

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

На правах рукопису

СУРНІН Сергій Борисович

ІНФОРМАЦІЙНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ
І ЕКСПЕРТИЗИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ
ПНЕВМОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Спеціальність 05.14.01 - Енергетичні системи і комплекси
05.13.02 - Математичне моделювання в
наукових дослідженнях

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1996



Робота виконана в Інституті проблем енергетики
України

Науковий керівник: - кандидат технічних наук,
РАПЦУН М.В.

Офіційні опоненти: - член-кореспондент НАН
України, професор
КУЛИК М.М.
- кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
ГРИГОР'ЄВ О.С.

Провідна організація: - Інститут проблем моделювання
в енергетиці НАН України

Захист дисертації відбудеться "20" червня 1996р. о 11
годині на засіданні спеціалізованої ради Д01.59.03 при Інституті
проблем енергозбереження НАН України за адресою:

254070 Київ-70, вул. Покровська, 11.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інституту.

Автореферат розіслано "7" травня 1996р.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Учений секретар
спеціалізованої ради,
канд. техн. наук

МЕЛЬНИЧУК Л.П.

I. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Використання стисненого повітря як енергоносія має загальнопромисловий характер, оскільки його властивості забезпечують безпеку, простоту конструкцій та надійність в роботі різних приводних машин та механізмів. Незалежно від галузевої підпорядкованості, практично на кожному промисловому підприємстві існує система пневмопостачання (СПП), яка виконує функції виробництва, транспортування та розподілення стисненого повітря між пневмоспоживачами. Виробництво стисненого повітря є дуже енергоємним - витрати електроенергії становлять, як правило, 15-30% в балансі підприємств (на машинобудівних підприємствах - біля 30%, на гірничих можуть досягати 60-70% від загального електроспоживання), що в умовах дефіциту енергоносіїв та цін, наближених до світових, призводить до високої вартості пневмопостачання.

Дані, одержані по ряду галузей промисловості, свідчать, що втрати енергії при виробництві стисненого повітря, а також втрати при його транспортуванні та розподіленні в середньому становлять 30-50%. Таким чином, недооцінка впливу технічного стану СПП на енергетичну ефективність, недостатнє використання нових енергозберігаючих рішень призвели до того, що сучасні СПП мають великі резерви енергозбереження.

Разом з тим, в більшості випадків персонал, обслуговуючий СПП, не має точних даних про технічний стан компресорних установок, пневмомережі, величини виробленого та спожитого стисненого повітря. Все це, разом з відсутністю обґрунтованих методик аналізу енерговикористання в СПП в умовах неповноти вихідних даних, не дозволяє достатньо надійно визначати та контролювати рівень її енергетичної ефективності. Крім того, обслуговуючий персонал не має повної інформації про сучасні енергозберігаючі заходи та методи оцінки техніко-економічної доцільності їх впровадження. Необхідність ідентифікації та усунення цих причин, а також реалізації значних

резервів енергозбереження в СПП обумовлює актуальність розробки інструментарія для визначення енергетичної ефективності СПП та підготовки енергозберігаючих рекомендацій.

Дисертаційна робота виконана в рамках Державної програми фундаментальних досліджень “Докорінне підвищення ефективності енергетичних систем” і у відповідності з темою 1.7.6-18 “Розробка концепції, методичного, інформаційного і математичного забезпечення експертно-моделюючої системи в галузі енергозбереження в промисловій енергетиці” (протокол ученої ради ІПЕ АН УРСР №8 від 19.09.89р.) і темами проектів Держкомітету з питань науки та технологій України 5.51. 03/121-92 “Розробка та впровадження інформаційно-методичного забезпечення і технічних засобів експертизи енергетичної ефективності об’єктів промислової енергетики та комунально-побутового господарства” (1992-1994рр.) та 5.1.3/217 “Розробка методів та типових рішень для зменшення енергоємності технологічних процесів за рахунок автоматизації систем теплопостачання, пневмопостачання і вентиляції промислових підприємств” (1993-1995рр.).

Метою дисертаційної роботи є розробка комплексу методичних, інформаційних і програмних засобів, які забезпечують можливість проведення аналізу і експертизи енергетичної ефективності СПП, підготовки рекомендацій щодо впровадження енергозберігаючих заходів.

Для досягнення зазначеної мети в роботі вирішуються такі основні задачі:

- розробка методики аналізу енерговикористання СПП;
- розробка методики експертизи енергетичної ефективності СПП в умовах неповноти вихідних даних;
- аналіз ефективності та оцінка енергозберігаючого потенціалу заходів з економії електроенергії в СПП;
- розробка програмного забезпечення аналізу і експертизи енергетичної ефективності СПП.

Методи дослідження. У роботі використовуються методи аналізу енергетичних балансів, техніко-економічного аналізу, елементи теорії розпізнавання образів, методи розробки та створення експертних систем.

