

221646L/1

RAPORTY INSTYTUTU ENERGOELEKTRYKI POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
Seria PREPRINTY Nr 121

Na prawach rękopisu

STEROWANIE EKSPLOATACJA, EIEK-
TROENERGETYCZNYCH URZĄDZEŃ
ODBIORCZYCH

Grażyna Dąbrowska

Słowa kluczowe:
eksploatacja, sterowanie,
urządzenia elektroenergetyczne.

Wrocław 1980

221646-14

mgr inż. Grażyna Dąbrowska

INSTYTUT ENERGOELEKTRYKI POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

STEROWANIE EKSPLOATACJĄ ELEKTROENERGETYCZNYCH URZĄDZEŃ
ODBIORCZYCH

Rozprawa doktorska

przedstawiona do oceny Radzie Naukowo-Dydaktycznej
Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej

Promotor: Prof. dr hab.inż. Zdzisław TERESIAK

Wrocław 1980

80121702006

Mgr inż. Grażyna Dąbrowska
Instytut Energoelektryki
Politechniki Wrocławskiej
pl. Grunwaldzki 13
50-377 WROCLAW

W raporcie przedstawiono modele sterowania eksploatacją elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych zawierające sformalizowany opis systemu eksploatacji urządzeń oraz analizę growych sytuacji eksploatacyjnych. Dokonano zastosowania wybranych modeli do sterowania eksploatacją urządzeń gniazda produkcyjnego w sytuacjach konfliktowych.

Raport wpłynął do Redakcji Instytutu Energoelektryki
Politechniki Wrocławskiej w czerwcu 1980 r.

SPIS TREŚCI

str.

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ.....	7
1. WSTĘP	10
1.1. Specyfika systemu eksploatacji elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych	10
1.2. Cel i zakres pracy	11
2. SFORMALIZOWANY OPIS SYSTEMU EKSPLOATACJI GNIAZDA PRODUKCYJNEGO	13
2.1. Pojęcie gniazda produkcyjnego	13
2.2. Stany eksploatacyjne gniazda produkcyjnego	16
2.3. Struktura funkcjonalna gniazda produkcyjnego	18
2.4. Elementarny układ eksploatacji gniazda produkcyjnego	21
2.5. Miejsce elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych w elementarnym układzie eksploatacji gniazda produkcyjnego	24
2.6. Podsystem eksploatacji urządzeń elektrycznych gniazda produkcyjnego	26
2.6.1. Podsystem eksploatacji pojedynczego urządzenia elektrycznego	26
2.6.2. Podsystem eksploatacji grupy jednorodnej urządzeń elektrycznych	30
2.6.3. Podsystem eksploatacji makrogrupy niejednorodnej urządzeń elektrycznych gniazda produkcyjnego	33
2.7. Podsystem eksploatacji urządzeń mechanicznych gniazda produkcyjnego	35
2.8. Podsystem eksploatacji urządzeń automatyki gniazda produkcyjnego	36
2.9. System eksploatacji gniazda produkcyjnego	37
3. PROCES EKSPLOATACJI GNIAZDA PRODUKCYJNEGO	39
3.1. Wektor stanu systemu eksploatacji gniazda produkcyjnego	39
3.2. Definicje procesu eksploatacji gniazda produkcyjnego	40
4. POTENCJAŁ EKSPLOATACYJNY GNIAZDA PRODUKCYJNEGO	42
4.1. Uwagi wstępne	42

	str.
4.2. Potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń o strukturze funkcjonalnej równoległej	42
4.3. Potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń o strukturze funkcjonalnej szeregowej	
4.4. Potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń o strukturze funkcjonalnej mieszanej..	43
4.5. Potencjał eksploatacyjny gniazda produkcyjnego	46
5. KONFLIKTOWE SYTUACJE W SYSTEMIE EKSPLOATACJI GNIAZDA PRODUKCYJNEGO	49
5.1. Identyfikacja eksploatacyjnych sytuacji konfliktowych w systemie eksploatacji gniazda produkcyjnego	49
5.2. Eksploatacyjne gry między decydentami systemu eksploatacji gniazda produkcyjnego	51
5.3. Eksploatacyjne gry statystyczne w sterowaniu eksploatacją gniazda produkcyjnego	53
6. STEROWANIE GOTOWOŚCIĄ GNIAZDA PRODUKCYJNEGO W MODELU GRY STATYSTYCZNEJ	55
6.1. Uwagi wstępne	55
6.2. Współczynnik gotowości i współczynnik zapotrzebowania na gotowość gniazda produkcyjnego	55
6.3. Dziedzina i założenia modelu	57
6.4. Podstawowe relacje modelu	59
6.5. Optymalne strategie decydenta eksploatacji	62
7. STEROWANIE EKSPLOATACJĄ GNIAZDA PRODUKCYJNEGO W WARTUNKACH ZAKŁÓCEŃ ZEWNĘTRZNYCH	67
7.1. Uwagi wstępne	67
7.2. Ocena prawdopodobieństwa braku zakłóceń zewnętrznych w procesie użytkowania i obsługiwanis gniazda produkcyjnego w modelu gry statystycznej	67
7.3. Matematyczny model decyzyjny sterowania eksploatacją gniazda produkcyjnego	72
8. EKSPLOATACYJNA GRA STRATEGICZNA KIEROWNIKA UŻYTKU I GŁÓWNEGO ENERGETYKA	79
9. OGÓLNY ALGORYTM STEROWANIA EKSPLOATACJĄ GNIAZDA PRODUKCYJNEGO W SYTUACJI KONFLIKTOWEJ	85
10. WNIOSKI OGÓLNE.....	89

