

Втореср
0-58

Контрольний екземпляр Н
ОДЕСЬКИЙ ІНСТИТУТ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

На правах рукопису

ОНИЩЕНКО Олег Анатолійович

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
ХОЛОДИЛЬНО-ОСУШУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ

Спеціальність 05.04.03 - Машини та апарати холодильної та
криогенної техніки і систем кондиціонування;
05.09.03 - Електричні комплекси та системи,
включаючи їх управління та регулювання

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 1993

ОДЕСЬКИЙ ІНСТИТУТ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

На правах рукопису

ОНИЩЕНКО Олег Анатолійович

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
ХОЛОДИЛЬНО-ОСУШУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ

Спеціальність 05.04.03 - Машини та апарати холодильної та
криогенної техніки і систем кондиціонування;
05.09.03 - Електричні комплекси та системи,
включаючи їх управління та регулювання

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ПЕРЕОБЛІК

20 14 р.

xv 715

ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Одеса - 1993

Роботу виконано на кафедрі автоматизованих систем управління у холодильному та криогенному машинобудуванні Одеського інституту низькотемпературної техніки та енергетики

Науковий керівник : кандидат технічних наук,
професор ЛОМАНІН В.Ф.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
професор КОХАНСЬКИЙ А.І.

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник ОЛІЙНИЧЕНКО В.Т.

Провідна організація: АНВО "ОДЕСХОЛОДМАШ"

Захист дисертації відбудеться "27" грудня 1993 р. о "13" год. "00" хвил. на засіданні спеціалізованої ради П.СР.27.01 при Одеському інституті низькотемпературної техніки та енергетики за адресою: 270100, м. Одеса, вул. Петра Великого, 1/3, ОІНТЕ.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту.

Автореферат розіслано "23" листопада 1993 р.

Учений секретар
спеціалізованої ради,
д.т.н., професор

Р.К. Нікульшин

Бих. N 20-03-430

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Досягнення високого рівня технічних характеристик сучасних авіаційних двигунів неможливе без їх випробувань та доведення на спеціальних експериментальних стендах. Складовою частиною таких стендів є холодильно-осушувальні станції (ХОС), які дозволяють імітувати на Землі висотні умови польоту. За нашого часу, у зв'язку з різким збільшенням енергозоборосності та конструкційної складності авіаційних двигунів, алгоритми випробувань на ХОС значно ускладнені при більш жорстких вимогах до кількісних та якісних характеристик повітря, яке кондиціонується. Резерви ж підвищення енергетичної ефективності значних холодильних установок (ХУ) за рахунок підвищення теплового ККД циклу, вдосконалення конструкцій теплообмінних апаратів (ТА) та теплових схем в значній мірі вичерпано.

Враховуючи обмеження на витрати енергоносіїв, актуальним та найбільш реальним шляхом досягнення успіхів в галузі підвищення енергетичної ефективності вже діючого холодильного обладнання, підвищення холодопродуктивності значних ХУ є оптимізація їх функціонування в статичних та динамічних режимах роботи. Найближчим часом перед Україною, що є країною-літакобудівником, постануть проблеми самостійного проведення досліджень нових зразків аерокосмічного обладнання та його силових установок, що пов'язано з необхідністю виходу на світовий ринок та з високими цінами на наземні випробування за кордоном.

Мета роботи. Підвищення енергетичної ефективності значних автоматизованих ХОС нового покоління, призначених для проведення випробувань експериментальних та покращення характеристик існуючих зразків авіаційних двигунів, в умовах широких змін теплових навантажень та керуючих дій.

Об'єкт досліджень є двоступенева холодильна турбокомпресорна установка (ДХТУ) типу DR-VI-2A, що входить до складу ХОС і працює у діапазоні входних параметрів повітря: $G_p = (10 \dots 45)$ кг/с, $T_p = (283 \dots 318)$ К, $P_p = (0,15 \dots 0,3)$ МПа, $d_p = (5 \dots 16)$ г/кг з холодопродуктивністю $Q_0 \approx 6,5$ МВт. Завданням ДХТУ є охолодження повітря до 238 К при вологості на виході до 0,06 г/кг у вказаних діапазонах витрати стиснутого повітря.

Поставлена мета досягнена за рахунок:
- підвищення якості нестационарних процесів, що протікають в ос-

новних ТА та турбокомпресорі (ТК) ДХТУ, при відпрацюванні різноманітних збурюючих та керуючих дій;

- зниження часу роботи ДХТУ в пусконаладжувальному режимі.

Методи досліджень базуються на методах ідентифікації, численого моделювання, теплопередачі та теорії автоматичного управління. Отримані рішення представлено у вигляді аналітичних та графічних залежностей, вигодою яких оцінено методами натурного та імітаційного експерименту.

