

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

**Дуель Тетяна Леонідівна**

**УДК 621.311.22-52**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ  
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОУСТАТКУВАННЯ В  
ІНТЕГРОВАНІЙ АСУ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

**Спеціальність 05.13.07 - автоматизація технологічних процесів**

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

**Харків – 2005**

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українській інженерно-педагогічній академії Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

**Науковий керівник:** Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор **Артюх Станіслав Федорович**, Українська інженерно-педагогічна академія Міністерства освіти і науки України, м. Харків, завідувач кафедри електроенергетики.

**Офіційні опоненти:** Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор **Ястребенецький Михайло Онисимович**, ДП “Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки” Міністерства палива та енергетики України, м. Харків, завідувач відділу,

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Радієвський Анатолій Євгенович**, ДП “Харківський науково-дослідний інститут комплексної автоматизації” Міністерства палива та енергетики України, м. Харків, завідувач лабораторії.

**Провідна установа:** Одеський національний політехнічний університет Міністерства освіти та науки України, м. Одеса, кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів.

Захист відбудеться “16” червня 2005 р. о 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.64.050.07 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “12” травня 2005 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

О.Є. Голоскоков

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Забезпечення надійної, економічної і маневреної роботи енергоблоків ТЕС неможливо без сучасних автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП).

До теперішнього часу основна увага приділялася автоматизації задач управління технологічними процесами і об'єктами, у результаті чого був забезпечений значний ефект за рахунок підвищення надійності та економічності роботи ТЕС. Існуюче відставання рівня автоматизації задач економічного управління в порівнянні з автоматизацією задач технологічного управління пояснюється відсутністю необхідних наукових і методичних розробок у цій галузі та недооцінкою впливу економічного управління на ефективність виробництва. На сьогодні в Україні проводиться модернізація діючих і розробка нових інформаційних систем у складі АСУ ТП енергоблоків ТЕС. Це дозволяє більш ефективно використовувати інформацію про хід виробництва та стан енергоустаткування для автоматизації задач технологічного та економічного управління в інтегрованих АСУ теплових електростанцій.

Дисертаційна робота має мету зробити свій внесок у рішення проблеми побудови інтегрованої АСУ ТЕС з використанням сучасної теорії автоматичного управління та потенційних можливостей технічних засобів управління. Поставлена таким чином задача обумовила напрямки та мету теоретичних та експериментальних досліджень здобувача. Результати досліджень, які були спрямовані на підвищення ефективності використання та аналіз техніко-економічних показників в інтегрованих АСУ ТЕС з метою оптимізації функціонування електростанції, а також запропонована методологія оцінки ефективності АСУ в енергетиці обумовлюють актуальність обраного напрямку дисертаційної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Вибір тематики роботи обумовлений стратегічними напрямками розвитку та удосконалення енергетики України, які визначені “Національною енергетичною програмою України до 2010 р.” (розділ системи автоматичного управління виробничими процесами) і “Енергетичною стратегією України на період до 2030 року та подальшу перспективу”, що затверджена розпорядженням Президента України №42/21-рп від 27.02.2001 р.

Дисертаційна робота виконана в Українській інженерно-педагогічній академії відповідно до плану науково-дослідних держбюджетних робіт, передбачених планами Міністерства освіти і науки України. Результати досліджень здобувача відображені в звітах “Техніко-економічна ефективність АСУ ТП енергоблоками ТЕС” та “Основи створення інтегрованих АСУ теплової електростанції” згідно держбюджетної теми “Дослідження ефективності теплоенергетичних установок

діючих електростанцій України” (2003÷2004 рр.) та в одному розділі звіта держбюджетної теми “Розробка наукових принципів енергозбереження у тепловій та атомній енергетиці” (ДР№0101U005234, 2002 р.).

**Мета і задачі роботи.** Метою роботи є удосконалення і розвиток методів оперативного автоматизованого визначення та аналізу техніко-економічної інформації про стан енергоблоків для її ефективного використання в інтегрованій АСУ ТЕС. Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні задачі:

- аналіз ТЕС як об’єкта управління в ієрархічній системі управління енерговиробництвом і на цій основі запропонована функціонально-організаційна структура ІАСУ ТЕС;
- розгляд загальних закономірностей процесу управління в енергетиці;
- аналіз особливостей і ефективність інформації при її використанні в АСУ ТП енергоблоку;
- розробка методики компенсації похибки, яка обумовлена динамічними властивостями об’єкту, при оперативному автоматизованому визначенні ТЕП;
- розробка методичних основ і алгоритмів автоматизованого аналізу ТЕП парогенератора, турбоустановки та енергоблоку ТЕС;
- формулювання критеріїв оцінки техніко-економічної ефективності АСУ ТП енергоблоку ТЕС;
- перевірка результатів проведених досліджень безпосередньо на енергооб’єктах.

**Об’єктом дослідження** є автоматизовані процеси управління енергоблоків теплової електростанції, яка функціонує у складі об’єднаної енергосистеми.

**Предметом дослідження** є методи удосконалення визначення та аналізу техно-економічних показників енергоустаткування з метою підвищення економічності та надійності експлуатації теплової електростанції.

**Методи дослідження.** Застосовані в роботі методи теоретичних і експериментальних досліджень базуються на використанні загальних і спеціальних розділів теорії автоматичного управління і математичного апарату, а також на відомих методах планування і проведення експерименту, які були використані для рішення поставлених у роботі задач.

**Наукова новизна результатів** роботи полягає в розвитку методології оперативного автоматизованого визначення та аналізу ТЕП енергоблоків у ІАСУ ТЕС для підвищення ефективності її функціонування, а також у розробці способів оцінки ефективності АСУ ТП енергоблоку як основного структурного елементу ІАСУ ТЕС. Новими науковими результатами є:

1. Розробка концептуальної функціонально-організаційної структури інтегрованої АСУ ТЕС.

2. Проведення оцінки ефективності автоматизації задач економічного управління у порівнянні з автоматизацією задач технологічного управління.

3. Аналіз особливостей прийому, переробки і використання первинної інформації при створенні інформаційного забезпечення АСУ ТП енергоблоку.

4. Розробка методики компенсації методичної похибки, яка обумовлена динамічними властивостями об'єкту, при оперативному визначенні ТЕП енергоустаткування.

5. Підтвердження ефективності автоматизованого визначення ТЕП з динамічною корекцією на прикладі ККД парогенератору;

6. Розробка методичних основ і алгоритмів автоматизованого аналізу ТЕП енергоблоку ТЕС і його основних агрегатів;

7. Розробка критеріїв оцінки техніко-економічної ефективності АСУ енергоблоками ТЕС;

8. Розробка алгоритмічної схеми визначення та аналізу техніко-економічної ефективності АСУ ТП енергоблоку ТЕС, яка пов'язує функції системи управління із собівартістю електроенергії.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що на основі проведених досліджень вдалося зменшити методичну похибку оперативного автоматизованого визначення ТЕП енергоблоків при врахуванні їх динамічних властивостей, що дозволило більш точно визначати такі основні показники економічності як ККД парогенератору, питома витрата палива та ін.

