

681.51

K56

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ



Ковалів Євстахій Осипович

УДК 62-503.57:622.691

**ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ БАГАТОЦЕХОВИХ
КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ПРИВОДІВ**

05.13.07 – Автоматизація технологічних процесів

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

л/інв

Івано-Франківськ

2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Горбійчук Михайло Іванович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Костишин Володимир Степанович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу,
професор кафедри електропостачання і
електрообладнання промислових підприємств

кандидат технічних наук
Пономарьов Юрій Володимирович, Науково-дослідний та
проектний інститут автоматизованих систем управління транспортом
газу (НДПІ АСУ Трансгаз) НАК "Нафтогаз України",
заступник директора з наукової роботи (м. Харків)

Провідна установа: Одеський національний політехнічний університет,
Міністерства освіти і науки України

Захист відбудеться "23" грудня" 2005 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, вул. Карпатська, 15).

Авторецензія

Вчений секретар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна має потужну та розвинуту мережу транспортування газу від східних кордонів до країн Центральної та Західної Європи. Через українську газотранспортну систему в 2004 р. було протранспортовано понад 200 млрд. куб. м. природного газу, в тому числі близько 120,4 млрд. куб. м. це транзит російського газу до європейських країн і Туреччини, що складає понад 90 % від загального обсягу експорту російського газу до цих країн.

Газотранспортна мережа України включає близько 35 тис. км газопроводів, 71 компресорну станцію (КС) загальною потужністю 5,4 млн. кВт. Важливою складовою газотранспортної мережі нашої держави є Управління магістральних газопроводів (УМГ) "Прикарпаттрансгаз", яке в своєму складі має 18 компресорних станцій (КС) загальною продуктивністю 380×10^6 $\text{нм}^3/\text{добу}$. Однією із вузлових і найпотужніших КС УМГ "Прикарпаттрансгаз" є Богородчанська КС, загальна проектна продуктивність якої майже $8,5 \times 10^6$ $\text{нм}^3/\text{год}$. Витрати газу на власні потреби тільки по цій КС складають біля 32×10^3 $\text{нм}^3/\text{год}$, а витрати електричної енергії – біля $1,2 \times 10^6$ $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{добу}$. За цих умов важливого значення набувають питання раціонального використання енергоресурсів, які витрачаються на перекачування газу магістральними газопроводами. Один із шляхів вирішення цієї проблеми є оптимальне керування роботою компресорних станцій. Дослідження показали, що таке керування дає змогу зменшити витрату енергоресурсів на 1,5 – 2 %. А це дасть економію біля 134 грн/год або 2 млн. 797 тис. грн. за рік тільки по Богородчанському лінійному виробничому управлінні магістральних газопроводів (ЛВУМГ) УМГ "Прикарпаттрансгаз". Тому тема дисертаційної роботи, яка передбачає дослідження в напрямку створення оптимальної системи керування роботою багатощехових КС з різними типами приводів є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що викладені в дисертації, зроблені в рамках госпдоговірної роботи № 223/2001 "Система оптимального керування паралельно працюючими компресорними станціями з ГПА з різними приводами" (номер державної реєстрації – 0105U004900) та держбюджетної роботи "Аналіз і синтез автоматизованих систем керування технологічними процесами буріння, видобутку, транспорту і переробки нафти і газу" (затверджена Науковою Радою ІФНТУНГ 24.09.2001 року, протокол № 5), яка входить в координаційний план "Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу з метою отримання допоміжних продуктів і нафти і газу з метою отримання палив, мастильних матеріалів, газваної наукової тематики автор був



безпосереднім виконавцем розділів робіт щодо розробки методів і алгоритмів оптимального керування роботою багатоцехових КС з різними типами приводів.

Мета роботи і задачі дослідження - створення алгоритмів та програмного забезпечення і на цій основі синтез системи оптимального керування роботою багатоцехових КС з різними типами приводів ГПА для забезпечення економії енергоресурсів (паливного газу та електроенергії), які витрачаються на компримування природного газу.

Досягнення вказаної мети забезпечується в дисертаційній роботі шляхом розв'язання наступних задач:

- аналіз задачі оптимального керування процесом компримування природного газу для обґрунтування та вибору напрямку дослідження;
- дослідити КС як об'єкт керування для виявлення вхідних та вихідних величин і формування обмежень на технологічні параметри КС;
- провести експериментальні дослідження на КС і на цій основі побудувати адекватну процесу компримування природного газу математичну модель;
- формалізувати задачу оптимального керування, розробити методику її розв'язку та синтезувати алгоритми функціонування оптимальної системи керування роботою багатоцехових КС з різними типами приводів ГПА;
- синтезувати систему оптимального керування роботою багатоцехових КС з різними типами приводів та оцінити її ефективність.

Об'єкти дослідження. Компресорні агрегати з газотурбінними та електричними приводами.

Предмет дослідження. Методи і алгоритми оптимального керування роботою багатоцехових КС з різними типами приводів ГПА.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше:

- створені математичні моделі, які включають не тільки технологічні параметри, але й враховують вплив навколишнього середовища на процес компримування газу, що дало можливість підвищити точність моделювання процесу компримування природного газу на 5 – 10 %;
- формалізовано задачу оптимізації, яка включає в себе вартісний критерій оптимальності, обмеження на топологічну структуру КС з різними типами приводів та на технологічні параметри, що сформовані на базі створених математичних моделей;
- для розв'язку задачі оптимізації процесу компримування газу розроблений метод, який складається з двох етапів – на першому з них визначається кількість працюючих агрегатів (структурна оптимізація), а на другому – частота обертання ротора нагнітача з врахуванням обмежень на технологічні параметри (параметрична оптимізація), що дало можливість

розробити ефективні алгоритми функціонування оптимальної системи керування і синтезувати систему оптимального керування КС;

- отримані апроксимаційні залежності приведених характеристик ГПА на основі нейромережевого підходу, які є основою алгоритмів розрахунку техніко - технологічних показників роботи ГПА.

Практичне значення одержаних результатів. Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили отримати такі практичні результати:

- на основі створених емпіричних моделей, алгоритмів структурної та параметричної оптимізації розроблена система оптимального керування компресорними станціями з різними типами приводів, яка забезпечує ефективне управління процесом компримування газу на основі вартісного критерію з врахуванням як планового завантаження агрегатів, так і обмежень на технологічні параметри;

- розроблений демонстраційний прототип оптимальної системи керування роботою багатоцеховими компресорними станціями, яка включає в себе програмне забезпечення та штатні засоби автоматизації і яка випробувана у виробничих умовах Богородчанської компресорної станції. Очікуваний економічний ефект від впровадження складає 2 млн. 797 тис (акт впровадження від 18 січня 2005 р.);

- розроблені рекомендації для ТзОВ НВП "Нова техніка" (м. Львів), які будуть враховані при розробці документації при створенні та модернізації систем автоматизованого керування КС "Богородчани" (акт від 17 серпня 2005 р.).

