

Andrzej Puszer  
Zbigniew Jastrząb  
Lech Mańkowski  
Instytut Energetyki Gazowej

BADANIA NAD KONCEPCJĄ UKŁADU AUTOMATYCZNEGO  
STEROWANIA PALNIKA IMPULSOWEGO

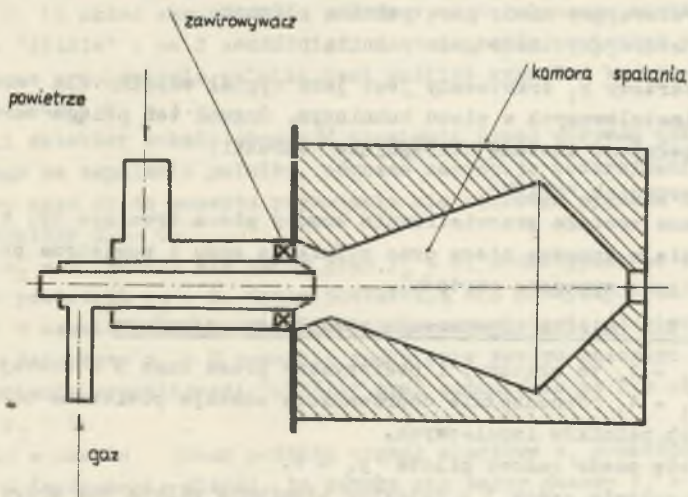
**Streszczenie:** W artykule przedstawiono algorytmy układów automatycznego sterowania (UAS) palnika impulsowego z zapłonem pośrednim i bezpośrednim. Omówiono również badania UAS zrealizowanych na elementach logicznych E-50 i E-200k.

### 1. Wstęp

Jednym ze sposobów intensyfikacji procesu nagrzewania wsadu w piecach przepychowych jest stosowanie palników z dużą prędkością wypływu spalin, zwanych palnikami szybkoekomiennymi lub impulsowymi.

Palnik impulsowy posiada wewnętrzną komorę spalania (rys. 1), do której dopływają substraty pod ciśnieniem rzędu  $700 \text{ N/m}^2$ . Komora jest tak ukształtowana, że zapewnia całkowite spalanie oraz dużą prędkość wypływu spalin ( $\sim 200 \text{ m/s}$ ).

Względy ekonomiczne wymagają stosowania dwupołożeniowej regulacji temperatury. Podyktowane to jest wzrostem kosztów eksploatacji i czasu nagrzewania przy zastosowaniu regulacji ciągłej, obniżającej prędkość wypływu spalin, a przez to zmniejszającej wartość współczynni-



Rys. 1. Schemat ideowy palnika impulsowego

ka wnikania ciepła od spalin do wsadu. Przy regulacji dwupołożeniowej palnik nastawiony jest na stałą, optymalną wydajność cieplną, a temperaturę reguluje się przez załączanie i wyłączenie dopływu substratów.

Palnik impulsowy może być wykonany w dwóch wersjach: z zapłonem pośrednim i bezpośrednim. W palniku z zapłonem pośrednim mieszanka zapalana jest płomieniem palnika pilota, a w palniku z zapłonem bezpośrednim na drodze elektrycznej zależnie od sygnału z regulatora temperatury. W pracy rozważano koncepcje układu automatycznego sterowania dla obu wersji palnika impulsowego.

## 2. Algorytm układu automatycznego sterowania (UAS)

Obiekt sterowania (palnik impulsowy) rozważano w dwóch wersjach: z zapłonem pośrednim i bezpośrednim. Ze względu na dwustanowość pracy palnika impulsowego do sterowania wybrano sekwencyjny układ przełączający. Sygnały wejściowe i wyjściowe traktowane są jako binarne (dwójkowe 0, 1).

Sygnałami wejściowymi "x" będą:

- $x_1$  - sygnał startowy,
- $x_2$  - sygnał z dwupołożeniowego regulatora temperatury,
- $x_3$  - sygnał kasujący sygnalizację awarii,
- $x_4$  - sygnał z detektora płomienia palnika głównego,
- $x_5$  - sygnał z detektora płomienia palnika pilota.