Наукова новизна роботи міститься в розробці методик ідентифікації та досліджень нестационарних характеристик ТА, в постановці та розв'язку задач оптимізації роботи систем керування значної ХУ, в розробці імітаційних моделей ТА та їх автоматичних систем регулювання (АСР).

Наукові положення, що захищаються в роботі.

1. Оптимізація нестационарних процесів в теплообмінних апаратах значних автоматизованих холодильно-осушувальних станцій здійснюється формуванням екстремальних критеріїв якості, що дозволяє при випробуваннях авіаційних двигунів, які характеризуються різкозмінними тепловими навантаженнями та керуючими діями, підвищити енергетичну ефективність станцій в основному за рахунок зниження часу виходу на стаціонарні режими роботи.

2. Енерговитрати та час, потрібні для проведення експериментів по означенню динамічних параметрів теплообмінних апаратів в значних холодильних установках, зменшуються за рахунок використання експериментально-аналітичної методики, основаної на положенні про достатність N активних дій для означення N шуканих параметрів.

На захист також винесено: методика та формули прямих оцінок якості нестационарних процесів; номограми для розрахунку настроювання типових АСР ТА; структурна схема АСУ ТП та імітаційна математична модель (ІММ) ділянки охолодження та осушення повітря установки DR-IV-2A.

Основні наукові результати, які виносяться на захист.

1. Нова експериментально-аналітична методика ідентифікації динамічних властивостей ТА.

2. Нові формули та зв'язки між різноманітними прямими методами оцінок якості нестационарних процесів в ТА.

3. Нові зв'язки між типовою коливальною ланкою, що апроксимує динамічні властивості ТА, та коефіцієнтами настроювання типових регуляторів: нові номограми для розрахунку коефіцієнтів

настроювань типових АСР ТА.

4. Методика побудови ІММ ХОС для створення запропонованої оптимальної за умовами енергоспоживання АСУ ТП охолодження повітря.

5. Алгоритми функціонування цифрових регуляторів, застосування яких дозволяє суттєво підвищити якість нестационарних процесів в ТА, при широких діапазонах змін теплових навантажень та керуючих дій.

Практична цінність дослідження полягає в розробці інженерних методик, які дозволяють простими засобами ідентифікувати параметри ТА, підвищити якість нестационарних процесів в ТА, зменшити енерговитрати та час, необхідні на пусконаладжувальні роботи в системах регулювання ДХТУ.

Апробація та впровадження результатів дослідження. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 57, 58 та 59-й науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ОІНТЕ (Одеса, 1988-1992 роки), спільних нарадах та семінарах кафедри автоматизованих систем управління у холодильному та криогенному машинобудуванні ОІНТЕ і відділу 477 філії Центрального інституту авіаційного двигунобудування (ЦІАД) ім. П.І. Баранова (Москва-Одеса, 1987 - 1993 роки), Міжреспубліканської науково-технічної конференції "Математичне моделювання та оптимізація промислового і транспортного теплообмінного обладнання" (Севастополь, 1990 р.), Всесоюзній науково-технічній конференції "Холод - народному господарству" (С.-Петербург, 1991 р.), Міжреспубліканській науково-практичній конференції "Вдосконалення холодильної техніки та технології для ефективного збереження та переробки сільськогосподарської продукції" (Краснодар, 1992 р.).

Основні результати роботи впроваджені в ЦІАД ім. П.І. Баранова та в цеху З Білгород-Дністровського заводу медичних виробів у межах госпдоговорних НДР. Ряд результатів дисертації використовується в учбовому процесі - курсовому та дипломному проектуванні студентів із фаху 21.03.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 6 праць.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. В роботі міститься 115 сторінок основного тексту, 41 рисунок та 5 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі відзначено актуальність роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено висноски на захист основних наукових результатів та положення.

В першому розділі розглянуто ряд передпосилок енергетичного характеру щодо застосування керуючих ЕОМ в значних ХУ. З урахуванням властивостей установки DR-IV-2A проаналізовано роботу дворівневої АСУ ТП охолодження повітря та локальних АСР в режимах роботи з ЕОМ-порадником оператора. Відзначено можливість підвищення енергетичної ефективності установки за рахунок поліпшення якості нестационарних процесів в основних ТА.

Проведено огляд проблем, які виникають при дослідженнях динаміки апаратів холодильної техніки (ХТ). Відзначено існування різноманітних коефіцієнтів, що характеризують якість нестационарних процесів - степені згасання ψ , перерегулювання σ , відношення γ найближчих амплітуд одного знаку та інших, по яких синтезуються АСР ТА. Вказано, що вже на стадії проектування виникають неоднозначні оцінки динаміки ТА в замкненій системі.