Вірогідність результатів. Вірогідність отриманих наукових результатів зумовлена як теоретичними, так і експериментальними дослідженнями, які базуються на ідеї пасивного експерименту, побудові математичних моделей методом найменших квадратів (МНК), сингулярного розкладу матриці Фішера, методом ортогоналізації і з використанням теорії нейромереж, методів лінійного та нелінійного програмування з широким використанням сучасних програмних продуктів для розв'язку задач оптимізації, а також синтезом оптимальної системи керування роботою багатоцехових компресорних станцій з різними типами приводів ГПА.

Особистий внесок здобувача. Основна частина теоретичних та експериментальних досліджень, висновки та рекомендації виконані автором самостійно. Здійснено аналіз сучасного стану автоматизації компресорних станцій [12], проаналізовані критерії оцінки ефективності роботи ГПА та їх математичні моделі, що дало можливість сформулювати мету і задачі досліджень; розроблена методика експериментальних досліджень з метою отримання емпіричних математичних моделей ГПА [5, 7, 9]; зроблений вибір способу обчислення основних параметрів газового потоку – коефіцієнта стисливості, газової постійної, показника

політропи і адіабати [3]; проаналізований ГПА як об'єкт керування та виявлені вхідні і вихідні величини такого об'єкта; створені математичні моделі ГПА з використанням результатів пасивного експерименту [1, 5, 9]; формалізована задача оптимального керування [10] та вибраний метод її розв'язку [6, 8]; розроблені алгоритми оптимального керування та їх програмне забезпечення і на цій основі синтезована оптимальна система керування роботою багатощелевих КС з різними типами приводів [2, 4, 12]; перевірено ефективність роботи системи за результатами роботи ГПА в умовах Богородчанського ЛВУМГ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи обговорювались на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ (2002 – 2003 рр.); на наукових семінарах кафедри Автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології; на міжнародній науково-технічній конференції "Нафта і газ України – 2002" (м. Київ, 2002 р.); на ІХ науково-технічній конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах" (м. Хмельницький, 2002 р.); на 10-ій міжнародній конференції з автоматичного управління "Автоматика – 2003" (м. Севастополь, 2003); на 8-ій міжнародній конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС – 2003).

Публікації. Результати роботи висвітлені у 12 статтях, що опубліковані у фахових наукових журналах та у 5 збірниках матеріалів і тез науково-технічних конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, переліку використаних джерел із 79 найменувань та 10 додатків і викладена на 248 сторінках. Робота проілюстрована 40 рисунками, включає 18 таблиць і додатки на 80 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, показано зв'язок з науковими програмами, планами, тесмами, сформульовані мета та завдання дослідження, подані наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Визначений особистий внесок здобувача та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проведено огляд сучасного стану проблеми оптимального керування процесу компримування природного газу. Встановлено, що на переміщення значних об'ємів газу магістральними газопроводами необхідні великі енергетичні затрати, які складають 0,5 – 1,5 % від об'єму транспортованого газу. Тому розробка методики і алгоритмів оптимізації роботи паралельно працюючих агрегатів є актуальною, оскільки їх реалізація дає можливість економити 1 – 1,5 % від загальних затрат на компримування газу. До останнього часу цій проблемі приділялось недостатньо уваги, що пояснюється орієнтацією на повне завантаження

компресорних станцій (КС). В сучасних умовах, коли об'єми перекачування газу через газотранспортну мережу України на окремих напрямках зменшились, на КС появились надлишкові потужності, що і пояснює актуальність вибраного напрямку досліджень.

Проаналізовані основні критерії оцінки ефективності роботи газоперекачувальних агрегатів (ГПА) і показано, що для оцінки роботи КС в цілому слід використовувати вартісні показники енерговитрат на компримування газу.

Робота нагнітачів достатньо точно описуються емпіричними або аналітичними моделями статистики і служить основою існуючих інженерних методик розрахунку режимів роботи КС з різними схемами включення (М. П. Ковалко, В. Я. Грудз, В. Б. Михалків, Д. Ф. Тимків, Л. С. Шлапак, О. М. Ковалко, С. Н. Сянищын, М.Г Сухарев., Е. В. Леонтьев). Відомі інженерні методики розрахунку режимів роботи КС не враховують дрейф статичних характеристик ГПА в процесі експлуатації, а тому можуть використовуватись лише на стадії проектування (А.И. Гарляускас, В.С. Панкратов, Р.Я. Берман, М. Г. Сухарев, Е. Р. Ставровський, В. Е. Брянских, Э. Б. Загоринский, В.Н. Шустеф та ін.). Емпіричні моделі статистики ГПА, запропоновані різними авторами, не враховують параметри навколишнього середовища (температура повітря та атмосферний тиск), що знижує їх точність і робить малоприматними для цілей оптимального керування.

Відзначено, що застосування сучасних методів ідентифікації КС на базі даних, отриманих в процесі їх експлуатації, дає можливість створити адекватні моделі процесу компримування газу і на цій основі синтезувати ефективні алгоритми оптимізації роботи багатощелевих КС з різними типами приводів ГПА.

Вибрано і обгрунтовано напрямок досліджень з метою створення методів і алгоритмів оптимізації функціонування КС і на їх базі синтезу системи оптимального керування роботою багатощелевих КС з різними типами приводів ГПА.

Другий розділ присвячений методиці проведення експериментальних досліджень. Показано, що в газотранспортній системі України провідну роль відіграє УМГ “Прикарпаттрансгаз”. Компресорне обладнання магістральних газопроводів УМГ “Прикарпаттрансгаз” характеризується значною різноманітністю. Тут встановлено обладнання як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. Як приклад розглянуто Богородчанську КС, на якій встановлені приводи нагнітачів двох типів – газотурбінні установки (ГТУ) і електроприводи (ЕП). Показано, що серед способів регулювання витрати газу через компресор за допомогою дроселювання на всмоктуванні, дроселювання в нагнітанні, байпасування, включення-виключення агрегатів та закручування течії газу на вході в відцентрового нагнітача (ВН), спосіб регулювання зміною частоти обертання ротора ВН є найбільш практичним і економічним.

Основною задачею досліджень було отримання експериментального матеріалу для побудови емпіричних моделей компресорних станцій.

Програма досліджень передбачала отримання математичних залежностей для основних параметрів газового потоку в залежності від технологічних параметрів роботи ГПА. Наведені характеристики технічних засобів вимірювань технологічних параметрів, які характеризують роботу ГПА і які складають вхідні і вихідні змінні математичних моделей ГПА.