Sygnałami wyjściowymi "y" będą:

- $y_1$  - zapłon pilota lub palnika głównego,
- $y_2$  - sygnalizacja awarii palnika,
- $y_3$  - sygnał sterujący zawór powietrza palnika głównego,
- $y_4$  - sygnał sterujący zawór gazu palnika głównego,
- $y_5$  - sygnał sterujący zawór gazu palnika pilota.

Sygnał startowy  $x_1$  traktowany jest jako sygnał wspólny dla wszystkich palników zainstalowanych w piecu hutniczym. Sygnał ten osiąga wartość  $x_1 = 1$  jeśli spełnione zostaną następujące warunki:

- włączony przycisk "START",
- zrealizowane zostało przewietrzenie komory pieca trwające np.  $t = 30$  s,
- podciśnienie w komorze pieca oraz ciśnienia gazu i powietrza przed palnikami osiągną wymagane wartości.

### Algorytm UAS palnika impulsowego z zapłonem pośrednim

1. Jeżeli  $x_1 = 1$ , to włączony i podtrzymany przez czas 3 s zostaje zapłon pilota  $y_1 = 1$ , równocześnie doprowadzone zostaje powietrze do pilotów wszystkich palników impulsowych.
2. Otwiera się zawór gazowy pilota  $y_5 = 1$ .
3. Jeśli po upływie czasu 3 s detektor płomienia pilota nie wykryje obecności płomienia  $x_5 = 0$ , układ przechodzi w pozycję "STOP" oraz uruchomiona zostaje sygnalizacja "AWARIA"  $y_2 = 1$ .

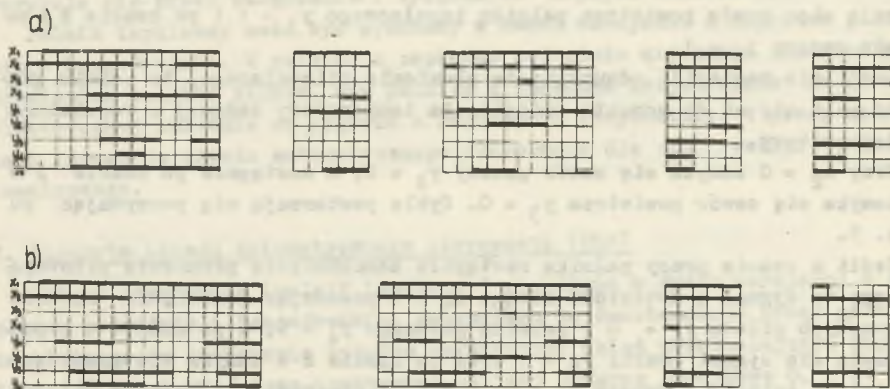
4. Jeżeli detektor pilota wskaże obecność płomienia  $x_5 = 1$  przed upływem czasu 3 s przeznaczonych na zapalenie pilota, wówczas następuje podtrzymanie otwarcia zaworu gazu pilota.
5. Jeśli sygnał z regulatora osiąga wartość  $x_2 = 1$ , to przy  $x_5 = 1$  otwierają się: zawór powietrza palnika impulsowego  $y_3 = 1$  i po czasie 2 s zawór gazowy  $y_4 = 1$ .
6. Jeśli nie nastąpiło zdmuchnięcie płomienia pilotującego, to palnik główny pali się aż do momentu osiągnięcia temperatury zadanej w regulatorze temperatury.
7. Przy  $x_2 = 0$  zamyka się zawór gazowy  $y_4 = 0$ , a następnie po czasie 2 s zamyka się zawór powietrza  $y_3 = 0$ . Cykle powtarzają się poczynając od p. 5.
8. Jeśli w czasie pracy palnika nastąpiło zdmuchnięcie płomienia pilotującego to sygnał z detektora osiąga  $x_5 = 0$  powodując zamknięcie zaworów gazowych pilota  $y_5 = 0$  i palnika głównego  $y_4 = 0$ , a po czasie 1 s pojawia się sygnał awarii  $y_2 = 1$  oraz po czasie 2 s zamyka się zawór powietrza palnika głównego  $y_3 = 0$ . Powtórne uruchomienie palnika możliwe jest sygnałem  $x_3 = 1$  generowanym ręcznym przyciskiem sterowniczym.
9. Jeżeli w czasie pracy palnika sygnał startowy  $x_1$  przeskoczy na wartość 0 (wyłączenie pieca), to zamykają się zawory gazowe  $y_4 = 0$  i  $y_5 = 0$ , a po 2 s zamyka się zawór powietrza  $y_3 = 0$ . Układ przechodzi w stan "STOP".

