

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

**Молль Лариса Сергіївна**

**УДК 621.311.18.004.15:519.85**

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ ОПЕРАТИВНИЙ ВИБІР  
СХЕМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ЕНЕРГОБЛОКІВ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ  
З УРАХУВАННЯМ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ**

Спеціальність 05.13.07 –Автоматизація технологічних процесів

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків-2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі парогенераторобудування Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор

**Єфімов Олександр Вячеславович,**

Національний технічний університет "ХПІ" ,

завідувач кафедри парогенераторобудування

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Любчик Леонід Михайлович,**

Національний технічний університет "ХПІ" ,

завідувач кафедри комп'ютерної математики і математичного моделювання

кандидат технічних наук, професор

**Шелепов Ігор Григорович,**

Українська інженерно-педагогічна академія

Міністерства освіти і науки України, м. Харків,

завідувач кафедри теплових енергетичних установок

**Провідна установа :Одеський національний політехнічний університет**

Міністер-

ство освіти і науки України, м. Одеса

Захист дисертації відбудеться "07" квітня 2005 р. о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у 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 "04" березня 2005 р.

**Вчений секретар**

спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07

О.Є. Голоскоков

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В сучасний момент в Україні концепція інтенсивного будівництва нових енергоблоків електростанцій замінюється концепцією модернізації і продовження терміна служби уже встановленого енергетичного устаткування і удосконалювання методів їхньої ефективної і безпечної експлуатації. Вартість електричної і теплової енергії, що виробляється тепловими та атомними електростанціями, стає усе більш помітним фактором конкурентної боротьби на ринку енергопостачання у зв'язку з більш широким застосуванням автономних газотурбінних і дизель-генераторних установок, котелень, більш широким використанням вітрової, сонячної та інших альтернативних джерел енергії. Урахування показників надійності при управлінні технологічними процесами енергоблоків електростанцій шляхом автоматизованого оперативного вибору технологічних схем розширює можливості забезпечення їхньої ефективної і безпечної експлуатації і конкурентоздатної вартості вироблених видів енергії. Тема дисертаційної роботи є актуальною, оскільки пов'язана з науковими дослідженнями у галузі розробки нових підходів, методів, алгоритмів і програм, необхідних для удосконалювання систем інтелектуальної підтримки діяльності експлуатаційного персоналу АСУТП енергоблоків теплових та атомних електростанцій. Вона спрямована на підвищення ефективності, надійності і безпеки виробництва електричної і теплової енергії, а значить на ефективність використання енергоресурсів та енергозбереження, що являє собою важливу державну проблему.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Розроблені в дисертації математичні методи і підходи, алгоритми і програмні модулі використовувалися для виконання кафедрою парогенераторобудування НТУ „ХПІ” бюджетних наукових тем: „Розробка нових концептуальних методів і підходів до створення високоефективного теплоенергетичного устаткування на основі системного аналізу й інтенсифікації теплотехнологій” (№ ДР 0100U001672) і „Розробка, розвиток і удосконалення теорії і способів імітаційного моделювання і натурно-імітаційних експериментів для створення перспективних енергогенеруючих комплексів” (№ ДР 0103U001505), де здобувач була виконавцем окремих розділів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності і надійності виробництва електричної і теплової енергії енергоблоками електростанцій шляхом застосування в їхніх АСУТП математичних методів, моделей і програмних засобів автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів, що враховують показники надійності. Для досягнення цієї мети були поставлені і вирішені наступні основні задачі наукового дослідження:

– проведення аналізу сучасних математичних моделей функціонального стану теплоенергетичних об'єктів та існуючих методів розрахунку їхньої надійності з точки зору можливості застосування для автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків електростанцій;

– удосконалення методу розрахунку надійності технологічних систем енергоблоків електростанцій на основі застосування показнику імовірності безвідмовної роботи логіко-структурних схем технологічних процесів;

– розробка математичних моделей функціонального стану енергоблоків електростанцій, надійності їхніх технологічних систем і методу прогнозування величин виробки електричної і теплової енергії за заданий період експлуатації, на основі яких здійснюються математична постановка і розв’язання задачі автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів з урахуванням надійності;

– розробка алгоритмічного, інформаційного і програмного забезпечення процедури автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків для вимірювально-обчислювальних комплексів АСУТП на основі аналізу параметрів функціонального стану і показників надійності;

– проведення аналізу впливу структур і параметрів схем при управлінні технологічними процесами регенерації і теплофікації енергоблоків атомних електростанцій на показники виробки електричної і теплової енергії і надійність для різних умов експлуатації.

*Об’єктом дослідження* дисертаційної роботи є процеси функціонування технологічних систем енергоблоків теплових та атомних електростанцій, що беруть участь у виробництві електричної і теплової енергії.

*Предметом дослідження* є методи, моделі, алгоритми і засоби автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків електростанцій, що дозволяють визначити вплив структур і параметрів схем у період експлуатації на показники виробки електричної і теплової енергії і надійність.