11. LITERATURA	91
12. ZAŁĄCZNIKI	96
ZAŁĄCZNIK 1. Przykład sterowania gotowością urządzeń elektrycznych gniazda produkcyjnego w zakładzie przemysłowym w modelu gry statystycznej	96
ZAŁĄCZNIK 2. Eksploatacyjna gra strategiczna kierownika użytku i głównego energetyka na przykładzie wybranego gniazda produkcyjnego w zakładzie przemysłowym	104

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

- A - podsystem eksploatacji urządzeń automatyki
- c - czynność operacji technologicznej
- dE - decydent eksploatacji
- d - niezrandomizowana funkcja decyzyjna
- E - podsystem eksploatacji urządzeń elektrycznych
- E_G - graf eksploatacyjny
- E - zbiór dopuszczalnych strategii sterowania
- F - dystrybuanta zmiennej losowej
- GE - główny energetyk
- G_j - j-ta grupa jednorodna urządzeń
- GM - główny mechanik
- G_nG - makrogrupa niejednorodna urządzeń
- G_p - gniazdo produkcyjne
- i - numer urządzenia
- I - liczba wszystkich urządzeń w grupie jednorodnej
- j - numer grupy jednorodnej urządzeń
- J - liczba wszystkich grup jednorodnych urządzeń wyróżnionych w danym podsystemie
- K - liczba wyróżnionych etapów sterowania
- k - numer etapu sterowania
- KE - kierownik eksploatacji
- KO_E - kierownik wydziału elektrycznego
- KU - kierownik użytku
- {KU,GE} - eksploatacyjna gra między kierownikiem użytku i głównym energetykiem
- {KU,GM} - eksploatacyjna gra między kierownikiem użytku i głównym mechanikiem
- L - liczba wyróżnionych czynności w operacji technologicznej
- I - numer czynności operacji technologicznej
- Ł - łańcuch działania
- M - podsystem eksploatacji urządzeń mechanicznych
- N - natura
- O - liczność podzbioru parametrów techniczno-eksploatacyjnych urządzeń danego podsystemu

- o - numer parametru techniczno-eksploatacyjnego
- Ob - obsługownik bezpośredni
- Ω - wektor stanu systemu eksploatacji gniazda produkcyjnego
- P - liczba wyróżnionych obsług
- p - numer obsługi
- PSE - podsystem eksploatacji
- PSO - podsystem obsługi
- PSU - podsystem użytku
- $p_{zs}(k)$ - prawdopodobieństwo niewystąpienia zakłóceń w procesie użytkowania gniazda na skutek braku surowca
- R - zbiór liczb rzeczywistych
- $R(p_{zs}(k), d)$ - funkcja ryzyka
- $r(\xi, d)$ - ryzyko bayesowskie
- SEG_p - system eksploatacji gniazda produkcyjnego
- SG - stan eksploatacyjny grupy jednorodnej
- $SG_n G$ - stan eksploatacyjny makrogrupy niejednorodnej
- SG_p - stan eksploatacyjny gniazda produkcyjnego
- S_o - środki obsługi
- SOG_p - system obsługi gniazda produkcyjnego
- SUG_p - system użytku gniazda produkcyjnego
- T_{op} - operacja technologiczna
- t - chwila
- u - urządzenie pojedyncze
- u^* - wartość użyteczności oddziaływań pośrednich
- U - wektor oddziaływań pośrednich kierownika użytku
- u_{odb} - pojedyncze urządzenie odbiorcze
- u_z - użytkownik
- UKU - utajony kierownik użytku
- UKO - utajony kierownik obsługi
- $W_1(k)$ - koszt magazynowania i przechowywania urządzenia pojedynczego w k-tym etapie sterowania
- $W_2(k)$ - strata zysku przez decydenta eksploatacji przeliczoną na pojedyncze urządzenie za niewykonanie operacji technologicznej w k-tym etapie
- $w(k)$ - wartość użyteczności w k-tym etapie
- V_{GE} - wektor oddziaływań pośrednich głównego energetyka
- V_{GM} - wektor oddziaływań pośrednich głównego mechanika

- X - przestrzeń stanów natury
- Y - przestrzeń decydenta
- $(x(k), y(k))$ - polityka eksploatacji w k -tym etapie
- Z - potencjał eksploatacyjny
- $\vartheta(k)$ - współczynnik zapotrzebowania na gotowość urządzeń w k -tym etapie
- $\eta(k)$ - współczynnik gotowości urządzeń w k -tym etapie
- λ - intensywność użytku
- μ - intensywność obsługi
- ξ - prawdopodobieństwa a priori

1. WSTĘP

1.1. Specyfika systemu eksploatacji elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych

Podstawowym zadaniem elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych jest przemiana energii elektrycznej w inną użyteczną postać energii: mechaniczną, cieplną, chemiczną, świetlną, energię pola elektromagnetycznego [16,17,34,35,36,57]. Energie te są konieczne do realizacji procesów technologicznych.