#### Algorytm UAS palnika impulsowego z zapłonem bezpośrednim

1. Jeżeli sygnał startowy  $x_1 = 1$  i sygnał z regulatora temperatury  $x_2 = 1$  to otwiera się zawór powietrza  $y_3 = 1$  oraz włączony i podtrzymany przez czas 4 s ÷ 5 s zostaje zapłon  $y_1 = 1$ .
2. Po upływie czasu 2 s otwiera się zawór gazowy  $y_4 = 1$ .
3. Jeśli w ciągu czasu 4 s ÷ 5 s detektor nie wskaże obecności płomienia  $x_4 = 0$ , to układ zamyka zawór gazowy  $y_4 = 0$ , włączona zostaje sygnalizacja "AWARIA" i po 2 s zamknięty zostaje zawór powietrza  $y_3 = 0$ . Powtórne uruchomienie palnika jest możliwe sygnałem kasującym sygnalizację awarii  $x_3 = 1$ .
4. Jeżeli detektor wskaże obecność płomienia przed upływem czasu przeznaczonego na zapalenie palnika, wówczas następuje podtrzymanie otwarcia zaworu gazu aż do momentu pojawienia się zerowego sygnału z regulatora temperatury  $x_2 = 0$ .
5. Przy  $x_2 = 0$  zamyka się zawór gazu  $y_4 = 0$ , a następnie po czasie 2 s zawór powietrza  $y_3 = 0$ . Cykle powtarzają się poczynając od p. 1.
6. Jeśli w czasie pracy palnika nastąpiło zdmuchnięcie płomienia, to sygnał z detektora  $x_4 = 0$  powoduje zamknięcie zaworu gazowego  $y_4 = 0$ , uruchomienie sygnalizacji "AWARIA" oraz zamknięcie po 2 s zaworu powietrza  $y_3 = 0$ .
7. Jeżeli w czasie pracy palnika sygnał startowy  $x_1$  przeskoczy na wartość 0 (wyłączenie pieca), to zamyka się zawór gazowy  $y_4 = 0$ , a po 2 s zamyka się zawór powietrza  $y_3 = 0$ . Układ przechodzi w stan "STOP".



Tablice kolejności łączy UAS palnika impulsowego z zapłonem pośrednim i bezpośrednim przedstawiono na rys. 2. W tablicach sygnały w stanie 1 zaznaczono linią pogrubioną.



Rys. 2. Tablice kolejności łączy UAS:

a) palnika impulsowego z zapłonem pośrednim, b) palnika impulsowego z zapłonem bezpośrednim

### 3. Struktura logiczna UAS

Do wyznaczenia funkcji przełączających określających strukturę UAS zastosowano metodę syntezy intuicyjnej [2]. Dla wersji palnika impulsowego z zapłonem pośrednim funkcje przełączające będą:

$$y_1 = \overline{[(x_1 \cdot \bar{y}_2)]} \cdot x_1 \bar{y}_2 \quad (1)$$

$$y_3 = x_2 \cdot x_5 + y_4 \downarrow \quad (2)$$

$$y_4 = (x_1 \cdot x_2 \cdot x_5) \downarrow \quad (3)$$

$$y_5 = (x_5 + y_1) x_1 \cdot \bar{y}_2 \quad (4)$$

$$q_1 = (x_1 \cdot \bar{y}_1 \cdot \bar{x}_5) \downarrow \quad (5a)$$

$$q_0 = x_1^{imp} + x_3 \quad (5b)$$

gdzie:

$q_1$  - sygnał wyzwalaający pamięć  $Y_2$ ,

$q_0$  - sygnał kasujący pamięć  $Y_2$ .

