

## MODELOWANIE CZĘŚCI STOŻKOWEJ ŁUKU SKUTECZNEGO NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH STALOWNICZYCH PIECÓW ŁUKOWYCH PRĄDU PRZEMIENNEGO

### *The Modelling of the Conical Part of an Effective Arc on Examples of Selected Steelmaking AC-Arc Furnaces*

Anatolij M. KRUCZININ, Antoni SAWICKI

Politechnika Częstochowska

**Streszczenie:** W pracy opisano podstawowe zasady obliczania charakterystyk geometrycznych krótkiego, elektrycznego łuku skutecznego stalowniczych pieców łukowych prądu przemiennego. Szczególną uwagę zwrócono na obliczanie parametrów cienkiej warstwy z plazmą nierównowagową, znajdującej się przy płamie katodowej umownej. W obliczeniach charakterystyk elektrycznych i cieplnych łuku uwzględniono wpływ wielu czynników zewnętrznych na gradient napięcia. Obliczono parametry cieplne, elektryczne i geometryczne łuków wybranych pieców przemysłowych.

**Summary:** This paper describes the basic principles of calculation of a geometrical characteristic of a short effective electrical arc in steelmaking AC-arc furnaces. Particular attention was paid to computing the parameters of fluty coats with non-equilibrium plasma, at a conventional cathode spot. In the calculation of characteristics of electrical and thermal arcs, the influence of many external factors on gradient voltage were taken into account. Thermal, electrical and geometric parameters of the arc were calculated for selected industrial furnaces.

### 1. WSTĘP

Analizę energetyczną obwodów elektrycznych prądu przemiennego wygodnie jest wykonywać wprowadzając pojęcia wartości skutecznych prądów i napięć. Podobnie z wartościami skutecznymi prądu i napięcia stalowniczego pieca łukowego prądu przemiennego (SPŁPP) można związać pojęcie łuku skutecznego [5, 7]. Jest to taki łuk prądu stałego, który pod względem rozkładu strumienia ciepła na konwekcję, przewodzenie i promieniowanie odpowiada łukowi prądu przemiennego, a więc ma analogicznie jak łuk prądu stałego, niejednorodną strukturę poprzeczną i wzdłużną, tzn. część stożkową i cylindryczną. Również elektrody w postaci katody i anody są umowne, tzn. zgodne z przyjętym kierunkiem prądu (np. zespolonego). Podobnie umowne są płamy katodowa i anodowa. Tak utworzony łuk skuteczny jest elementem statycznym z jednokierunkowym przepływem

plazmy (od katody do anody) i omywających go gazów. Prędkości przepływu plazmy i tych gazów uważamy za skuteczne. Również ciśnienia wytworzone przez nie w części stożkowej łuku i na powierzchni umownej anody są skuteczne. Niskim napięciom i dużym prądom skutecznym odpowiada „krótki łuk”. Może on nie zawierać części cylindrycznej, a nawet może mieć obciętą część stożkową w pewnej odległości od katody. Ale nawet w tym przypadku część cylindryczna łuku jest uwzględniana jako wirtualna, gdyż stanowi nieodzowną podstawę obliczeń parametrów części stożkowej.

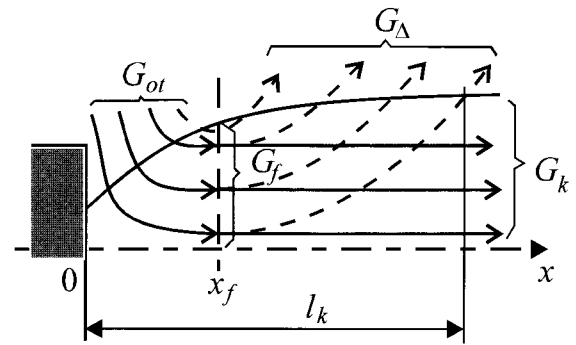
W celu utworzenia modelu fizykomatematycznego łuku w postaci elementu zastępczego przyjmuje się szereg założeń upraszczających [6]. Oprócz tego uwzględnia się każde stadium pracy SPŁPP, które charakteryzuje się odpowiednim składem chemicznym środowiska plazmotwórczego w obszarze płonienia łuku i średnią temperaturą otoczenia  $T_{ot}$  w jego bezpośredniej bliskości.

