

Czesław SAJDAK  
Romuald KADZIMIERZ  
Jan MURAS  
Tadeusz WIECZOREK

Instytut Metalurgii  
Zakład Elektrotermii Hutniczej  
Politechniki Śląskiej

#### WSPOMAGANIE KOMPUTEROWE PROJEKTOWANIA PIECÓW I NAGRZEWNIC INDUKCYJNYCH

**Streszczenie.** Przedstawiono programy użytkowe wspomagające projektowanie pieców indukcyjnych tyglowych (program OPPIT) oraz nagrzewnic indukcyjnych skrośnych (program OPNIS). Programy umożliwiają wyznaczenie parametrów elektrycznych i cieplnych tych urządzeń oraz obliczenia parametrów układów chłodzenia, symetryzacji i kompensacji mocy biernej.

#### 1. Wstęp

Przy projektowaniu pieców i nagrzewnic indukcyjnych bardzo duży jest udział prac obliczeniowych, niezbędnych dla doboru odpowiednich wymiarów poszczególnych elementów urządzeń (np. wzbudnika, wyłożenia ogniotrwałego, rdzeni i boczników magnetycznych) oraz parametrów układów zasilania, sterowania, symetryzacji, kompensacji mocy biernej, chłodzenia, podzespołów mechanicznych itp.

Celem tych obliczeń jest nie tylko osiągnięcie założonych parametrów eksploatacyjnych urządzenia (np. wydajność topienia lub nagrzewania), lecz również optymalizacja konstrukcji pieca lub nagrzewnicy. Konieczna jest wówczas wielokrotna zmiana założeń i przeprowadzenie obliczeń wielowariantowych.

W Zakładzie Elektrotermii Hutniczej przygotowano programy użytkowe ułatwiające obliczenia elektryczne, cieplne i chłodzenia dla pieców indukcyjnych tyglowych (program OPPIT) oraz nagrzewnic indukcyjnych skrośnych (program OPNIS). Programy te wyraźnie przyspieszają prace projektowe. Czas obliczeń parametrów pieca lub nagrzewnicy dla jednego wariantu danych wyjściowych nie przekracza kilku minut, natomiast przy tradycyjnym sposobie obliczeń wynosi kilku lub nawet kilkanaście godzin. Projektant wspomagany jest w momentach podejmowania decyzji niezbędnymi informacjami i zaleceniami, ułatwiającymi wybór właściwego rozwiązania.

## 2. Program OPPIT

Obliczenia parametrów pieców indukcyjnych tyglowych (OPPIT) z tyglami ceramicznymi mogą być prowadzone dla:

- wymaganej wydajności topienia pieca (tryb "w"),
- znanej mocy i częstotliwości źródła zasilania (tryb "z")

oraz dla jednej z trzech konstrukcji pieca: otwartej, zamkniętej ( z bocznikami magnetycznymi) i ekranowanej ( z ekranem magnetycznym wokół wzbudnika). Program OPPIT, jego algorytm, własności i obsługę przedstawiono szerzej w pracach [1,2]. Zawiera on następujące główne bloki:

### a) Założenia wyjściowe

- wybór trybu obliczeń,
- wprowadzanie danych wyjściowych,
- określenie rodzaju konstrukcji pieca,
- dobór częstotliwości zasilania ( w trybie "w" ).

### b) Podstawowe wymiary tygla i wzbudnika

- dobór wymiarów tygla i wzbudnika,

### c) Obliczenia cieplne

- wybór rodzaju materiałów ogniotrwałych i termoizolacyjnych oraz liczby i grubości ich warstw wewnątrz wzbudnika, na dnie tygla i w pokrywie,
- wyznaczanie strat cieplnych w piecu .

### d) Obliczenia elektryczne

- dobór rodzaju i wymiarów przewodu nawojowego oraz liczby zwojów wzbudnika,
- wyznaczenie parametrów elektrycznego schematu zastępczego, natężenia i gęstości prądu w uzwojeniu wzbudnika, współczynnika mocy, mocy czynnej, biernej i pozornej.

### e) Kompensacja

- wyznaczenie mocy i liczby kondensatorów do kompensacji mocy biernej,
- obliczenia parametrów elektrycznych urządzenia po kompensacji.

### f) Symetryzacja

- wyznaczenie parametrów układu symetryzacji (pojemność kondensatorów i indukcyjność dławika).

### g) Układ chłodzenia

- wyznaczenie wydajności pompy (lub natężenia przepływu wody), liczby sekcji chłodzenia, spadku ciśnienia wody itp.

### h) Boczniki magnetyczne i ekran

- dobór wymiarów boczników magnetycznych lub ekranu elektromagnetycznego,
- wyznaczenie strat mocy w bocznikach lub w ekranie.

## 1) Wydruk wyników

- straty ciepłne przez powierzchnię boczną, dno, pokrywą pieca i powierzchnię kąpieli metalowej,
- parametry elektryczne i eksploatacyjne,
- wymiary pieca (tygła, wzbudnika, przewodu nawojowego, boczników lub ekranu),
- parametry pieca po kompensacji mocy biernoj,
- parametry układu chłodzenia,
- bilans mocy.