Elektroenergetyczne urządzenia odbiorcze stanowią więc nieodzowną, podstawową część tzw. gniazda produkcyjnego [58] wchodzącego w skład linii technologicznej, w którym wykonywana jest operacja technologiczna. Przy czym mogą one spełniać w nim dwójakiego rodzaju funkcję: mogą bezpośrednio uczestniczyć w wykonaniu operacji (np. nagrzewnica indukcyjna) lub uczestniczyć pośrednio (np. urządzenia napędowe). Współpraca ich z pozostałymi urządzeniami gniazda np. mechanicznymi, automatyki, mechaniczno-energetycznymi zapewnia wykonanie użytku produkcyjnego przez gniazdo. Urządzenia pracujące w gnieździe posiadają jednego, wspólnego, bezpośredniego użytkownika jakim jest operator gniazda. Niewykonanie użytku przez jedno z nich może powodować postój pozostałych, a tym samym straty wynikłe z niewykonania operacji przez gniazdo.

Proces użytkowania elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych nie powinno się rozpatrywać bez powiązania z procesami użytkowania pozostałych rodzajów urządzeń gniazda. Konieczne jest zatem określenie procesu użytkowania urządzeń gniazda produkcyjnego uwzględniającego relacje między procesami użytkowania wyróżnionych urządzeń gniazda, między innymi urządzeń elektroenergetycznych.

System obsługi gniazda w porównaniu z systemem użytkowania jest zazwyczaj bardziej rozbudowany co wiąże się z różnorodnością urządzeń gniazda wymagających wyspecjalizowanych kadr obsługujących. W ogólnym przypadku będzie on posiadał trzech obsługowników bezpośrednich: elektryka, automatyka, mechanika. Również na proces obsługi należy patrzeć z punktu optymalności procesu obsługi gniazda jako całości.

Gniazdo produkcyjne jako zbiór różnorodnych urządzeń, charakteryzuje się rozbudowanym systemem kierowania, dlatego celowe jest

rozważać proces eksploatacji jako taki , którego wynik zależy od konfliktu interesów występującego między podmiotami sterującymi w szczególności-kierownikami użytku i obsługi. Konflikty te utrudniają lub nawet uniemożliwiają wykonanie operacji technologicznej, a osiągnięte wyniki procesu zwykle zależą od decyzji podejmowanych przez uczestników konfliktu. Konieczne jest zatem uwzględnianie sytuacji konfliktowych występujących w procesie eksploatacji gniazda produkcyjnego.

1.2. Cel i zakres pracy

Niedostosowanie systemu kierowania eksploatacją *SKE* do wymagań jakie stawia eksploatacja urządzeń jest często źródłem sytuacji konfliktowych. Intuicyjnie można zdawać sobie sprawę ze szkodliwości, a czasem katastroficznych skutków sytuacji konfliktowych w kierowaniu eksploatacją, jednak badania *SKE* w tym zakresie są wciąż niedoceniane.

Można zauważyć, że wiele istniejących systemów kierowania eksploatacją w różnych branżach, przedsiębiorstwach działa w stanie permanentnego konfliktu i stan taki jest niejako zaakceptowany i uznany jako normalny. Na ogół nie dostrzega się faktu, że kierowanie w systemach powinno być oparte na specjalnych zasadach uwzględniających istnienie określonych struktur informacyjno-decyzyjnych, stwarzających możliwości powstawania konfliktów.

W każdym systemie eksploatacji występuje zawsze system użytkownika i obsługiwanego. Ten naturalny wynikający z konieczności zabezpieczenia wszelkich działań ludzi z urządzeniami podział , powoduje wyodrębnienie się w *SKE* dwóch stron:

- strony odpowiedzialnej za użytkowanie urządzeń *KSU*,
- strony odpowiedzialnej za obsługiwane urządzeń *KSO*.

Np. zbyt intensywne użytkowanie urządzeń (ich przedwczesne zużycie) i nienadążanie systemu obsługi w odtwarzaniu zdolności użytkowych urządzeń jest typowym źródłem konfliktu w *SKE*.

Postępowanie stron *KSU* i *KSO* zmierza do pewnych celów. Cele te w praktyce nie zawsze są zgodne. Charakterystyczna jest rola kierownictwa systemu eksploatacji *KSE* jako systemu nadrzędnego w sposób naturalny wyodrębnionego w celu rozstrzygania, godzenia interesów *KSU* i *KSO*.

Unikanie kierowania w sytuacji konfliktowej poprzez zabiegi administracyjne prowadzi tylko do zamrożenia konfliktu, który wcześniej czy później ujawnić się może w ostrzejszej formie.