Результати, які виносяться на захист, їх наукова новизна

1. Запропоновано комплексну методику аналізу енерговикористання СПП, яка включає побудову матеріального балансу стисненого повітря та енергобалансу, визначення показників енерговикористання, резервів енергозбереження і дозволяє визначати та враховувати енергоефективність всіх елементів СПП - приводних електродвигунів, компресорів, пневмомережі.

2. Розроблено методику експертизи енергетичної ефективності СПП на основі евристичної моделі, яка дає можливість проводити оцінку енергетичної ефективності СПП в умовах неповноти вихідних даних.

3. Запропоновано систему класифікації і здійснено аналіз ефективності енергозберігаючих заходів в СПП.

4. Розроблено методику оптимізації енергозберігаючих заходів з урахуванням їх взаємного впливу.

Практична цінність роботи полягає в тому, що:

- створений програмно-інформаційний комплекс забезпечує можливість здійснення аналізу і експертизи енергетичної ефективності СПП як у складі автоматизованого робочого місця експерта з енерговикористання та енергозбереження, так і автономно;

- застосування величини питомих витрат електроенергії на одиницю об'єму спожитого стисненого повітря як показника енергоефективності дозволяє проводити порівняння енергоефективності СПП різної галузевої підпорядкованості;

- створена евристична модель стану СПП дозволила розробити практичні рекомендації щодо проведення прискореної оцінки енергетичної ефективності СПП;

- запропонована технологія розробки експертної системи для оцінки енергетичної ефективності СПП може бути використана при створенні аналогічних експертних систем для інших об'єктів промислової енергетики.

Реалізація результатів роботи. Розроблене інформаційно-методичне і програмне забезпечення аналізу та експертизи енергетичної ефективності СПП було впроваджено при виконанні ряду господарських договорів, в тому числі з такими організаціями: "Центр-госенергонадзор" (Москва), Республіканською службою енергонагляду (Київ), Мукачівським меблевим комбінатом та ін. Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено відповідними документами.

Апробація роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на Всесоюзній науково-технічній конференції "Розробка методів і засобів економії електроенергії в електричних системах та системах електропостачання промислових підприємств і транспорту" (Дніпропетровськ, 1990 р.), конференції "Проблеми стандартизації в енергетиці та енергозбереженні" (Київ, 1991р.), Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблеми енергозбереження" (Київ, 1991р.), 1-й Міжнародній конференції "Управління енерговикористанням" (Київ, 1995 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи викладені в 7 публікаціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти глав, висновків, списку літератури (137 найменувань) і додатків, викладених на 159 сторінках, з яких 126 сторінок машинописного тексту, 8 таблиць, 25 рисунків.

II. ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, визначена мета і задачі, методи дослідження, сформульована наукова новизна та практична

цінність одержаних результатів, охарактеризована структура роботи, апробація та публікації.

У першій главі наведена характеристика об'єкту дослідження, розглянуті особливості СПП як системи промислової енергетики, стан і проблеми енергозбереження в СПП.

Виявлено, що при великих енерговитратах на виробництво, транспортування та розподілення стисненого повітря, ефективність енерговикористання в СПП знаходиться на низькому рівні. Проаналізовано причини незначної реалізації резервів енергозбереження в СПП.

Наведена коротка характеристика існуючих підходів і методів визначення енергетичної ефективності приводних електродвигунів, компресорів та магістральних трубопроводів. Відображено основні недоліки розглянутих методів. Серед них:

- проведення аналізу енерговикористання лише в окремих елементах СПП, а не в системі в цілому;
- визначення тільки деяких складових втрат енергії;
- застосування величини питомих витрат електроенергії на одиницю об'єму виробленого стисненого повітря як показника енергоефективності (в тому числі і нормативного).

Останнє призводить до того, що величина втрат стисненого повітря при транспортуванні і пов'язані з нею додаткові витрати електроенергії залишаються неврахованими. У зв'язку з цим, запропоновано ввести в розрахункову формулу значення спожитого стисненого повітря замість величини виробленого стисненого повітря.

Відзначено відсутність обґрунтованих методик аналізу енерговикористання СПП як системи (в тому числі і в умовах неповноти вихідних даних) та визначення ефективності енергозберігаючих заходів (ЕЗ) і доцільності їх впровадження.

Наведено постановку задачі розробки методів і засобів комплексного аналізу і експертизи енергетичної ефективності СПП

(рис.1), яка включає декілька етапів. Так, при обстеженні СПП проводиться збір вихідних даних для наступних етапів. Аналіз енерговикористання здійснюється на основі балансової моделі СПП. У випадку, коли одержати необхідні вихідні дані повністю неможливо, проводиться експертиза (оцінка) енергетичної ефективності СПП, яка використовує евристичну модель стану СПП. У залежності від цього формуються аналітичні дані або експертні висновки, які характеризують стан енергетичної ефективності СПП. Подальше співставлення результатів аналізу чи оцінки енергетичної ефективності СПП і результатів аналізу ЕЗ дозволяє розробити рекомендації щодо їх впровадження і, отже, підвищення енергетичної ефективності СПП.