Parametry elektrycznego schematu zastępczego układu wzbudnik-wsad mogą być wyznaczone jedną z następujących metod [3]:

- transformatora powietrznego (zmodyfikowana),
- oporów wniesionych,
- oporów magnetycznych.

Najlepsze rezultaty uzyskuje się stosując pierwszą z tych metod, bowiem w licznych przypadkach stwierdzono dla niej najmniejsze rozbieżności z wynikami pomiarów wykonanych na obiektach rzeczywistych.

Program umożliwia analizę układów zasilania z transformatorem dopasowującym i bez transformatora, z kondensatorami kompensującymi przyłączonymi po stronie pierwotnej lub wtórnej. Po określeniu parametrów elektrycznych pieca oraz układu kompensacji w blokach "d" i "e" obliczenia mogą być kontynuowane ( w blokach "f"- "h") lub powtórzone dla innych założeń wyjściowych. Na każdym etapie obliczeń możliwy jest powrót do wcześniejszych bloków w celu zmiany dowolnych z obliczonych lub wybranych wymiarów i parametrów.

3. Program OPNIS

Program OPNIS przeznaczony jest do projektowania nagrzewnic indukcyjnych skrośnych. Obliczenia można prowadzić dla nagrzewania przelotowego lub stacjonarnego wsadów prostokątnych i cylindrycznych (pekných i rurowych), z metali nieżelaznych i stali.

Konstrukcja i funkcje programu OPNIS są bardzo podobne do programu OPPIT. Dla wybranej metody nagrzewania, rodzaju, kształtu i wymiarów wsadu oraz zadanej wydajności (lub czasu) nagrzewania do temperatury końcowej dobiera się:

- wymiary wzbudnika,
- napięcie i częstotliwość źródła zasilania,
- materiały termoizolacyjne i ogniotrwałe oraz liczbę i grubości ich warstw,
- wymiary przewodu nawojowego oraz liczbę zwojów wzbudnika oraz wyznacza się:
- parametry elektrycznego schematu zastępczego i na jego podstawie natę-

żenie prądu wzbudnika, moc czynną, bierną i pozorną nagrzewnicy, współczynnik mocy,

- moc i liczbę kondensatorów do kompensacji mocy biernej,
- parametry układu symetryzującego,
- parametry układu chłodzenia wodnego.

Parametry elektrycznego schematu zastępczego można wyznaczać metodą transformatora powietrznego lub magnetycznych [3].

Własności i obsługę programu przedstawiono szerzej w pracy [4].

#### 4. Podsumowanie

Programy komputerowe OPPIT i OPNIS stosowane są w pracach projektowych pieców indukcyjnych tyglowych i nagrzewnic indukcyjnych skrośnych. Zebrane doświadczenia wykazują, że dokładność obliczeń jest wystarczająca dla celów projektowania, co zostało potwierdzone pomiarami parametrów elektrycznych urządzeń przemysłowych.

#### LITERATURA

- [1] Kadzimirz R. i inni: Opracowanie i uruchomienie programów specjalistycznych wspomagających prace projektowe w tym związcza dla pieców indukcyjnych. Instytut Metalurgii Politechniki Śląskiej, Katowice 1987 (nie publikowane).
- [2] Sajdak Cz. i inni: Wspomaganie komputerowe projektowania pieców indukcyjnych tyglowych. III Konferencja "Badania naukowe w elektrotermii", Wisła 1988, s.28-39.
- [3] Sajdak Cz., Samek E.: Nagrzewanie indukcyjne. Podstawy teoretyczne i zastosowanie. Wyd. "Śląsk", Katowice 1987.
- [4] Kadzimirz R. i inni: Opracowanie programu do wyznaczania parametrów nagrzewnic indukcyjnych do wsadów prostokątnych i cylindrycznych, pełnych i rurowych, z metali nieżelaznych i stali do nagrzewania skrośnego stacjonarnego i przelotowego. Instytut Metalurgii Politechniki Śląskiej, Katowice 1988 (nie publikowane).

#### COMPUTER - AIDED DESIGN OF INDUCTION HEATERS AND FURNACES

##### Summary

Assisting programmes for crucible induction furnaces designs (OPPIT programme) and through induction heaters (OPNIS programme) designs have been presented in this paper. These programmes enable electrical and heat parametres determination for these installations as well, as cooling system parametres calculation and symmetrization and compensation of reactive power.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ И НАГРЕВАТЕЛЕЙ

## Резюме

Представлены прикладные программы помогающие проектировать индукционные тигельные печи (программа ОРПИТ) а также индукционные сквозные нагреватели (программа ОРНИС). Программы дают возможность рассчитать электрические и тепловые параметры этих устройств и подсчитать параметры систем охлаждения, симметрирования и компенсации реактивной мощности.