Для отримання математичних моделей ГПА необхідно знати параметри газового потоку – його густину, коефіцієнт стисливості, газу постійну, показники політропи та адіабати.

Густину газу ρ отримують за результатами хроматографічного аналізу. Періодичність відбору проб газу складає приблизно 10 діб. Тому поставлена і розв'язана задача про можливість використання середніх значень ρ в розрахунках параметрів газу. При цьому оцінка середнього значення густини газу – $\bar{m}_p = 0,679, \text{ кг/м}^3$ (при $P_n = 0,101325 \text{ МПа}$, $T_n = 293,15 \text{ К}$); оцінка дисперсії – $S_p^2 = 6,453 \cdot 10^{-7}, (\text{кг/м}^3)^2$. Проаналізовані і вибрані формули для обчислення інших параметрів природного газу.

Третій розділ присвячений побудові емпіричних моделей ГПА за результатами промислових даних, які отримані в процесі їх нормальної експлуатації.

Кожний i - тий ГПА, як об'єкт моделювання, характеризується керуючою дією (частотою обертання ротора нагнітача) n_i та зовнішніми впливами ξ_{ij} , де j - номер зовнішнього впливу для i -го нагнітача; $j = \overline{1, K}$; K - кількість зовнішніх впливів (рис. 1).

Сукупність величин n_i та ξ_{ij} утворюють групу вхідних величин ГПА. Реакція керованого об'єкта на вхідні величини характеризується певними показниками роботи ГПА – вихідними величинами y_{is} , $s = \overline{1, n}$, де n - кількість вихідних величин.

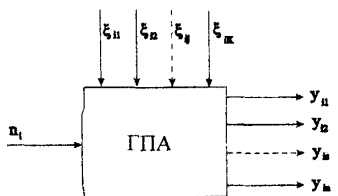


Рисунок 1 – ГПА, як об'єкт керування.

Зміст вихідних величин ГПА визначає задача оптимального керування. Розглянуті два типи ГПА з газотурбінним приводом (ГТП) і з електроприводом (ЕП).

Кожна із вихідних величин є функцією керуючої дії n_i та зовнішніх впливів ξ_{ij} ,

$$y_{is} = \varphi_{is}(n_i, \xi_{ij}). \quad (1)$$

Проведений аналіз літературних джерел і роботи компресорних станцій Богородчанського ЛУМГ виявив, що для нагнітачів з ГТП вихідними величинами є витрата паливного газу q , температура газу на виході нагнітача t_e , продуктивність нагнітача Q , які є функціями частоти обертання ротора нагнітача n , температури газу на вході в нагнітач t_{en} , ступеня стиску газу ε , тиску газу на

вході в нагнітач $p_{c,a}$, температури навколишнього середовища t_c та атмосферного тиску p_{am} , тобто

$$\{q, t_s, Q\} = \varphi_i(n, t_{c,a}, \varepsilon, p_{c,a}, t_c, p_{am}). \quad (2)$$

Відповідно для температури вихлопних газів будемо мати:

$$t_{max} = \varphi_3(n, \varepsilon, p_{c,a}, t_c, p_{am}). \quad (3)$$

Відмітимо, що на відміну від робіт О. І. Гарляускаса, М. Г. Сухарева, Є. Р. Ставровського, В. Є. Брянських в математичні моделі включена температура і тиск навколишнього середовища, які помітно впливають на точність емпіричних моделей. В процесі побудови математичних моделей (2) і (3) це припущення автора повністю підтвердилось.

Аналогічний аналіз роботи нагнітачів з ЕП показав, що вони характеризуються такими вихідними параметрами, як потужність приводу нагнітача N_{naa} , продуктивність нагнітача Q , температура газу на виході із нагнітача t_s , та струм споживання приводом нагнітача I_{naa} .

Ці вихідні величини є функціями вхідних величин:

$$\{N_{naa}, Q\} = f_i(p_{c,a}, \varepsilon, m, t_c), \quad (4)$$

$$t_s = f_2(t_{c,a}, \varepsilon, p_{c,a}, n, t_c), \quad (5)$$

$$I_{naa} = f_3(\varepsilon, p_{c,a}, n). \quad (6)$$

Задача полягає в тому, щоб за результатами експериментального дослідження ідентифікувати моделі (2) – (6), які можна подати як функціональну залежність $\bar{Y} = \bar{\varphi}(\bar{u}) + \bar{e}$ між певним набором вхідних величин $\bar{u}^T = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ і виходом багатовимірною об'єкта $\bar{y}^T = (y_1, y_2, \dots, y_k)$ за умови, що $\bar{\varphi}(\bar{u}) = \{\varphi_1(\bar{u}), \varphi_2(\bar{u}), \dots, \varphi_k(\bar{u})\}$ – невідома вектор-функція, а перешкода \bar{e} є адитивною по відношенню до виходу \bar{Y} .

Здійснено обґрунтування та вибір емпіричних моделей (2) – (6) у формі апроксимуючого

полінома $y = \sum_{s=1}^k a_s \prod_{i=1}^N u_i^{q_{is}}$, де a_s - коефіцієнти полінома (параметри моделі); q_{is} - невід'ємні цілі

числа, які обмежені величинами $Q: 0 \leq q_{is} \leq Q$; N - кількість вхідних величин; $k = \prod_{i=1}^N (Q_i + 1)$ -

число поліномів моделі. Число k може бути досить великим, тому його обмежують вимогою,

щоб сумарна степінь поліномів не перевищувала задану величину: $\sum_{i=1}^N q_{is} \leq Q$, $s = \overline{1, k}$. Для

визначення параметрів таких моделей проаналізовані такі методи, як МНК, метод сингулярного розкладу матриці Фішера та метод ортогоналізації. Розроблено відповідне програмне забезпечення в середовищі MatLab для реалізації цих методів. За результатами експериментальних досліджень побудовані математичні моделі ГПА з використанням

перерахованих методів. Зроблений порівняльний аналіз отриманих результатів (табл. 1) і вибраний метод обчислення параметрів моделі, який забезпечує її найвищу точність і адекватність. В тому випадку, коли всі три методи давали практично однакову точність, то перевага віддавалась моделі з меншою кількістю параметрів.