Konfliktem można sterować, wykorzystując pewne charakterystyczne własności sytuacji konfliktowych. Polityka KSE winna zawierać między innymi takie oddziaływanie na strony, które wpłynęłoby stymulująco na wybór strategii kierowania użytkowaniem i obsługiwaniem, optymalnych z punktu widzenia interesów systemu eksploatacji gniazda produkcyjnego jako całości.

Matematycznym modelowaniem sytuacji konfliktowych zajmuje się teoria gier. Na celowość zastosowania aparatu teorii gier w rozwiązywaniu problemów eksploatacyjnych zwrócił uwagę J. Konieczny [24, 23].

W wieloetapowym procesie kierowania oddziaływanie na przebieg gry prowadzonej między kierownictwem systemu użytku KSU i kierowaniem systemu obsługi KSO, na każdym etapie winno być takie, aby cały proces realizowany był optymalnie ze względu na kryterium KSE. Oprócz poszukiwania strategii etapowych KSO i KSU należałoby rozpatrywać problem optymalizacji decyzji KSE jako organizatora gry. Sterowanie wieloetapowym procesem eksploatacji wymaga więc stworzenia modelu sterowania gry eksploatacyjnej.

Teza rozprawy jest następująca:

Modele sterowania procesem eksploatacji niejednorodnej grupy elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych gniazda produkcyjnego, oparte na modelowaniu growym, pozwalają identyfikować mechanizmy konfliktów eksploatacyjnych i prognozować ich skutki oraz na tej podstawie optymalizować stochastyczny proces eksploatacji.

W rozprawie postawiono sobie za cel opracowanie uogólnionych modeli sterowania eksploatacją, które mogą być przydatne w systemach kierowania eksploatacją różnych rodzajów urządzeń technicznych realizujących wspólnie określoną operację technologiczną w ramach tzw. gniazda produkcyjnego.

Postanowiono sprawdzić przydatność praktyczną tych modeli w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych zakładu przemysłowego.

Celowi temu podporządkowany jest zakres rozważań teoretycznych i aplikacyjnych zawartych w rozprawie.

2. SFORMALIZOWANY OPIS SYSTEMU EKSPLOATACJI GNIAZDA PRODUKCYJNEGO

2.1. Pojęcie gniazda produkcyjnego

Urządzenia wchodzące w skład gniazda produkcyjnego uczestniczą w realizacji operacji technologicznej [58]. Niezawodna ich współpraca umożliwia wykonanie użytku [8]. Użytek ten jest zdefiniowany parametrami technologicznymi określającymi przedmiot operacyjny.

O ile urządzenia gniazda w procesie użytkowania posiadają jednego użytkownika o tyle z procesami obsługi jest inaczej. Można tu ogólnie biorąc wyróżnić trzech bezpośrednich obsługowników: elektryka, automatyka, mechanika. W związku z tym celowe jest wprowadzanie podziału systemu eksploatacji gniazda produkcyjnego na trzy podsystemy:

- podsystem elektryczny E - dotyczący urządzeń elektrycznych, obsługiwanych przez elektryka,
- podsystem mechaniczny M - dotyczący urządzeń mechanicznych lub mechaniczno-energetycznych, obsługiwanych przez mechanika,
- podsystem automatyki A - dotyczący urządzeń automatyki gniazda produkcyjnego, obsługiwanych przez automatyka.

Ze względu na specyfikę urządzeń wchodzących w skład wyróżnionych podsystemów ze zbioru parametrów techniczno-eksploatacyjnych [20,21,22,23,24,25,51] można wyróżnić te, które są najbardziej istotne dla podsystemu i utworzyć trzy podzbiory: podzbiór parametrów techniczno-eksploatacyjnych urządzeń elektrycznych o liczności O_E , urządzeń podsystemu mechanicznego o liczności O_M i urządzeń automatyki o liczności O_A . W związku z tym każde urządzenie odpowiedniego podsystemu można przedstawić jako wektor, którego współrzędnymi są wartości przyjętych parametrów. Co można zapisać następująco:

$$\bigwedge_{\substack{u_{Ei} \in E \\ i=1, \overline{O_E}}} u_{Ei} = \langle t_{O_E}^{Ei} \rangle, \quad O_E = \overline{1, O_E}, \quad t_{O_E}^{Ei} \in R \quad (2.1)$$

$$\bigwedge_{\substack{u_{Mi} \in M \\ i=1, \overline{l_M}}} u_{Mi} = \langle t_{OM}^{Mi} \rangle, \quad o_M = \overline{1, \overline{o_M}}, \quad t_{OM}^{Mi} \in R \quad (2.2)$$

$$\bigwedge_{\substack{u_{Ai} \in A \\ i=1, \overline{l_A}}} u_{Ai} = \langle t_{OA}^{Ai} \rangle, \quad o_A = \overline{1, \overline{o_A}}, \quad t_{OA}^{Ai} \in R \quad (2.3)$$

przy czym:

- u_{Ei} - i-te urządzenie elektryczne,
- i - numer urządzenia,
- l_E - liczba wszystkich urządzeń elektrycznych,
- o_E - numer parametru techniczno-eksploatacyjnego urządzeń elektrycznych,
- $t_{o_E}^{Ei}$ - wartość o_E tego parametru techniczno-eksploatacyjnego i-tego urządzenia elektrycznego,
- u_{Mi} - i-te urządzenie podsystemu mechanicznego M ,
- l_M - liczba wszystkich urządzeń podsystemu M ,
- o_M - numer parametru techniczno-eksploatacyjnego urządzeń podsystemu mechanicznego,
- $t_{o_M}^{Mi}$ - wartość o_M -tego parametru techniczno-eksploatacyjnego urządzeń podsystemu mechanicznego,
- u_{Ai} - i-te urządzenie automatyki,
- l_A - liczba wszystkich urządzeń automatyki,
- o_A - numer parametru techniczno-eksploatacyjnego urządzeń automatyki,
- $t_{o_A}^{Ai}$ - wartość o_A -tego parametru techniczno-eksploatacyjnego i-tego urządzenia automatyki.

Przy takim opisie urządzenia pojedynczego można wprowadzić pojęcie grupy jednorodnej urządzeń $G_{Ej} (j=\overline{1, \overline{l_E}})$, $G_{Mj} (j=\overline{1, \overline{l_M}})$, $G_{Aj} (j=\overline{1, \overline{l_A}})$ odpowiednio podsystemów E, M, A :

$$G_{Ej} = \{u_{Ei} : \bigwedge_{o_E} t_{o_E}^{Ei} \in [t_{o_E, min}^{Ej}, t_{o_E, max}^{Ej}]\}, \quad (2.4)$$

$$G_{Mj} = \{u_{Mi} : \bigwedge_{o_M} t_{o_M}^{Mi} \in [t_{o_M, min}^{Mj}, t_{o_M, max}^{Mj}]\}, \quad (2.5)$$

$$G_{Aj} = \{u_{Ai} : \bigwedge_{o_A} t_{o_A}^{Ai} \in [t_{o_A, min}^{Aj}, t_{o_A, max}^{Aj}]\}. \quad (2.6)$$

Przy czym dla każdej pary różnych grup jednorodnych odpowiednich podsystemów spełnione są warunki:

$$\bigwedge_{\substack{j=1, \overline{J_E} \\ k=1, \overline{J_E} \\ j \neq k}} \bigvee_{O_E} [t_{O_{E,min}}^{Ej} \cdot t_{O_{E,max}}^{Ej}] \cap [t_{O_{E,min}}^{Ek} \cdot t_{O_{E,max}}^{Ek}] = \emptyset, \quad (2.7)$$

$$\bigwedge_{\substack{j=1, \overline{J_M} \\ k=1, \overline{J_M} \\ j \neq k}} \bigvee_{O_M} [t_{O_{M,min}}^{Mj} \cdot t_{O_{M,max}}^{Mj}] \cap [t_{O_{M,min}}^{Mk} \cdot t_{O_{M,max}}^{Mk}] = \emptyset, \quad (2.8)$$

$$\bigwedge_{\substack{j=1, \overline{J_A} \\ k=1, \overline{J_A}}} \bigvee_{O_A} [t_{O_{A,min}}^{Aj} \cdot t_{O_{A,max}}^{Aj}] \cap [t_{O_{A,min}}^{Ak} \cdot t_{O_{A,max}}^{Ak}] = \emptyset, \quad (2.9)$$

gdzie:

$[t_{O_{E,min}}^{Ej} \cdot t_{O_{E,max}}^{Ej}]$ - dopuszczalny przedział zmienności O_E - tego parametru grupy jednorodnej G_{Ej} ,

$[t_{O_{M,min}}^{Mj} \cdot t_{O_{M,max}}^{Mj}]$ - dopuszczalny przedział zmienności O_M - tego parametru grupy jednorodnej G_{Mj} ,

$[t_{O_{A,min}}^{Aj} \cdot t_{O_{A,max}}^{Aj}]$ - dopuszczalny przedział zmienności O_A - tego parametru grupy jednorodnej G_{Aj} .

Utworzone w ten sposób grupy jednorodne urządzeń każdego podsystemu spełniają następujące warunki:

$$\bigcap_{j=1}^{\overline{J_E}} G_{Ej} = \emptyset, \quad (2.10)$$

$$\bigcap_{j=1}^{\overline{J_M}} G_{Mj} = \emptyset, \quad (2.11)$$

$$\bigcap_{j=1}^{\overline{J_A}} G_{Aj} = \emptyset. \quad (2.12)$$

Rodziny zbiorów, których elementami są odpowiednio grupy jednorodne podsystemów E, M, A :

$$G_n G_E = \{G_{Ej}\}, \quad j = \overline{1, J_E} \quad (2.13)$$

$$G_n G_M = \{G_{Mj}\}, \quad j = \overline{1, J_M} \quad (2.14)$$

$$G_n G_A = \{G_{Aj}\}, \quad j = \overline{1, J_A} \quad (2.15)$$

tworzą makrogrupy niejednorodne urządzeń odpowiednio podsystemów E, M, A . Wówczas gniazdo produkcyjne G_p można w ogólnym przypadku przedstawić następująco:

$$G_p = \langle G_n G_E, G_n G_M, G_n G_A, \dots \rangle. \quad (2.16)$$

2.2. Stany eksploatacyjne gniazda produkcyjnego

Z punktu widzenia realizacji operacji technologicznej urządzenie gniazda produkcyjnego można uznać za zdadne lub niezdatne w danym układzie eksploatacji G_p . Urządzenie niezdatne do użytku jest zdadne do obsługiwania. Zatem urządzenie jest w stanie obsługi. Urządzenie zaś zdadne do użytkowania jest niezdatne do obsługiwania, wtedy urządzenie jest w stanie użytku [15, 20, 22, 24, 27, 39, 43, 51]. Stan użytku urządzenia gniazda produkcyjnego wiąże się z rodzajem czynności operacyjnej w wykonaniu, której ono uczestniczy. Urządzenia gniazda realizujące wspólną czynność znajdują się zazwyczaj na jednym stanowisku. Natomiast różnorodność urządzeń gniazda powoduje, że wymagają one wyspecjalizowanych stanowisk obsługi. A zatem stan użytku i stan obsługi może być scharakteryzowany w pełni poprzez stanowiska użytku i obsługi.

Każde urządzenie danej grupy jednorodnej może znajdować się na S możliwych stanowiskach użytku lub obsługi. Stanem eksploatacyjnym urządzenia u jest S -wymiarowy wektor.

$$S_u = \langle \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_S, \dots, \delta_S \rangle, \quad (2.17)$$

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \text{gdy urządzenie znajduje się na } i\text{-tym stanowisku,} \\ 0 & \text{gdy urządzenie nie znajduje się na } i\text{-tym stanowisku.} \end{cases}$$

Przy czym w danym przedziale czasu urządzenie nie może znajdować się w dwóch stanach.

Stanem eksploatacyjnym SG grupy jednorodnej G jest S wymiarowy wektor, którego s -ta współrzędna ($s=1, S$) oznacza liczbę urządzeń danej grupy znajdujących się na s -tym stanowisku zatem:

$$SG = \sum_{i=1}^I Su_i, \quad (2.18)$$

gdzie

Su_i - stan eksploatacyjny i -tego urządzenia grupy jednorodnej G ,
 I - liczba urządzeń grupy jednorodnej.

Stanem eksploatacyjnym $SG_n G$ makrogrupy niejednorodnej urządzeń $G_n G = \{G_j\}, j=\overline{1, J}$ jest macierz określona następująco:

$$SG_n G = \langle SG_1, \dots, SG_J \rangle^T, \quad (2.19)$$

gdzie

SG_j - stan eksploatacyjny j -tej grupy jednorodnej,
 J - liczba wszystkich grup jednorodnych danego podsystemu,
 T - operator transponowania wektora.

Stan eksploatacyjny gniazda produkcyjnego można określić za pomocą uporządkowanej trójki macierzy

$$SG_p = \langle SG_n G_E, SG_n G_M, SG_n G_A \rangle, \quad (2.20)$$

gdzie

$SG_n G_E$ - stan eksploatacyjny makrogrupy $G_n G_E$,
 $SG_n G_M$ - stan eksploatacyjny makrogrupy $G_n G_M$,
 $SG_n G_A$ - stan eksploatacyjny makrogrupy $G_n G_A$.

Dla stanów eksploatacyjnych urządzenia pojedynczego, grupy jednorodnej, makrogrupy niejednorodnej i gniazda produkcyjnego określone są grafy stanów eksploatacyjnych [24,25,26]. Grafy te ustalają zasady przejścia urządzenia pojedynczego, grup jednorodnych, makrogrup niejednorodnych i gniazda między wyróżnionymi sta-

nami eksploatacyjnymi.

Ogólnie graf eksploatacyjny można przedstawić w postaci uporządkowanej pary

$$E_G = \langle W, \Gamma \rangle, \quad (2.21)$$

przy czym

W - zbiór stanów eksploatacyjnych,
 Γ - odwzorowanie $W \rightarrow W$.

Dla grafu eksploatacyjnego urządzenia pojedynczego W jest zbiorem stanów eksploatacyjnych urządzenia pojedynczego, dla grupy jednorodnej urządzeń W jest zbiorem stanów eksploatacyjnych grupy jednorodnej, odpowiednio dla makrogrupy niejednorodnej urządzeń zbiorem stanów eksploatacyjnych makrogrupy niejednorodnej, dla gniazda zbiorem stanów eksploatacyjnych gniazda. Zatem wierzchołkami grafu są stany eksploatacyjne, łukami zaś możliwe przejścia między stanami.