Оперативний персонал електричних станцій одержав новий метод аналізу ТЕП парогенератору, турбоустановки та енергоблоку ТЕС для використання в інтегрованій АСУ ТЕС.

Результати цих досліджень були використані при алгоритмізації визначення та аналізу ТЕП у діючих АСУ ТП енергоблоків ТЕС України (Зміївська ТЕС, блоки 200 і 300 МВт; Запорізька ТЕС, блоки 300 і 800 МВт та ін.), а також можуть використовуватись при розробці нових і модернізації діючих АСУ ТП енергоблоків ТЕС і АЕС.

**Особистий внесок здобувача в дисертаційну роботу** полягає в наступному:

– запропонована функціонально-організаційна структура інтегрованої АСУ ТЕС, як складової частини системи управління в енергетиці, яка дозволяє сумісно вирішувати технологічні та економічні задачі управління ТЕС;

– дістали подальшого розвитку методи автоматизованого визначення ТЕП енергоустаткування, що дає можливість їх оперативно отримувати в процесі експлуатації ТЕС;

– запропонована методика компенсації похибки при визначенні ТЕП за рахунок використання математичної моделі об'єкту, яка суттєво підвищила точність визначення ТЕП;

– дістали подальшого розвитку методи автоматизованого аналізу техніко-економічних показників енергоустаткування ТЕС, що сприяє підвищенню ефективності використання ТЕП;

– сформульовані критерії та запропонована алгоритмічна процедура оцінки техніко-економічної ефективності АСУ ТП енергоблоку ТЕС, що дозволяє проводити оцінку техніко-економічного ефекту від впровадження АСУ.

**Апробація роботи.** Концепція, окремі фрагменти і результати дисертаційної роботи доповідались на: X та XI Міжнародних науково-технічних конференціях, присвячених проблемам удосконалення турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання (м.Харків, ПІМаш НАН України, 2000 р. та 2003 р.); Міжнародній конференції з управління “Автоматика-2001” (м.Одеса, Одеський національний політехнічний університет, 2001 р.); заключній конференції переможців Всеукраїнського конкурсу наукових студентських робіт, присвячених 10-річчю незалежності України (м.Донецьк, Донецький національний політехнічний університет, 2001 р.); XI Міжнародній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (м.Харків, 2003 р.); заключній конференції Всеукраїнського конкурсу “Молодь енергетиці України - 2003” в якості переможця в номінації “Теплова енергетика” з роботою на тему “Інтегрована АСУ теплової електростанції” (м.Київ, 2004 р.).

В повному обсязі дисертаційна робота була розглянута та схвалена на засіданні кафедри електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії Міністерства освіти і науки України

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 10 робіт, в тому числі 7 статей в фахових наукових виданнях, що затверджені ВАК України.

**Обсяг і структура роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел і двох додатків. Робота викладена на 137 сторінках основного тексту та містить: 21 рисунок і 5 таблиць по тексту; 10 рисунків і 1 таблицю на 9 окремих сторінках; 112 найменувань використаних літературних джерел на 11 сторінках і матеріали додатків на 19 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність досліджень, сформульована мета та визначені основні завдання роботи, надана характеристика новизни і практичної значимості результатів, наведені відомості про апробацію її результатів.

**У першому розділі** наведені основні ТЕП ТЕС та проаналізовані математичні моделі, які використовуються в задачах управління технологічними процесами і визначення ТЕП енергоустаткування.

Наведені результати аналізу проблеми автоматизації визначення ТЕП енергоустаткування ТЕС, а також стану її реалізації.

Умови оптимальної експлуатації електростанції визначаються в процесі аналізу її ТЕП. Аналіз базується на порівнянні фактичних показників з їх оптимально-нормативними значеннями. Різниця між фактичними та оптимально-нормативними показниками визначає зміну ТЕП через недосконалість експлуатації.

Автоматизація визначення ТЕП в АСУ ТП енергоблоків дозволяє одержувати об'єктивну інформацію про економічність протікання технологічних процесів .

Щодо автоматизації визначення ТЕП енергоустановок опублікована відносно невелика кількість робіт. З них необхідно виділити фундаментальні дослідження Русинського В.М. по математичному опису динамічних властивостей теплоенергетичних об'єктів і створенню на цій основі математичних моделей енергоблоку; роботи Зака І.Д. з розрахунку періоду квантування технологічних параметрів при їх обробці в цифровій обчислювальній машині і по дослідженню деяких методичних похибок; Степанова В.І. по розробці алгоритмів автоматизованого визначення ТЕП і деякі інші, на результатах яких базуються застосовані алгоритми автоматизованого визначення ТЕП.

Загальним критерієм при розробці системи визначення ТЕП є точність одержуваних результатів. Структура похибки визначення показника являє собою комбінацію похибок від різних джерел. Ці похибки можуть бути розділені на інструментальні і методичні. Інструментальні похибки визначаються апаратними засобами, які використовуються в системі (вимірювальні пристрої, перетворювачі, обчислювальні машини), методичні – прийнятим алгоритмом і його характеристиками. Правильний вибір співвідношення між методичною та інструментальною складовими загальної похибки є основою для розробки раціонального алгоритму визначення ТЕП. Використання недостатньо обґрунтованих алгоритмів при створенні АСУ призводить до їх значного ускладнення і подорожчання.

Предметом досліджень були методичні похибки, що обумовлені дискретним усередненням технологічних параметрів, розрахунком показників за їх усередненими значеннями, використанням апріорної інформації для підвищення надійності функціонування системи і деякі інші. При дослідженні кожного джерела методичної похибки вирішувалась задача одержання результатів у такому виді, який дозволив би здійснити аналіз алгоритму – оцінку виникаючої похибки та його синтез – визначення характеристик алгоритму за заданим значенням похибки.

Однак, аналіз розрахункових формул ТЕП, які використовуються при реалізації типового алгоритму, показав, що вони є алгебраїчними функціями від технологічних параметрів і справедливі тільки при виконанні наступних умов:

- між параметрами, що входять у розрахункову формулу, відсутні динамічні зв'язки;
- технологічний об'єкт знаходиться в статичному стані.

Технологічні параметри, що входять у розрахункові формули, мають динамічний зв'язок через об'єкт. Він може з'явитися за рахунок розходження динамічних властивостей датчиків, які використовуються для виміру технологічних параметрів. Що стосується об'єкту, то в реальних умовах експлуатації він знаходиться під впливом випадкових збурень, а статичний режим практично не має місця.

Таким чином, при використанні традиційних формул розрахунку ТЕП виникає динамічна похибка, що істотно спотворює результати розрахунку. Одержання більш достовірних ТЕП безпосередньо в ході виробничого процесу дозволяє мати об'єктивну інформацію про стан енергоустаткування і використовувати її для оптимізації технологічного процесу. За оцінками вітчизняних і закордонних фахівців рішення цих задач дозволяє підвищити ККД енергоблоків на 1%.

**В другому розділі** розглянуто електростанцію як об'єкт управління в об'єднаній енергосистемі і проаналізовані особливості інформаційного забезпечення АСУ енергоблоком. На цій основі запропонована концептуальна функціонально-організаційна структура інтегрованої АСУ ТЕС і сформульовані критерії її ефективності.