Strukturę UAS dla wersji palnika impulsowego z zapłonem bezpośrednim określają następujące funkcje przełączające:

$$y_1 = [(x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{y}_2)] \downarrow x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{y}_2 \quad (6)$$

$$y_3 = (x_4 + y_1) x_2 + y_4 \downarrow \quad (7)$$

$$y_4 = [x_1 \cdot x_2 (x_4 + y_1)] \downarrow \quad (8)$$

$$q_1 = (x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_4 \cdot \bar{y}_1) \downarrow \quad (9a)$$

$$q_0 = x_1^{\text{imp}} + x_3 \quad (9b)$$

Schematy logiczne realizujące tablice kolejności łączeń z rys. 1a i 1b przedstawiono na rys. 3 i 4.

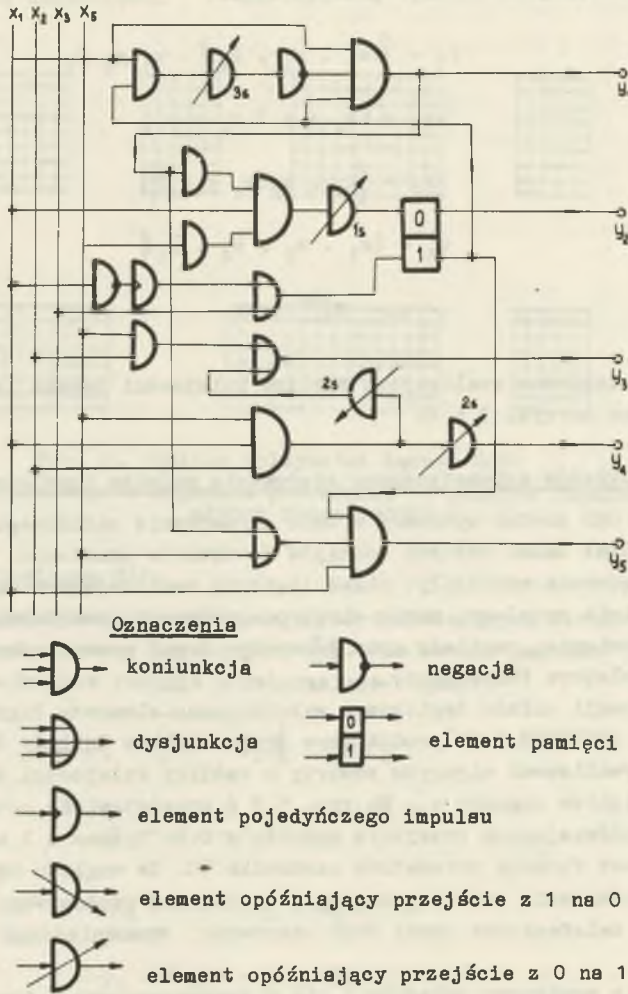
#### 4. Badania układów automatycznego sterowania palnika impulsowego

Pierwszy UAS został wykonany w celu sprawdzenia założonego algorytmu sterowania oraz badań różnych rodzajów detektorów płomienia. W skład omawianego urządzenia wchodziły: układ logiczny realizujący funkcje przełączające, palnik modelowy, zawór elektromagnetyczny, urządzenie zapłonowe, detektor płomienia, zasilacz oraz generator drgań prostokątnych jako symulator regulatora temperatury.