*Методи дослідження.* При моделюванні функціонального стану паротурбінних установок енергоблоків використані статистичні методи проведення та обробки за допомогою регресивного аналізу результатів чисельного багатofакторного експерименту, чисельні методи лінійної алгебри, методи диференціального та інтегрального числення; при моделюванні надійності схем технологічних процесів енергоблоків електростанцій і прогнозування величин виробки електричної і теплової енергії використані методи теорії імовірності і теорії надійності; при розробці програмного забезпечення використано об’єктно-орієнтований підхід до системного програмування.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У процесі досягнення мети і розв’язання задачі дослідження у дисертаційній роботі були одержані наступні наукові результати:

– одержали подальший розвиток математичні моделі функціонального стану паротурбінних установок електростанцій, що дозволяють на основі лінійних багатofакторних залежностей оперативно визначати зміни техніко-економічних показників виробки електричної і теплової енергії у функції від змін схемно-технологічних факторів експлуатації;

– одержав подальший розвиток метод розрахунку надійності технологічних систем енергоустановок електростанцій, що базується на розрахунку імовірності безвідмовної роботи логіко-структурних схем технологічних процесів із послідовним і паралельним з'єднанням нерезервованих і резервованих елементів із різними кратностями резервування, інтенсивностями відмов і відновлень;

– вперше розроблено метод автоматизованого оперативного вибору структур і параметрів схем технологічних процесів паротурбінних енергоустановок з урахуванням їхньої надійності на основі застосування лінійних багатофакторних моделей функціонального стану установок і розрахунку імовірності безвідмовної роботи елементів схем;

– вперше розроблено метод прогнозування величин виробки електричної і теплової енергії енергоблоками електростанцій, заснований на застосуванні лінійних моделей їхнього функціонального стану, методу розрахунку надійності схем технологічних процесів і методу виявлення по критеріям серій та інверсій трендів значень параметрів, що визначають надійність енергетичного устаткування.

**Практичне значення одержаних результатів** складається з того, що на основі розроблених інженерних методів, моделей, алгоритмів і програм автоматизованого оперативного вибору схем може бути вирішене широке коло конкретних задач при управлінні технологічними процесами паротурбінних енергоблоків по підвищенню ефективності, надійності і безпеки експлуатації теплових та атомних електростанцій. Зокрема, для енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт: визначено вплив змін структур і параметрів схеми процесу регенерації на електричну потужність, теплову економічність, надійність та очікувану виробку електричної енергії; отримані і проаналізовані залежності впливу зміни значень температури живильної води на вході в парогенератори на експлуатаційні характеристики системи „ядерний реактор-парогенератори-турбоустановка” з урахуванням показників надійності; проведені розрахунок і аналіз впливу режимів роботи турбоустановок К-1000-60/1500 на експлуатаційні діапазони системи теплофікації з урахуванням показників надійності і визначені безпечні теплові навантаження мережних підігрівників, що забезпечують надійність роботи всієї теплофікаційної установки; визначено вплив змін структур і параметрів схеми процесу теплофікації на електричну потужність, теплову економічність, надійність та очікувану виробку теплової енергії.

Результати досліджень використані в ЗАТ ТЕЦ-3 м. Харкова, що підтверджується прикладним актом про впровадження, а також у навчальному процесі кафедри парогенераторобудування НТУ „ХП”.

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати дисертації, що виносяться на захист, одержані здобувачем самостійно. У роботах, написаних та опублікованих у співавторстві, здобувачу належать наступні результати: сформульована математична постановка задачі автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків з урахуванням надійності

устаткування, що визначається на основі розрахунку імовірності безвідмовної роботи; розроблені лінійні багатофакторні математичні моделі величин виробки електричної і теплової енергії і питомої витрати теплоти енергоблоків; для рішення задач прогнозування величин виробки електричної і теплової енергії енергоблоками запропоновано застосування методу виявлення по критеріям серій та інверсій трендів значень параметрів, що визначають надійність енергетичного устаткування; розроблено алгоритмічне, інформаційне і програмне забезпечення процедури автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів паротурбінних енергоустановок на етапі експлуатації; визначено вплив конфігурацій схеми процесу теплофікації теплоенергетичних установок АЕС потужністю 1000 МВт на надійність та очікувану виробку теплової енергії; визначені критерії надійності при автоматизованому контролі стану систем водопідготовки ТЕС.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Результати дисертаційної роботи доповідалися на: II-й міжнародній науково-практичній конференції з проблем атомної енергетики „Надійність, безпека, ефективність теплоенергетичного устаткування АЕС”, м. Севастополь, 2003 р.; XII-й міжнародній науково-технічній конференції „Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”, м. Харків, 2004 р.; III-й міжнародній науково-практичній конференції з проблем атомної енергетики „Надійність, безпека, ефективність теплоенергетичного устаткування АЕС”, м. Севастополь, 2004 р.; V-й Всеукраїнській науково-методичній конференції з міжнародною участю „Екологія та інженерія. Стан, наслідки, шляхи створення екологічно чистих технологій”, м. Дніпродзержинськ, 2004 р.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 7 статтях у виданнях, затверджених ВАК України.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і одного додатка. Повний обсяг дисертації складає 163 сторінки машинописного тексту. Дисертаційна робота містить: 2 ілюстрації по тексту; 12 ілюстрацій на 12 сторінках; 10 таблиць по тексту; 5 таблиць на 5 сторінках; один додаток на 2 сторінках; 129 найменувань використаних літературних джерел на 13 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі дослідження, наукова новизна і практичне значення одержаних результатів, дана загальна характеристика дисертації.