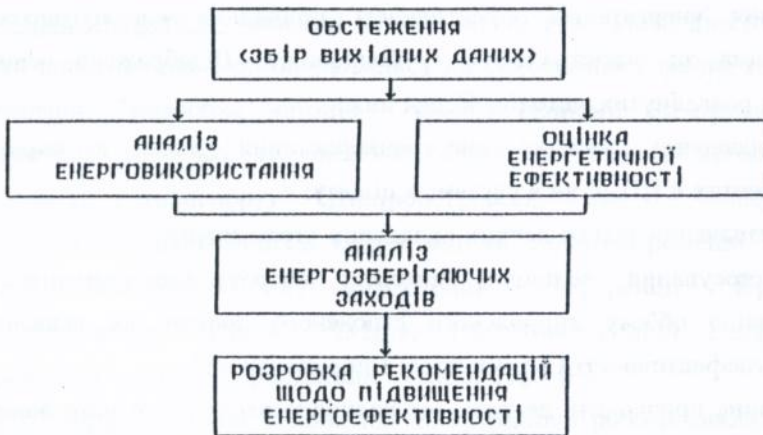


Рис.1

Друга глава присвячена розробці методу аналітичних розрахунків енергетичних втрат, показників ефективності енерговикористання і резервів енергозбереження СПП на основі балансової моделі.

Описано етапи проведення аналізу енерговикористання СПП: обстеження (збір вихідних даних), складання балансу стисненого повітря, складання енергобалансу, визначення показників енерговикористання та резервів енергозбереження, формування енергетичного паспорту СПП.

Розглянуто схему потоків стисненого повітря і енергії в СПП (рис.2), відповідні баланси стисненого повітря та енергії. Баланс

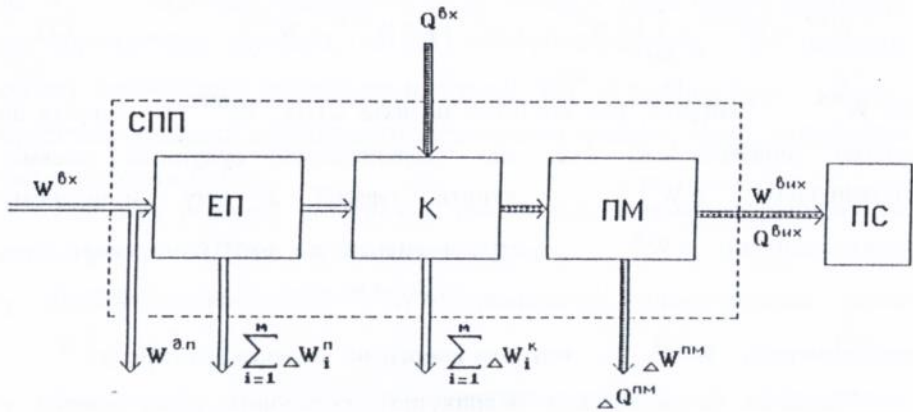


Рис. 2

стисненого повітря можна записати таким чином:

$$Q^{BX} = Q^{ВНХ} + \Delta Q^{ПМ} \quad , \quad (1)$$

де Q^{BX} - кількість усмоктуваного повітря на вході; $Q^{ВНХ}$ - витрати стисненого повітря на виході пневмомережі; $\Delta Q^{ПМ}$ - втрати стисненого повітря в пневмомережі.

Оскільки сумарна величина втрат повітря у пневмомережі значно переважає, приймається, що втрати повітря в інших елементах СПП відсутні.

Потоки енергії в СПП розподіляються таким чином. Електроенергія, яка поступає на вхід СПП, перетворюється в електроприводі (ЕП) в механічну і передається компресору (К). Енергія, яка витрачається на стиснення повітря в компресорі, за виключенням втрат, трансформується в енергію стисненого повітря, яка поступає до пневмоспоживача (ПС) через пневмомережу (ПМ). Незважаючи на складні енергетичні перетворення, які мають місце в

СПП, абсолютні значення статей енергобалансу запропоновано визначати в перерахунку на вхідну електроенергію:

$$W^{BX} = W^{ВІХ} + \sum_{i=1}^m (\Delta W_i^{\Pi} + \Delta W_i^K) + \Delta W^{\Pi M} + W^{Д.П} \quad (2)$$

де W^{BX} - енергія, яка поступає на вхід СПП; $W^{ВІХ}$ - енергія на виході пневмомережі (та, що споживається сукупним пневмоспоживачем); ΔW_i^{Π} - втрати енергії в i -му приводному електродвигуні; ΔW_i^K - втрати енергії в i -му компресорі; m - число компресорних установок; $\Delta W^{\Pi M}$ - втрати енергії у пневмомережі; $W^{Д.П}$ - витрати енергії на допоміжні потреби.

