

Ryszard Matuszkiewicz

Raciborska Fabryka Kotłów RAFAKO

PROGRAM OBLICZENIOWY DO SYMULACJI ROZRUCHÓW MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA I JEGO ROZWÓJ

Streszczenie. Przedstawiono ogólny opis programu rozruchowego ANFAR, autorstwa firmy SULZER, eksploatowanego obecnie w RAFAKO i rozwijanego w RAFAKO we współpracy z SULZEREM. Program opracowany był do symulacji numerycznej procesu rozruchu kotłów przepływowych i z wymuszoną cyrkulacją, w zakresie ciśnień podkrytycznych i nadkrytycznych. Obecnie program adaptowany jest dla potrzeb obliczeń kotłów z naturalną cyrkulacją. Przedstawiono zakres stosowalności programu i krótki opis zastosowanych modeli obliczeniowych.

1. WSTĘP

Proces rozruchu kotła, z powodu złożoności przebiegających w kotle procesów dynamicznych, jest zjawiskiem trudnym do przeanalizowania. Jednocześnie istnieje konieczność możliwie pełnej analizy tego procesu z uwagi na konieczność optymalizacji procesu rozruchowego. W uproszczeniu optymalizacja ta wynika z dwóch tendencji:

- z uwagi na minimalizację strat rozruchowych (oszczędność mazutu, wody zrzutowej, pary zrzutowej) istnieje potrzeba szybkiego prowadzenia rozruchu;
- z uwagi na minimalizację szoków temperaturowych i amplitud naprężeń istnieje potrzeba wolnego prowadzenia rozruchu (by zapewnić trwałość obiektu).

Te dwie sprzeczne tendencje, w zależności od zastosowanych kryteriów, wyznaczają optymalny proces prowadzenia rozruchu.

Istnieje również, na etapie projektowania, potrzeba optymalizacji układu rozruchowego kotła (określenie wielkości zrzutów, dobór układu regeneracji, dobór rurociągów czy zaworów zrzutowych, określenie warunków pracy układów zabezpieczających czy regulacji).

Z uwagi na złożoności procesu rozruchowego praktyczna analiza procesu rozruchu czy układu rozruchowego i jego optymalizacja jest niemożliwa bez wsparcia analizą komputerową. Wychodząc z takich założeń firma SULZER podjęła w roku 1969 próbę stworzenia programu numerycznego do symulacji procesu rozruchu kotła - program ANFAR. Niniejszy referat przedstawia krótką

charakterystykę możliwości tego programu. Od momentu powstawania do chwili obecnej program ANFAR był systematycznie poprawiany, modyfikowany i rozwijany. Program ten został przejęty przez RAFAKO od firmy SULZER w ramach licencji. Przyjęto również możliwie pełną dokumentację programową i modelową. Program został wdrożony w RAFAKO dla potrzeb prac projektowych. Podejmuje się próby wdrożenia programu dla potrzeb optymalizacji rozruchów istniejących obiektów.

2. OGÓLNE ZAŁOŻENIA DO DO FUNKCJI PROGRAMU ANFAR

Podstawową funkcją programu ANFAR jest umożliwienie analizy i optymalizacji procesu rozruchowego i układu rozruchowego kotła. Program opracowany był w swoich założeniach dla kotłów czysto przepływowych lub z wymuszoną cyrkulacją. Obecnie w RAFAKO prowadzi się prace nad wdrożeniem programu dla potrzeb obliczeń kotłów z naturalną cyrkulacją. Program umożliwia analizę szeregu parametrów liczonego obiektu, np: rozkład temperatur i entalpii czynnika, spalin i metalu, rozkład ciśnień czynnika, wielkości przepływów itp. w funkcji czasu rozruchu, zależności te można przedstawić w postaci krzywych rozruchowych kotła. Możliwa jest również analiza procesu odstawienia kotła. Optymalizacja procesu rozruchu realizowana jest poprzez możliwość zadawania szeregu parametrów sterujących rozruchem kotła w funkcji czasu. Przewidziano kilkadziesiąt parametrów sterowania. Do głównych parametrów należą: program ognia, program zasilania i program ciśnień. Program ognia określa ilość ciepła (paliwa) dostarczanego do kotła w czasie, program zasilania określa ilość i entalpię medium dostarczonego do kotła, program ciśnień określa sposób prowadzenia ciśnień w zaworach rozruchowych. Optymalizacja układu rozruchowego jest realizowana poprzez możliwość obliczeń rozruchu kotła w różnych układach rozruchowych.