W literaturze naukowo-technicznej przytaczane są liczne charakterystyki robocze SPŁPP, jednakże nie dają one właściwego wyobrażenia o stanach pracy elektrycznych i cieplnych łuku, brak jest w nich bowiem wiarygodnych danych o udziale promieniowania w ogólnej mocy łuku, o temperaturze  $T_a$  łuku, jego rozmiarach (średnim promieniu  $r_a$ , promieniu  $r_K$  na katodzie umownej, promieniu  $r_A$  plamy anodowej umownej), gęstości  $j_K$  prądu na katodzie umownej, w zależności od wybranego stanu pracy elektrycznej i technologicznej. Zadaniem tego artykułu jest pokazanie możliwości obliczeniowych opracowanej metody analityczno-numerycznej opartej na modelu gazodynamicznym dwuwarstwowym łuku elektrycznego [3].

## 2. PODSTAWOWE ZASADY MODELOWANIA CHARAKTERYSTYK GEOMETRYCZNYCH KRÓTKIEGO ŁUKU SPŁPP

Każdy łuk elektryczny płonący w gazie o ciśnieniu atmosferycznym (lub zbliżonym do atmosferycznego) ma dwie zasadniczo różniące się części kolumny: stożkową i cylindryczną. Część stożkowa jest położona w pobliżu katody i ma długość prawie dwa-trzy razy większą od średniego promienia części cylindrycznej kolumny łuku ( $l_k = \Lambda_{ke} r_0 \approx 2,5r_0$ ). Podstawowy wpływ na charakterystyki plazmy w części stożkowej ma konwekcyjna forma rozpraszania energii pola elektrycznego. Jest to spowodowane ruchem plazmy od katody do anody. W części cylindrycznej kolumny sytuacja jest przeciwna. Konwekcyjna forma rozpraszania energii nie odgrywa tutaj istotnej roli. Podstawową postacią rozpraszania energii pola elektrycznego jest promieniowanie i przewodnictwo cieplne plazmy. Im krótszy jest łuk, tym bardziej znaczącą rolę odgrywa część stożkowa i procesy konwekcyjne odprowadzania energii z obszaru kolumny [8].

Cechą charakterystyczną stadium roztopiania materiału wsadowego w SPŁPP o dowolnej mocy jest znaczny wpływ części stożkowej przykatodowej kolumny na charakterystyki łuku i całego pieca. W tym stanie i w pozostałych, elektrycznych i technologicznych stanach pracy, długość części stożkowej kolumny  $l_k$  jest współmierna z długością  $l_a$  łuku. Na początku topienia długość łuku skutecznego  $l_a$  może być nawet mniejsza od długości  $l_k$  części stożkowej. Stosunek  $l_a/l_k$  w znacznym stopniu zależy od wartości napięcia wtórnego  $U_{2l}$  transformatora piecowego, tj. od wybranego stopnia napięciowego i od stadium technologicznego topienia stali w piecu. Im mniejsze jest napięcie  $U_{2l}$ , tym silniejszy jest wpływ części stożkowej kolumny na charakterystyki elektryczne i cieplne łuku i tym bardziej zauważalny wpływ procesów konwekcyjnych w piecu. Są one spowodowane ruchem plazmy powstałym w wyniku ściśnięcia linii prądu w pobliżu katody. W ten sposób, w zależności od wybranych, elektrycznych i technologicznych, stanów pracy będzie się zmieniał stosunek  $l_a/l_k$ , a więc i udziały promieniowania i konwekcji w procesie nagrzewania i topienia metalu w SPŁPP. To z kolei określa wartości takich ważnych parametrów łuku, jak gradient napięcia  $U_a$ , temperatura  $T_a$  i promień  $r_a$  łuku. Od udziału promieniowania w sumarycznej mocy łuku skutecznego w znacznym stopniu zależy szybkość topienia metalu, stabilność płonienia łuku, stabilność i jakość pracy układu sterowania automatycznego mocą łuku [4]. Ostatecznie, od stosunku długości części stożkowej do



Rys. 1. Strumienie gazów w obszarze przykatodowym łuku elektrycznego:  $G_{ot}$  — zasysany z otoczenia,  $G_f$  — w przekroju o współrzędnej  $x_f$ ,  $G_\Delta$  — rozpraszany w części stożkowej,  $G_k$  — na wejściu części cylindrycznej

części cylindrycznej kolumny łukowej zależą wszystkie wskaźniki energetyczne procesu topienia w piecu.