Наведено формули для розрахунків складових втрат енергії у приводних електродвигунах, компресорах, пневмомережі і описано причини, які обумовлюють виникнення втрат.

За результатами розрахунків компонентів втрат та складання балансів визначаються показники енерговикористання СПП: ККД компресорів, питома витрата електроенергії компресорною установкою на одиницю об'єму виробленого стисненого повітря та питома витрата електроенергії СПП на одиницю об'єму спожитого стисненого повітря.

Для визначення резервів енергозбереження запропоновано проводити співставлення фактичних, проектних і нормативних величин, які характеризують рівень енерговикористання СПП.

Режимно-експлуатаційні резерви енергозбереження:

$$W_1^P = W_{\Phi}^{BX} - W_{\Pi P}^{BX} \quad (3)$$

де W_{Φ}^{BX} та $W_{\Pi P}^{BX}$ - загальне електроспоживання, розраховане за фактичними вихідними даними та проектними даними відповідно.

Режимно-експлуатаційні резерви вказують, наскільки ефективно використовується обладнання СПП у відповідності з характеристиками, передбаченими проектом.

Техніко-технологічні резерви енергозбереження:

$$W_2^P = W_{\Pi P}^{BX} - W_H^{BX} \quad (4)$$

де W_H^{BX} - величина споживаної електроенергії, розрахована відповідно до нормативних питомих витрат електроенергії w_H (на одиницю об'єму виробленого стисненого повітря); $W_H^{BX} = w_H Q_{\Pi P} T_{\Pi P}$, $Q_{\Pi P}$ - проектна величина виробленого стисненого повітря; $T_{\Pi P}$ - проектне число робочих годин.

Цей вид резервів відображає рівень відповідності характеристик спроектованої СПП до нормативних величин.

Загальні резерви енергозбереження:

$$W_3^P = W_1^P + W_2^P \quad (5)$$

Заключний етап аналізу енерговикористання - формування енергетичного паспорту СПП, в якому наведена узагальнена інформація про стан енергетичної ефективності СПП.

Третя глава присвячена розробці методу оцінки енергетичної ефективності за допомогою експертної системи.

Запропоновано у випадку неповноти вихідних даних, необхідних для складання балансової моделі, проводити оцінку енергетичної ефективності СПП на основі евристичної моделі.

Задача оцінки енергетичної ефективності СПП формулюється як розпізнавання стану СПП в умовах обмеженої інформації. У процесі рішення здійснюється порівняння існуючого рівня енергоефективності СПП з деяким максимально можливим (визначеним експертними знаннями) для даної СПП і формуються відповідні експертні висновки.

Евристична модель описує систему зв'язків між станом енергетичної ефективності СПП і його відображенням за допомогою набору ознак (фактів). Алгоритм розпізнавання визначає послідовність дій у процесі оцінювання енергетичної ефективності. Правила формування висновків дозволяють визначати, до якого з можливих станів можна віднести сукупність ознак (фактів), що досліджується.

Евристична модель СПП, алгоритм розпізнавання та правила формування висновків будуються на основі узагальненого досвіду спеціалістів з проектування, наладки та експлуатації СПП (тобто з використанням знань експертів) і реалізуються у вигляді експертної системи (ЕС), яка моделює знання та міркування експерта.

Для побудови евристичних правил формується матриця станів енергетичної ефективності СПП, в котрій рядки - це можливі висновки про енергоефективність, а стовбці - набір ознак (фактів). До неї входить сукупність можливих висновків, які описують:

- проектний (нормативний) стан енергоефективності приводних двигунів, компресорів, пневмомережі, СПП;

- множину станів, які виникають внаслідок нераціонального режиму роботи компресорних установок, незадовільного технічного стану елементів СПП, проектної недосконалості окремих вузлів і конструкції СПП (фрагмент такої матриці для ряду висновків про незадовільний технічний стан компресорної установки наведено в табл.1).

Таблиця 1

ВИСНОВОК v_i	ФАКТ a_j														Φ_{Pi}	
	a_1			a_2		a_3		a_4		a_5		a_6		a_7		
	< 100 ГОД.	> 100 ГОД.	> 100 ГОД.	= ПРОЕК.	> ПРОЕК.	так	ні	так	ні	так	ні	так	ні	так		ні
	Φ_{F1}^1	Φ_{F1}^2	Φ_{F1}^3	Φ_{F2}^1	Φ_{F2}^2	Φ_{F3}^1	Φ_{F3}^2	Φ_{F4}^1	Φ_{F4}^2	Φ_{F5}^1	Φ_{F5}^2	Φ_{F6}^1	Φ_{F6}^2	Φ_{F7}^1		Φ_{F7}^2
підвищ. витрат енергії внаслідок збільш. тертя в механ. компресора	0	0	0	0	1,0	0	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0,8
зниження подачі внаслідок збільшеного зносу механ. компресора	0	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0,8
підвищ. витрат енергії (до 2,1%) від збільш. опору всмок. фільтру	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0,85
зниження подачі внаслідок недоохолодження циліндрів компресора	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	1,0	0	0	0	0,9
підвищ. витрат енергії (до 1%) від недоохолод. в охолоджувачі	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	1,0	0	0,9