**У першому розділі** проведено огляд існуючих методів системного аналізу, математичного моделювання і розрахунку надійності енергоблоків електростанцій як складних технічних систем і здійснена математична постановка задачі автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків на етапі експлуатації з урахуванням показників надійності.

Сучасні енергоблоки теплових та атомних електростанцій є складними технічними системами. Вони включають у себе безліч взаємозалежних між собою елементів різного технологічного призначення, що складають нероздільне ціле та забезпечують виконання системою складної функції у виді виробництва електричної і теплової енергії. Такі системи характеризуються багатопараметричністю, складним структурним і функціональним зв'язком параметрів, наявністю обмежень на зміну параметрів і зв'язків, функціонуванням в умовах впливу випадкових факторів, різноманіттям фізико-хімічних процесів. У зв'язку з цим, повні математичні моделі функціонального стану паротурбінних енергоблоків характеризуються великою кількістю трансцендентних відношень, містять неявні функції і є дуже вимогливими до ресурсів обчислювальної техніки. Це утрудняє їхнє застосування в АСУТП енергоблоків для оперативного вирішення задач системного аналізу ефективності експлуатації. Тому часто для вирішення експлуатаційних задач аналізу при математичному моделюванні енергоблоків застосовуються наступні методи спрощення: розподіл на більш прості технологічні підсистеми (метод декомпозиції); виділення найбільш істотних властивостей і впливів на них у параметричній формі (метод макромоделювання); лінеаризація нелінійних моделей у деякій області зміни перемінних (метод лінеаризації); приведення системи з розподіленими параметрами до системи з зосередженими; знехтування динамічними властивостями технологічних процесів.

У розділі проаналізовані існуючі методи системного аналізу і математичного моделювання, що застосовуються при виборі структур і параметрів схем технологічних процесів і режимів роботи паротурбінних енергоблоків. Розглянуті розроблені ведучими вітчизняними і закордонними організаціями різні математичні моделі, що описують функціональний стан енергоблоків, і використані в них критерії техніко-економічної оптимізації. У їхнє число входять розробки НТУ „ХПІ”, ІПМаш НАН України, ВАТ „Турбоатом”, ОНПУ, НТУУ „КПІ”, ХІПА, ХНДІКА, ІТТФ НАН України, ІЕ НАН України; НВО „ЦКТИ”, МЕІ, ВТІ, СЕІ РАН, С-Пб. ДТУ, СДТУ, УДТУ (Росія); ІПМ ПАН (Польща); E-plant™ (США) та ін. Аналіз цих та інших моделей показав, що в них при вирішенні задач вибору структур і параметрів схем технологічних процесів енергоблоків у якості цільових функцій використовуються показники потужності (електричної або теплофікаційної) і теплової економічності, а показники надійності при цьому не враховуються. Це обумовлює актуальність розробки математичних моделей функціонального стану паротурбінних енергоблоків, що враховують надійність, у тому числі і зручних для оперативного режиму застосування при управлінні технологічними процесами лінійних моделей.

У розділі також проаналізовані існуючі методи розрахунку надійності теплоенергетичних об'єктів і систем, у тому числі методи, що використовують фізико-статистичні моделі розрахунку імовірності наробки енергетичного устаткування до відмови в залежності від змін у часі його вихідних характеристик, логіко-імовірнісні методи розрахунку надійності схем на основі “дерева

відмов”, імовірнісні методи, що базуються на теорії випадкових процесів і теорії імітаційного моделювання. Аналіз цих та інших методів розрахунку надійності теплоенергетичних об’єктів показав актуальність їхнього удосконалення з точки зору застосування для автоматизованого вибору схем технологічних процесів паротурбінних енергоблоків на основі математичного моделювання функціонального стану.

Розділ завершується математичною постановкою задачі автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків з урахуванням показників надійності у виді задачі вибору з можливих конфігурацій  $\Omega_i, i = \overline{1, L}$  схеми  $\Omega_s, s \in i$ , що забезпечує прогнозований максимум виробництва електричної  $E_{\text{сmax}}(\Omega_s)$  і теплової енергії  $E_{\text{тmax}}(\Omega_s)$  на заданому інтервалі експлуатації з урахуванням вимог енергосистеми і теплових мереж.

**Другий розділ** присвячений моделюванню функціонального стану паротурбінних установок енергоблоків і математичному розв’язанню задачі автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів з урахуванням прогнозування зміни у період експлуатації теплогідравлічних параметрів і показників надійності.