Проаналізовано різні методи естимачі параметрів передавальних функцій (ПФ), що списують процеси в ТА; розглянуто методи апроксимачі експериментальних перехідних функцій ТА та визначені вади інтегральних методів естимачі параметрів. Відзначено, що жоден з відомих методів не використовує естимачі критеріїв якості наслідків апроксимачі нестационарних характеристик. Визначено основні завдання праці.

В другому розділі показано, що неоднозначну задачу зв'язку між найбільш розповсюдженими в ХТ показниками якості перехідних процесів ψ та σ можливо спростити, припустивши еквівалентність вільних рухів у складній лінійній системі та у типовій коливальної ланці. З цього припущення отримані формули, що зв'язують ряд прямих показників якості. Основні з них:

$$\sigma_{\%} = \exp(-4,6 - 4\pi) \quad (1); \quad \psi = 1 - \sigma^2 \cdot 10^4 \quad (4);$$

$$\alpha = [-\ln(1 - \psi)] / 2\pi, \quad (2); \quad \alpha = [-\ln(\sigma_{\%} / 100)] / \pi, \quad (5);$$

$$\tau_{mk} = \arctg(-2\pi / \ln(1 - \psi)) + (k+1)\pi, \quad \tau_{mk} = \arctg(-\pi / \ln \sigma) + (k+1)\pi, \quad (3); \quad (6);$$

де $k=0,1,2, \dots$

дозволяють, залежно від прийнятих критеріїв оцінок якості, розрахувати відповідні ψ та σ , коефіцієнт згасання процесу α , час настання максимумів τ_{mk} . На основі (1)...(6) запропоновані оцінки якості для систем, які характеризуються складними законами зміни вихідних координат: середньогометричні перерегулювання, коефіцієнт та степінь згасання процесу. Висловлені аналітичні залежності між ψ , σ та коефіцієнтом демпфування коливальної ланки ξ :

$$\xi = \frac{abs(\ln \sigma)}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 \sigma}}, \quad (7); \quad \sigma = \exp\left(\frac{-2\pi \xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}\right), \quad (9);$$

$$\xi = abs\left(\frac{\ln(1 - \psi)}{\sqrt{4\pi^2 + \ln^2(1 - \psi)}}\right), \quad (8); \quad \psi = \exp\left(\frac{-2\pi \xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}\right), \quad (10)$$

які дозволяють вирішувати ряд задач апроксимачі характеристик та ідентифікації параметрів ТА.

Запропоновано методику апроксимачі динамічних, у тому числі і перехідних, функцій об'єктів ХТ для апіорі заданої ПФ, у якій необхідно визначити відповідні динамічні параметри. Задачу розв'язано шляхом мінімізації функціоналів, наприклад, вигляду:

$$N(\bar{A}) = \frac{1}{\tau_{em}} \int_0^{\tau_{em}} [X_o(\tau) - X_{em}(\tau, \bar{A})]^2 d\tau, \quad \text{при } \bar{A} \in \bar{U}, \quad (11)$$

які є критерієм адекватності апроксимачі. Проаналізовано різні методи пошуку екстремумів функцій багатьох змінних у вказаній постановці задачі апроксимачі. Реалізацію руху еталонної моделі $X_{em}(\tau, \bar{A})$ здійснено числовими методами; встановлено переважні методи пошуку екстремумів виду (11) та ін.

В цьому ж розділі викладено нову експериментально-аналітичну методику, яка дозволяє ідентифікувати дослідні динамічні параметри (ДП) об'єкта ХТ з використанням методів комплексних частотних характеристик (КЧХ). Основний принцип методики - ув'язання КЧХ об'єкта у виді ліній регресії: $Y_i = A + B \cdot X_i$, де визначенню належать невідомі динамічні параметри А та В. Наприклад, якщо обмежити степінь опису об'єкта до рівня ПФ коливальної ланки (при $K_0=1$), то з уведенням нових координат:

$$\{ Y_i = (\text{mod}^2 [W^{-1}(j\omega_i)] - 1) / \omega_i; \quad X_i = \omega_i^2 \}, \quad (12)$$

де ω - кутова частота, шукані параметри визначаються наступним

ми залежностями -

$$T_1 = \sqrt{B}; \quad T_2 = \sqrt{A + 2\sqrt{B}} \quad (13)$$

Таким чином, використовуючи експериментальну базу, необхідну для ідентифікації динамічних параметрів досліджуваного ТА методом КЧХ, значно зменшується кількість експериментальних точок, що пов'язано з введенням обмеження степеня ПФ та лінійним, в нових координатах, уявленням КЧХ.