3. MOŻLIWE DO OBLICZEŃ KOTŁY I UKŁADY ROZRUCHOWE

Zarówno sam kocioł, jak i układ rozruchowy jest definiowany dla programu w sposób umożliwiający rozwinięcie wielu wariantów konstrukcji kotła i jego układu rozruchowego.

Zasadniczo, z punktu widzenia programu ANFAR, liczony obiekt zawiera następujące części systemowe:

- system zasilania i regeneracji,
- system parownika,
- system przegrzewacza.

System zasilania i regeneracji może zawierać następujące elementy:

- kondensator,
- zbiornik wody zasilającej,
- rurociągi wody zasilającej,
- wymiennik rozruchowy AWT,
- układ regeneracji rozprężacz - wymiennik,
- zawory zrzutowe,
- dogrzew zbiornika wody zasilającej parą z przegrzewacza lub parą obcą.

System parownika może zawierać:

- ECO,
- rurociągi,
- powierzchnie parownika (ściany pionowe lub spiralne),
- parownik konwekcyjny,
- wodooddzielacz (lub walczak)
- pompę cyrkulacyjną w obiegu głównym lub bocznym,
- cyrkulację przez parownik i ECO (w dowolnej kombinacji),
- dogrzew parownika,
- regulację zasilania ze względu na poziom medium w butli lub entalpii na wylocie z parownika,
- stałe odprowadzenie odmulin z wodooddzielacza,
- zrzut z butli (do kondensatora lub zbiornika wody zasilającej).

System przegrzewacza może zawierać:

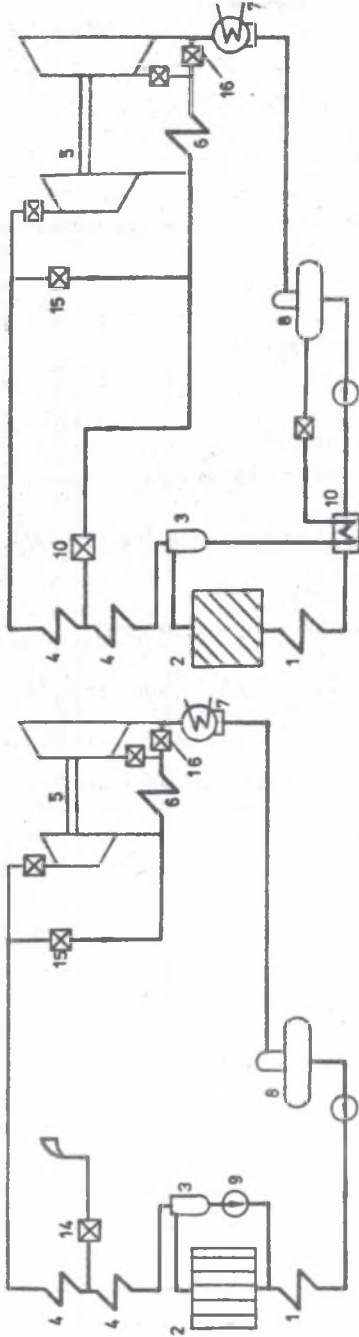
- trzy stopnie przegrzewu (WP,SP,NP) i związane z nimi zawory rozruchowe (By-passy),
- wtrysk do By-passów,
- szereg różnych powierzchni wymiany ciepła (grodzie, przegrzewacz nasłoneczniony, pęczki konwekcyjne),
- rurociągi łączące,
- wtryski do regulacji temperatury pary,
- zawór rozruchowy,
- spusty skroplin.

W czasie rozruchu nie jest analizowane zachowanie się turbiny i rurociągów pomiędzy By-passem a turbiną. Wpływ turbiny na kocioł symuluje się na By-passie.

Od strony spalin i powietrza liczony obiekt może zawierać:

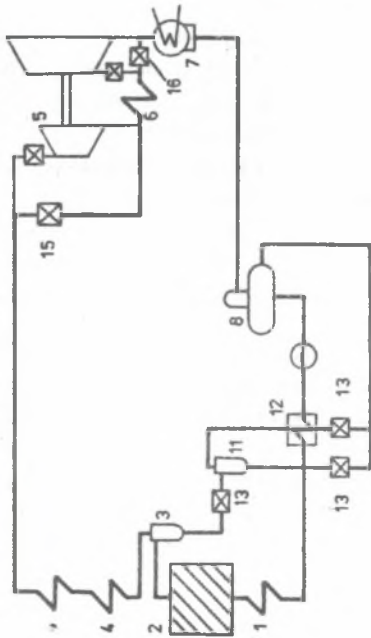
- komorę paleniskową,
- układ powierzchni wymiany ciepła,
- LUV0.