Нелінійні математичні моделі функціонального стану паротурбінних установок, що визначають у неявному виді зв’язок між електричною потужністю  $N$ , тепловою потужністю  $Q$ , питомою витратою теплоти  $q$  і значеннями відхилень вектора теплогідравлічних параметрів  $\Delta X$ , являють собою систему математичних відношень.

Аналітичний вигляд залежностей  $\varphi, F$  і  $f$  складний і тому, як правило, не встановлюється. Ці залежності виявляються через рівності, нерівності, логічні умови, таблиці і т.п., що входять у математичні відношення. Тому математичні моделі (1) дозволяють одержувати тільки чисельні значення  $N_i, Q_i$  і  $q_i$  для  $i$ -го чисельного експерименту з області припустимих значень  $X$ . Виходячи з законів протікання технологічних процесів, відомо, що функції  $\varphi, F$  і  $f$  є безперервними в області припустимих значень  $X$  для фіксованих схем процесів установки і мають безперервні частні похідні по компонентам вектора  $X$ , що допускає їхню лінеаризацію. На підставі ряду попередніх досліджень, а також результатів теплових випробувань енергоблоків ТЕС та АЕС встановлено, що діаграми розсіювання  $N, Q$  і  $q$  по відхиленням компонент вектора  $\Delta X = \langle x_1 - x_{1,0}, x_2 - x_{2,0}, \dots, x_k - x_{k,0} \rangle$ , де  $X_0 = \langle x_{1,0}, x_{2,0}, \dots, x_{k,0} \rangle$  – номінальні значення параметрів, носять практично лінійний характер в області діапазонів малих відхилень при експлуатації на стаціонарних режимах. Зазначені обставини обумовили можливість одержання лінійних моделей функціонального стану паротурбінних установок у виді аналітичних залежностей між показниками роботи  $N, Q$  й  $q$  і вектором  $\Delta X$ .

На інтервалі прогнозування експлуатації енергоустановок  $\Delta t = t - t_0$  частина параметрів технологічних процесів  $k = \overline{1, r}, r \in n$  моделей (2) являє собою функції часу  $t$  через витрати надійності від-



повідних елементів схем, а інші параметри  $k = \overline{r+1, n}$  зберігаються постійними і рівними значенням у момент часу  $t_0$ . Отже, на інтервалі прогнозування виробки електричної і теплової енергії лінійні моделі функціонального стану установок можуть бути подані наступним образом.

$x_1(t), x_2(t), \dots, x_j(t), \dots, x_r(t)$  – безперервні і монотонні функції часу  $t$ , що розглядаються для устаткування енергоустановок як напіввипадкові процеси, для яких відомі апроксимації їхніх реалізацій по попередньому досвіду експлуатації. Аналіз архівів електростанцій показав, що ці апроксимації мають, як правило, лінійний або експоненціальний вид:

Починаючи з початку експлуатації устаткування в момент часу  $t_0 = 0$ , за допомогою контрольно-вимірювальних приладів спостерігаються реалізації процесів  $x_j(t)$  до часу  $t$ . За кількістю відомих реалізацій  $i$ , використовуючи функції часу  $x_j(t_i)$ , що задані дискретним способом у точках  $t_i = \overline{t_0, t}, i = \overline{0, m}$ , будується найкраща екстраполяційна крива  $x_j(t)$ , тобто знаходяться коефіцієнти апроксимуючих залежностей (4), причому кожна нова реалізація уточнює попередню. Точка перетину функції  $x_j(t)$  з заданою межею  $g_i$ , що визначає її граничне значення виходячи з техніко-економічних показників установки або безпеки, інтерпретується як наробка устаткування до відмови. У залежності від виглядів апроксимації (4) були одержані лінійні моделі функціонального стану установок з урахуванням прогнозування зміни на інтервалі  $\Delta t = t - t_0$  параметрів технологічних процесів, що визначають надійність устаткування.

У якості показника надійності схем технологічних процесів енергоблоків  $R(t)$  обрана імовірність їхньої безвідмовної роботи (ІБР) на експлуатаційних режимах. У розділі розглянуті принципи побудови логіко-структурних схем технологічних процесів паротурбінних енергоблоків, що складаються з послідовного і паралельного з'єднання елементів із різними кратностями резервування без відновлення і з відновленням, і формули розрахунку їхніх ІБР. Запропонована модель розрахунку ІБР для енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт.

Кількість виробленої електричної  $E_e$  і теплової енергії  $E_t$  на інтервалі прогнозування  $\Delta t$  можна представити у виді.

Тоді задача оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків з урахуванням надійності записується.

Замінюючи в (8) підінтегральні вирази відповідними залежностями (5) або (6), одержимо математичне розв'язання задачі автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків на основі аналізу функціонального стану і надійності устаткування:

**У третьому розділі** приведено методичне, алгоритмічне, інформаційне і програмне забезпечення моделей розрахунку надійності схем енергоблоків, прогнозування величин виробки елект-

ричної і теплової енергії та автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів для вимірювально-обчислювальних комплексів АСУТП.

Методичне, алгоритмічне й інформаційне забезпечення моделей розрахунку надійності схем технологічних процесів енергоблоків розглядалося на прикладі розрахунку ІБР схем процесів регенерації і теплофікації установки К-1000-60/1500.