- a_1 — періодичність очістки всмоктувальних фільтрів
- a_2 — потужність, споживана приводним двигуном з мережі
- a_3 — наявність тривалого та рівномірного зниження споживаної потужності з мережі

- a_4 — підвищений струм неробочого ходу двигуна
- a_5 — зниження подачі компресора
- a_6 — температура стисненого повітря після 1-ступеня > 170°C
- a_7 — температура стисненого повітря після проміжного охолоджувача > 60°C

Оскільки евристичні правила, сформульовані експертами, базуються виключно на суб'єктивному досвіді і повній визначеності не

мають, для встановлення міри довіри до висновку запроваджується величина фактора певності висновку. Результируюче значення фактора певності висновку для i -го правила $\Phi_{В i}$ визначається як мінімальна величина добутків факторів певності фактів $\Phi_{Ф j}$ на фактор послаблення правила $\Phi_{П i}$:

$$\Phi_{В i} = \min \left\{ \Phi_{Ф j} \times \Phi_{П i} \right\} , \quad (6)$$

де $\Phi_{Ф j}$ й $\Phi_{П i}$ набувають значення від 0 до 1.

На основі матриці станів складено продукційні правила типу "якщо А, то В", які є основним джерелом знань про СПП в ЕС. Правило складається з двох частин. В лівій записується умова, а в правій - висновок, який приймається у випадку підтвердження дійсності умови.

Запропоновано технологію розробки ЕС для оцінки енергетичної ефективності, де евристичну модель, алгоритм розпізнавання та правила одержання висновків про енергоефективність формує експерт, який має спеціальні знання в предметній області, а інженер із знань здійснює вибір системи подання знань, засобів програмування і безпосередньо формування ЕС.

Описано пошук та формування висновків про енергоефективність в ЕС, під час яких ЕС дає альтернативний запит користувачу для підтвердження набору фактів i -го правила. Вибір користувачем одного з фактів викликає застосування продукційного правила, що, в свою чергу, призводить до ініціювання наступного запиту. Подальший вибір продовжується до того часу, поки ЕС не досягне рішення задачі. У тих випадках, коли значення фактора певності висновку перевищує мінімально допустиме наперед задане його значення, ЕС приймає припущений висновок як підтверджений стан. В іншому випадку висновок системою відкидається (рис.3).

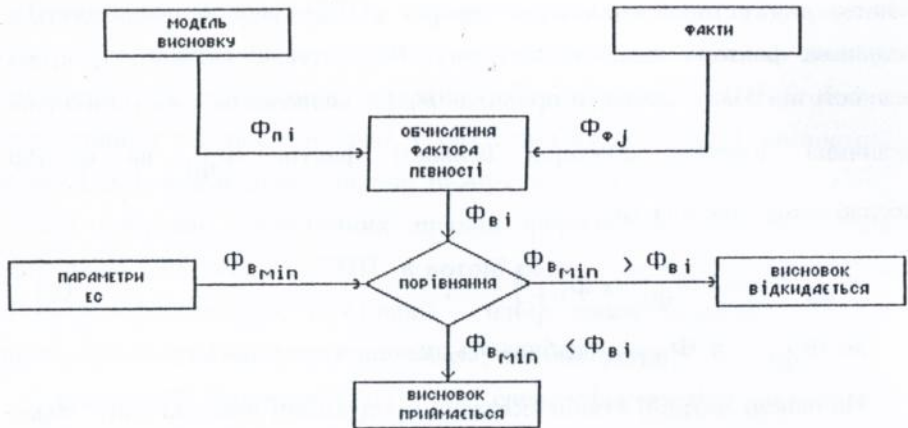


Рис.3

На основі додаткового набору продукційних правил сформовано підсистему несуперечливості. Така підсистема забезпечує розв'язання суперечностей, які виникають внаслідок неправильного введення вихідних даних, що може призводити до хибних висновків.

Четверта глава присвячена класифікації, аналізу ефективності ЕЗ, розробці методики оптимізації ЕЗ з урахуванням їх взаємовпливу.

Запропоновано розглядати приводні електродвигуни, компресори, пневмомережу, СПП в цілому як окремі об'єкти енергозбереження. Для кожного з об'єктів виділяються режимно-експлуатаційні та техніко-технологічні ЕЗ.