Przykłady możliwych do obliczeń układów przedstawiają rysunki 1 - 3.



Rys. 1. Układ z pompą cyrkulacyjną
Fig. 1. Start up system with recirculating pump

Rys. 2. Układ z wymiennikiem AWT
Fig. 2. Start up system with heat exchanger



Rys. 3. Układ z rozprężaczem
Fig. 3. Start up system with flash tank

- 1. ECO
- 2. Parownik
- 3. Wodooddzielacz
- 4. Przejrzewacz
- 5. Turbina
- 6. Przejrzewacz międzystopniowy
- 7. Kondensator
- 8. Zbiornik wody zasilającej
- 9. Pompa cyrkulacyjna
- 10. Wymiennik rozruchowy AWT
- 11. Rozprężacz rozruchowy
- 12. Wysokociśnieniowy podgrzewacz wody
- 13. Zawór regulacji poziomu
- 14. Zawór rozruchowy
- 15. Stacja obiegowa WP (WP-Bypass)
- 16. Stacja obiegowa NP (NP-Bypass)

4. KRÓTKI OPIS ZASTOSOWANYCH MODELI OBLICZENIOWYCH

Obliczenia rozruchu kotła polegają na obliczaniu stanów termodynamicznych układu i przepływów w funkcji czasu, poczynając od zadanych warunków początkowych, przy uwzględnieniu zmian w czasie parametrów sterujących. Znaczna część zjawisk zachodzących w kotle liczona jest w sposób quasi-stacjonarny. Dynamika układu reprezentowana jest przez uwzględnienie akumulacji ciepła w metalu i w wodzie. Zastosowano szereg uproszczonych modeli odnośnie obliczeń parametrów materiałowych czy termodynamicznych. Zastosowano szereg formuł aproksymacyjnych (np. odnośnie współczynników wymiany ciepła). Niektóre zjawiska o charakterze lokalnym reprezentowane są poprzez uśrednione parametry globalne (np. kondensacja pary w przegrzewaczu, opory przepływu pary w przegrzewaczu). Zastosowane uproszczenia miały głównie na celu zwiększenie szybkości obliczeń programu. W niniejszym referacie przedstawiono skrótowo założenia co do sposobu obliczeń tylko niektórych zagadnień. Rysunek 4 przedstawia schematycznie ogólny przebieg procesu obliczeniowego.

4.1. Obliczenia komory paleniskowej

W zastosowanym modelu komora paleniskowa podzielona jest na trzy strefy: strefę płomienia, strefę mieszania i strefę promieniowania. W strefie płomienia następuje spalanie paliwa. Wymiana ciepła w tej strefie liczona jest jako wymiana pomiędzy płomieniem a ścianami komory paleniskowej. W umownej strefie mieszania następuje wymieszanie się strumienia spalin wylotowych ze strefy płomienia a pozostałą częścią powietrza doprowadzonego do komory paleniskowej, nie biorącego udziału w spalaniu. W strefie promieniowania uwzględnia się wymianę ciepła pomiędzy spalinami i ścianami komory poprzez promieniowanie spalin i konwekcję.