Tak istotne znaczenie części stożkowej przykatodowej kolumny łuku w rozwiązywaniu zadań modelowania matematycznego procesów roboczych w SPŁPP wymaga opracowania specjalnej teorii „łuku krótkiego”. Krótkim nazywamy taki łuk, w którym część stożkowa kolumny jest podstawowym obszarem roboczym, określającym w całości charakter procesów elektrycznych i cieplnych.

Badania teoretyczne i doświadczalne [1, 2] wykazały, że strumień gazu jest zasysany przez łuk bezpośrednio przy powierzchni katody (rys. 1). Właśnie tutaj ma miejsce wyraźne narastanie natężenia pola elektrycznego i obniżenie temperatury plazmy w wyniku wessania przez łuk zimnego gazu z otaczającego go obszaru. Należy się spodziewać, że warunek równowagi plazmy w tej cienkiej warstwie w pobliżu powierzchni katody jest naruszony. Współrzedną grubości tej warstwy plazmy nierównowagowej w pobliżu katody przyjęto oznaczać przez  $x_f$ . Z powodu tej nierównowagi naruszona jest jednoznaczność charakterystyk elektrycznych i cieplnych plazmy [5]. To z kolei nie pozwala wykorzystać funkcji konduktywności  $\sigma(T)$  plazmy do identyfikacji jej parametrów. Jeśli założyc, że współrzednej kolumny  $x \geq x_f$  odpowiada przywrócenie równowagi plazmy, to wtedy można oczekiwać spełnienia prawa Ohma w postaci:

$$j(x) = \sigma(\hat{T}_a(x)) \cdot E(x) \quad (1)$$

z gęstością  $j(x)$  prądu, konduktywnością  $\sigma$  i średnią temperaturą  $\hat{T}_a(x)$  plazmy oraz natężeniem pola elektrycznego  $E(x)$ . Ten warunek fizyczny pozwala wykonać identyfikację parametrów łuku przy katodzie, natężenia pola  $E_k$  i promienia  $r_k$  modelu matematycznego części stożkowej kolumny.

W celu uproszczenia zapisu i analizy parametrów modelu łuku zostaną wprowadzone pojęcia współczynnika niejednorodności geometrycznej części stożkowej kolumny,  $Z_r$ , i współczynnika nierównomierności pola  $Z_k$ :

$$Z_r = r_K^2 / r_0^2 \quad Z_k = E_k / E_0 \quad (2)$$

Wtedy z równania na rozkład pola przekroju kolumny łuku:

Tabela 1. Parametry transformatora piecowego, działającego z pierwszym stopniem napięcia wtórnego ( $S_{tr}$ ,  $U_2$ ,  $I_{el}$ ), i parametry zastępczego obwodu elektrycznego ( $R$ ,  $X$ ,  $I_z/I_N$ ) ( $I_{el}$  — dopuszczalny prąd pojedynczej elektrody, AF — przyjęte oznaczenie pieca, Q — pojemność wsadowa, ROW — rodzaj obwodu wtórnego z doprowadzeniami prądowymi, TWY — trójkąt na wyprowadzeniach transformatora, TNE — trójkąt niesymetryczny na elektrodach, NUE — nachylone uchwyty elektrodowe, TGT — triangulowana gwiazda na transformatorze) [6, 9].

AF	Q		Parametry transformatora			Parametry obwodu zastępczego			ROW
	Mg	Kraj	$S_{tr}$ MVA	$U_2$ V	$I_{el}$ kA	$R$ m $\Omega$	$X$ m $\Omega$	$I_z/I_N$	
AF1	5	Rosja	2,00	200	5,80	1,150	4,83	4,01	TWY
AF2	5	Rosja	4,00	281	8,22	1,12	5,31	—	TNE
AF3	25	Rosja	9,00	318	16,35	0,785	4,14	2,67	TNE
AF4	70	Japonia	45,00	435	60,0	0,6	3,0	—	NUE
AF5	70	Japonia	45,00	650	40	1,0	4,5	—	NUE
AF6	100	Rosja	63,00	573	60,90	0,490	3,97	1,50	TGT
AF7	400	Rosja	—	840	91,5	0,47	3,18	—	TGT

$$r_a(x)^2 = r_0^2 - (r_0^2 - r_k^2) \cdot \exp\left(-\frac{x}{k_r r_0}\right) \quad (3)$$

otrzymuje się:

$$r_a(x)^2 = r_0^2 + (Z_r - 1) \cdot r_0^2 \cdot \exp\left(-\frac{x}{k_r r_0}\right) \quad (4)$$

gdzie:

$k_r$  — współczynnik rozszerzenia łuku w kierunku od katody do anody w granicach części stożkowej kolumny ( $0 < x < l_k$ ).