Однією з характерних рис розвитку енергетики є випереджальний ріст так званого “інформаційного навантаження” АСУ в порівнянні із збільшенням одиничних потужностей енергоблоків ТЕС. Так, за період 1970÷2004 р. одинична потужність енергоблоків ТЕС зросла від 100 МВт до 1200 МВт, а обсяги прийнятої інформації, що переробляється в системах управління, зросли в середньому з 1000÷1250 до 6000÷7000 одиниць.

Для забезпечення надійної та економічної роботи сучасних енергоблоків необхідно контролювати і підтримувати тисячі технологічних параметрів, здійснювати вплив на сотні регулюючих органів, а також виконавчих механізмів, передбачати безліч різних технологічних захистів, тобто приймати, переробляти і використовувати великі обсяги інформації.

В таких умовах визначальна роль у досягненні ефективного функціонування АСУ енергоблоком належить її інформаційному забезпеченню, організація якого розглянута і проаналізована в роботі.

Ефективність процесу управління ТЕС, як і будь-якого складного об'єкта, можна розглядати з позицій макропідходу як єдиний комплекс інформаційно взаємозалежних елементів. Ці елементи в процесі функціонування системи управління знаходяться під впливом різноманітних внутрішніх і зовнішніх факторів, які мають випадковий характер. Тому ступінь ефективності ІАСУ ТЕС закономірно розглядати з позицій статистичної фізики. Відомо, що для систем, які складаються з великого числа елементів, існує співвідношення

$$H = a \ln B, \quad (1)$$

де  $H$  – ентропія,  $a$  – постійна,  $B$  – невпорядкованість системи, а упорядкованість системи  $A = 1/B$



Чим більше число елементів включає керований комплекс, тим більше справедливо для нього є вираз (1). Ентропія системи в природних умовах зростає, тобто система прагне до безладдя. Протистояти наростанню безладдя можуть тільки процеси управління, які ведуть боротьбу з неупорядкованістю на основі переробки і використання інформації.

У теорії інформації міра невизначеності відповідає термодинамічному поняттю ентропії, а кількість інформації дорівнює зменшенню цієї невизначеності. Тоді з (1) знаходимо

$$I = H_{\bullet} - H = a \ln \frac{B_{\bullet}}{B} \text{ і } B = B_{\bullet} e^{-I/a},$$

де  $I$  – кількість “керуючої” інформації;  $B_{\bullet}$  – впорядкованість, що відповідає ентропії  $H_{\bullet}$ .

У роботі отримана залежність

$$E = E_{\text{макс}} (1 - B_0 e^{-I/I_0}), \quad (2)$$

де  $B_0$  – неупорядкованість комплексу при його вихідному стані.

З (2) видно, що залежність ефективності управління  $E$  залежить від кількості керуючої інформації і виражається експонентою (рис. 1).

Будемо вважати, що вартість ІАСУ ТЕС, яка реалізує збір і перетворення керуючої інформації, пропорційна кількості інформації. Тоді (2) матиме вигляд:

$$E = E_{\text{макс}} (1 - B_0 e^{-K/K_0}) \quad . \quad (3)$$

Ускладнення системи управління, пов’язане з додатковим капіталовкладеннями  $d$  дає приріст ефективності комплексу  $dE$ , а термін окупності додаткових капіталовкладень  $T_{\text{ОК}} = \frac{dK}{dE}$  .

Тоді з (3), враховуючи  $B = B_0 \exp(-K/K_0)$  і що при  $T_{\text{ОК}}, K=0$ , знаходимо

$$T_{\text{ОК}} = T_{\text{ОК}0} \frac{B_0}{B},$$

де  $T_{\text{ОК}}$  – термін окупності додаткових засобів, вкладених при вихідному стані системи управління, тобто при неупорядкованості  $B_0$ .

Сучасні АСУ ТП енергоблоків ТЕС потужністю 300 і 800 МВт мають у своєму розпорядженні достатній обсяг введеної інформації, яка необхідна для реалізації не тільки технологічних, але й економічних задач управління. Наявні оцінки показують, що для створення автоматизованих систем економічного управління (АСЕУ) у складі АСУ П ТЕС потрібно не більш однієї п’ятої частини інформації, яка надходить в АСУ ТЕС і порівняно невелика кількість периферійної апаратури. У той же час відсутність підсистеми АСЕУ в складі ІАСУ ТЕС знижує ефективність виробництва, що підтверджено порівняльною оцінкою економічної ефективності АСТУ та АСЕУ. Економічна ефективність автоматизації систем управління визначається відношенням додаткового

прибутку  $\Delta E_{пр}$ , обумовленого роботою цих систем, до витрат на їх створення  $\sum_{i=1}^n K_i$ . Це відношення може характеризувати так званий питомий ефект автоматизації  $E^*$  грн/грн. Характер залежності економічної ефективності АСТУ й АСЕУ від глибини автоматизації показаний на рис. 2.

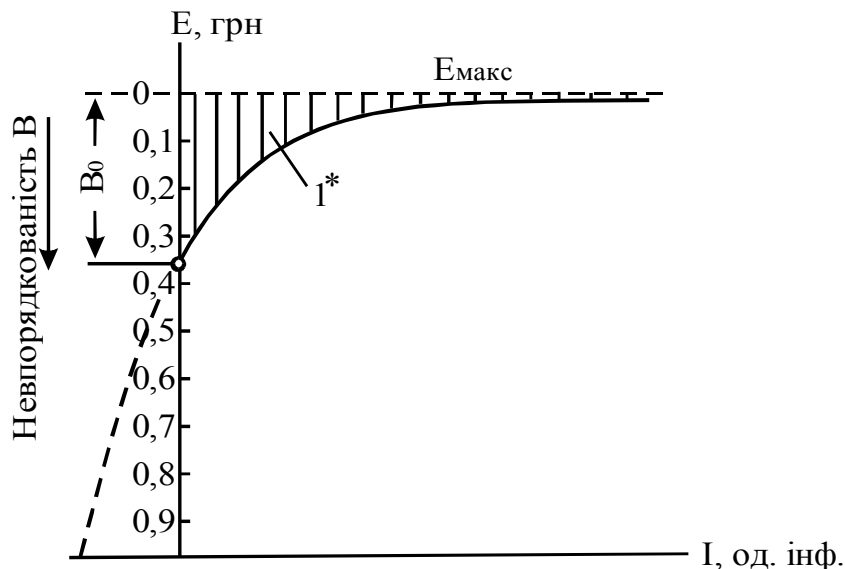


Рис. 1. Залежність ефективності управляючого комплексу від кількості управляючої інформації (I - кількість управляючої інформації, E - ефективність управляемого комплексу, I\* - втрати від неупорядкованості, од.інф.)

Починаючи з визначеної величини ступеня автоматизації ( $a_2$ ) глибина автоматизації економічного управління повинна випереджати глибину автоматизації технологічного управління. В даний час глибина автоматизації технологічного управління більше  $a_1$  (наприклад,  $a_3$ ), у той час як глибина автоматизації економічного управління наближається до нуля (чисельні значення не приводяться через відсутність відповідних вартісних даних).