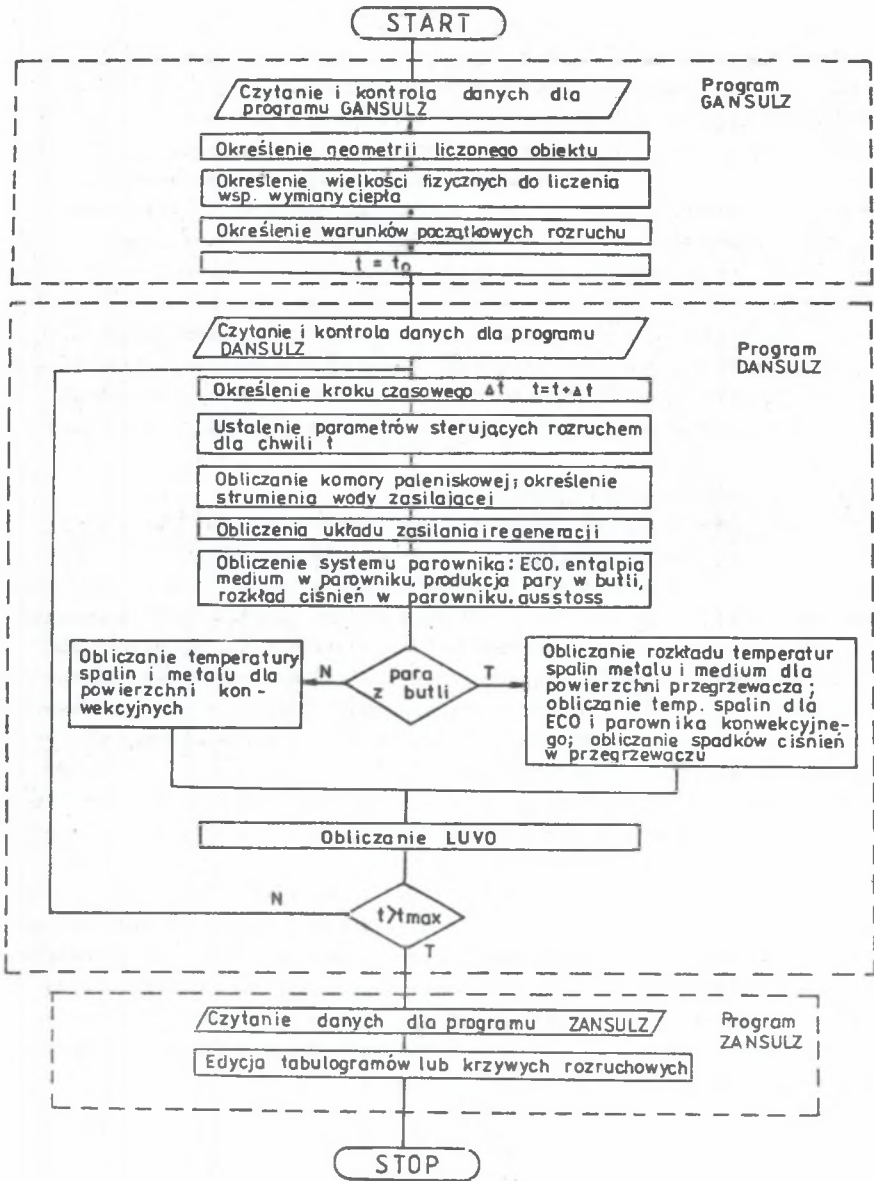
Całkowite ciepło oddane do komory (do ścian komory) w czasie Δt jest następnie rozkładane na ściany komory proporcjonalnie do zdefiniowanego przez użytkownika profilu obciążenia cieplnego.

Ponieważ zastosowany model słabo odzwierciedla rzeczywiste zjawiska zachodzące w komorze paleniskowej, zwłaszcza w przedziale bardzo niskich obciążeń, istotne jest weryfikowanie modelu poprzez empiryczne krzywe określające rozdział ciepła dostarczonego do komory na parownik i przegrzewacz. Aby uzyskać właściwy rozdział ciepła w liczonym rozruchu, użytkownik steruje w czasie podziałem komory na strefę promieniowania i płomienia oraz nadmiarem powietrza w poszczególnych strefach komory.

4.2. Obliczanie powierzchni konwekcyjnych

Obliczenia powierzchni konwekcyjnych polegają na rozwiązywaniu bilansu cieplnego odcinków Δx wymiennika w czasie Δt [1], [8]. Odcinek Δx odzwierciedla z reguły fizyczne odcinki rur (pojedyncze rzędy rur) w pęczkach konwekcyjnych.

W bilansie cieplnym uwzględnia się następujące składniki:



Rys. 4. Ogólny schemat procesu obliczeniowego

Fig. 4. Algorithm of calculation procedure

- strumień ciepła w strumieniu spalin i medium na wlocie i wylocie odcinka Δx ,
- wymiana ciepła spaliny - metal wg współczynnika przyjmowania ciepła α_0 oraz metal - medium wg. współczynnika α_x ,
- akumulacja ciepła w metalu,
- akumulacja ciepła w medium (tylko dla ECO i parownika konwekcyjnego),
- ciepło kondensacji pary lub parowania kondensatu (skroplin).