Zbieżność tej funkcji można oszacować używając pojęcia błędu względnego:

$$\delta_r = \frac{\Delta r^2}{r_0^2} \quad (5)$$

w którym:

$$\Delta r^2 = r_0^2 - [r(x=l_k)]^2 = r_0^2 - (1 - Z_r) \cdot r_0^2 \cdot \exp\left(-\frac{\Lambda_{ke}}{k_r}\right) \quad (6)$$

Następnie będzie dokonane oszacowanie zbieżności funkcji rozkładu pola elektrycznego:

$$E(x) = E_0 + (Z_k - 1) \cdot E_0 \cdot \exp\left(-\frac{x}{k_e r_0}\right) \quad (7)$$

i funkcji (4) do wartości ustalonych. Jeśli założyć równość względnych błędów zbieżności ( $\delta_E = \delta_r$ ), to związek między parametrami pola elektrycznego (7) a funkcją geometryczną łuku (4) można zapisać w postaci równania:

$$\frac{1}{k_r} = \frac{1}{k_e} + \frac{1}{\Lambda_{ke}} \ln\left(\frac{1 - Z_r}{Z_k - 1}\right) \quad (8)$$

W rozważaniach należy jednak uwzględnić znaczną różnicę błędów zbieżności funkcji pola elektrycznego  $\delta_E$  i funkcji rozszerzenia łuku  $\delta_r$  ( $\delta_E > \delta_r$ ):

$$D_a = \frac{\delta_E}{\delta_r} = \frac{(Z_k - 1) \cdot \exp\left(-\frac{\Lambda_{ke}}{k_e}\right)}{(1 - Z_r) \cdot \exp\left(-\frac{\Lambda_{ke}}{k_r}\right)} \quad (9)$$

Do wzoru (8) wprowadza się więc poprawkę na stosunek błędów zbieżności funkcji (4) i (7). Po zmodyfikowaniu ma on postać:

$$\frac{1}{k_r} = \frac{1}{k_e} + \frac{1}{\Lambda_{ke}} \ln\left(\frac{D_a \cdot (1 - Z_r)}{Z_k - 1}\right) \quad (10)$$

Układ równań wiążący parametry elektryczne i geometryczne łuku rozwiązuje się metodą iteracyjną. Bieżąca wartość współrzędnej  $x = x + \Delta x$  jest zadawana, poczynając od  $x = 0$ , tj. powierzchni katody. Proces zostaje zatrzymany w momencie uzyskania, z zadaną dokładnością, wartości mocy odprowadzanej konwekcyjnie z łuku, a obliczonej wg dwóch wzorów związanych z gazodynamiką:

$$P_{kon}(x) = G(x) \cdot (h(\hat{T}_a(x)) - h(T_{ot})) \quad (11)$$

i elektrodynamiką:

$$P_{kon}(x) = I_a U_{kon}(x) = I_a \cdot (Z_k - 1) \cdot E_0 \cdot r_0 k_e \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{x}{r_0 k_e}\right)\right] \quad (12)$$

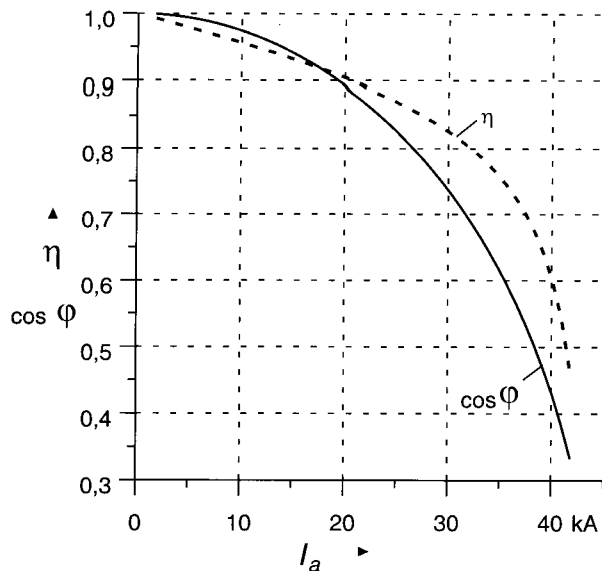
gdzie:

$G$  — strumień masy gazu,

$h$  — jego entalpia właściwa,

$I_a$  — prąd łuku,

$U_{kon}$  — spadek napięcia spowodowany konwekcją.