В третьому розділі на прикладі розробленої моделі системи обмеження потужності ТК ДХТУ вказані додаткові спроможності: поліпшення якості нестационарних процесів в апаратах ДХТУ, які виникають за рахунок оптимізації настроювань типових АСР. Зіставлення за допомогою (1)...(6) відомих методик - Сибтехенерго, ВІІ, В.Я. Ротача та інших, виявило суттєві відзнаки між ними, що відбивається на динаміці споживання потужності ТК (див. рис. 1) при роботі даної системи.

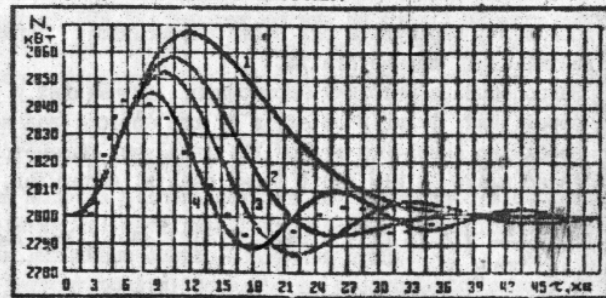


Рис. 1. Динаміка енергоспоживання ВТС ТК ДХТУ при роботі системи обмеження потужності з ПІ-регулятором, яка настроєно по методам: 1 - Сибтехенерго, 2 - В.І. Ротача, 3 - В.І. Ротача, 4 - по запропонованій методиці. - - експеримент. (Відображення збурення 3% X₀).

Для уникнення недоліків названих методик, розроблено нову, в основі якої лежить поняття розширених КЧХ (РКЧХ) та мінімаксних критеріїв якості нестационарних процесів.

Початковим для розрахунку границі області заданої степені затухання процесу ψ є відоме співвідношення:

$$W_o(m, j\omega) \cdot W_p(m, j\omega) = 1 \quad (14)$$

Для типового ПІ-регулятора $W_p(p) = (C_1 + C_0/p)$ таку область зображено на рис. 2. Жодного з відомих пакетів САПР АСР не орієнтовано на оптимізацію теплоенергетичних процесів з використанням РКЧХ. Уточнити відомі методики та номограми, вирішувати задачі оптимізації процесів в ТА з АСР запропоновано так.

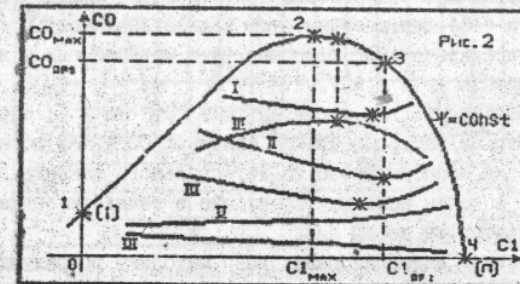


Рис. 2. Залежності показників якості динамічних процесів від параметрів настроювань регулятора. I, IV - квадратичний критерій; III, II - динамічне відхилення; V, VI - перерегулювання. Показано реакцію на стрибок: завдання - I, III, V; збурення - IV, II, VI.

1. Для нормованих до одиниці ПФ об'єкта та для регулятора записуємо РКЧХ. Після розв'язання системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{Re}_p(m, \omega) &= \operatorname{Re}_o^*(m, \omega) \\ \operatorname{Im}_p(m, \omega) &= \operatorname{Im}_o^*(m, \omega) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

де $\operatorname{Re}_p(m, \omega)$, $\operatorname{Im}_p(m, \omega)$ - дійсна та уявна частини РКЧХ регулятора, а $\operatorname{Re}_o^*(m, \omega)$ та $\operatorname{Im}_o^*(m, \omega)$ - інверсні дійсна та уявна частини РКЧХ об'єкта, збудовуємо серію областей з потрібним ступенем затухання процесу для визначеного діапазона зміни ζ_{30}/T_0 . Апроксимуємо височастотні ділянки 2-4 (див. рис. 2) отриманих областей сплайн-функціями $CO=f(C_1)$.

2. Використовуючи числову модель ТА з АСР для нормованої ПФ об'єкта організуємо пошукову процедуру, що мінімізує потрібні критерії якості процесу (див. криві I-VI на рис. 2) із значень параметрів настроювань $CO=f(C_1)$, визначених сплайном.

Мінімаксними критеріями оптимізації є будь-які з показників якості нестационарного процесу, як по збурюючому, так і по задаючому каналам дій (рис. 2, криві I-IV). Згідно обраному критерію оптимізації, по наявності пункту 2, будуються номограми.