Якби всі засоби, витрачені на доведення ступеня технологічної автоматизації до величини  $a_3$ , використовувалися оптимально, тоді питомий ефект  $E^*$  АСТУ та АСЕУ був би однаковим, а величини, що відповідають оптимальним глибинам автоматизації, склали б для економічного управління  $a_4$ , а для технологічного  $a_5$ . Збиток від недотримання належних пропорцій між ступенями автоматизації СТУ і СЕУ чисельно дорівнює різниці площ, заштрихованих на рис. 2.

$$\Delta E = \int_0^{a_4} E_2 da - \int_{a_5}^{a_3} E_1 da.$$

Розробка ІАСУ ТЕС повинна починатися з побудови функціональної моделі управління підприємством, виходячи з умов його роботи в об'єднаній енергосистемі. Така модель повинна ґрунтуватися на виділенні потоків окремих видів ресурсів, що підрозділяються на основні фонди, оборотні фонди, трудові ресурси і фінансові ресурси. Забезпечення виконання виробничої програ-

ми всіма зазначеними видами ресурсів – задача відповідних підсистем забезпечення виробництва.

Кожна з цих підсистем має власну мету і критерій оптимальності. Необхідною умовою оптимального управління сукупністю підсистем є погодженість усіх локальних цілей і критеріїв підсистем (забезпечення їх чіткої взаємодії) і підпорядкованість загальному критерію оптимальності функціонування системи управління ТЕС.

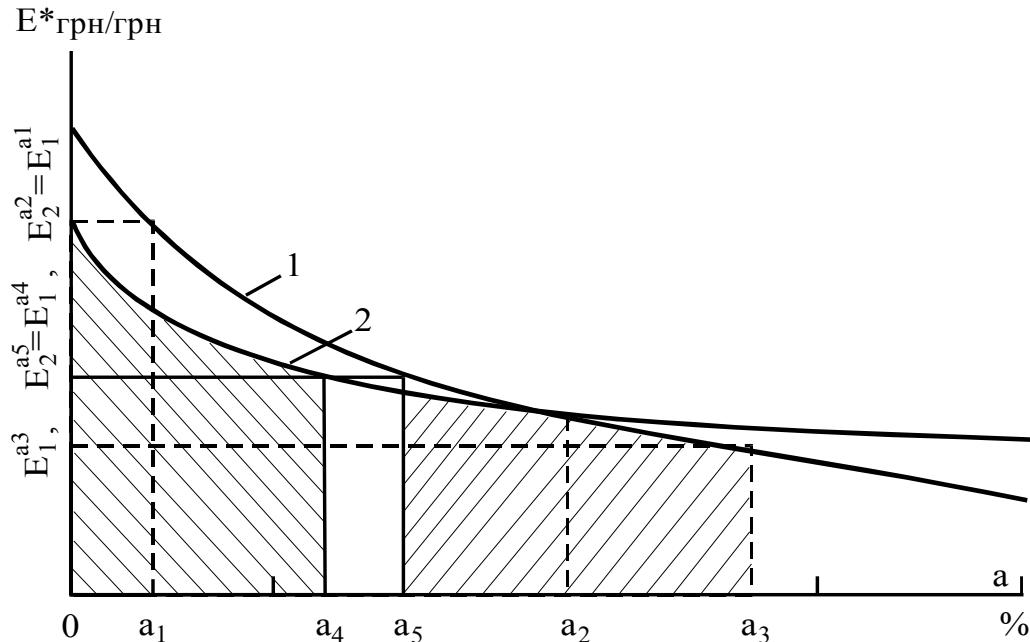


Рис. 2. Залежність економічної ефективності АСТУ и АСЕУ ( $E^*$ ) від глибини автоматизації (a).

1 - ефективність АСТУ; 2 - ефективність АСЕУ

Кожна з цих підсистем має власну мету і критерій оптимальності. Необхідною умовою оптимального управління сукупністю підсистем є погодженість усіх локальних цілей і критеріїв підсистем (забезпечення їх чіткої взаємодії) і підпорядкованість загальному критерію оптимальності функціонування системи управління ТЕС.

Для ІАСУ ТЕС характерне комплексне охоплення всіх сторін діяльності підприємства. Вона створюється на базі функціональної моделі управління і складається з ряду підсистем, основними з яких є підсистеми оптимізації відповідних задач виробництва, які розглянуті у роботі.

До теперішнього часу відсутня методика оцінки техніко-економічного ефекту автоматизації енергоблоків. Враховуючи специфічні умови енерговиробництва, у дисертаційній роботі на основі загальних критеріїв ефективності систем управління запропоновано виділити технічну ефективність  $E_t$ , тобто ступінь відповідності системи поставленим перед нею технічним задачам, і економічну ефективність  $E_e$ , тобто ступінь відповідності отриманого ефекту витратам на створення системи та її подальшу експлуатацію.

У роботі приведена алгоритмічна схема аналізу техніко-економічної ефективності АСУ енергоблоком, яка розроблена на основі вищенаведених критеріїв з врахуванням основних

компонентів системи (енергоблок, засоби управління, людина-оператор).

У третьому розділі досліджені способи компенсації динамічної похибки в алгоритмі автоматизованого розрахунку ТЕП.

Можливості обчислювальних машин дозволяють до мінімуму скоротити період розрахунку показників і ставити задачу одержання поточних значень показників. Використання при цьому звичайних розрахункових формул висунуло проблему динамічної похибки, що спотворює результати розрахунку. Компенсація динамічної похибки принципово може бути здійснена двома способами:

- усереднення результатів розрахунку показників;
- використання при розрахунку динамічної моделі об'єкта.

Перший спосіб є найбільш простим. Однак, при його використанні цінність розрахунку для оперативного управління може бути значно знижена. Компенсація похибки за допомогою динамічної моделі об'єкта є важкою задачею через складність моделі теплоенергетичного об'єкта. Спільне застосування зазначених способів істотно полегшує рішення задачі, тому що дає можливість використання спрощеної моделі. Це дозволяє різко скоротити період розрахунку, тому що його величина в цьому випадку визначається тільки з умови компенсації розходження моделі і реального об'єкта.

Як перший етап досліджень у роботі була виконана оцінка похибки, внесеної окремим динамічним каналом. При цьому розглядалися наступні випадки: заміна величини, що вишукується, на вимірювану; усереднення величини, що вишукується; використання динамічної моделі каналу; використання моделі каналу й одночасне усереднення величини, що вишукується. Отримані результати наведені в таблиці 1. У кожному з розглянутих випадків похибка визначалася для експонентної кореляційної функції вимірюваної величини і динамічного каналу, заданого у виді аперіодичної ланки. Компенсація динамічної похибки показника може здійснюватися як щодо входу об'єкта, так і щодо його виходу. У залежності від цього в розрахунковій формулі необхідно виділити параметри, що обумовлюють динамічну похибку. Розрахункова формула показника, як правило нелінійна, повинна бути лінеаризована стосовно цих параметрів. Особливістю виконаного дослідження є роздільний і спільний розгляд способів компенсації похибки, а також використання баластної ланки, яка враховує розходження реального каналу і його моделі.

