю., Кулакова С. Ю., Ткаченко М. В. - Полтава: ПолтНТУ, 2015. - 192.

6. Aziukovskyi O.O., Koroviaka Ye.A., Ihnatov A.O. Drilling and operation of oil and gas wells in difficult conditions. – Dnipro: Zhurfond, 2023. – 159 p..

7. Fanchi, J.R., & Christiansen, R.L. (2017). Introduction to petroleum engineering. Published by John Wiley & Sons.

8. Hossain, M.E., & Al-Majed, A.A. (2015). Fundamentals of sustainable drilling engineering. Scrivener publishing.