Сумісне використання методик апроксимації характеристик та настроювань, по вимаганим показникам якості нестационарних процесів, в апаратах ХТ дозволяє суттєво покращити динамічні характеристики останніх. Наприклад, для АСР обмеження потужності ВТС ТК ДХТУ крива 4, що на рис. 1, найкраща.

З метою розширення спромож методик настроювань регуляторів ТА, типовим прийнято ПІД-регулятор та об'єкт, який описує з високою точністю динаміку кожухотрубних ТА.

$W_o(p) = [T_4 p + T_5] / [T_1 p^2 + T_2 p + T_3] \exp(-p \zeta_{30})$, (16)

де p - оператор диференціювання.

З розроблених програм рішення системи (15), сумісно з ПІД-регулятором та (16), дорівнює нулю відповідних коефіцієнтів, можна отримати близько 180 різноманітних моделей опису нестационарних процесів у ТА з АСР.

В ході досліджень, для різноманітних ψ та δ , отримані наступні номограми настроювань: по критерію $CO \rightarrow \max$; по критерію $J2 \rightarrow \min$; для пропорційного та інтегрального законів. Розрахунки кожної з точок номограм проведено з точністю визначення мінімаксних критеріїв до 10 %.

В дисертації запропоновано нову методику розрахунку настроювань типових АСР для об'єктів ХТ, що апроксимовані ПД 2-го порядку з запізненням. Ця методика дозволяє аналітично зв'язати динамічні коефіцієнти ТА і регулятора. Якщо розрахувати оптимальні по обраним критеріям параметри, наприклад, ПІ-регулятора для нормованої ПД та обумовленого ξ , то отримані результати можна розповсюдити на початкові числові значення - коефіцієнт передачі та домінуючу сталу часу T_0 ТА:

$$C1 = C1n/Ko; CO = COn/(Ko \cdot T_0) \quad (17)$$

де $C1n$ та COn - нормовані параметри настроювань ПІ-регулятора. Для побудови вузлових точок приведених в дисертації номограм, розроблено процедуру пошуку екстремумів, що розраховує серію кривих нестационарних процесів, із яких визначаються вимагання мінімаксні критерії. Усього в дослідженні приведено понад тридцять різноманітних номограм.

В роботі запропоновано ряд алгоритмів, що дозволяють суттєво поліпшити якість нестационарних процесів в основних ТА, і як наслідок, підвищити енергетичну ефективність ХОС за рахунок використання додаткових спромож керуючих БОМ ДХТУ.

Так, впровадження алгоритму перемикування структури системи стабілізації тиску конденсації суттєво покращує по всім показникам якості процеси зміни тиску. Без запропонованого алгоритма, при різкозмінних теплових навантаженнях, спостережено практично негаснучий нестационарний процес (див. рис. 3, криви 1,2).

Запропоновано також, систему регулювання тиску конденсації, що інваріантна до основних збурень з боку охолоджуючої води: температури та витрати. Відомо, обох систем закладена і в тому, що при спроможних зменшеннях температури охолоджуючої води, чи збільшеннях її витрати, автоматично западає мінімально-припустимий для цього режиму ДХТУ тиск конденсації.

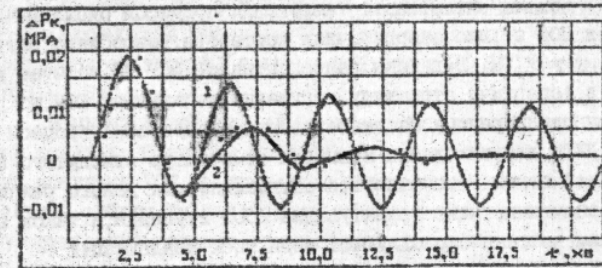


Рис. 3. Динаміка процесу стабілізації тиску конденсації у короткотривалому конденсаторі КТР-3000 ДХТУ: 1 - для АСР з ПІ-регулятором; 2 - для АСР з перемикач. структурою; * - експеримент.

На прикладі системи стабілізації рівня рідини у проміжній посудині (ПІ) запропоновано алгоритм та методику розрахунку регулювань з предикцією. Основна відомість - уявлення запізнення у вигляді розкладу в ряд ПАДА, що суттєво спрощує програмну реалізацію алгоритма роботи АСР. Методика розрахунку є розв'язком праць СМІТА та дозволяє використати класичні методи синтезу корегових ланок. Криві стабілізації рівня холодоагента у ПІ при відпрацюванні стрибкових задаючих (14 мм) та збурюючих (1% ХРО) дій приведені на рис. 4.