Результати досліджень показали, що одночасне застосування двох способів (використання моделі й усереднення) дозволяє домогтися максимального ефекту. В якості прикладу на рис. 3 по формулам з таблиці 1 побудовані криві для визначення середньоквадратичної похибки серед значень величин  $K$ ,  $l$ , і  $q$ , які зустрічаються на практиці. Ці криві дозволяють по допустимій похибці і величині  $\gamma/T$  визначити  $T_0$  і  $T_\delta$ .

Другим етапом досліджень було представлення моделі у виді сукупності окремих динамічних каналів між параметрами, які використовуються в розрахунковій формулі показника. При вирішенні цієї задачі були прийняті наступні допущення:

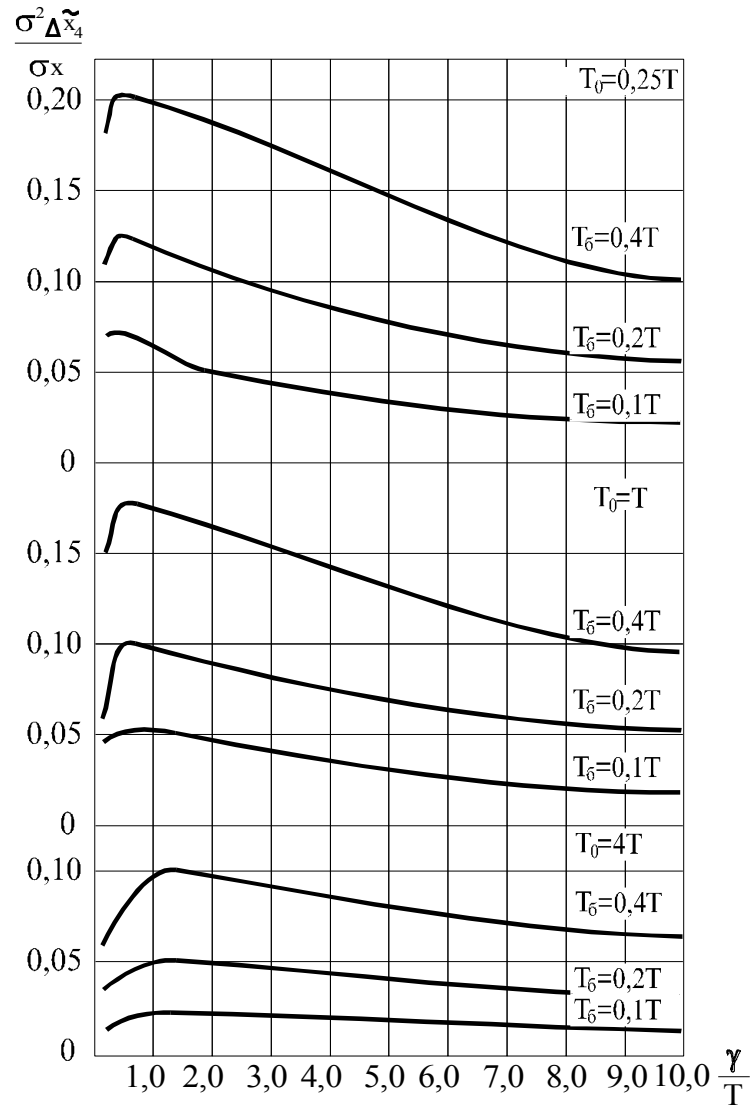


Рис. 3. Динамічна похибка в разі усереднення величини, що вишукується, та використання моделі каналу

1. Розрахункова формула показника є лінійною функцією від технологічних параметрів, тому що в стаціонарному режимі роботи установки технологічні параметри змінюються у вузьких межах.

2. Динамічні зв'язки між параметрами (розділеними на вхідні  $x$  і вихідні  $y$ ) являють собою лінійні динамічні канали.

3. Вхідні параметри є незалежними величинами. У їх числі можуть бути і такі, котрі безпосередньо не входять у розрахункову формулу показника.

Динамічна модель показника в загальному вигляді, з урахуванням зазначених допущень, зображена на рис. 4. Динамічні зв'язки між параметрами визначаються передатними функціями

Wij(p).

Для рішення задачі компенсації динамічної похибки необхідно прийняти один з технологічних параметрів за базовий. Потім за допомогою динамічних каналів здійснити перенос до цього параметра всіх інших параметрів розрахункової формули, що в даному випадку є шуканими величинами.

Таблиця 1

№№ пп	Початковий вираз	Формула для визначення похибки
1.	$\sigma_{\Delta \bar{x}_1}^2 = M\{[\bar{x}(t) - x(t)]^2\},$ <p><math>x(t)</math> - величина, що вимірюється  <math>\bar{x}(t)</math> - величина, що вишукується</p>	$\sigma_{\Delta \bar{x}_1}^2 = D_x \frac{1}{K+1}, K = \frac{\gamma}{T}$ <p><math>\gamma</math> - параметр кореляційної функції величини, що вимірюється  <math>T</math> - постійна часу динамічного каналу</p>
2.	$\sigma_{\Delta \bar{x}_2}^2 = M\left\{\left[\frac{1}{T_0} \int_t^{t+T_0} \bar{x}^*(t) dt - \frac{1}{T_0} \int_t^{t+T_0} \bar{x}(t) dt\right]^2\right\},$ <p><math>T_0</math> - період усереднення</p>	$\sigma_{\Delta \bar{x}_2}^2 = D_x \frac{1}{e} \left\{ \frac{2K}{(K^2-1)} [(e^{-\ell} - 1)] - \right.$ $\left. - K(e^{-\frac{\ell}{K}} - 1) \right\}, \ell = \frac{T_0}{T}.$
3.	$\sigma_{\Delta \bar{x}_3}^2 = M\{[\bar{x}(t) - \bar{x}^*(t)]^2\},$ <p><math>\bar{x}^*(t)</math> - зведене за допомогою моделі значення величини, що вишукується  <math display="block">\bar{x}^*(t) = \int_0^{\infty} K(t)x(t-\tau) d\tau</math> <math>K(t)</math> - вагома функція моделі каналу</p>	$\sigma_{\Delta \bar{x}_3}^2 = D_x \cdot q \frac{K}{(K+1)(K+q)(q+1)},$ $q = \frac{T_\delta}{T}.$ <p><math>T_\delta</math> - постійна часу баластної ланки</p>
4.	$\sigma_{\Delta \bar{x}_4}^2 = M\left\{\left[\frac{1}{T_0} \int_t^{t+T_0} \bar{x}(t) dt - \frac{1}{T_0} \int_t^{t+T_0} \bar{x}^*(t) dt\right]^2\right\}$	$\sigma_{\Delta \bar{x}_4}^2 = D_x \frac{1}{e^2} \left\{ \frac{2K^3 \cdot q^3}{(K^2-1)(K^2-q)} [(e^{\frac{\ell}{q}} - 1)] - \right.$ $\left. - \frac{K}{q} (e^{\frac{\ell}{K}} - 1) - \frac{2K \cdot q^3}{(1-q^2)(K^2-1)} (e^{\frac{\ell}{K}} - 1) - \right.$ $\left. - \frac{1}{q} (e^\ell - 1) \right\}.$

На рис. 5 представлена структурна схема проходження теплового потоку через парогенератор. Якщо зневажити інерційністю газоповітряного тракту, то значення ККД бруто парогенератора по методу прямого балансу (при представленні топки у виді пропорційної ланки) визначається по формулі  $\eta_{\Pi} = \frac{Q_T}{B_T \cdot Q_p^H}$ . Тому що величину  $Q_T$  визначити безпосередньо неможливо, її звичайно заміняють на  $Q_{\Pi}$ . Але ця заміна є причиною появи динамічної похибки, тому що величини  $Q_{\Pi}$  і  $Q_T$  пов'язані між собою співвідношенням,

$$Q_{\Pi} = f[x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)],$$

де  $Q_{\text{акк}}$  – тепло, акумульоване в парогенераторі.