Режимно-експлуатаційні ЕЗ дозволяють реалізувати резерви, визначені аналізом енерговикористання або на основі висновків про незадовільний технічний стан чи нераціональний режим роботи компресорних установок. Техніко-технологічні ЕЗ направлені на реалізацію резервів, обумовлених проектною недосконалістю окремих вузлів та конструкцій СПП.

Розроблено алгоритм формування оптимального набору ЕЗ. На першому етапі здійснюється порівняння результатів аналізу енерговикористання, оцінки енергоефективності з даними по ЕЗ та на його

основі формується список технічно обґрунтованих ЕЗ. Подальшим етапом техніко-економічного обґрунтування ЕЗ. Сюди входить визначення сумарних величин затрат і економії електроенергії за розрахунковий період. Наступне ранжирування ставить ЕЗ в порядку зниження економічної ефективності, що дозволяє побудувати залежність затрат коштів на одиницю зекономленої електроенергії (питомих затрат) від заходу. Потім здійснюється формування варіантів наборів ЕЗ з урахуванням взаємної залежності заходів. Далі оптимізація остаточно визначає набір ЕЗ для впровадження з урахуванням прийнятих обмежень.

Основним серед наведених етапів є проведення обґрунтування економічної доцільності ЕЗ, в котрому використання таких показників, як питома економія електроенергії (на одиницю виробленого стисненого повітря) і питомі затрати забезпечують приведення ЕЗ до одного рівня виробництва стисненого повітря.

Розрахунок економічного ефекту здійснюється з наведенням різних у часі затрат на реалізацію ЕЗ за розрахунковий період за допомогою процедури дисконтування. Затрати на здійснення i -го заходу розраховуються за формулою

$$Z_i^{e3} = \sum_t (K_{ti} + B_{ti})(1+a)^{-t}, \quad (7)$$

де t - рік розрахункового періоду; K_{ti} - капітальні затрати на реалізацію i -го заходу в t -му році; B_{ti} - поточні затрати в t -му році, пов'язані з i -м ЕЗ (за виключенням вартості електроенергії, яка витрачена на виробництво стисненого повітря); a - прийнятий коефіцієнт дисконтування.

Відповідно питомі затрати на реалізацію i -го заходу

$$z_i^{e3} = \frac{Z_i^{e3}}{\sum_t W_{ti}^{e3}(1+a)^{-t}}, \quad (8)$$

де W_{ti}^{e3} - економія електроенергії від реалізації i -го заходу в t -му році розрахункового періоду.

Після економічного обґрунтування вирішується задача черговості реалізації ЕЗ. З цією метою здійснюється ранжирування списку ЕЗ за критерієм збільшення питомих затрат. Таким чином будується залежність питомих затрат від ЕЗ. При цьому виключаються економічно неефективні ЕЗ шляхом введення обмеження: значення питомих затрат не повинно перевищувати ціну електроенергії C_e .

Оскільки всі ЕЗ мають відношення до обмеженої кількості обладнання, необхідно враховувати можливу взаємозалежність та взаємовплив заходів. Зроблено допущення про те, що всі ЕЗ по ступеню взаємовпливу можна поділити на три множини, які не перетинаються:

- взаємовиключаючі ЕЗ (множина Θ), одночасна реалізація яких неможлива;
- взаємозалежні ЕЗ (множина Ω), застосування одного з яких призводить до зменшення енергозберігаючого ефекту від реалізації інших;
- незалежні ЕЗ (множина Ξ), реалізація будь-якого з них не впливає на ефективність інших.

Реалізація кожного з взаємозалежних заходів змінює загальну величину споживання електроенергії i , отже, ефективність впровадження інших ЕЗ. Оскільки невідомо кількісне відображення взаємовпливу, запропоновано для оціночного розрахунку загальної економії електроенергії від реалізації взаємозалежних ЕЗ використовувати коефіцієнт

$$f_t = 1 - \prod_{i \in \Omega} (1 - f_{ti}) \quad , \quad (9)$$

де f_{ti} - коефіцієнт ефективності i -го заходу в t -му році.

Коефіцієнт ефективності

$$f_{ti} = \frac{W_{ti}^{e3}}{W} , \quad (10)$$

де W_{ti}^{e3} - економія електроенергії від реалізації i -го ЕЗ в t -му році, яка розрахована без обрахування взаємної залежності ЕЗ; W - загальне електроспоживання СПП без урахування енергозбереження.