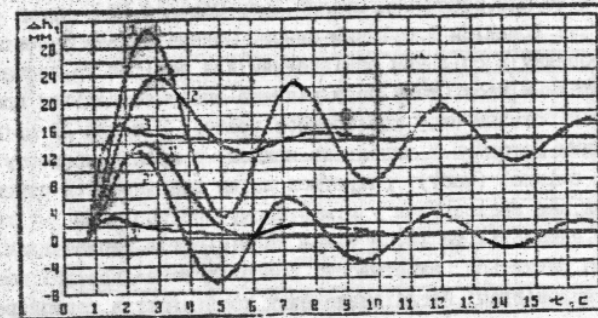


Рис. 4. Динаміка зміни рівня рідини у проміжній посудині. Відпрацювання задання: ПІ-регулятор, що реалізує оптимально по середньоквадратичному критерію; 2 - ПІ-регулятор, що реалізує оптимально по динамічному відхиленню; 3 - робота з предиктором. Відпрацювання збурення 1% ХРО: криві 1, 2, 3.

В четвертому розділі, на основі праць ГАДКОВСЬКОГО О.В., НАЛОВІНА Л.В. та інших відомих технічних рішень, зроблено пос-

тановку задачі оптимізації керування процесом охолодження повітря в ХОС згідно енергетичних критеріїв. Розроблено структурну схему АСУ ТП. Віденська запропонованої АСУ ТП полягає у вмиканні в ієрархічну структуру керування додаткової ЕОМ, що розраховує у прискореному масштабі часу нестационарні процеси в апаратах ДХТУ для заданих кінцевих температур стиснутого повітря. На цій основі визначаються оптимальні, для даного режиму роботи, значення тиску усмоктування обох ступенів, а також з урахуванням витрати охолоджуючої води, тиск конденсації.

На прикладі розробленої динамічної моделі ділянки осушування та охолодження повітря ДХТУ запропоновано методику побудови основного програмного модуля АСУ ТП - імітаційної моделі станції. Ділянка складена з двох послідовно розташованих гладкотрубного ПО ВТС та гладкотрубно-оребреного ПО НТС. Статичні коефіцієнти моделі ПО рахуються по виразах, що викладені в працях ДАНИЛОВОЇ Г.Н., ОНОСОВСЬКОГО В.В., БИКОВА О.В. Залежності термодинамічних та теплофізичних властивостей розсолів від температур апроксимовано поліномами, згідно таблиць довідника БОГДАНОВА С.Н. Властивості вологого повітря визначено по відомим виразам ХРГІАНА А.Г., таблицям ВАСЕРМАНА О.О. та ін. Динамічні властивості ПО описані ДР 2-го порядку для ПО ВТС та ДР 4-го порядку для ПО НТС з нестационарними сталими часу з запізненням. Основа для означення сталих часу моделей ПО - праці АМЕЛІНА О.Г. та ЛОМАКІНА В.Ф. Таким чином, модель ділянки описана ДР 6-го порядку з спільним запізненням для повітря та нестационарними сталими часу. Сталі часу рівнянь опису розсолних контурів дорівнені сталім часу повітряного тракту. Рішення ДР здійснено числовими методами. У моделі, на кожному з кроків приросту незалежної змінної (часу), рахуються зміни властивостей стиснутого повітря, яке знаходиться у міжтрубному просторі ПО - вологомісту, ентальпії та ін., а також коефіцієнтів тепловіддачі. Аналогічно рахуються властивості розсолів та відповідні коефіцієнти тепловіддачі. Після визначення коефіцієнтів теплопередачі, холодовиробу і температурного натиску рахуються динамічні коефіцієнти та вихідні температури для цього кроку. Так, наприклад, для ПО ВТС при $T_1=303$ К, $P_1=2$ бар, $G_1=40$ кг/с, $T_2=269$ К коефіцієнт теплопередачі змінюється від 0,45 до 0,36 кВт/(м²·К). Добуток сталих часу ДР ($T_1 \cdot T_2$) змінюється від 1680 до 2400 с, а їх сума ($T_1 + T_2$) від 140 до 146 с, кінцева температура повітря для такого режиму складає 272,9 К при тепловому навантаженні

на ПО близько 2550 кВт. У моделі ПО НТС всі розрахунки здійснюються окремо для гладкотрубної та оребреної частин. Вихідні температура, тиск та витрата повітря з ПО ВТС є вхідні для моделі ПО НТС.

В цьому ж розділі здійснено перевірку отриманих залежностей реальним фізичним процесам. Описано інформаційно-вимірний комплекс ХОС, за допомогою якого проведено експериментальну частину роботи. Оцінені адекватність моделі ділянки охолодження та осушування повітря, динамічних та статичних характеристик ПО, моделей систем регулювання конденсатором, ПП та ТК. Так, динамічні залежності для ПО ВТС при різному числі одночасно працюючих насосів розсолного контуру приведені на рис. 5.