$Q_{\Pi}$  являє собою алгебраїчну нелінійну функцію вимірюваних технологічних параметрів

$$Q_{\Pi} = f[x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)],$$

де  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$  и  $y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)$  – відповідно вхідні і вихідні значення на вході і виході парогенератора.

Відповідно до викладеної методики з визначенням питомої ваги вихідних параметрів у динамічній похибці теплосприйняття і вхідних параметрів у динамічній похибці вихідних параметрів, а також з урахуванням динамічних характеристик парогенератора одержимо остаточну формулу для поточного значення ККД за період часу  $T_0 = t_2 - t_1$

$$\eta_{\Pi}^{T_0} = \frac{\bar{Q}_{\Pi} + A \cdot \Delta P_{\Pi}^i}{\bar{B}_T \cdot Q_p^H},$$

де  $\bar{Q}_{\Pi} = \int_{t_1}^{t_2} Q_{\Pi} dt$  - сумарна виробітка тепла парогенератором за період розрахунку,  $\bar{B}_T = \int_{t_1}^{t_2} B_T dt$  -

сумарна витрата палива за період розрахунку,  $\Delta P_{\Pi}^i$  збільшення тиску за період розрахунку,

$A = \frac{T}{K} \cdot (i_{\Pi}^I - i_{\text{ТВ}})$  - коефіцієнт динамічної корекції.

У таблиці 2 наведена оцінка похибки розрахунку ККД парогенератора для випадків розрахунку з динамічною корекцією і без її в залежності від періодів розрахунку, прийнятих у системі “Комплекс”. Також наведені значення прийнятих вихідних величин. Оцінка була виконана по кривих, наведених на рис. 3.

Таблиця 2

Період розрахунку $T_0$	Похибка розрахунку	
	без динамічної корекції, %	з динамічною корекцією, %
5 хв	0,4	0,075
15 хв	0,22	0,05
1 година	0,08	0,01
Початкові дані: $T=300$ с; $T_{\delta}=0,2T$ ; $\sigma_{P\Pi}=1\%$ ; $\frac{\gamma}{T} = 3$ .		

З метою практичної перевірки ефективності розрахунку ККД парогенератора ТП-100 з динамічною корекцією були проведені спеціальні випробування. Під час випробувань виконано розрахунок ККД парогенератора з різними значеннями коефіцієнта динамічної корекції  $A$ . За критерій оцінки ефективності розрахунку з динамічною корекцією була обрана дисперсія ККД парогенератора (4).

$$D\eta_{\Pi}^{T_0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{\eta}_{\Pi} - \eta_{\Pi}^{T_0})^2, \quad (4)$$

де  $\Delta \bar{\eta}$  – середнє значення ККД парогенератора за період проведення експерименту.

Динамічна корекція дозволила зменшити дисперсію ККД парогенератора в 3÷5 разів. На рис. 6 побудована залежність дисперсії ККД від коефіцієнта А. Ефективність розрахунку з корекцією була також перевірена у режимі нормальної експлуатації.

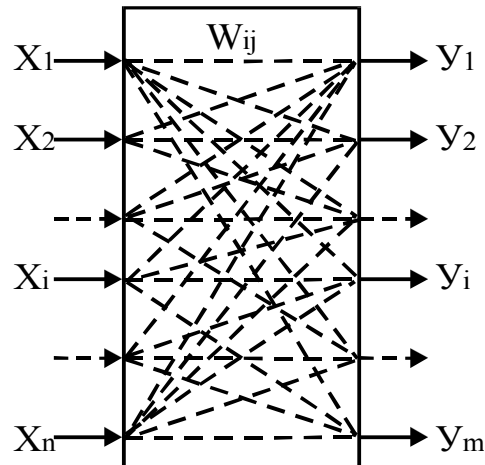


Рис. 4. Загальний вигляд динамічної моделі техніко-економічного показника

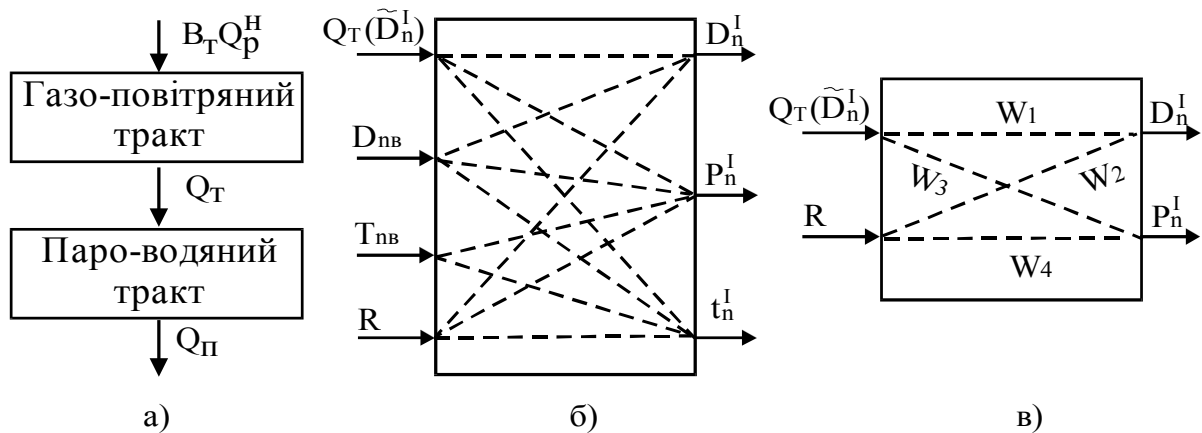


Рис. 5. Динамічна модель для визначення теплосприйняття первинного тракту парогенератору

$B_T \cdot Q_p^H$  - кількість тепла, яке міститься в паливі ( $B_T$  - витрата палива,  $Q_p^H$  - його калорійність);

$Q_T$  - теплосприйняття поверхонь нагріву;  $Q_P$  - кількість тепла, яке виробляється парогенератором;

$R$  - зовнішнє навантаження

У четвертому розділі приведені методичні основи та алгоритми автоматизованого аналізу ТЕП парогенератора, турбоустановки і ТЕС для використання в ІАСУ ТЕС.

Організувати якісно новий аналіз ТЕП можна лише за умови його автоматизації. В даний час, незважаючи на інтенсивне впровадження сучасних засобів обчислювальної техніки, практично відсутня автоматизація аналізу показників електростанції, що обумовлено недооцінкою ролі



аналізу як могутнього інструмента впливу на економіку енерговиробництва.