2.3. Struktura funkcjonalna gniazda produkcyjnego

Każdą operację technologiczną realizowaną przez gniazdo można zapisać jako zbiór czynności C_l , które muszą wykonać poszczególne urządzenia gniazda, aby operacja technologiczna mogła być zrealizowana:

$$T_{op} = \{C_l\}, \quad l = \overline{1, L} \quad (2.22)$$

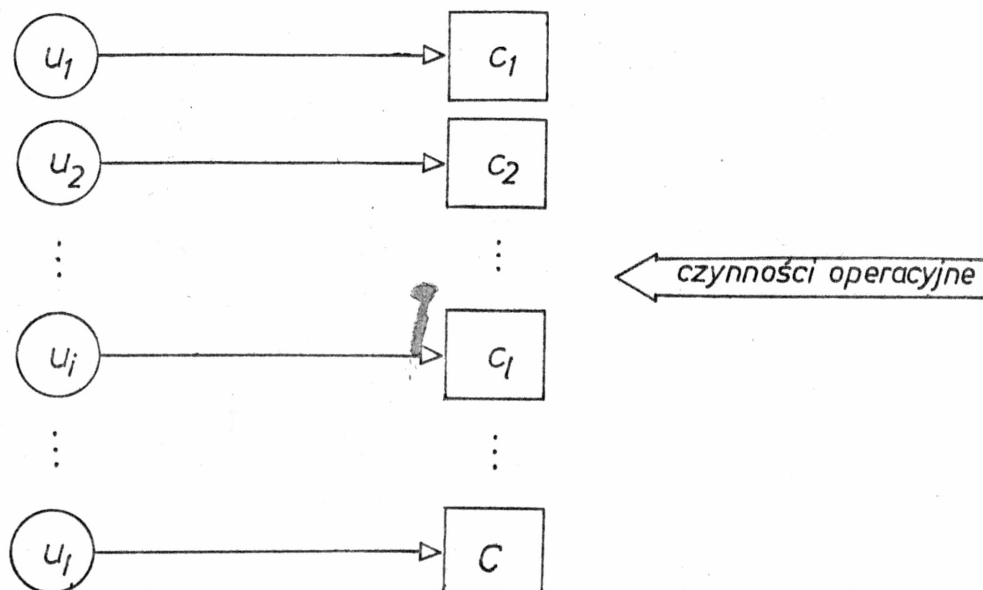
przy czym

T_{op} - operacja technologiczna realizowana przez G_p ,
 C_l - l -ta czynność wchodząca w skład T_{op} ,
 L - liczba wyróżnionych czynności w operacji T_{op} .

Definiując strukturę funkcjonalną gniazda należy najpierw wprowadzić określenia struktury funkcjonalnej grupy jednorodnej urządzeń i makrogrupy niejednorodnej urządzeń.

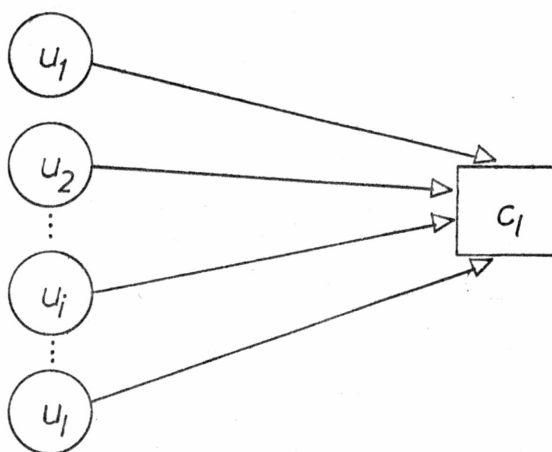
Grupa jednorodna urządzeń gniazda produkcyjnego ma strukturę funkcjonalną szeregową, jeżeli nie istnieją w grupie dwa urządzenia realizujące tę samą czynność ze zbioru T_{op} . Przedstawiono to

na rys.2.1.



Rys.2.1. Struktura funkcjonalna szeregową grupy jednorodnej G_j
 u_i - urządzenie należące do G_j , c_i - czynność operacji technologicznej