Устаткування енергоблоку, яке не належить схемі регенерації (парогенератори, циліндри турбіни, конденсатори та ін.), умовно об'єднано в систему  $S$ ; окремо виділені елементи, що є резервованими.

У відповідності з логіко-структурною схемою розрахунок ІБР енергоблоку  $R(t)$  з урахуванням надійності системи регенерації в загальному випадку здійснюється по формулі.

$\lambda$  – інтенсивності відмов елементів. У формулі (12) враховані розрахунки ІБР елементів, що є резервованими системами з кратностями резервування 1 з 2-х і 2 з 3-х з відновленням по каналам і без відновлення. Аналогічним способом були одержані формули розрахунку ІБР енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт з урахуванням надійності системи теплофікації. Значення інтенсивностей відмов і відновлень для різного енергетичного устаткування були одержані на основі аналізу опублікованих даних.

Для прогнозування величин виробки електричної і теплової енергії за допомогою моделей (9) або (10) необхідно виявити параметри  $x_j(t), j = \overline{1, r}$ , що змінюються у період експлуатації, і знайти коефіцієнти  $c_k, \gamma_k$  або  $\alpha_k, \beta_k$ . З цією метою запропоновано використовувати методи аналізу випадкових даних, і зокрема метод виявлення трендів параметрів по критеріям серій та інверсій. Ці критерії дозволяють по значенням  $x_j(t)$ , що послідовно надходять під час експлуатації в систему реєстрації даних АСУТП від контрольних-вимірювальних приладів, визначити момент виявлення трендів  $t_0$ . Застосовуючи до цих значень методи апроксимації, починаючи з моменту  $t_0$ , визначаються коефіцієнти  $c_k, \gamma_k$  для моделей (9) або  $\alpha_k, \beta_k$  для моделей (10).

Для процедури автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків з урахуванням показників надійності запропоновані математичні форми завдання й обробки динамічної і статичної інформації, що надходить під час експлуатації в базу даних АСУТП, яка необхідна для побудови алгоритмів і програм моделей (9), (10). До динамічної інформації відносяться: значення параметрів  $x_j(t)$  що, починаючи з моменту  $t_0$ , задаються у вигляді матриці даних  $X(r \cdot (m+1))$ ; матриця  $S$ , що описує за допомогою спеціальної кодировки зв'язок між елементами логіко-структурної схеми розрахунку ІБР; значення ІБР варіантів схем технологічних процесів у виді  $R = R_j(t), j = \overline{1, r}, i = \overline{0, m}$ . До статичної інформації відносяться вектори коефіцієнтів  $a_k, d_k, b_k$  моделей (9), (10) і вектори інтенсивностей відмов і відновлень устаткування  $\Lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r)$  і  $M = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_r)$ . У розділі приведені розроблені блок-схеми й алгоритми програмного забезпечення процедури авто-

матизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків на основі інформації баз даних АСУТП.

**Четвертий розділ** присвячений аналізу впливу структур і параметрів схем при управлінні технологічними процесами регенерації і теплофікації енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт на їхні техніко-економічні показники і надійність експлуатації.

Аналіз впливу конфігурацій схеми процесу регенеративного підігріву основного конденсату і живильної води установки К-1000-60/1500 проводився по результатам досліджень (на основі моделей (2), (8), (11), (12)) впливу на електричну потужність, питому витрату теплоти, надійність і очікувану виробку електроенергії послідовного виключення з початкової схеми підігрівників високого і низького тисків (ПВТ і ПНТ) і зміни кількості і місць установки дренажних насосів ПНТ. Найбільш очікувана виробка електроенергії на інтервалі часу 8000 ч (оптимістична оцінка тривалості безупинної експлуатації енергоустановок АЕС) відповідає варіанту схеми з виключенням П4 ( $E_c = 5779 \cdot 10^3$  МВт·г), а найменш – з виключенням П2 ( $E_c = 5736 \cdot 10^3$  МВт·г). Аналіз розрахунків 16 технологічно можливих варіантів схем із зміною кількості і місць установки дренажних насосів ПНТ показав, що найбільш очікувана виробка електроенергії відповідає каскадній схемі зливу дренажів у конденсатор без дренажних насосів ( $E_c = 6980 \cdot 10^3$  МВт·г), а найменш – схемі з чотирма дренажними насосами, що закачують дренажі гріючої пари кожного з ПНТ у лінію основного конденсату після підігрівника ( $E_c = 5423 \cdot 10^3$  МВт·г).

Дослідження впливу температури живильної води на вході в парогенератори на електричну потужність, питому витрату теплоти і надійність енергоблоків проводилися при двох різних початкових передумовах: перемінній і постійній тепловій потужності реактору. Вплив температури живильної води на питому витрату теплоти виявляється більш сильним при постійній тепловій потужності реактору, що пояснюється погіршенням робочого циклу паротурбінної установки. Аналіз отриманих залежностей показав, що оптимум температури живильної води для енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт знаходиться вище 225 °С, прийнятих у них на підставі техніко-економічних розрахунків без урахування показників надійності.