Наявний досвід показує, що існує прямий зв'язок між досягнутим рівнем аналізу і ТЕП теплових електростанцій. Так, у деяких країнах вважають за доцільне боротися за економію палива, рівню 1 Ккал на 1 квт-год (близько 0,04%).

Запропоновані методичні основи автоматизованого аналізу ТЕП ТЕС базуються на:

- розробці вимог до складу і підготовки інформації;
- новій процедурі порівняння нормативних і фактичних показників;
- виявленні зовнішніх і внутрішніх причин, що впливають на показники;
- алгоритмах аналізу витрати тепла на турбоагрегат, витрати тепла на парогенератор, витрати електроенергії на механізми власних потреб і загального алгоритму аналізу ТЕП електростанції.

Розроблена економіко-математична модель автоматизованого аналізу ТЕП ІАСУ блочної ТЕС наведена в дисертаційній роботі.

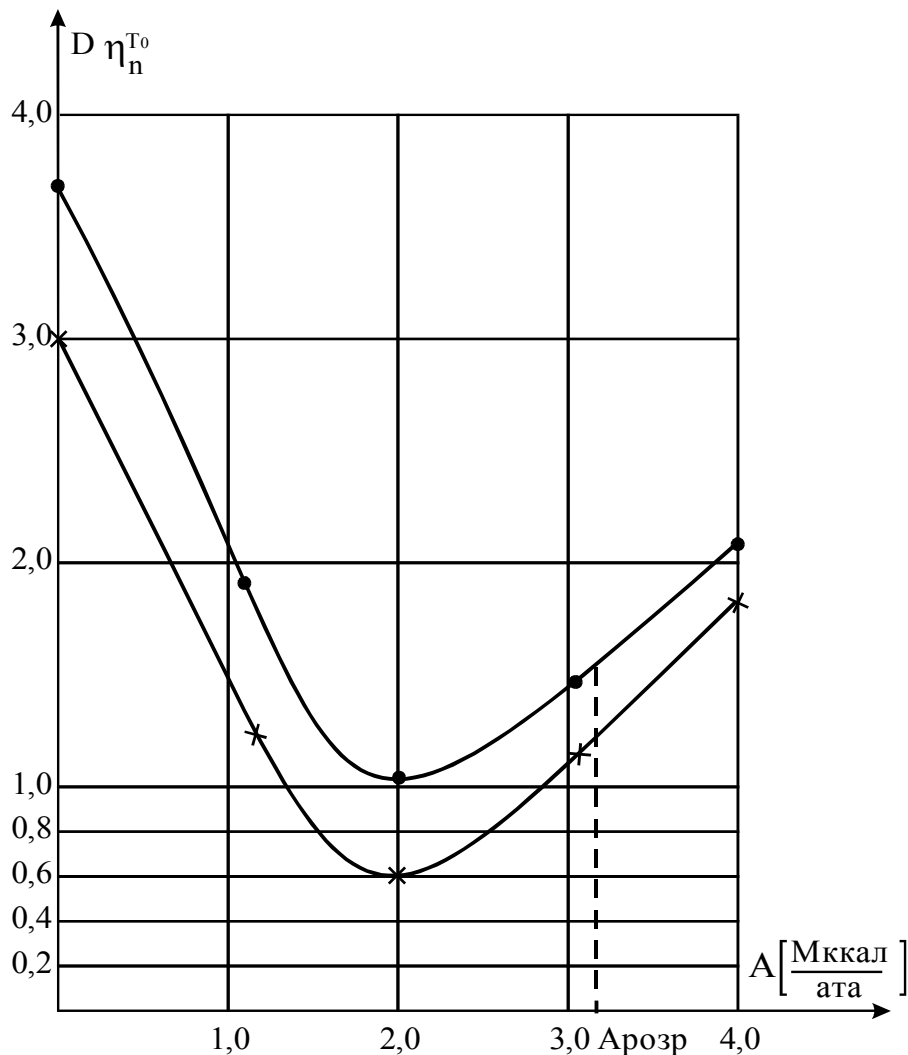


Рис. 6. Залежність дисперсії ККД парогенератору від коефіцієнта динамічної корекції А в режимі випробувань

## **ВИСНОВКИ**

Виконані дослідження дозволили одержати науково-практичні результати, які підвищують ефективність використання інформації в інтегрованій АСУ ТЕС, а також запропонувати методику оцінки техніко-економічної ефективності її базової частини – АСУ ТП енергоблоку.

1. Запропоновано концептуальне функціонально-організаційну структуру ІАСУ ТЕС, що працює в об'єднаній енергосистемі, з врахуванням загальносистемного підходу до задач управління.

2. Показано, що максимальна ефективність ІАСУ досягається при автоматизації спільного рішення задач технологічного та економічного управління.

3. Виконані дослідження дали можливість значного зменшення методичної похибки при визначенні техніко-економічних показників енергоустаткування з урахуванням динамічних властивостей об'єкту.

4. Методика компенсації динамічної похибки при оперативному визначенні ТЕП була продемонстрована на прикладі визначення ККД парогенератора.

5. Розроблено методичні основи автоматизованого аналізу ТЕП парогенератора, турбоустановки і конденсаційної ТЕС у цілому.

6. Сформульовано критерії техніко-економічної ефективності АСУ ТП енергоблоку. Показано доцільність розподілу процесу визначення техніко-економічної ефективності АСУ на два послідовних етапи: визначення технічної, а потім економічної ефективності.

7. Запропоновано алгоритмічну схему оцінки техніко-економічної ефективності АСУ енергоблоком на основі багатofакторного аналізу взаємозв'язку функцій системи управління із собівартістю електроенергії. При цьому аналіз охоплює всі основні компоненти АСУ (енергоблок, система управління, людина-оператор).

8. Отримані в роботі результати використані при модернізації діючих АСУ ТП енергоблоків 200 і 300 МВт Зміївської ТЕС та блоків 800 МВт Запорізької ТЕС для більш ефективного використання одержуваної від об'єкта інформації.

## **ПЕРЕЛІК НАДРУКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Дуэль М.А., Дуэль Т.Л. О технико-экономической эффективности АСУ энергоблоками // Энергетика и электрификация. - К.: 2001. - №1. - С. 21-27.

Здобувачем запропоновано алгоритмічну схему оцінки техніко-економічної ефективності АСУ ТП енергоблоку на базі аналізу взаємозв'язків функцій системи управління з собівартістю електроенергії, яка виробляється цим енергоблоком.

2. Шелепов И.Г., Дуэль Т.Л. Интеграция технологических и экономических задач в АСУ

электростанцией // Энергетика и электрификация. - К.: 2002. - №9. - С. 21-27.

Здобувачем запропонована структура функціонально-організаційної моделі інтегрованої АСУ теплової електростанції.

3. Дуэль М.А., Дуэль Т.Л. Методические погрешности оперативного определения технико-экономических показателей энергооборудования // Энергетика и электрификация. - К.: 2002. - №11. - С. 46-51.

Здобувачем проаналізовані методичні похибки при автоматизованому визначенні ТЕП енергоукомплектування та ступінь їх впливу на загальну похибку розрахунку.