Rys. 5. Współczynniki sprawności elektrycznej i mocy pieca bazowego AF3

$$P_{\epsilon 3} = 3 \cdot P_{\epsilon 0} \cdot I_a \quad (23)$$

i mocy rozpraszanej konwekcyjnie:

$$P_{kon3} = 3 \cdot P_{\lambda 0} \cdot I_a + 3 \cdot U_{kon} \cdot I_a \quad (24)$$

w zależności od prądu.

Ogólnie przyjęte wielkości, charakteryzujące właściwości energetyczne projektowanych SPŁPP, obejmują:

— straty elektryczne w obwodzie pieca:

$$P_{\Delta} = 3I_a^2 R \quad (25)$$

— współczynnik sprawności elektrycznej:

$$\eta_e = \frac{3P_a}{P} \quad (26)$$

— współczynnik mocy:

$$\cos \varphi = \frac{P}{3I_a U_{2f}} \quad (27)$$

gdzie  $P$  jest mocą czynną całego pieca.

Na rysunku 5 pokazano obliczone charakterystyki w postaci zależności sprawności elektrycznej i współczynnika mocy od prądu łuku. Rozważania dotyczyły pieca średniej pojemności, oznaczonego przez AF3. Następnie zostaną wykonane obliczenia charakterystyk elektrycznych, cieplnych i geometrycznych krótkiego łuku kilku typowych pieców.

W tabeli 4 zamieszczono obliczone współczynniki funkcji pola elektrycznego (7) i kształtu geometrycznego (4) łuku, gęstości prądu na katodzie  $j_K$ , grubości warstwy plazmy nierównowagowej  $x_f$ , stosunku długości łuku  $l_a$  do promienia części cylindrycznej  $r_0$  w piecach przemysłowych (tabela 1).

Uwzględniając te same piece i to samo stadium pracy F2, obliczono charakterystyki robocze pojedynczego łuku i wypadkowe każdego urządzenia. Wyniki zamieszczono w tabeli 5. Ostatnia kolumna zawiera stosunek prądu znamionowego  $I_N$  do prądu zwarcia  $I_z$ .

Uwzględniając te same warunki, w tabeli 6 zamieszczono parametry geometryczne łuku. Są to:  $l_a$  — długość,  $r_a$  — średni promień,  $T_a$  — średnia temperatura,  $\beta$  — gradient napięcia. Dodatkowo podano parametry części cylindrycznej kolumny  $E_0$ ,  $r_0$ ,  $T_0$ .

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie wyników obliczeń można wnioskować o silnym związku charakterystyk elektrycznych, cieplnych i geometrycznych łuku z zewnętrznymi parametrami elektrycznymi pieca. Dotyczy to napięcia wtórnego przewodowego transformatora piecowego  $U_{2b}$ , prądu roboczego łuku  $I_a$  i składowych impedancji obwodu elektrycznego ( $R$  i  $X$ ). W praktyce projektowania nowych pieców zaznacza się tendencja zwiększania napięcia wtórnego transformatora. Prowadzi to do wydłużenia łuku i wzrostu udziału jego części cylindrycznej, decydującej o efektywnej wymianie ciepła za pomocą promieniowania.

W podsumowaniu można stwierdzić, że funkcje pola elektrycznego (7), (13) – (19) umożliwiają obliczenie gradientu  $\beta$  napięcia łuku i wykonanie modelowania łuków w celu wyznaczenia potrzebnych charakterystyk elektrycznych projek-

Tabela 4. Parametry elektryczne i geometryczne łuku elektrycznego pieców w stadium F2