Таблиця 1 – Результати ідентифікації процесу компримування газу

Назва математичної моделі	К-ть вх. величин	Степінь полінома	МНК-метод		МНК-метод з сингулярним розкладом $\delta, \%/k_{\text{вх}}$	Q	Метод ортогоналізації	
			Кількість коефіцієнтів	$\delta, \%$ $k_{\text{вх}}$			Кількість коефіцієнтів	$\delta, \%$ $k_{\text{вх}}$
Витрата паливного газу (нагнітач RF-2ВВ-30 КС-21 "Союз")	6	2	28	$\frac{3.31}{0.76}$	$\frac{3.31}{0.76}$	3	52	$\frac{0.61}{0.99}$
Температури газу на виході із нагнітача RF-2ВВ-30 (КС-21 "Союз")	6	2	28	$\frac{1.63}{0.95}$	$\frac{1.63}{0.95}$	2	19	$\frac{1.65}{0.907}$
Температури вихлопних газів (нагнітач RF-2ВВ-30 КС-21 "Союз")	4	4	70	$\frac{13.06}{0.95}$	$\frac{1.03}{0.97}$	3	35	$\frac{1.05}{0.911}$
Продуктивність нагнітача RF-2ВВ-30 (КС-21 "Союз")	6	2	28	$\frac{15.5}{0.71}$	$\frac{15.5}{0.71}$	3	28	$\frac{3.27}{0.97}$
Витрата паливного газу (нагнітач PCL-804 КС-39 "Прогрес")	6	2	28	$\frac{0.97}{0.85}$	$\frac{0.97}{0.89}$	3	26	$\frac{0.82}{0.82}$
Температура газу на виході із нагнітача PCL-804 (КС-39 "УПУ")	5	2	21	$\frac{0.71}{0.9}$	$\frac{0.71}{0.9}$	2	14	$\frac{1.05}{0.61}$
Температура вихлопних газів (нагнітач PCL-804 КС-39 "УПУ")	4	4	70	$\frac{48.7}{0.50}$	$\frac{1.36}{0.84}$	3	18	$\frac{1.67}{0.78}$
Продуктивність нагнітача PCL-804, КС-39 "УПУ"	5	2	21	$\frac{1.08}{0.91}$	$\frac{1.08}{0.91}$	3	17	$\frac{1.03}{0.82}$
Потужність приводу нагнітача 650-21 (КС-39 "Прогрес")	4	3	35	$\frac{1.71}{0.97}$	$\frac{1.71}{0.97}$	3	30	$\frac{1.73}{0.94}$
Продуктивність нагнітача 650-21 (КС-39 "Прогрес")	4	4	70	$\frac{7.07}{0.85}$	$\frac{7.05}{0.65}$	4	35	$\frac{7.86}{0.33}$
Температура на виході нагнітача 650-21 (КС-39 "Прогрес")	5	3	56	$\frac{1.69}{0.83}$	$\frac{1.68}{0.83}$	3	34	$\frac{1.84}{0.79}$
Струм приводу нагнітача 650-21 (КС-39 "Прогрес")	3	4	35	$\frac{2.075}{0.87}$	$\frac{2.075}{0.67}$	4	33	$\frac{2.76}{0.63}$

Трудомісткість методу побудови емпіричної моделі в значній степені залежить від структури залежності $\bar{f}(u)$ і від того, яким чином вибрано план експерименту. Задача

ускладнюється тим, що для кожного класу моделей існує свій оптимальний план. Складність плану зростає зі складністю емпіричної моделі.

На відміну від методу регресивного аналізу ефективність розв'язку задачі ідентифікації з використанням нейронних мереж не залежить від вибраного плану експерименту. З іншої сторони, для побудови емпіричної моделі необхідна навчальна вибірка пар вхідних і вихідних величин певного об'єму.

В загальному випадку задачу ідентифікації можна звести до реалізації деякого складного функціонального багатовимірного перетворення. В результаті відображення $U \rightarrow Y$ необхідно забезпечити формування адекватних вихідних сигналів у відповідності із всіма прикладами навчальної вибірки і зі всіма можливими значеннями вхідних сигналів, які не ввійшли до навчальної вибірки. Досліджена можливість побудови математичної моделі ГПА з використанням нейромереж, яка показала, що такі моделі мають дещо вищу точність в порівнянні з методом МНК, сингулярним методом та методом ортогоналізації, але вимагають значно більшого часу спостережень за вхідними і вихідними величинами об'єкта.

У **четвертому розділі** поставлена і вирішена задача оптимального розподілу потоків газу між групами паралельно працюючих агрегатів (цехів), виходячи із мінімальних витрат на компримування природного газу і обмежень на технологічні параметри, які витікають із режиму роботи багатопехової КС.

Як приклад такої задачі взята Богородчанська КС, в склад якої входять три групи нагнітачів, які мають різні приводи. Перша група нагнітачів має електропривод з регульованою частотою обертання. Дві інші групи – це нагнітачі з газотурбінним приводом. Регулювання частоти обертання нагнітачів здійснюється шляхом зміни подачі паливного газу в камеру згорання ГТУ або зміною частоти струму статора приводу ВН. В кожній із трьох груп нагнітачі є однотипні.

Станція має надлишкову потужність. Тому працюють не всі агрегати, а тільки їх частина. Отже, виникає задача вибору числа агрегатів (структурна оптимізація), які повинні працювати паралельно і забезпечувати задану продуктивність станції. Окрім цього, для заданої продуктивності компресорної станції, необхідно добитись оптимального розподілу потоків газу між окремими групами газогінних агрегатів. А це задача вибору робочих режимів окремих груп агрегатів за умови, що будуть забезпечені мінімальні енергетичні затрати на їх експлуатацію (параметрична оптимізація).

Таким чином, задача оптимального керування подана як декомпозиція двох підзадач, що приводить до двоетапного способу розв'язання поставленої задачі. На першому етапі розв'язана підзадача вибору необхідної кількості агрегатів за умови, що забезпечується задана продуктивність компресорної станції і досягнуті мінімальні енергетичні затрати на їх

експлуатацію. На другому етапі знайдені режими роботи кожної із груп ГПА, які забезпечують необхідну продуктивність станції, з врахуванням обмежень на технологічні параметри та загальні мінімальні енергетичні затрати на експлуатацію агрегатів. Подамо формалізований запис поставленої задачі

На першому етапі розв'язана така задача:

$$\min: R(\bar{N}) = \sum_{j=1}^S C_j N_j \quad (7)$$

при обмеженнях на число компресорів N_j в кожній j -тій групі

$$0 \leq N_j \leq b_j, j=1, \bar{S} \quad (8)$$

і на загальну продуктивність q_0 КС

$$\sum_{j=1}^S q_j N_j = q_0, \quad (9)$$

де C_j – вартість роботи одного компресора j -тої групи на протязі одиниці часу; b_j – максимальна кількість компресорів в j -тій групі; q_j – номінальна продуктивність компресора j -тої групи; S – кількість груп однотипних компресорів; q_0 – сумарна продуктивність нагнітачів при номінальних умовах роботи ГПА.