Przyjęto między innymi następujące założenia:

- współczynnik przyjmowania ciepła po stronie spalin lub medium, dla danej powierzchni jest funkcją tylko wielkości przepływu:

$$\alpha(\dot{m}) = \alpha(\dot{m}_0) \left(\frac{\dot{m}}{\dot{m}_0} \right)^{0.8},$$

\dot{m} - chwilowy przepływ czynnika (spalin lub medium),

\dot{m}_0 - przepływ dla którego podano $\alpha(\dot{m}_0)$ - zaleca się 30% obciążenia przepływem;

- współczynnik przyjmowania ciepła po stronie medium dla parownika konwekcyjnego i ECO przyjęto równy ∞ ,
- współczynnik przewodnictwa cieplnego metalu przyjęto : $\lambda_{\perp} = \infty, \lambda_{\parallel} = 0$ (\perp - prostopadle do przepływów czynników, \parallel - równoległe),
- zależność temperatury spalin, metalu i medium w funkcji czasu lub położenia, w przedziale odpowiednio Δt lub Δx jest postaci:

$$t(y) = t(y_1) e^{-a_y(y/\Delta y)} + t(y_2) (1 - e^{-a_y(y/\Delta y)}),$$

t - temperatura, y oznacza t lub x , y_1 , y_2 oznaczają odpowiednio początek i koniec przedziału Δy , a_y - współczynniki.

4.3. Obliczanie LUV0

Dla potrzeb programu rozruchowego LUV0 przedstawione jest jako wymiennik rekuperacyjny w przeciwnym kierunku [5]. Wymiennik ten dzielony jest na N warstw (elementów obliczeniowych Δx). Dla każdego elementu Δx liczony jest bilans cieplny w czasie Δt , który uwzględnia;

- transport ciepła w strumieniu spalin i powietrza,
- wymianę ciepła poprzez konwekcję (spaliny - metal - powietrze),
- akumulację ciepła w metalu,
- stratę ciepła.

Dokonano następujących założeń upraszczających:

- współczynniki przyjmowania ciepła dla konkretnego LUV0 są funkcją tylko wielkości przepływu:

$$\alpha(\dot{m}) = \alpha(\dot{m}_0) \left(\frac{\dot{m}}{\dot{m}_0} \right)^{0.64},$$

- zależność temperatury spalin, metalu i powietrza w funkcji czasu i położenia, w przedziale odpowiednio Δt , Δx jest liniowa,
- straty ciepła w elemencie są proporcjonalne do temperatury elementu.

4.4. Zbiornik wody zasilającej.

Obliczenia zbiornika wody zasilającej umożliwiają zbilansowanie przepływów i entalpii następujących czynników wpływających lub wypływających ze zbior-

nika wody zasilającej:

- woda zasilająca do kotła,
- kondensat,
- woda i para zrzutowa,
- para obca (dogrzew zbiornika),
- zrzut ze zbiornika.

Uwzględnione jest w bilansie cieplnym akumulacja ciepła w metalu zbiornika.

Poczyniono następujące założenia:

- w zbiorniku panuje stan nasycenia,
- następuje idealne mieszanie się czynników,
- ilość czynnika w zbiorniku jest stała.

4.5. Układy regeneracji

Układy regeneracji mają na celu odzysk ciepła z wody zrzutowej. Możliwe są do obliczeń następujące układy regeneracji:

- poprzez wymiennik rozruchowy AWT,
- poprzez układ rozprężacz - wymiennik.

Oba przedstawione układy liczone są quasistatycznie. Wymiennik rozruchowy AWT liczony jest jako wymiennik woda - woda w układzie współprądowym lub przeciwprądowym, wg odpowiedniej formuły aproksymacyjnej dla współczynnika przenikania ciepła [1]. W układzie rozprężacz - wymiennik przyjmuje się, że woda zrzutowa separuje się w rozprężaczu na fazę wodną i parową, odpowiednio do ciśnienia w rozprężaczu. Uzyskana para kierowana jest na wymiennik para - woda, gdzie woda zasilająca przyjmuje ciepło kondensacji pary.

4.6. Parownik

W celu obliczenia entalpii medium w parowniku, spadku ciśnień i ausstossu (wyrzut z parownika) parownik dzielony jest na odcinki obliczeniowe Δx . Dla każdego odcinka Δx w czasie Δt rozwiązywany jest bilans cieplny, który uwzględnia:

- strumień ciepła w strumieniu medium,
- ciepło przejęte od spalin (wg. profilu obciążenia),
- akumulację ciepła w medium i w metalu.