За допомогою розроблених моделей були проведені дослідження впливу режимних і експлуатаційних факторів на надійність роботи схеми технологічного процесу теплофікації установок К-1000-60/1500 (рис. 1) у діапазоні електричних навантажень 45÷100 %  $N$ . У якості обмежень теплового навантаження мережних підігрівників системи теплофікації приймалися наступні фактори: необхідний температурний графік прямої і зворотної мережної води і показники надійності у виді тривалостних і вібраційних характеристик патрубків відборів турбіни і паропроводів, що обмежують швидкість гріючої пари значенням 70 м/с. Виявлені діапазони температур навколишнього повітря та електричних навантажень, в яких при оперативному управлінні параметрами процесу теплофікації необ-

хідно обмежувати або перерозподіляти теплове навантаження мережних підігрівників так, щоб не перевищувати безпечних швидкостей пари, що гріє.

Аналіз впливу конфігурацій схеми процесу теплофікації, що забезпечує підвищену теплофікаційну потужність до  $Q=520$  МВт, проводився по результатам досліджень впливу на електричну потужність, питому витрату теплоти, надійність і очікувану виробку теплової енергії змін кількості і місць установки мережних підігрівників, охолоджувачів дренажів і дренажних насосів. Аналіз розрахунків 13 технологічно можливих варіантів схем системи теплофікації показав, що найкращою є схема з чотирьох мережних підігрівників, що живляться гріючою парою з VI, V, IV і III відборів турбіни, яка має каскадну схему зливу дренажів у конденсатор без дренажних насосів. На інтервалі часу опалювального періоду 5000 г очікувана максимально можлива виробка теплової енергії енергоблоком з такою схемою системи теплофікації складе  $E_t = 8037 \cdot 10^3$  ГДж.

У додатку приведені документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи, а також їхнє використання у навчальному процесі.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача розробки методів, моделей, алгоритмів і програм для автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків електростанцій з урахуванням показників надійності. Основні результати і висновки дисертаційної роботи полягають у наступному.

1. Проведено аналіз сучасних математичних моделей функціонального стану теплоенергетичних об'єктів та існуючих методів розрахунку їхньої надійності з точки зору можливості застосування для автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків електростанцій. Показана актуальність розробки нових і удосконалення існуючих методів і підходів до створення математичних моделей функціонального стану паротурбінних енергоблоків, які враховують показники надійності і можуть бути застосовані в АСУТП.

2. Запропоновано звести математичну постановку задачі автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків з урахуванням показників надійності до постановки задачі вибору структур і параметрів схем, що забезпечують прогнозований максимум виробництва електричної і теплової енергії на заданому тимчасовому інтервалі експлуатації з урахуванням вимог енергосистеми і теплових мереж.

3. Показано, що аналітичні залежності, які описують вплив зміни теплових і гідравлічних параметрів технологічних процесів на основні техніко-економічні показники виробки електричної і теплової енергії енергоблоків електростанцій на стаціонарних режимах експлуатації, можуть бути подані у виді лінійних багатофакторних моделей. Обрані основні теплогідравлічні параметри

енергоблоків, що можуть розглядатися як схемно-технологічні фактори у лінійних моделях оцінки їхнього функціонального стану під час експлуатації.

4. Розроблені вірогідні математичні моделі функціонального стану паротурбінних установок енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт, які дозволяють під час експлуатації оперативно визначати на режимах роботи, що близькі до номінального, зміни величин виробки електричної і теплової енергії і питомої витрати теплоти в залежності від прогнозованих по лінійному або експоненціальному законам змін схемно-технологічних факторів.

5. Одержав подальший розвиток метод розрахунку надійності технологічних систем енергоблоків, що базується на розрахунку імовірності безвідмовної роботи логіко-структурних схем технологічних процесів з послідовним і паралельним з'єднанням нерезервованих і резервованих елементів з різними кратностями резервування, інтенсивностями відмов і відновлень.

6. Розроблені математичні моделі, що призначені для розв'язання задач автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів паротурбінних енергоблоків на основі аналізу параметрів функціонального стану і надійності устаткування по показнику імовірності безвідмовної роботи.

7. Запропоновані логіко-структурні схеми і моделі розрахунку імовірності безвідмовної роботи технологічних систем енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт і розроблено алгоритмічне й інформаційне забезпечення моделей систем регенерації і теплофікації для застосування в АСУТП.

8. Розроблені метод і алгоритмічне й інформаційне забезпечення прогнозування величин виробки електричної і теплової енергії турбоустановками енергоблоків за заданий період експлуатації на основі застосування методу виявлення по критеріям серій та інверсій трендів значень параметрів, що визначають надійність енергетичного устаткування, і наступного застосування методів апроксимації.

9. Розроблено алгоритмічне, інформаційне і програмне забезпечення процедури автоматизованого вибору схем технологічних процесів паротурбінних енергоблоків для вимірювально-обчислювальних комплексів АСУТП, що дозволяє в оперативному режимі здійснювати вибір раціональних схем технологічних процесів.