Тоді величина загальної економії електроенергії за рахунок множини взаємозалежних ЕЗ для t -го року розрахункового періоду:

$$W_t^{e3} = f_t W . \quad (11)$$

Оптимальний набір ЕЗ визначається таким чином. Спочатку формуються впорядковані набори ЕЗ. Кількість наборів відповідає числу заходів. Кожному набору ЕЗ привласнюється індекс за номером останнього заходу j в цьому наборі. Причому кожний наступний набір включає ЕЗ попереднього набору як підмножину. У ці набори не включено ЕЗ, які знаходяться у відношенні взаємного виключення з j -м заходом. Потім для кожного впорядкованого набору визначаються затрати на реалізацію ЕЗ та економічний ефект. Після цього визначається загальна економія електроенергії для впорядкованого набору ЕЗ в t -му році:

$$W_{tj}^{e3} = \sum_{i \in \Xi_j} W_{ti}^{e3} + \left[1 - \prod_{i \in \Omega_j} (1 - f_{ti}) \right] W , \quad \forall i = \overline{1, j} . \quad (12)$$

Наступним кроком є визначення витрат на реалізацію впорядкованого набору ЕЗ

$$Z_j^{e3} = \sum_i Z_i^{e3} , \quad \forall i \in \Xi_j \cup \Omega_j . \quad (13)$$

Оптимальний набір ЕЗ визначається шляхом послідовного перебору варіантів, де критерієм відбору є максимальне значення виразу

$$\sum_t W_{tj}^{e3} C_e (1+a)^{-t} - Z_j^{e3} , \quad (14)$$

при умовах:

ЛНБ ім. В. Стефана
АН України

$$(W - W_{tj}^{e3}) \leq W_{допт}^{e3} \quad , \quad (15)$$

$$K_{tj} \leq K_{допт} \quad , \quad (16)$$

$$R_{gtj} \leq R_{gtmax} \quad , \quad (17)$$

де $W_{допт}^{e3}$ - обмеження з електроспоживання в t-му році; K_{tj} - капітальні затрати на реалізацію j-го набору ЕЗ в t-му році; $K_{допт}$ - обмеження з капітальних затрат в t-му році; g - індекс умов фізичної можливості реалізації; R_{gtj} - умови фізичних можливостей реалізації j-го набору ЕЗ з g-ї умови.

Під умовами фізичної можливості реалізації розуміється забезпеченість трудовими ресурсами, можливість освоєння капітальних вкладень, придбання необхідного обладнання тощо.

У п'ятій главі розглядаються питання розробки програмно-інформаційного забезпечення аналізу та експертизи енергетичної ефективності СПП, формування рекомендацій з енергозбереження. Описано склад інформаційних та програмних засобів, функціональну блок-схему програмного забезпечення, структуру та розділи бази даних, систему меню користувача, яке забезпечує інтерфейс "користувач-комп'ютер". Відображено питання функціонування продукційної експертної системи для оцінки енергетичної ефективності.

У додатках наведено: набір вихідних даних для аналізу енерговикористання та джерела їх отримання; приклад енергетичного паспорта СПП; розділ бази даних експертної системи з понять; фрагмент бази даних з ЕЗ; акти впровадження результатів науково-дослідних робіт.

III. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Запропоновано алгоритм здійснення аналізу і експертизи енергетичної ефективності, який включає аналіз енерговикористання, оцінку енергозберігаючих заходів та формування рекомендацій щодо підвищення енергоефективності СПП.

2. Розроблено аналітичний метод розрахунку втрат енергії, показників енерговикористання і резервів енергозбереження на основі балансової моделі.

3. Запропоновано ввести показник, який характеризує енергоефективність всієї СПП, - величину питомих витрат електроенергії на одиницю об'єму спожитого стисненого повітря - замість величини питомих витрат електроенергії на одиницю об'єму виробленого стисненого повітря.

4. Запропоновано спосіб оцінки енергетичної ефективності, який спирається на теорію розпізнавання образів та дозволяє проводити оцінювання в умовах неповноти вихідних даних.

5. На основі розробленої матриці станів енергетичної ефективності створено евристичну модель СПП, яка забезпечує можливість здійснення експертизи енергетичної ефективності СПП у випадках, коли балансова модель неефективна.

6. Описано технологію розробки експертної системи для оцінки енергетичної ефективності, яка включає створення евристичної моделі, правил одержання висновків, вибір системи подання знань і формування безпосередньо ЕС.

7. Проведено аналіз і класифікацію енергозберігаючих заходів в СПП. Показано, що запропонований підхід до групування ЕЗ дозволяє організувати ефективний пошук і вибір ЕЗ програмними засобами.

8. Розроблено алгоритм оптимізації ЕЗ, в якому враховується взаємозалежність заходів, умови фізичної можливості реалізації ЕЗ, а також обмеження з електроспоживання та капітальних затрат. Запропоновано використовувати в якості техніко-економічних

показників економічний ефект від впровадження ЕЗ, питому економію електроенергії та питомі затрати за розрахунковий період.

9. На основі запропонованих моделей і алгоритмів розроблено комплекс програмно-інформаційних засобів, який забезпечує можливість проведення аналізу і експертизи енергетичної ефективності СПП як у складі автоматизованого робочого місця експерта з енерговикористання та енергозбереження, так і автономно.