Symbol pieca	Parametry modeli łuku							
	$Z_k$	$k_e$	$Z_r$	$k_r$	$j_K$	$T_f$	$x_f$	$l_a/r_0$
	—	—	—	—	$10^6 \text{ A/m}^2$	$10^3 \text{ K}$	$10^{-4} \text{ m}$	—
AF1	27,16	0,2553	0,5587	0,2811	12,5	7,10	0,91	0,401
AF2	24,02	0,2555	0,6505	0,2791	10,8	7,10	1,16	1,330
AF3	18,26	0,2559	0,8066	0,2771	8,6	7,16	1,83	1,277
AF4	10,17	0,2751	0,9578	0,2792	6,2	7,42	3,68	0,502
AF5	12,59	0,2566	0,9256	0,2781	6,9	7,31	2,96	3,978
AF6	10,09	0,2571	0,9587	0,2793	6,2	7,42	3,70	1,316
AF7	8,65	0,2576	0,9740	0,2815	5,8	7,51	4,36	3,369

Tabela 5. Parametry energetyczne łuków i pieców w punkcie pracy z prądem  $I_N$ 

Symbol pieca	Parametry łuku i pieca							
	$P_{a3}$ kW	$P_{\Delta}$ kW	$P_{e3}$ kW	$P_{kon3}$ kW	$n_e$ —	$\eta_e$ —	$\cos\varphi$ —	$I_N/I_Z$ —
AF1	1833	116	87	1747	0,047	0,940	0,970	0,249
AF2	3626	227	501	2862	0,138	0,941	0,963	0,275
AF3	7742	630	1422	5642	0,184	0,925	0,930	0,375
AF4	25046	6480	4349	19800	0,174	0,794	0,697	0,731
AF5	34715	4800	18129	15986	0,552	0,879	0,877	0,491
AF6	35803	5452	11683	23207	0,326	0,868	0,683	0,736
AF7	94698	11805	56335	36991	0,595	0,889	0,800	0,606

Tabela 6. Parametry geometryczne łuku

Symbol pieca	Parametry geometryczne łuku						
	$\beta$ V/m	$T_a$ $10^3$ K	$l_a$ $10^{-2}$ m	$r_a$ $10^{-2}$ m	$E_0$ V/m.	$r_0$ $10^{-2}$ m	$T_0$ $10^3$ K
AF1	19583	7,34	0,007	1,48	981,3	1,63	13,67
AF2	7282	8,15	0,026	1,87	957,8	1,93	13,94
AF3	5771	8,43	0,035	2,68	922,5	2,66	14,14
AF4	6179	8,08	0,028	5,61	872,3	5,66	13,34
AF5	2182	10,56	0,178	4,46	887,1	4,46	12,8
AF6	3397	9,03	0,075	5,69	872,2	5,71	13,33
AF7	1924	10,54	0,242	7,18	861,6	7,18	13,03

towanych pieców. Możliwa jest także identyfikacja parametrów funkcji geometrycznej (4) łuku elektrycznego. To z kolei jest podstawą do obliczeń takich parametrów łuku, jak: średnia temperatura, średni promień geometryczny, gęstość prądu w pobliżu umownych katody  $j_K$  i anody  $j_A$ .

## LITERATURA

- Ahlers H., Timm K.: *Untersuchungen von frei brennenden Gleichstromlichtbogen bis 12 MW an Elektrostahlofen*. Teil 2: Modellbildung. *Elektrowärme International* 1987, 45, B291–B302.
- Bortniczuk N.I., Krutianskij M.M.: *Plazmodugowyje pławilnyje pieczy*. Energiogizdat, Moskwa 1981.
- Kruczinin A.M.: *Niekotoryje riezultaty issledowanija awtomatycznej sistemy stabilizacii toka elektrodugowych nagriewateliej gaza*. Izv. SO AN SSSR, ser. Techn. Nauk 1967, 1, 3, 15–23.
- Kruczinin A.M. i in.: *Awtomatyczkoje uprawlenie elektrotiermicheskimi ustanowkami*. Pod red. A.D. Swieczanskogo Energiogatomizdat, Moskwa 1990.
- Kruczinin A.M., Sawicki A.: *Urządzenia elektrotechnologiczne z nagrzewaniem łukowym i plazmowym. Cz.1. Teoria nagrzewania łukowego i plazmowego*. Skrypt 17, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1997.
- Kruczinin A.M., Sawicki A.: *Piece i urządzenia łukowe*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa (w druku).
- Sawicki A., Krouchinin A.M.: *Modelling the cylindrical part of the effective arc in steelmaking ac arc furnaces*. *Elektrowärme International* Ed B, B4, B170-B176.
- Sawicki A., Krouchinin A.M.: *Modelling the conical part of the effective arc in steelmaking ac arc furnaces*. *Archives of Electrical Engineering* (w druku).
- Smoljarenko W.D.: *Wysokomoszcznyje dugowyje staleplawilnyje pieczy*. Izd. Energia, Moskwa 1976.