10. За допомогою розроблених методів, моделей, алгоритмів і програм процедури автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів вирішені задачі, що мають практичне значення для підвищення ефективності і надійності експлуатації енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт. Зокрема, визначено вплив змін структур і параметрів схем при управлінні процесами регенерації і теплофікації на показники виробки електричної і теплової енергії і надійність і запропоновані раціональні схеми цих технологічних процесів для різних умов експлуатації.

11. Практичне значення результатів роботи підтверджено актом про впровадження розроблених методів і моделей на ТЕЦ-3 м. Харкова, а також довідкою про їхнє використання у навчальному процесі кафедри парогенераторобудування НТУ „ХП”.

### Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Садыкова Л.С., Ефимов А.В., Зевин Л.И. Подход к структурно-параметрической оптимизации тепловых схем энергоблоков электростанций с учетом надежности их оборудования // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2002. – № 20. – С. 196-199.

Здобувачем сформульована математична постановка задачі автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів енергоблоків з урахуванням надійності.

2. Молль Л.С. Применение метода параметрической надежности в задачах выбора тепловых схем турбоустановок энергоблоков ТЭС и АЭС на этапе их эксплуатации // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2003. – № 18. – С. 159-164.

3. Ефимов А.В., Иглин Ю.С., Молль Л.С., Соловей О.И. Анализ различных методов расчета коэффициентов теплоотдачи при конденсации пара из парогазовой среды // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2004. – № 11. – С. 69-74.

Здобувачем проведено аналіз параметрів теплообмінного устаткування енергоблоків, що впливають на його надійність.

4. Ефимов А.В., Молль Л.С., Есипенко Т.А., Гаркуша Т.А. Моделирование величины выработки электрической энергии и удельного расхода теплоты на энергоблоках электростанций // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2004. – № 36. – С. 153-156.

Здобувачем отримані лінійні багатофакторні моделі величин виробки електроенергії і питомої витрати теплоти і запропоновано застосування методу виявлення по критеріям серій та інверсій трендів значень параметрів, що визначають надійність устаткування.

5. Ефимов А.В., Зевин Л.И., Молль Л.С., Гаркуша Т.А. Информационное и алгоритмическое обеспечение автоматизированного решения задач синтеза схем технологических систем турбоустановок на этапе эксплуатации // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2004. – № 38. – С. 22-28.

Здобувачем розроблено інформаційне й алгоритмічне забезпечення процедури автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів турбоустановок.

6. Ефимов А.В., Молль Л.С., Гаркуша Т.А., Есипенко Т.А. Синтез перспективных систем теплофикации теплоэнергетических установок АЭС мощностью 1000 МВт с учетом надежности // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2004. – № 34. – С. 107-112.

Здобувачем визначено вплив конфігурацій схем процесу теплофікації на показники установок.

7. Ефимов А.В., Мелашенко И.А., Каверцев В.Л., Литвиненко И.И., Молль Л.С. и др. Автоматизированный контроль общего содержания хлора в системе водоподготовки ТЭС с целью по-

вышения надежности и безопасности // Интегрированные технологии та енергозбереження. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2004. – № 3. – С. 27-29.

Здобувачем визначені критерії надійності при автоматизованому контролі стану систем водопідготовки ТЕС.

### АНОТАЦІЇ

**Молль Л.С.** Автоматизований оперативний вибір схем технологічних процесів енергоблоків електростанцій з урахуванням показників надійності. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів. Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2004.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності і надійності виробництва електричної і теплової енергії енергоблоками електростанцій шляхом застосування в АСУТП математичних методів, моделей і програмних засобів автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів, що враховують показники надійності. Одержали подальший розвиток математичні моделі функціонального стану паротурбінних установок електростанцій, що дозволяють на основі лінійних багатofакторних залежностей оперативно визначати зміни техніко-економічних показників виробки електричної і теплової енергії у функції від змін схемно-технологічних факторів експлуатації, що прогнозуються. Запропоновані метод і моделі розрахунку надійності технологічних систем енергоблоків, що базуються на розрахунку імовірності безвідмовної роботи логіко-структурних схем технологічних процесів з послідовним і паралельним з'єднанням нерезервованих і резервованих елементів з різними кратностями резервування, інтенсивностями відмов і відновлень. Розроблені метод, алгоритмічне й інформаційне забезпечення прогнозування величин виробки електричної і теплової енергії, які засновані на застосуванні моделей функціонального стану енергоблоків, методу розрахунку надійності схем і методу виявлення по критеріям серій та інверсій трендів значень параметрів, що визначають надійність енергетичного устаткування. Розроблені метод, інформаційне, алгоритмічне та програмне забезпечення для АСУТП енергоблоків процедури автоматизованого оперативного вибору схем технологічних процесів з урахуванням надійності на основі застосування лінійних багатofакторних моделей функціонального стану і розрахунку імовірності безвідмовної роботи елементів схем. Досліджено вплив структур і параметрів схем при управлінні процесами регенерації і теплофікації енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт на показники і надійність експлуатації.