Powyższy bilans rozwiązywany jest ze względu na entalpię medium. Dokonano następujących założeń:

- temperatura metalu jest równa temperaturze medium ($\alpha = \infty$),
- zależność entalpii medium w funkcji położenia oraz czasu w przedziałach odpowiednio Δx , Δt jest postaci:

$$i(y) = i(y_1)e^{-a_y(y/\Delta y)} + i(y_2)(1 - e^{-a_y(y/\Delta y)}),$$

gdzie: y oznacza t lub x , a_y - współczynniki,

- spadki ciśnień na odcinku Δx liczone są z uwzględnieniem ciśnienia hydrostatycznego i oporów przepływu; nie uwzględnia się wpływu od przyśpieszenia przepływu czynnika i poślizgu faz.

4.7. Butla i regulacja zasilania

W butli (walczaku) liczony jest bilans cieplny i bilans przepływów następujących czynników:

- strumień medium z parownika (wraz z ausstossem),
- strumień medium z ECO (dla kotłów z naturalną cyrkulacją),
- strumień pary na wylocie z butli,
- stałe odmulanie,
- zrzut z butli,
- strumień recyrkulujący.

Bilans cieplny uwzględnia entalpię czynników oraz akumulację ciepła w metalu butli. Na podstawie bilansu masowego czynników, w przypadku regulacji zasilania względem poziomu medium w butli, liczona jest wielkość strumienia zasilającego kocioł. Zastosowany jest model regulatora PID poziomu medium w butli. Możliwa jest niezależna regulacja członu całkowego i różniczkowego regulatora.

4.8. Spadki ciśnień na By-passach i w przegrzewaczu

Ciśnienia w kotle liczone są w kierunku odwrotnym do przepływu medium poruszając od kondensatora, na zbiorniku wody zasilającej kończąc. Spadki ciśnień na By-passach i stopniach przegrzewacza liczone są wg odpowiednich współczynników oporu. Współczynniki te liczone są przez program na bazie danych dla 100% obciążenia kotła. Odpowiednie współczynniki oporu pozwalają liczyć spadki ciśnień, w danym kroku czasowym, tylko w funkcji przepływu medium oraz średniej objętości właściwej medium (dla By-passów również w funkcji otwarcia zaworu).

4.9. Sterowanie krokiem czasowym Δt

W trakcie obliczeń rozruchu krok czasowy Δt nie jest stały, lecz jest wyznaczany wg algorytmu, który uwzględnia szereg różnych czynników (warunki panujące w butli, wzrost produkcji pary, poziom obciążenia kotła, stopień otwarcia zaworów rozruchowych, wielkość ausstossu). Minimalny krok czasowy wynosi 3s. Dobór właściwego kroku czasowego ma zapewnić z jednej strony stabilność (w sensie numerycznym) obliczeń, z drugiej strony ilość kroków czasowych powinna być możliwie mała, by skrócić czas obliczeń rozruchu.

5. PROWADZENIE OBLICZEŃ

W celu dokonania obliczeń rozruchu kotła należy przygotować następujące dane:

- geometria obiektu,
- wielkości cechujące obiekt na wymianę ciepła i opory przepływu w przegrzewaczu (z obliczeń cieplnych kotła dla 30% i 100% obciążenia),
- warunki początkowe rozruchu,

- założenia co do sposobu prowadzenia rozruchu.

Zaleca się prowadzenie obliczeń rozruchowych maksymalnie do 60% obciążenia kotła. Powyżej 60% obciążenia proces rozruchu przebiega praktycznie w sposób quasistatyczny. Po ustaleniu wstępnych założeń co do sposobu prowadzenia rozruchu należy przystąpić do realizacji obliczeń stosując optymalizację procesu w kolejnych odcinkach czasowych rozruchu. Proces optymalizacji polega na przeprowadzeniu obliczeń, kontroli krzywych rozruchowych, korekcie podstawowych parametrów wiodących w czasie lub zdefiniowaniu nowych pomocniczych i ponownym przeprowadzeniu obliczeń w danym odcinku czasowym. W czasie obliczeń rozruchu w zbiorze roboczym programu akumulowane są wielkości opisujące stan obliczonego obiektu w funkcji czasu. W celu prześledzenia zmian tych parametrów użytkownik może zdefiniować układ tabel o dowolnej zawartości oraz układ wykresów rozruchowych. Tabele te lub wykresy mogą być drukowane dla dowolnie wybranego odcinka czasowego liczonego rozruchu.