Публікації на тему дисертації

1. Вархотова И.В., Карацуба А.С., Мелихов А.И., Рапцун Н.В., Сурнин С.Б., Чупак В.А. Методические основы комплексного анализа энергоиспользования и энергосбережения на промышленных предприятиях. Часть 1. Анализ энергоиспользования. Препр./АН УССР. Ин-т пробл. энергосбережения; 90-12. - Киев, 1990. - 44с.

2. Вархотова И.В., Карацуба А.С., Мелихов А.И., Рапцун Н.В., Сурнин С.Б., Чупак В.А. Методические основы комплексного анализа энергоиспользования и энергосбережения на промышленных предприятиях. Часть 2. Оптимизация энергосбережения и планирование энергопотребления. Препр./АН УССР. Ин-т пробл. энергосбережения; 90-13. - Киев, 1990. - 48с.

3. Карацуба А.С., Рапцун Н.В., Сурнин С.Б. Структура информационно-методического обеспечения энергосбережения в электрохозяйстве промышленного предприятия // Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах и в системах электропитания промышленных предприятий и транспорта: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф., Днепропетровск, 1990. - С. 204-206.

4. Рапцун Н.В., Сурнин С.Б., Шевченко С.Ю. Энергетическая паспортизация промышленного оборудования // Проблемы стандартизации в энергетике и энергосбережении: Тез. докл. конф., Киев, 1991. - С.33-34.

5. Сурнин С.Б. Резервы и перспективы энергосбережения в промышленных системах сжатого воздуха // Энергосбережение в системах электро- и промэнергетики: Сб. науч. тр./ АН УССР. Ин-т пробл. энергосбережения. - Киев, 1991. - С. 98-105.

6. Сурнин С.Б. Об определении показателей энергоиспользования пневмосистем на промышленных предприятиях // Проблемы энергосбережения: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф., Киев, 1991. - Ч.2. - С.55.

7. Рапцун Н.В., Сурнин С.Б., Шевченко С.Ю. Оценка энергетической эффективности объектов промышленной энергетики // Проблемы энергосбережения. - 1995. - №4-6. - С.56-62.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві: [1] - розроблено інформаційно-методичне забезпечення обстеження енерготехнологічного комплексу підприємства; [2] - проведено аналіз енергозберігаючих заходів в електроспоживаючому обладнанні промислового підприємства; [3] - проведено методичне обґрунтування визначення резервів енергозбереження; [4] - розроблено структуру енергетичного паспорта промислового енергообладнання; [7] - запропоновано евристичний спосіб оцінки енергетичної ефективності об'єктів промислової енергетики, описано експертну систему для оцінки енергетичної ефективності СПП.

Surnin S.B. Informational and methodological provision for analysis and expertise of energy efficiency in industrial pneumatic supply systems.

Manuscript thesis for the scientific degree of the candidate of technical sciences in specialties 05.14.01 - power systems and complexes and 05.13.02 - mathematical simulation in scientific research; Institute of Energy Saving Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 1996.

There are 7 scientific works to be defended, which contain the studies on improvement of energy efficiency in industrial pneumatic supply systems.

Accomplished theoretical and experimental studies resulted in the development of methods of analysis and expertise of energy efficiency in an industrial pneumatic supply system. These methods include the determination of the state and level of energy efficiency even under conditions of incomplete initial data, and the analysis and optimization of energy efficiency measures. The software and information complex has been developed and implemented.

Сурнин С.Б. Информационно-методическое обеспечение анализа и экспертизы энергетической эффективности в системах промышленного пневмоснабжения.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.14.01 - энергетические системы и комплексы и 05.13.02 - математическое моделирование в научных исследованиях, Ин-т проблем энергосбережения НАН Украины, Киев, 1996.

Защищаются 7 научных работ, которые содержат исследование вопросов повышения энергетической эффективности в промышленных системах пневмоснабжения.

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика анализа и экспертизы энергетической эффективности промышленной системы пневмоснабжения, включающей определение состояния и уровня энергоэффективности, в том числе в условиях неполноты исходных данных, анализ и оптимизацию энергосберегающих мероприятий. Создан программно-информационный комплекс, осуществлено его внедрение.

Ключові слова: промислова система пневмопостачання, енергетична ефективність, енергозберігаючі заходи.



СУРНІН Сергій Борисович

ІНФОРМАЦІЙНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ
І ЕКСПЕРТИЗИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
В СИСТЕМАХ ПНЕВМОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ
ПІДПРИЄМСТВ

Підписано до друку 29.04.96.Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Ум.друк.арк.1,0. Ум.-фарб.-відб.1,0. Обл.-вид.арк. 1,0. Тираж 100
прим. Зам. 395.

Поліграфічна дільниця Інституту проблем енергозбереження НАН
України. 254070, Київ-70, вул. Покровська, 11.

446764

AB 34.744

AB 34.744