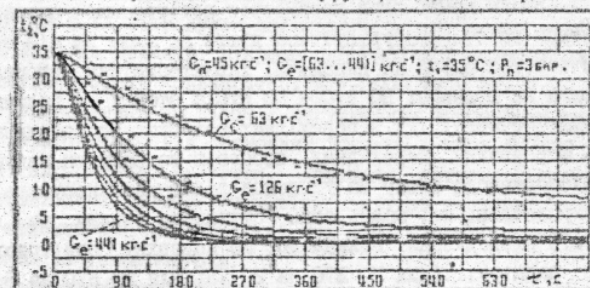


Рис. 5. Залежності впливу масової витрати розсолу на ділянку охолодження повітря у ПО НТС: * - експеримент.

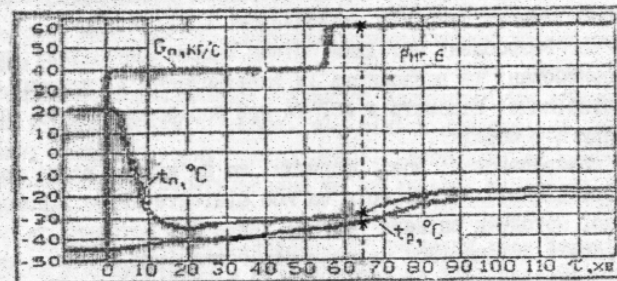


Рис. 6. Запуск підсекції ХОС із захованого стану. При $t_c=66$ КВ - аварія зупинка при $t_c > 66$ КВ - продовження роботи з налагоджувальним значенням витрати повітря, що досягнуто після налаштування двох ступенів АОР обмежень потужності ТК.

В результаті експериментів та моделювання ділянки встановлено, що припустима робота ДХТУ з витратою повітря 60 кг/с на підсекцію ХОС. Ідентифікація та налагодження по розробленим

методикам тільки двох ступенів АСР обмеження потужності ТК, дозволили вийти на цей, практично граничний, режим роботи ДХТУ, що відбито на рис. 5.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Результати порівняння розрахункових та експериментальних динамічних та статичних залежностей, що характеризують ділянку охолодження та осушення повітря ДХТУ DR-IV-2A, підтверджують адекватність розроблених моделей реальним фізичним процесам з точністю до 10%-15%.

2. Зміни початкових параметрів повітря яке охолоджується - витрат та температур, суттєво діють не лише на кінцеві параметри повітря, але й на динамічні характеристики процесу охолодження на ділянці ПО ВТС - ПО НТС, а отже і на величину споживаної енергії ТК в перехідних режимах. Встановлена можливість форсування перехідних процесів за рахунок запуску ДХТУ із заохолодженого стану та узведення додаткових керувань по витратам розсолів, які мають зони суттєвого впливу на динаміку процесів охолодження. Визначено, що поверхні повітряохолоджувачів надмірні (для ПО ВТС на 20-25%, для ПО НТС на 5-10%) та зможні передавати збільшене теплове навантаження, що створює передумови для проведення випробувань авіаційного обладнання при збільшених витратах охолодженого повітря.

3. Розроблені методики оцінок якості динамічних процесів алгоритмовані та дозволяють їх використання в системах швидкої ідентифікації параметрів АСР ТА при апріорному опису процесів ДР другого порядку.

Запропоновані нові формули, що зв'язують різні показники якості динамічних процесів та коефіцієнти ДР. За допомогою названої методики оцінені існуючі інженерні методики та показано, що вони відрізняються великою неузгодженістю, а отже і нерівнозначністю означень параметрів настроювання АСР ТА.

4. Використання розроблених методик ідентифікації параметрів та апроксимації динамічних характеристик ТА дозволяє скоротити час експериментів, необхідних для вишукування ДП ТА та, як наслідок, скоротити енергетичні збитки при налагоджувальних роботах в системах автоматики приблизно удвоє, що є суттєвим фактором для енергомистких ХУ.

Названі методики зможні вжитися у сучасних АСУ ТП охолод-

ження, при ідентифікації нестационарних ДП ТА шляхом створення від додаткової ЕОМ відповідних випробних дій.

5. Уточнені, за допомогою запропонованих оптимізаційних процедур, номограми розрахунку типових АСР для об'єктів ХТ, які описані ДР першого порядку з запізненням.

6. Запропоновані нові формули зв'язку між нормованою ланкою другого порядку з запізненням, типовими П, І, Д регуляторами та відповідними ДП апроксимації реального об'єкту.