Другий етап розв'язку задачі зведений до мінімізації функції

$$R = N_1 C_1 q_1^{(e)} + N_2 C_2 q_2^{(e)} + N_3 C_E P_E \quad (10)$$

при таких обмеженнях:

$$t_{\max} \leq t_{\max}^{(max)} \quad (11)$$

$$t_i \leq t_i^{(max)} \quad (12)$$

$$n \geq n^{(min)} \quad (13)$$

$$Q_1^{(Z)} + Q_2^{(Z)} + Q_3^{(Z)} = Q_0, \quad (14)$$

де R – вартість роботи компресорної станції, віднесеної до одиниці часу; C_1 – вартість одиниці об'єму газу, що йде на спалювання; $q_1^{(e)}$, $q_2^{(e)}$ – витрати газу, які споживають агрегати першої і другої груп компресорів, які віднесені до нормальних умов; C_E – вартість електроенергії; P_E – потужність приводу агрегату; t_i – температура газу на виході із нагнітача; t_{\max} – температура продуктів згорання на виході із турбіни низького тиску; $n^{(min)}$ – мінімальне значення частоти обертання ротора нагнітача, яке забезпечує безпомпажну роботу компресорного агрегату; $Q_1^{(Z)}$, $Q_2^{(Z)}$, $Q_3^{(Z)}$ – витрати газу, який перекачується кожною групою нагнітачів; $Q_0^{(e)}$ – планова продуктивність КС.

На другому рівні вирішується задача (10) - (14), яка включає в себе обмеження двох типів.

Обмеження першого типу мають таку структуру:

$$\varphi_i^{(j)}(n_i) \leq a_i^{(j)}, \quad (15)$$

$$\psi_i^{(j)}(n_i) \geq b_i^{(j)}, \quad (16)$$

де n_i - частота обертання ротора нагнітача i -ої групи;

$a_i^{(j)}, b_i^{(j)}$ - постійні величини зміст, яких визначається співвідношеннями (11) - (12);

j - номер обмеження в i -тій групі.

Обмеження другого типу, яке подано рівнянням (14), це сумарна продуктивність нагнітачів всіх i -тих груп.

Оскільки в кожний момент часу t задані або відомі такі величини, як тиск на вході нагнітача, температура газу при вході в нагнітач, ступінь стиску газу, температура та тиск навколишнього середовища, які є входними величинами об'єкта моделювання (ГПА), то обмеження (11) і (12) по відношенню до n_i (керуючих дій) є співвідношеннями зі змінними коефіцієнтами. Те саме можна сказати і про критерій оптимальності (10). Таким чином, нагнітач, де відбувається процес компримування газу, є об'єктом зі змінними параметрами і його оптимальний режим повинен визначатись періодично.

Обмеження (11) і (12) отримані із відповідних математичних моделей (2) і (3), коли в останні замість змінних $P_{г\sigma}, t_{г\sigma}, \varepsilon, t_c, p_{ам}$ підставлені їх конкретні значення. Оскільки залежності $\varphi_i^{(j)}(n_i)$ і $\psi_i^{(j)}(n_i)$ є функціями тільки однієї змінної n_i , і мають форму полінома не вище четвертої степені $\{\varphi_i^{(j)}(n_i), \psi_i^{(j)}(n_i)\} = a_0^{(j)} + a_1^{(j)}n_i + a_2^{(j)}n_i^2 + \dots + a_n^{(j)}n_i^n, n \leq 4$, то із рівнянь

$$\varphi_i^{(j)}(n_i) = 0, \quad \psi_i^{(j)}(n_i) = 0 \quad (17)$$

можна знайти граничне значення частоти обертання $n_{i,sp}$, яке є верхньою або нижньою межею обмеження (15) і (16). Кількість коренів кожного із рівнянь (17) не перевищує чотирьох. Серед них можуть бути як від'ємні, так і комплексно-спряжені. Тому серед них слід відібрати тільки додатні, які і будуть $n_{i,sp}$. При цьому можливі такі випадки (рис. 2).

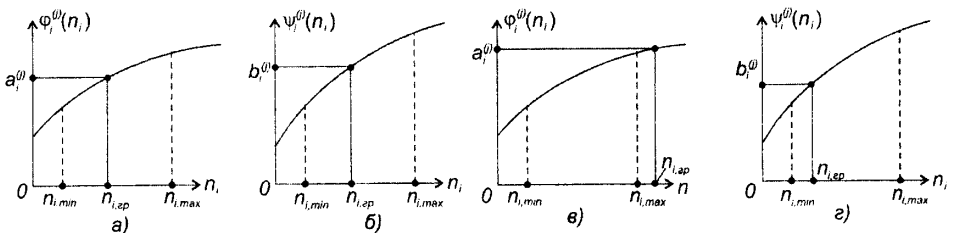


Рисунок 2 – До визначення обмежень на керуючу дію – частота обертання нагнітача

Аналіз рис. 2 показує, що обмеження (15) визначає верхню границю обмеження $\sup n_i = \varphi_i^{-1(j)}(n_i)$, а обмеження (16) визначає нижню границю обмеження $\inf n_i = \psi_i^{-1(j)}(n_i)$, де

$\varphi_i^{-1(j)}(n_i)$ і $\psi_i^{-1(j)}(n_i)$ - означають розв'язок рівнянь $\varphi_i^{(j)}(n_i)=0$, $\psi_i^{(j)}(n_i)=0$ відносно додатних коренів.

Для випадку рис. 2, маємо

$$\text{а) } \tilde{n}_{i,\max} = \min\{n_{i,\text{сп}}, n_{i,\max}\}; \quad \text{б) } \tilde{n}_{i,\min} = \max\{n_{i,\text{сп}}, n_{i,\min}\};$$

$$\text{в) } \tilde{n}_{i,\max} = \min\{n_{i,\text{сп}}, n_{i,\max}\}; \quad \text{г) } \tilde{n}_{i,\min} = \max\{n_{i,\text{сп}}, n_{i,\min}\}.$$

В тому випадку, коли $j > 1$ відбір мінімального і максимального значень для обмеження на n_i здійснюється за такими правилами (рис. 3)

$$\text{а) } \tilde{n}_{i,\max} = \min\{n_{i,\text{сп}}^{(1)}, n_{i,\text{сп}}^{(2)}, \dots, n_{i,\text{сп}}^{(j)}, n_{i,\max}\};$$

$$\text{б) } \tilde{n}_{i,\min} = \max\{n_{i,\text{сп}}^{(1)}, n_{i,\text{сп}}^{(2)}, \dots, n_{i,\text{сп}}^{(j)}, n_{i,\min}\}.$$