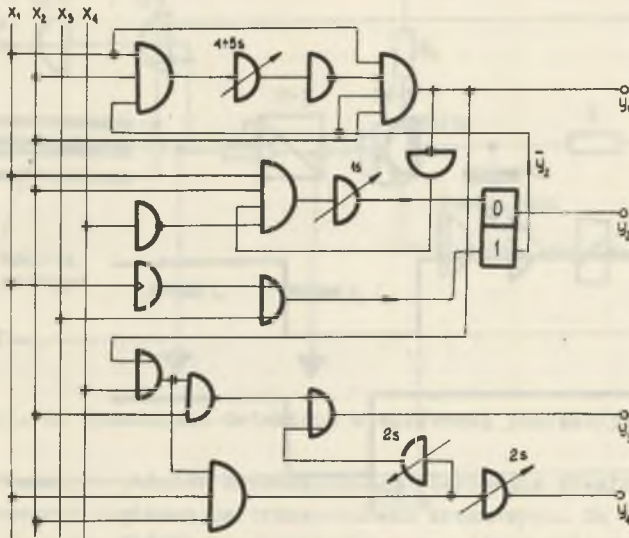
Do realizacji układu logicznego wykorzystano elementy logiczne systemu NOR szeregu LOGISTER E-50 produkowane przez Łódzkie Zakłady Radiowe T-4 [1]. Układ realizował algorytm zawarty w tablicy kolejności łączeń z rys. 2b, z pominięciem sygnału  $y_3$ . Na rys. 5 i 6 przedstawiono schematy ideowe elementów opóźniających przejście sygnału z 0 na 1 oraz z 1 na 0. Czas opóźnienia jest funkcją parametrów czwórnika RC. Ze względu na brak tyristorów do załączania zaworu gazowego i urządzenia zapłonowego stosowano przekaźniki telefoniczne serii T200 sterowane wzmacniaczami modułowymi E-W2.

Urządzenie zapłonowe składało się z rozproszeniowego transformatora o parametrach  $U_{wy} = 4,8 \text{ kV}$ ;  $U_{we} = 220 \text{ V}$ ;  $P = 250 \text{ VA}$  i dwóch elektrod zapłonowych.

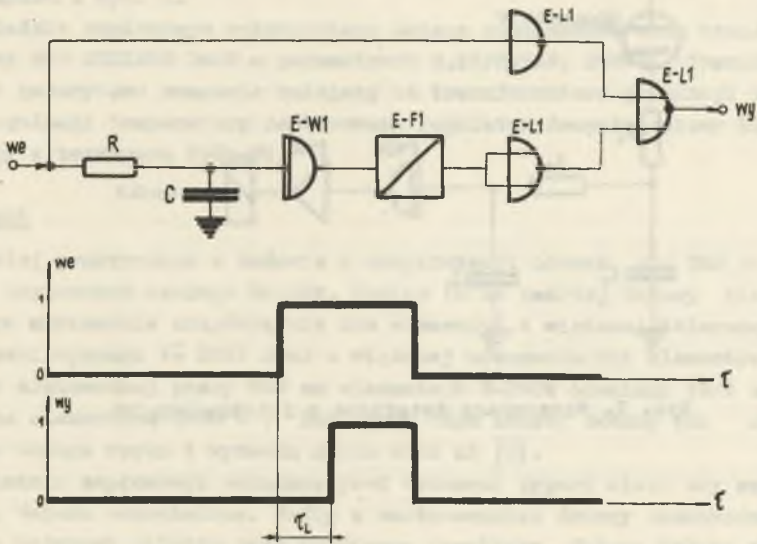
W układzie badano dwa typy detektora: z elektrodą jonizacyjną oraz z selektywną fotokomórką UF. Wzmacniacze prądowe do układu detekcji zbudowano w oparciu o elementy logiczne szeregu E-50. Schematy wzmacniaczy przedstawiono na rys. 7 i 8. Detektor z elektrodą jonizacyjną ma mniejszą wydajność prądową, stąd w układzie na rys. 8 powstała konieczność dobudowy tranzystora BC 527. Powstały w ten sposób wzmacniacz stanowi modyfikację wtórnika emitorowego w układzie Darlingtona z tranzystorami przeciwstawnymi (p-n-p i n-p-n). Modyfikacja ta pozwoliła na zrezygnowanie z dodatkowego źródła wysokiego napięcia stałego do zasilania elektrody jonizacyjnej.