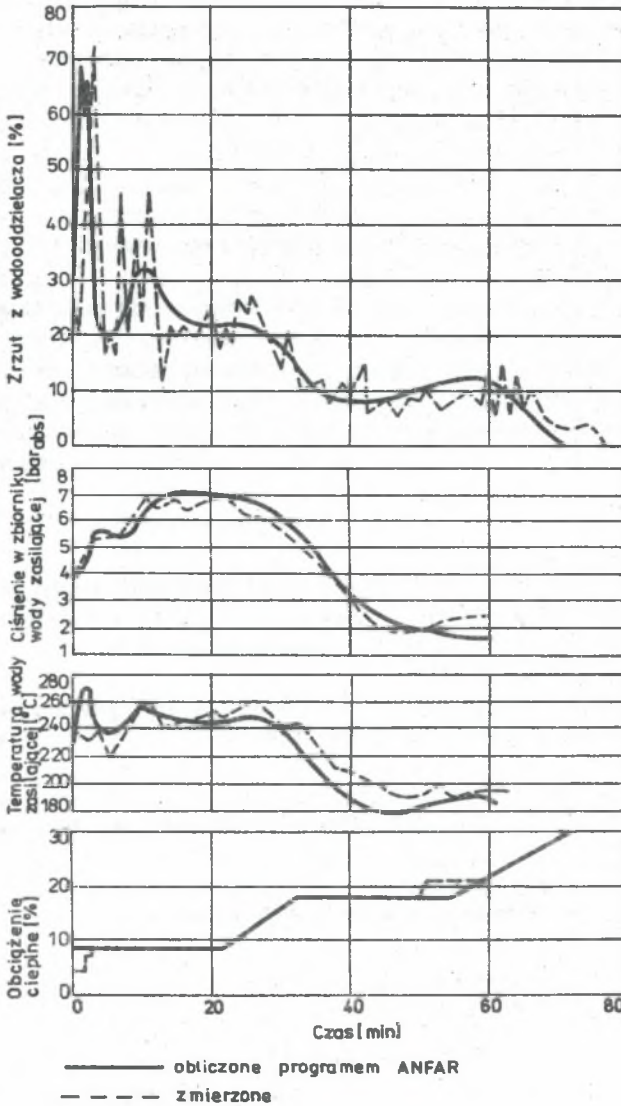
6. PORÓWNANIE OBLICZANYCH KRZYWYCH ROZRUCHOWYCH Z MIERZONYMI

Przykładowe porównanie krzywych obliczonych z mierzonymi przedstawia rys. 5. Krzywe te wykazują bardzo dobrą zgodność. Pomiary i obliczenia wykonane były przez firmę SULZER w trakcie analizy obiektu w elektrowni Västerås (Szwecja) [3].

7. UWAGI KOŃCOWE

Program ANFAR w swoich założeniach był opracowywany jako narzędzie dla projektantów do analizy i projektowania rozruchu kotła i układu rozruchowego. W okresie kilkunastoletniej eksploatacji program ten był rozszerzany o szereg elementów nie uwzględnionych w wersji założeniowej (parownik konwekcyjny, regulacja temperatury poprzez zawory wtryskowe, ciśnienia nadkrytyczne itd.) i szereg modyfikacji algorytmów. RAFAKO rozwinęło program o bilans w komorze paleniskowej i dynamiki LUV0. Obecnie program rozszerzany jest o możliwość symulacji rozruchu kotłów z naturalną cyrkulacją. Program ANFAR w różnych wersjach eksploatowany jest przez kilka firm (np. SULZER, MHI (Mitsubishi Heavy Industries, Japonia), RAFAKO). Długoletnia historia programu powoduje, że ma on określoną wiarygodność w swoim obszarze zastosowania.