Таким чином, замість обмежень (15) і (16) отримаємо нові обмеження на керуючу дію

$$\tilde{n}_{i,\min} \leq n_i \leq \tilde{n}_{i,\max}. \quad (18)$$

З врахуванням (18) задача оптимізації технологічного режиму паралельно працюючих груп агрегатів з різними приводами набуде такого вигляду:

$$R(\bar{n}) = N_1 C_I q_1^{(1)}(n_1) + N_2 C_I q_2^{(1)}(n_2) + N_3 C_E P_E(n_3) \quad (19)$$

$$\tilde{n}_{i,\min} \leq n_i \leq \tilde{n}_{i,\max}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (20)$$

$$Q_1^{(\Sigma)}(n_1) + Q_2^{(\Sigma)}(n_2) + Q_3^{(\Sigma)}(n_3) = Q_0. \quad (21)$$

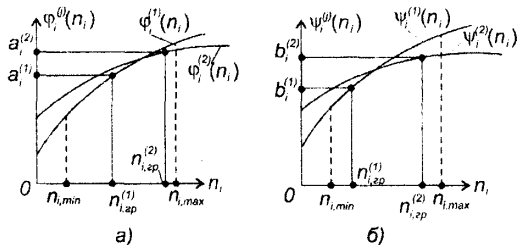


Рисунок 3 – Визначення обмежень на керуючу дію, коли $j > 1$

Проведений аналіз методів розв'язку задач першого і другого етапів і зроблений висновок, що на першому етапі маємо задачу цілочисленого програмування, яку доцільно розв'язувати методом меж і розгалужень; на другому етапі виникає задача нелінійного програмування і для її розв'язку вибраний метод спроектowanego лагранжіана.

Розроблені алгоритми і програмне забезпечення задачі оптимального керування в середовищі MatLab, а його ефективність підтверджена прикладом розрахунку кількості компресорних агрегатів і режиму роботи Борогодчанської багатощехової КС. Результати розрахунку показують, що можлива економія природного газу від впровадження методу

оптимального керування процесом компримування природного газу може скласти 1,5 – 2 % від загальних енергетичних затрат.

В п'ятому розділі розглянуті питання створення мікропроцесорної системи оптимального керування багатоцеховими КС на прикладі Богородчанського ЛВУМГ. Оскільки Богородчанська КС є куцковою КС і включає в себе три компресорні цехи, запропонована ієрархічна розподілена система керування, яка інтегрує в собі три автоматизовані системи керування (АСК) КС і забезпечує оперативно-диспетчерське керування ними в реальному часі з максимальним використанням штатних засобів автоматизації та перспектив її модернізації.

Система керування Богородчанського ЛВУМГ має чотирирівневу ієрархічну структуру. Перший та другий рівень охоплює компресорні станції (КС-21, КС-39-“УПУ”, КС-39-“Прогрес”). Третій рівень керування відноситься до рівня диспетчера ЛВУМГ, а четвертий - охоплює рівень диспетчера УМГ.

Найнижчий рівень системи керування представляє собою мережу контролерів, які виконують функції локального керування компресорними агрегатами (системи автоматичного керування (САК) ГПА). Вони забезпечують пуск та зупинку агрегатів, режим нормальної експлуатації агрегатів та їх аварійну зупинку в разі вибігу технологічних параметрів за уставки. Контролери формують керуючі дії на виконавчі пристрої системи керування у відповідності до одержаної інформації через вимірювальні канали тиску, температури, витрати, вібрації тощо, та коригувальні впливи від інженера - технолога КС та диспетчера ЛВУМГ.

Другий рівень керування охоплює рівень АСК КС, який включає в себе низку функціонально - орієнтованих автоматизованих робочих місць (АРМ) для реалізації оперативного керування агрегатами КС, на базі інформації, яка концентрується від локальних САК ГПА. Автоматизоване робоче місце змінного інженера призначене для обробки, відображення й збереження в базі даних реального часу інформації про хід технологічного процесу, розрахунку режимів роботи КС та формування звітних документів.

Третій рівень системи керування – це рівень оперативного планування диспетчера ЛВУМГ (АСК ЛВУМГ). На цьому рівні концентрується інформація про роботу всіх компресорних станцій, яка необхідна для узагальненого контролю роботи станцій та оперативного планування їх роботи для виконання задачі на перекачування природного газу поставленої диспетчером УМГ. На цьому рівні розв'язуються задачі розрахунку техніко-економічних показників роботи багатоцехової КС та оптимізації їхньої роботи на рівні ЛВУМГ. Диспетчер ЛВУМГ на основі проведених розрахунків та з врахуванням завдання від диспетчера УМГ, формує завдання на перекачування газу КС ЛВУМГ. Крім того, на цьому рівні, розгорнуті АРМ допоміжних об'єктів.

Частина інформації з рівня ЛВУМГ передається диспетчеру УМГ для оперативного - тактичного планування роботи транспортної системи УМГ.

За основу САК ГПА прийняті системи керування серії CAT фірми НВП "Нова техніка", які реалізовані на програмно-технічних засобах компанії "GE FANUC Automation" і є позитивний досвід їх роботи на КС "Бердичів", "Кіровоградська", "Волинська", "Ужгород" та "Долина".

Апаратна частина нижнього рівня керування складається з програмованих логічних контролерів (ПЛК) 90-70 і ПЛК 90-30 фірми "GE FANUC", блоків уводу-виводу сигналів FIELD CONTROL, які зв'язані між собою по мережі "Genius" у межах кожної компресорної станції. Шина "Genius" (локальна мережа) забезпечує обмін інформацією по послідовному каналу між ПЛК, блоками FIELD CONTROL, дисплейною станцією змінного інженера-технолога та іншими АРМ і блоками, які мають відповідні канали або контролери зв'язку

В результаті аналізу інструментальних пакетів верхнього рівня АСК відібрано для реалізації проекту програмний продукт SIMPLICITY (фірма GE Fanuc), який найкраще інтегрується з технічними засобами цієї ж фірми та має безпосередній об'єктний зв'язок з Excel та VBA, в якому розроблене об'єктно - орієнтоване вікно оптимізаційної задачі.

Програмне забезпечення задачі оптимального керування оформлене у вигляді прикладного програмного модуля, в який інтегрована низка програмних продуктів, розроблених у середовищах MathCAD, Matlab та Excel. Всі програмні продукти, об'єднані інтегратором написаним на об'єктно - орієнтованій мові Visual Basic. Він оформлений у вигляді об'єктного вікна в SIMPLICITY HMI (оптимізація роботи КС).

В процесі експлуатації ГПА та зі зміною пір року програма - інтегратор дозволяє проводити за бажанням персоналу КС адаптацію усереднених параметрів математичних моделей ГПА з використанням реальних значень режимних параметрів за відповідні періоди роботи минулого року.