Rys. 3. Struktura logiczna UAS palnika impulsowego z zaplonem pośrednim

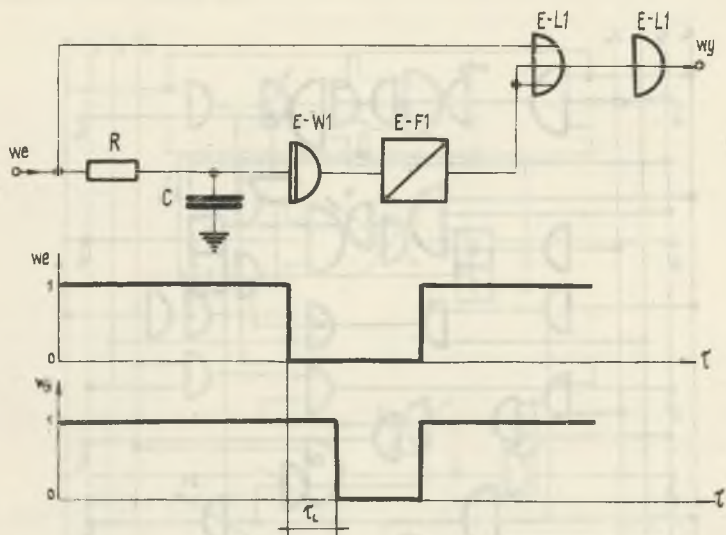


Rys. 4. Struktura logiczna UAS palnika impulsowego z zapłonem bezpośrednim

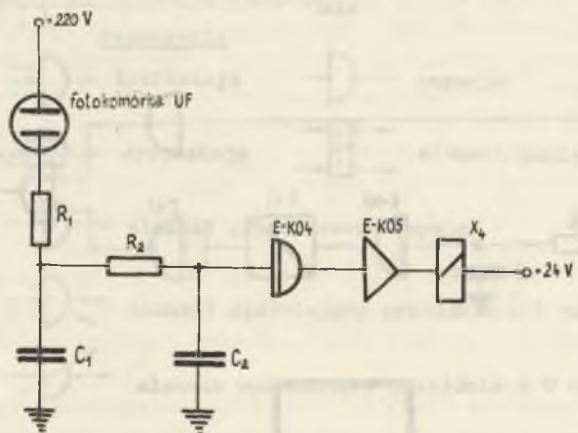


Rys. 5. Schemat ideowy elementu opóźniającego przejście sygnału z 0 na 1



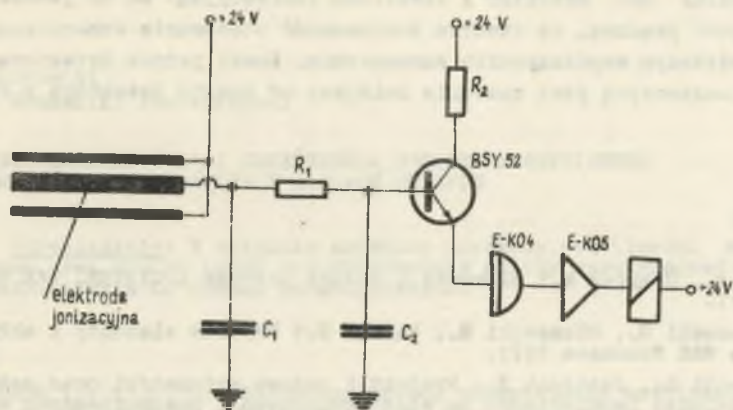


Rys. 6. Schemat ideowy elementu opniajcego. przejcie sygnału z 1 na 0



Rys. 7. Wzmacniacz detektora z fotokomrk UF





Rys. 8. Wzmacniacz detektora z elektrodą jonizacyjną

Drugi z badanych układów automatycznego sterowania zrealizowano w oparciu o elementy logiczne na tranzystorach krzemowych. Są to elementy z najnowszego szeregu E-200k produkowanego przez ŁZR-T4, przeznaczone do pracy w szczególnie trudnych warunkach otoczenia (zakres temperatury -  $40^{\circ}\text{C}$  do  $+70^{\circ}\text{C}$ ), a także tam, gdzie występują duże wahania napięcia zasilającego ( $\pm 20\%$ ). Układ logiczny realizował algorytmy podane w tablicach kolejności łączeń z rys. 2.

W układzie zapłonowym wykorzystano świece samochodowe oraz transformator firmy MAY CHRISTE GmbH o parametrach  $0,22/2 \times 5\text{kV}$ , 260VA. Transformator ten jest gabarytowo znacznie mniejszy od transformatora produkcji polskiej.

Do regulacji temperatury zastosowano regulator dwupołożeniowy RIT współpracujący z termoparą NiCr-Ni.

## 5. Wnioski

Bardziej praktycznym w budowie i eksploatacji okazał się UAS na elementach logicznych szeregu E-200k. Wynika to ze zwartej budowy elementów (w jednym minimodule znajdują się dwa elementy) z większej tolerancji napięcia zasilającego ( $\pm 20\%$ ) oraz z większej niezawodności elementów.

Okres niezawodnej pracy UAS na elementach E-200k oceniany jest na 28 lat, a na elementach E-50 - 7 lat, przy czym koszty budowy obu układów są tego samego rzędu i wynoszą około 6000 zł [3].