4. Дуэль Т.Л. Эффективность интегрированной АСУ электростанцией // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". - Х.: НТУ "ХПІ". 2002. - Вип. 13. - С. 137-142.

5. Дуэль Т.Л. Критерии эффективности систем автоматизированного управления энергоблоками электростанций // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". - Х.: НТУ "ХПІ". - 2003. - Вип. 10. - Т. 1. - С. 133-138.

6. Дуэль М.А., Дуэль Т.Л. Эффективность автоматизированного управления энергоблоками электростанций // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". - Х.: НТУ "ХПІ". - 2003. - Вип.10. - Т. 3. - С. 18-23.

7. Любчик Л.М., Дуэль Т.Л. Автоматическое определение технико-экономических показателей с учетом динамических свойств энергооборудования // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". - Х.: НТУ "ХПІ". - 2004. - Вип. 36. - С. 105-110.

Здобувачем запропонована спрощена модель парогенератору для врахування його динамічних властивостей при автоматичному визначенні ККД парогенератора з метою зменшення методичної похибки.

8. Дуэль Т.Л. Оценка экономической эффективности АСУ энергоблоками // Труды Междунар. конф. "Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования". - Х.: ИП Маш НАН Украины. - 2000. - С. 142-146.

9. Дуэль Т.Л. Компенсация динамической погрешности при оперативном определении показателей энергооборудования // Труды Одесского политехнического университета. - Одесса: ОНПУ. - 2001. - Вып. 3(15). - С. 49-53.

10. Дуэль Т.Л. Экономический критерий качества регулирования технологических параметров теплоэнергетических установок // Труды Междунар. конф. "Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования". - Том 2. - Х.: ИП Маш НАН Украины. - 2003. - С. 501-504.

## АНОТАЦІЇ

*Дуель Т.Л. Підвищення ефективності використання техніко-економічних показників енергоустаткування в інтегрованій АСУ теплової електростанції. – Рукопис.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, 2005.

Дисертація присвячена розвитку методології автоматизованого визначення та аналізу техніко-економічних показників (ТЕП) енергоустаткування теплової електростанції (ТЕС) з метою їх ефективного використання в інтегрованій автоматизованій системі управління (ІАСУ) ТЕС.

Проведена порівняльна оцінка ефективності автоматизації технологічних і економічних задач управління. Виконано аналіз особливостей прийому, переробки та використання первинної інформації в АСУ ТП енергоблоку, як основної структурної частини ІАСУ ТЕС. Проаналізовані основні недоліки типових алгоритмів визначення та аналізу ТЕП діючих АСУ ТП енергоблоків.

Виконані дослідження підтвердили можливість значного зменшення методичної похибки алгоритму автоматизованого визначення ТЕП при врахуванні динамічних властивостей енергоблоку. Розроблена методика компенсації динамічної похибки при визначенні ТЕП була перевірена експериментально на прикладі визначення ККД парогенератора ТП-100 з використанням його спрощеної математичної моделі.

Розроблені методичні основи автоматизованого аналізу ТЕП парогенератора, турбоустановки і конденсаційної ТЕС.

Запропонована функціонально-організаційна структура ІАСУ ТЕС, яка працює в складі ієрархічної системи управління енергетичної галузі.

Сформульовані критерії оцінки ефективності АСУ ТП енергоблоку. Доведена доцільність розділу цієї задачі на два послідовних етапи: визначення технічної, а потім економічної ефективності. Запропонована алгоритмічна процедура оцінки техніко-економічної ефективності АСУ енергоблоком на основі багатофакторного аналізу взаємозв'язку функцій системи управління із собівартістю електроенергії.

Одержані результати використані в діючих АСУ ТП енергоблоків Запорізької та Зміївської ТЕС України, а також можуть використовуватись при створенні нових ІАСУ ТЕС та модернізації діючих АСУ ТП енергоблоків ТЕС і АЕС.

**Ключові слова:** енергоблок, технологічний процес, алгоритм, математична модель, критерій, автоматизовані системи управління.

*Дуэль Т.Л. Повышение эффективности использования технико-экономических показателей в интегрированной АСУ тепловой электростанции. – Рукопись.*

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация технологических процессов. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, г. Харьков, 2005.

Диссертация посвящена развитию методологии автоматизированного оперативного определения и анализа технико-экономических показателей (ТЭП) энергоблоков в интегрированной автоматизированной системе управления (ИАСУ) тепловой электростанции (ТЭС) для повышения эффективности ее функционирования.

Проведена сравнительная оценка эффективности автоматизации технологических и экономических задач управления. Выполнен анализ особенностей приема, переработки и использования первичной информации в АСУ ТП энергоблока. Проанализированы основные недостатки типовых алгоритмов определения и анализа ТЭП в АСУ ТП энергоблоков.

Выполнены исследования, которые подтвердили возможность значительного уменьшения методической погрешности алгоритма автоматического определения ТЭП при учете динамических свойств энергоблока. Разработанная методика компенсации динамической погрешности при оперативном определении ТЭП была проверена на примере расчета КПД парогенератора типа ТП-100 с использованием его упрощенной модели.

Разработаны методические основы автоматизированного анализа ТЭП парогенератора, турбоустановки и конденсационной ТЭС.

Предложена укрупненная функционально-организационная структура ИАСУ ТЭС, которая работает в объединенной энергосистеме, с учетом общесистемного подхода к задачам управления.

Сформулированы критерии оценки эффективности АСУ ТП энергоблока. Показана целесообразность разделения этого процесса на два последовательных этапа: определение технической, а затем экономической эффективности. Предложена алгоритмическая процедура оценки технико-экономической эффективности АСУ энергоблоком на основе взаимосвязи функций системы управления с себестоимостью вырабатываемой электроэнергии.

Полученные результаты использованы в эксплуатирующихся АСУ ТП энергоблоков Запорожской и Змиевской ТЭС, а также могут быть использованы при создании новых ИАСУ ТЭС и модернизации действующих АСУ ТП энергоблоков ТЭС и АЭС.

**Ключевые слова:** энергоблок, технологический процесс, алгоритм, математическая модель, критерий, автоматизированная система управления.

**Duel T.** *Technical-economic performance efficiency increase and efficient use in a integrated automated control system of thermal power plants.* Manuscript.

Thesis for candidate's degree by specialty 05.13.07. – Technological Processes Automation. National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2005.

The thesis is dedicated to development of power equipment automatic definition and analysis of technical-economic performance methodology in a thermal power plants integrated automated control system. The comparative analysis of technological and economical management problems efficiency automation was taken. The distinction of power units process control system information support which is a base structural part of thermal power plant was analyzed. The automatic analysis of technical-economic performance of power plants power equipment methodology was developed. The structure of integrated automated control system in a hierarchical energetics control system constitution was suggested. The system's efficiency estimation criterions was defined. The algorithmic procedure of it's implementation based on control system features correlation with produced power self-cost was developed. The results of accomplished research was used in a integrated automated control system of the several thermal power plants. They may be recommended for development of new and enhancement of existing thermal and nuclear power plants.

**Keywords:** power-generating unit, technological process, algorithm, mathematical model, criterions, automated control system.