Однією з підзадач САК КС є розрахунок різноманітних техніко-технологічних показників роботи ГПА та КС, серед них зокрема є такі: температура газу на виході з нагнітача, ступінь стиску в нагнітачі, наявна та ефективна потужність, коефіцієнт корисної дії, степінь наближення до зони помажу тощо. Такі розрахунки ґрунтуються, як правило, на знанні паспортних характеристик нагнітачів. Запропонований підхід до створення апроксиматорів даних характеристик з використанням нейромереж. Одержані залежності використані для розрахунку режимних параметрів нагнітачів. Для цього синтезований алгоритм розрахунку з нейромережною ідеологією.

Послідовний алгоритм нейрообчислень режимних параметрів відцентрового нагнітача PCL-804-2 апробований при практичних розрахунках режимів роботи нагнітача даного типу і підтвердив збіжність з реальними параметрами. Перевагою даного алгоритму перед

традиційними методиками розрахунків у можливості коригування процесу розрахунку параметрів з врахуванням як об'єктивної (за результатами технічного обстеження) так і суб'єктивної (за словесною характеристикою персоналу чи експертів) інформації про реальний стан нагнітача.

Таким чином, запропонована система оптимального керування групою цехів із різнотипними ГПА, які працюють паралельно, що дозволяє розв'язати задачу мінімізації енерговитрат на привод. шляхом перерозподілу навантаження між цехами КС. Запропонована структура мікропроцесорної АСК Богородчанської КС акумулює досвід ДК "Укртрансгаз" та НДПАСУтрансгаз по створенню розподілених систем керування, має масштабованість і відкритість, що дозволяє поступову модернізацію системи. Вона забезпечує інформаційну підтримку оптимізаційної задачі та реалізацію оперативного керування в режимі реального часу при допомозі НМІ/SCADA-систем та контролерних мереж. Випробування системи оптимального керування процесом компримування природного газу проведені на промислових даних, які отримані у результаті експлуатації Богородчанської КС. Очікуваний економічний ефект складає 2 млн. 797 тис. грн. Матеріали дисертації використовуються в лекційному курсі "Оптимізація та оптимальне керування технологічними процесами в нафтовій та газовій промисловості", а також при виконанні дипломних проектів студентами спеціальності 7.092501 – Автомагізоване управління технологічними процесами.

У **додатках** наведені акти про впровадження та програмні продукти оптимізації процесу компримування газу та функціонування системи оптимального керування роботою багатоцехових КС з різними типами приводів.

ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі наведене теоретичне узагальнення наукової задачі, яка включає розробку нового методу оптимального керування роботою багатоцехових компресорних станцій з різними типами приводів ГПА і на цій основі синтезовано систему керування, програмне забезпечення якої реалізує розроблені алгоритми. Проведений аналіз відомих методів оптимізації роботи газотранспортних мереж показав, що переважна більшість робіт присвячена вибору оптимальних режимів роботи трубопроводів і практично не розглядалися питання оптимального керування роботою багатоцехових компресорних станцій з різними типами приводів ГПА, виходячи із їх поточного стану. На основі аналізу сформульовані не вирішені задачі.

2. Виявлені вхідні і вихідні параметри ГПА як об'єкта керування, що дало можливість, на відміну від відомих методів ідентифікації процесу компримування природного газу, врахувати

вплив навколишнього середовища на технологічні параметри процесу і тим самим підвищити точність емпіричних моделей.

3. Отримані емпіричні моделі за допомогою різних методів – МНК, сингулярного розкладу матриці Фішера, ортогоналізації та з використанням теорії нейромереж, що дало можливість побудувати адекватні процесу компримування газу математичні моделі.

4. Формалізовано задачу оптимального керування роботою багатоцехових КС з різними типами приводів ГПА, в структуру якої входить критерій оптимальності, обмеження на топологічну структуру КС та на керуючі дії, що дало можливість обґрунтовано вибрати стратегію розв'язку задачі оптимального керування.

5. Розроблений метод розв'язку задачі оптимального керування роботою багатоцехових КС з різними типами приводів ГПА допускає, що така задача вирішується як дворівнева – на першому із них обчислюється кількість агрегатів у кожному компресорному цеху, а на другому – вибирається частота обертання ротора відцентрових нагнітачів, що приводить до зменшення власних затрат на компримування газу до 2 %.

6. Розроблені алгоритми та програмне забезпечення задачі оптимального керування роботою багатоцехових КС з різними типами приводів ГПА, які лягли в основу синтезу оптимальної системи керування процесом компримування газу і яка враховує як поточний стан об'єкта, так і вплив зовнішнього середовища на роботу компресорних агрегатів.

7. Система оптимального керування роботою багатоцехових компресорних станцій з різними типами приводів випробувана в умовах Богородчанського ЛВУМГ. Очікуваний економічний ефект становить 2 млн. 797 тис. гривень за рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Ідентифікація статичних характеристик технологічних об'єктів на базі нейромереж. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. - № 9 (том 2) . – С. 139 – 145.

2. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Нейрообчислювачі параметрів нагнітачів природного газу. // Нафтова і газова промисловість. – 2002. - № 5. – С. 39 – 41.

3. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Аналітичні моделі газодинамічних приведених характеристик відцентрових нагнітачів природного газу. // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2003. - № 1 (5). – С. 64 – 67.

4. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Мікропроцесорна система оптимального керування компресорними станціями. // Вісник технологічного університету Поділля. – 2003. – Том 1. Технічні науки. – С. 41 – 44.

5. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Ідентифікація статичного стану нагнітачів природного газу на базі нейромереж. // Нафтова і газова промисловість. – 2003. - № 5. – С. 43 – 46.

6. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Оптимізація технологічного режиму компримування природного газу. // Нафтова і газова промисловість. – 2003. - № 6. – С. 40 – 42.

7. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Математичне моделювання процесу компримування природного газу. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. - № 3(8). – С. 21 – 26.

8. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Оптимізація процесу компримування природного газу. // Автоматика – 2003. Матеріали 10-ої міжнародної конференції з автоматичного управління. м. Севастополь, 15 – 19 вересня 2003: в 3-х томах. – Севастополь: СевНТУ, 2003. – Т. 1. – С. 34 – 35.

9. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Моделювання процесу компримування газу. // Контроль і управління в складних системах (КУСС – 2003). Тези доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 8 – 11 жовтня 2003 року. – Вінниця: Універсум, 2003. – С. 130.

10. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Оптимізація роботи компресорних станцій з різнотипними приводами. // Матеріали 7-ої Міжнародної науково-практичної конференції "Нафта і газ України – 2002". Київ, 31.10. – 1.11.2002 р. – Т.2, С. 261 – 263.

11. Горбійчук М. І., Ковалів Є. О., Когутяк М. І. Аналіз зниження затрат в процесі компримування газу // Тези наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу. – Ів.-Фрак.: ІФНТУНГ, 2001. - С. 74-75.

12. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Автоматизований нейроконтроль показників роботи компресорних агрегатів. // Тези наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу. – Ів.-Фрак.: ІФНТУНГ, 2002. С. 84-85.

АНОТАЦІЯ

Ковалів Є. О. Оптимізація керування роботою багатоцехових компресорних станцій з різнотипними приводами. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація технологічних процесів. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу – Івано-Франківськ, 2005.

Дисертація присвячена питанням розробки методу і алгоритмів оптимального керування роботою багатоцехових компресорних станцій з різними типами приводів.

В дисертації комплексно вирішені питання побудови емпіричних моделей нагнітачів природного газу на основі даних, отриманих в процесі їх нормальної роботи, оптимізації роботи КС за вартісним критерієм, який враховує енергетичні затрати на компримування газу і обмеження на технологічні режими та синтезу системи оптимального керування роботою паралельно працюючих груп (цехів) компресорних агрегатів.

Основні результати роботи знайшли промислове впровадження на КС УМГ "Прикарпаттрансгаз", а також в навчальному процесі.

Ключові слова: компресорна станція, нагнітачі, емпіричні моделі, нейромережа, критерій оптимальності, обмеження, оптимізація, алгоритми, система керування.

АННОТАЦИЯ

Ковалив Е. О. Оптимальное управление работой многоцеховых компрессорных станций с различными типами приводов. – Рукопись. Диссертация на соискания ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. – Ивано-Франковск, 2005.

Диссертация посвящена вопросам разработки метода и алгоритмов оптимального управления работой многоцеховых компрессорных станций с разными типами приводов.

В диссертации комплексно решены вопросы построения эмпирических моделей нагнетателей природного газа на основе данных, полученных в процессе их нормальной работы, оптимизации работы КС по стоимостному критерию, который учитывает энергетические затраты на компримирования газа и ограничения на технологические режимы и синтеза системы оптимального управления работой параллельно работающих групп (цехов) компрессорных агрегатов.

Основные результаты работы внедрены на КС УМГ "Прикарпаттрансгаз", а также в учебном процессе.

Диссертация состоит из вступления, пяти разделов и приложений.

Во **вступлении** обосновывается актуальность темы диссертации, показана связь с научными планами, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна и практическое значение полученных результатов. Определены личный вклад соискателя в выполненные исследования и приведена информация об апробации результатов работы.

В **первом разделе** проведен обзор современного состояния проблемы оптимального управления процессом компримирования природного газа. Проанализированы основные

критерии оценки эффективности работы газоперекачивающих агрегатов (ГПА) и показано, что для оценки работы многоцеховых компрессорных станций (КС) следует использовать стоимостные показатели энергозатрат на компримирование газа. Проанализированные работы показывают, что математическое описание функционирования нагнетателей осуществляется при помощи эмпирических моделей, которые, однако, не учитывают влияние окружающей среды на работу КС. Выбрано и обосновано направление исследований с целью создания методов и алгоритмов оптимизации работы КС.

Второй раздел посвящен методике экспериментальных исследований с целью получения исходного материала для построения эмпирических моделей газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Программа исследований предполагала получения математических зависимостей для основных параметров газового потока в зависимости от технологических параметров работы ГПА. Наведены технические характеристики средств измерений технологических параметров, которые характеризуют работу ГПА и которые образуют входные и выходные координаты математических моделей ГПА.

В **третьем разделе** осуществлено и выбор эмпирических моделей, для определения параметров которых проанализированы такие методы, как МНК, метод сингулярного разложения матрицы Фишера и метод ортогонализации. По результатам экспериментальных исследований построены математические модели ЦН с использованием перечисленных методов и выбрана наилучшая, исходя из требований точности и адекватности. Показано, что трудоемкость построения модели зависит от ее структуры и от структуры исходных данных. Рассмотрена возможность построения математической модели ЦН с использованием нейросетей, которая показала, что в этом случае можно достичь более высокой точности в сравнении с перечисленными тремя методами, но при этом необходимо увеличить длительность эксперимента.

В **четвертом разделе** поставлена и решена задача оптимального распределения потоков газа между параллельно работающими группами агрегатов, исходя из минимальных затрат на компримирование природного газа и ограничений на технологические параметры. Как пример рассмотрена Богородчанская КС. Станция имеет избыточную мощность. Поэтому работают не все агрегаты, а только их часть. Следовательно, возникает задача выбора числа агрегатов в каждой группе, которые должны работать параллельно и обеспечивать плановую производительность КС. Кроме того, для заданной производительности КС, необходимо достичь оптимального распределения потоков газа между отдельными цехами. А это задача выбора режимов работы отдельных групп агрегатов при условии, что будут обеспечены минимальные затраты на их эксплуатацию. Таким образом, задача оптимального управления подана как декомпозиция двух задач, что приводит к двухэтапному методу ее решения. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение сформулированной задачи.

Эффективность полученных алгоритмов и программ подтверждена на конкретном примере работы Богородчанской КС.

Пятый раздел посвящен разработке системы оптимального управления процессом компримирования природного газа на примере Богородчанской КС. Разработана четырехуровневая система управления. Описаны функциональные возможности каждого уровня и их взаимодействие. Нижний четвертый уровень реализует разработанные алгоритмы оптимизации и обеспечивает в автоматическом режиме оптимальное распределение потоков между отдельными цехами. Кроме этого на нижнем уровне иерархии решаются задачи определения технико-технологических показателей работы многоцеховой КС, которые решаются путем использования нейросетей.

Ключевые слова: компрессорная станция, нагнетатели, эмпирические модели, нейросеть, критерий оптимальности, ограничения, оптимизация, алгоритмы, система управления.

THE SUMMARY

Kovaliv E. O. **Optimum control of operation of multishop compressor stations with different types of drives.** - Manuscript.

Thesis on competitions of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.13.07 - Automation of technological processes. - The Ivano-Frankovsk national technical university of oil and gas. - Ivano-Frankovsk, 2005.

The thesis is devoted to problems of development of a method and algorithms of optimum control of operation of multishop compressor stations with different types of drives.

In a thesis the problems of constructing of trial-and-error models of superchargers of gas distillate are completely resolved on the basis of datas obtained during their normal operation, optimization of operation compressor station by cost yardstick, which one allows for power expenditures on contraction of gas and limitation on technological conditions and synthesis of a system of optimum control of operation of in a parallel way working compressor aggregates.

The basic outcomes of operation are inserted on KS SF "Prykarpattransgas", and also in the educational process.

Keywords: compressor station, superchargers, trial-and-error models, web of neurons, yardstick of an optimality, limitation, optimization, algorithms, control system.

НТБ
ІФНТУНГ



as413