W układzie zapłonowym wskazane jest stosować typowe elektryki zapłonowe, tzn. świece samochodowe. Próby z zastosowaniem świecy samochodowej w drugim z badanych układów dały pozytywne rezultaty. Celowe byłoby również zmniejszenie gabarytów transformatora zapłonowego. Prace projektowe nad nowym typem zminiaturyzowanego transformatora są obecnie w toku.

Badania układów detekcji obejmowały detektor z fotokomórką UF i z elektrodą jonizacyjną. Detektor UF odznaczał się wysoką czułością. Wadą jego

była wrażliwość na promieniowanie emitowane przez łuk elektryczny. Wady tej pozbawiony był detektor z elektrodą jonizacyjną. Ma on jednak mniejszą wydajność prądową, co stwarza konieczność stosowania wzmacniacza prądowego o większym współczynniku wzmocnienia. Koszt jednak detektora z elektrodą jonizacyjną jest znacznie mniejszy od kosztu detektora z fotokomórką.

#### LITERATURA

- [1] Cyran A., Grzybek M.: Elementy i układy cyfrowe LOGISTER. WKŁ Warszawa 1971.
- [2] Kaczanowski S., Olszewski M., Wański Z.: Płynowe elementy i układy logiczne WKŁ Warszawa 1971.
- [3] Mańkowski L., Jastrząb Z.: Projekt i budowa automatyki oraz zabezpieczeń palnika impulsyjnego na elektronicznych i pneumatycznych elementach logicznych. Praca dyplomowa, Dąbrowa Górnicza, 1972.

Praca wpłynęła do Redakcji w maju 1973 roku.

#### ИССЛЕДОВАНИЯ НАД КОНЦЕПЦИЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ГОРЕЛКОЙ

#### Р е з ю м е

В работе представлены алгоритмы систем автоматического управления (САУ) импульсной горелкой с прямо и промежуточным зажиганием. Обсуждены также исследования САУ, построенные на логических элементах E-50 и E-200 к.

#### INVESTIGATIONS ON THE STRUCTURE OF THE IMPULSE GAS BURNER WITH THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

#### S u m m a r y

There have been presented in this paper algorithms of the automatic control system applied to the impulse gas-burner with direct and indirect ignition. There was also given a description of testing of the automatic control systems based on E-50 and E-200k logic elements.