### Prof. dr hab. inż. Anatolij Michajłowicz Kruczinin

Urodził się 07.01.1938 roku w Wjaźmie (obwód smoleński, w Rosji). W 1961 roku ukończył Moskiewski Instytut Energetyczny (MEI), specjalność: urządzenia elektroteczne. W latach 1961–1965 pracował jako inżynier w laboratorium naukowo-badawczym specjalistycznego wyposażenia wysokotemperaturowego.

W 1967 roku obronił pracę doktorską z zakresu procesów i urządzeń elektrotecznych. W latach 1967–1976 kierował grupą naukową w laboratorium problemowym wyposażenia elektrotecznego MEI. Od 1979 roku pracował na stanowisku docenta w Katedrze Zautomatyzowanych Urządzeń i Systemów Elektrotechnologicznych. W 1982 obronił pracę habilitacyjną, a w 1984 roku nadano mu tytuł profesora. W 1993 roku został wybrany członkiem korespondentem Rosyjskiej Akademii Nauk Elektrotechnicznych. Od 1994 roku pracuje na Politechnice Częstochowskiej w Katedrze Elektrotechniki i Elektrotechnologii. Jest autorem i współautorem ponad 120 publikacji w czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych rosyjskich, polskich i innych zagranicznych, 17 monografii i podręczników z zakresu elektrotechnologii oraz 57 zgłoszeń patentowych. Był promotorem 12 prac doktorskich, recenzentem 25 prac doktorskich i 7 rozpraw habilitacyjnych. Jest przewodniczącym Sekcji Elektrotechnologii Towarzystwa Naukowo-Technicznego Rosji, członkiem Prezydium Komitetu Elektrotechnologii Rosji, zastępcą przewodniczącego Rady Specjalizacyjnej Rosyjskiej Komisji Atestacyjnej d.s. obron prac doktorskich w MEI, członkiem Rady Naukowo-Metodycznej Ministerstwa Szkolnictwa Wyższego Rosji.

Adres miejsca pracy: Politechnika Częstochowska, Katedra Elektrotechniki i Elektrotechnologii, 42-200 Częstochowa, al. Armii Krajowej 17, tel.: (0-34) 3250306, fax: (0-34) 3250823



**Dr inż. Antoni Sawicki**

Urodził się 22.07.1952 roku w Częstochowie. W 1977 roku ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej. Następnie podjął pracę na tej uczelni, początkowo na stanowisku asystenta w Zakładzie Elektrotechniki i Metrologii Elektrycznej. W 1988 roku obronił pracę doktorską z zakresu elektrotechniki teoretycznej w Moskiewskim Instytucie Energetycznym. Po awansowaniu na stanowisko adiunkta przy-

stąpił do organizowania zespołu naukowo-dydaktycznego i budowy laboratoriów z zakresu elektrotechnologii. W 1993 roku został powołany na stanowisko kierownika nowego Zakładu Elektrotechnologii w Katedrze Elektrotechniki i Elektrotechnologii. Jest autorem i współautorem ponad 80 publikacji w czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych polskich i zagranicznych, 2 skryptów i 14 indywidualnych projektów wynalazczych. Jego dorobek obejmuje prace z zakresu elektrotechniki teoretycznej, metrologii elektrycznej, elektrotechnologii spawalniczej, elektrotermicznej i elektrochemicznej, elektrometalurgii i elektroekologii. Jest członkiem SEP, od 1997 roku członkiem Zarządu Oddziału Katowickiego Polskiego Komitetu Elektrotermii, od 1998 roku członkiem Prezydium Polskiego Komitetu Elektrotermii. Jego dziedziną zainteresowań jest ogólnie pojęta elektrotechnologia (elektrotermiczna, spawalnicza i elektrochemiczna).

Adres miejsca pracy: Politechnika Częstochowska, Katedra Elektrotechniki i Elektrotechnologii, 42-200 Częstochowa, al. Armii Krajowej 17, tel.: (0-34) 3250816, fax: (0-34) 3250823