На цій основі розроблено методику розрахунку та номограми настроювань, що забезпечують вимогливі критерії якості процесів у ТА з типовими АСР.

7. Виявлено додаткові спроби поліпшення якості динамічних процесів в ТА за рахунок найкращого використання мікропроцесорних АСР. На прикладі мікропроцесорної АСР тиску конденсації у кожухотрубному конденсаторі КТР-3000 ДХТУ DR-IV-2A показано, що упровадження до законів регулювання алгоритмів, що реалізують інваріантність до основних збурень з боку РО або упровадження алгоритмів відсічок, дозволяє суттєво поліпшити якість перехідних процесів при різноманітних теплових навантаженнях, знизити тиск конденсації при надмірі охолоджуючої води або низьких її температурах.

8. Запропоновано алгоритм компенсації запізнень, що дозволяє за рахунок раціонального використання резервів оперативної пам'яті мікропроцесорних АСР значно покращити динамічні характеристики ТА. Методику та алгоритм проаналізовано на прикладі АСР рівня рідини у ПП ДХТУ DR-IV-2A та частково перевірено експериментально. Впровадження вказаного алгоритму для АСР рівня рідини у ПП дозволяє підвищити не тільки коефіцієнт його заповнення, але й безпеку експлуатації, досягнені за рахунок значного зменшення перерегулювання та збільшення швидкості одпрацювання збурень.

9. Експериментально встановлено, що зниження часу перехідних процесів у кожухотрубним конденсаторі на 10% веде до підвищення швидкості виходу на стаціонарний режим установки DR-IV-2A наближено на 3%. В системах стабілізації перегріву кожухотрубних випарників, зменшення часу перехідних процесів на 10% веде к. більш швидкому наступу стаціонарного режиму установки для ВТС на 3 ... 6%, для НТС - на 2 ... 8%.

10. Запропонована структурна схема системи оптимального керування статичними та динамічними режимами роботи ДХТУ DR-IV

xv 795
ІНСТИТУТ КОСМОС
ОНАХТ
бібліотека

-2А з додатковою керуючою ЕОМ а також розроблені моделі ТА та АСР, універсальні та зможі бути використані при оптимізації і дослідженнях режимів роботи інших типів ХУ для різних холодильних агентів. При цьому з'являються спроби широкого використання системи оптимального керування та розроблених моделей в інших АСУ ТП охолодження, а також в інженерній практиці.

11. Розроблені методики апробовані у виробничих умовах, на математичних ІМ та навчальному процесі; вони супроводені програмним забезпеченням, що дозволяє рекомендувати їх для практичного налагодження значних ХУ навіть з побутовими персональними ЕОМ.

Основний зміст дисертації відображено у наступних працях:

1. Ломакин В.Ф., Онищенко О.А. Система регулирования давления конденсации / Холодильная техника, 1991, №2, с. 23-24.

2. Ломакин В.Ф., Онищенко О.А., Иващенко Н.С. Методика идентификации динамических параметров теплообменных аппаратов/Сборник тезисов докладов Всесоюзн. науч.-техн. конф. "Холод-народному хозяйству". -Л.: ЛТИХП, 1991, с. 27.

3. Ломакин В.Ф., Ошипенко О.А., Иващенко Н.С. Повышение качества процессов регулирования в теплообменных аппаратах // Сборник тезисов докладов Всесоюз. науч.-техн. конф. "Холод-народному хозяйству". -Л.: ЛТИХП, 1991, с. 28.

4. Онищенко О.А., Ивашенко Н.С., Глазева О.В. Регулирование давления конденсации в крупных холодильных установках / Одес. ин-т низкотемп. техн. и энергетики. -Одесса, 1992. -8 с. Деп. в УкрИНТЭИ 17.10.92, N 1669-Ук92 .

Б. Иващенко Н.С., Онищенко О.А. Автоматизация процесса оттайки в холодильной установке воздушного охлаждения // Сборник тезисов докладов межреспубл. науч.-практич. конф. "Совершенствование холодильной техники и технологии для эффективного хранения и переработки сельскохозяйственной продукции". - Краснодар: КНДТ, 1992, с. 19.

6. Ломакин В.Ф., Онищенко О.А. Оптимизация режимов работы автоматических систем регулирования/Холодильная техника, 1993, №3, с. 2-3.

СЛАСОК АБРЕВІАТУР ТА УМОВНИХ ОЗНАЧЕНЬ

[illegible]

Подано к печати 23.11.93. Формат 60x84 1/16
Объем 3,7 печат. л. Объем 1,0 л.а. Заказ № 74. Тираж 100.
Горьковская областная типография, цех № 3,
Дзержинск, 49.