**Ключові слова:** автоматизація, технологічні процеси, оперативний вибір, схеми енергоблоків, надійність, прогнозування, управління.

**Молль Л.С.** Автоматизированный оперативный выбор схем технологических процессов энергоблоков электростанций с учетом показателей надежности. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация технологических процессов. Национальный технический университет „Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2004.

Диссертация посвящена повышению эффективности и надежности производства электрической и тепловой энергии энергоблоками электростанций путем применения в их АСУТП математических методов, моделей и программных средств автоматизированного оперативного выбора схем технологических процессов, учитывающих показатели надежности. Проведен обзор существующих методов системного анализа, математического моделирования и расчета надежности энергоблоков как сложных технических систем. Осуществлена математическая постановка задачи автоматизированного оперативного выбора схем технологических процессов энергоблоков с учетом показателей надежности в виде задачи выбора схемы, обеспечивающей прогнозируемый максимум производства энергии на заданном временном интервале эксплуатации с учетом требований энергосистемы и тепловых сетей. Получили дальнейшее развитие математические модели функционального состояния паротурбинных установок, позволяющие на основе линейных многофакторных зависимостей определять изменения технико-экономических показателей выработки электрической и тепловой энергии в функции от прогнозируемых изменений факторов эксплуатации. Разработаны математические модели турбоустановок К-1000-60/1500 энергоблоков АЭС, дающие возможность во время эксплуатации оперативно определять на режимах работы, близких к номинальному, изменения их электрической и тепловой мощности и удельного расхода теплоты в зависимости от прогнозируемых изменений параметров технологических процессов, определяющих надежность оборудования. Для расчета надежности технологических систем энергоблоков предложено применение метода, базирующегося на расчете вероятности безотказной работы логико-структурных схем их технологических процессов с последовательным и параллельным соединением нерезервированных и резервированных элементов с различными кратностями резервирования, интенсивностями отказов и восстановлений. Получены формулы расчета вероятности безотказной работы для энергоблоков АЭС мощностью 1000 МВт с учетом надежности схем процессов регенерации и теплофикации. Разработаны метод, алгоритмическое и информационное обеспечение прогнозирования величин выработки электрической и тепловой энергии энергоблоками на основе применения моделей их функционального состояния, метода расчета надежности схем и метода выявления по критериям серий и инверсий трендов значений параметров, определяющих надежность энергетического оборудования. Разработан метод автоматизированного оперативного выбора схем технологических процессов энергоблоков с учетом их надежности на основе применения линейных многофакторных моделей функционального состояния и расчета вероятности безотказной работы и предложены математические модели, реализующие этот метод. Разработано алгоритмическое, информационное и программное обеспечение процедуры автома-



тизированного оперативного выбора схем технологических процессов для измерительно-вычислительных комплексов АСУТП энергоблоков. Исследовано влияние структур и параметров схем при управлении технологическими процессами регенерации и теплофикации энергоблоков АЭС мощностью 1000 МВт на технико-экономические показатели и надежность эксплуатации. Определено влияние конфигураций схем этих процессов на электрическую мощность, тепловую экономичность, надежность и ожидаемую выработку электрической и тепловой энергии. Получены и проанализированы зависимости влияния изменения температуры питательной воды при управлении процессом регенерации на основные эксплуатационные характеристики энергоблоков без учета и с учетом показателей надежности. Проведен расчет и анализ влияния режимов работы установок К-1000-60/1500 на эксплуатационные диапазоны системы теплофикации и определены безопасные тепловые нагрузки сетевых подогревателей, обеспечивающие надежность их работы.

**Ключевые слова:** автоматизация, технологические процессы, оперативный выбор, схемы энергоблоков, надежность, прогнозирование, управление.

**Moll L.S.** Automatized effective option of schemes of power station blocks technological processes with taking indicators of reliability into account. – Manuscript.

Thesis on receiving of technical science candidate rank in speciality 05.13.07 – automatization of technological processes. National technical university „Kharkov polytechnical institute”, Kharkov, 2004.

Thesis is devoted to improvement of efficiency and reliability of electric and heat energy production by power station blocks in a way of using mathematical methods, models and program facilities of automatized effective option of technological processes schemes in ASCTP that taking indicators of reliability into account. Further development of mathematical model of functional state of power station steam-turbine installations was obtained. This allows to determine promptly mathematical changing's of technical and economic indicators of electric and heat energy production on basis linear multifactors dependences in functional change of scheme and technological factors of exploitation, which is predicted. The method and calculation models of power blocks technological systems reliability on basis calculation of with fault operation likelihood of technological process logical and structural schemes were proposed. The method, algorithm and information support of predicting electric and heat energy was developed. The method, information, algorithm and program support for ASCTP power blocks of procedure of automatized effective option of schemes of technological processes with taking reliability into account were designed. Influence of structures and scheme parameters during controlling regeneration processes and heatfication of nuclear power station blocks with 1000 Mv power on indicators and reliability of exploitation was researched.

**Key words:** automatization, technological processes, effective option, power blocks schemes, reliability, prediction, control.