Jednakże należy zaznaczyć, że z punktu widzenia obecnie opracowywanych modeli dynamicznych oraz z punktu widzenia możliwości obecnie szeroko stosowanego sprzętu komputerowego do obliczeń numerycznych program ten jest już przestarzały. W chwili obecnej wydaje się być celowe stworzenie programu do ogólnych symulacji dynamicznych z możliwie pełnym opisem zjawisk



Rys. 5. Porównanie krzywych rozruchowych zmierzonych i policzonych programem ANFAR (start gorący, Elektrownia Västernas, Szwecja)

Fig. 5. Comparison of start up performance - measured and calculated with ANFAR program (hot start up, Västernas Power Station, Sweden)

wymiany ciepła, pełną dynamiką medium itd. Program taki służyłby do analizy wszelkich zjawisk dynamicznych w kotle, w tym również do analizy procesu rozruchu kotła. Pewne prace w tym kierunku podjęła już firma SULZER [4]. Rafako planuje wzięcie udziału w tych pracach.

LITERATURA

- [1] Peter Fässler; Programm ANFAR - Berechnungsmethoden; SULZER Bericht Nr 1093 (1973)
- [2] M. de Vries; Benutzeranleitung für das Kessel - Anfahrprogramm ANFAR; SULZER Bericht Nr 1600 (1980)
- [3] K. Ebert, P. Fässler; Berechnung des Anfahrverhaltens von Zwangdurchlaufkesseln...; Technischen Rundschau SULZER 3/1975
- [4] H. Olla, Ch. Ruchti, C. Svoboda; Simulation Study on the dynamic behaviour...; 21st Meeting of Monotube Boiler Licensees, Winterthur, No 7/89
- [5] R. Matuszkiewicz; Program ANFAR - model dynamiki LUV0; Raport RAFAKO TK-01/PP/0202
- [6] R. Matuszkiewicz; Program ANFAR - model komory paleniskowej; Raport RAFAKO TK-01/PP/0211
- [7] R. Matuszkiewicz; Program ANFAR - regulacja wtrysków; Raport RAFAKO TK-01/PP/0207
- [8] R. Matuszkiewicz; Program ANFAR - wymiana ciepła w powierzchniach konwekcyjnych; Raport RAFAKO TK-01/PP/0209

Recenzent: prof. dr hab. inż. Ludwik Cwynar

РАСЧЕТНАЯ ПРОГРАММА СИМУЛЯЦИИ ПУСКОВ - ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ЕЕ РАЗВИТИЕ

Резюме

В статье описана в общих чертах расчётная программа ANFAR, автором которой является фирма SULZER. В настоящее время программа эксплуатируется в RAFAKO и здесь же она совершенствуется в сотрудничестве с фирмой SULZER. Работы по созданию программы были начаты в 1969 году. Программа предназначена для анализа и оптимизации пускового процесса и пусковой схемы при помощи математического моделирования пускового процесса котла.

Програма була розроблена для расчёта прямоточных котлов и котлов с принудительной циркуляцией. В настоящее время в RAFAKO в программу вводятся изменения, дающие возможность применить программу также для расчёта котлов с естественной циркуляцией. Програма дає можливість аналізу ряду параметрів розраховуваного об'єкта, таких як розподілення температури і ентальпії робочого тіла, димових газів і металу, розподілення тиску робочого тіла, расход робочого тіла ітп. в функції часу. Ці залежності можуть бути представлені в графічній формі, в вигляді пускових кривих.

Програма може бути використана і для аналізу останова котла. Оптимізація процесу пуску здійснюється за допомогою задання ряду параметрів в функції часу, управляючих пуском котла. В статті приводяться приклади допустимих котлоагрегатів і пускових схем, оговариваються прийняті обмеження і приводиться коротке описання включених в програму розрахункових моделей.

SIMULATION PROGRAM OF START UP PROCESSES. APPLICATION POSSIBILITIES AND DEVELOPMENT

Summary

The paper presents a general description of ANFAR start-up programme by SULZER, presently operated at RAFAKO and developed at RAFAKO in cooperation with SULZER. Work on the programme started in 1969. The basic function of ANFAR programme is to enable analysis and optimization of start-up process and boiler start-up system through numerical simulation of the start-up process. The programme was prepared for once - through and forced circulation boilers. At present work is conducted at RAFAKO on implementation of this programme for natural circulation boiler calculations. The programme enables analysis of many parameters as temperature and enthalpy distribution of medium, flue gas and metal; distribution of medium pressures, flow values, etc., in the start-up time function. These dependences can be presented as boiler start-up curves. It is also possible to analyse boiler shut down process. Optimization of start-up process is carried into effect through the possibility of setting a number of parameters controlling boiler start-up in the time function. The following problems were presented in the paper: range of programme application, boilers and start-up systems possible to calculate and a short description of used calculation models.