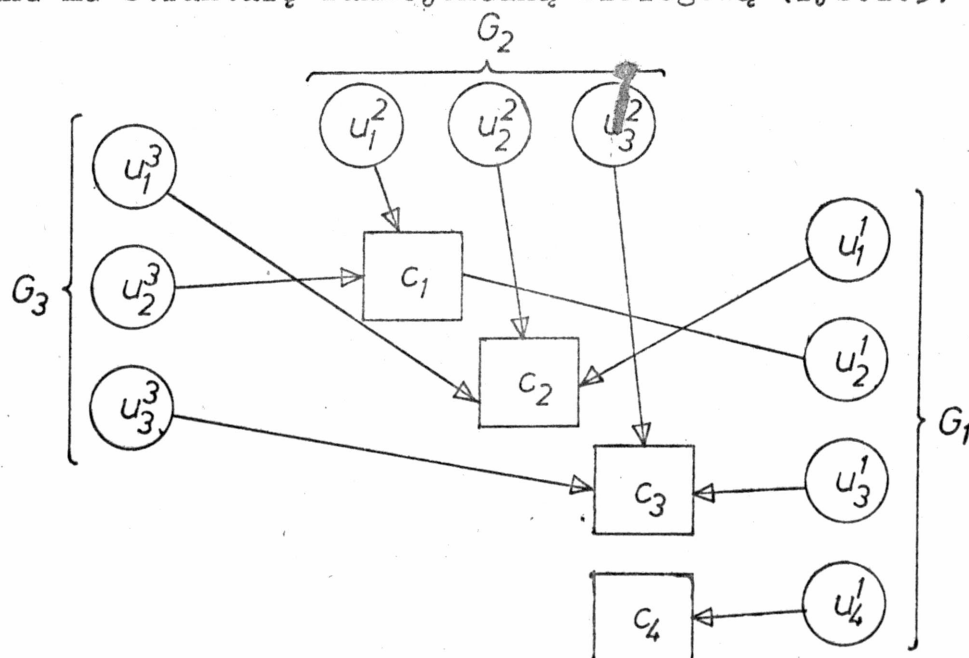
Grupa jednorodna urządzeń gniazda produkcyjnego ma strukturę funkcjonalną równoległą, jeżeli wszystkie jej urządzenia biorą udział w wykonaniu jednej i tej samej czynności (rys.2.2).



Rys.2.2. Struktura funkcjonalna równoległa grupy jednorodnej G_j
 u_i - urządzenie należące do G_j , c_i - czynność operacji technologicznej.

Grupa jednorodna może posiadać tzw. strukturę funkcjonalną mieszaną, jeśli można w niej wyróżnić urządzenia tworzące podgrupy urządzeń o strukturze szeregowej i równoległej.

O makrogrupie niejednorodnej urządzeń gniazda powiemy, że ma strukturę funkcjonalną szeregową, jeżeli każda jej grupa jednorodna ma strukturę funkcjonalną szeregową (rys.2.3)

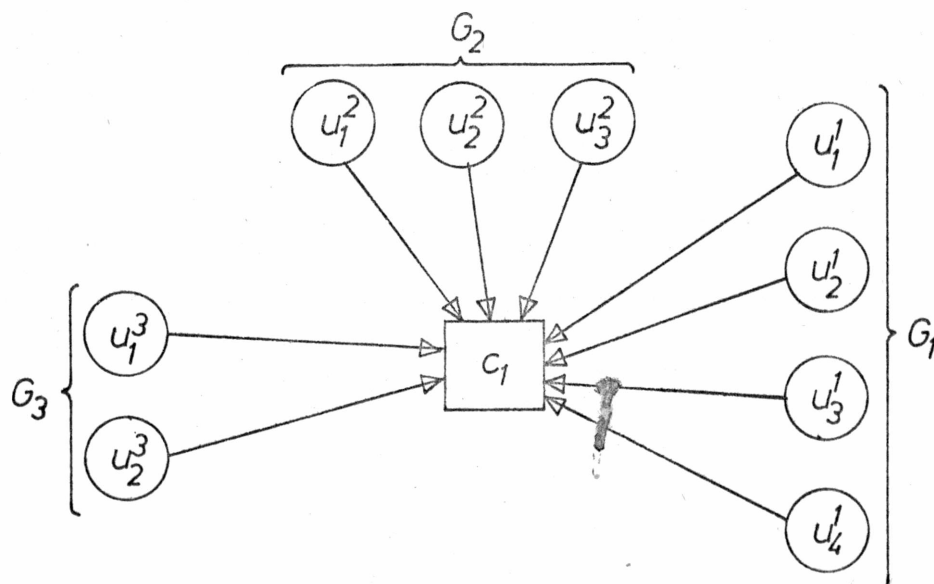


Rys.2.3. Struktura funkcjonalna szeregową makrogrupie niejednorodnej składającej się z trzech grup jednorodnych o strukturze funkcjonalnej szeregowej

O makrogrupie niejednorodnej urządzeń gniazda powiemy, że ma strukturę funkcjonalną równoległą, jeżeli każda z jej grup jednorodnych ma strukturę funkcjonalną równoległą, przy czym wszystkie uczestniczą w realizacji tej samej czynności (rys.2.4).

O makrogrupie niejednorodnej urządzeń powiemy, że ma strukturę funkcjonalną mieszaną, jeżeli istnieją co najmniej dwie grupy jednorodne o różnych strukturach.

O gnieździe produkcyjnym powiemy, że ma strukturę funkcjonalną szeregową, jeżeli każda z makrogrup niejednorodnych ma strukturę funkcjonalną szeregową. Natomiast ma strukturę funkcjonalną równoległą, jeżeli każda z makrogrup ma strukturę funkcjonalną równoległą, przy czym wszystkie makrogrupy biorą udział w wykonaniu tej samej czynności.



Rys.2.4. Struktura funkcjonalna równoległa makrogrupy niejednorodnej składającej się z trzech grup jednorodnych o strukturze funkcjonalnej równoległej

O gnieździe produkcyjnym powiemy, że ma strukturę funkcjonalną mieszaną jeżeli istnieje co najmniej dwie makrogrupy niejednorodne o różnych strukturach.

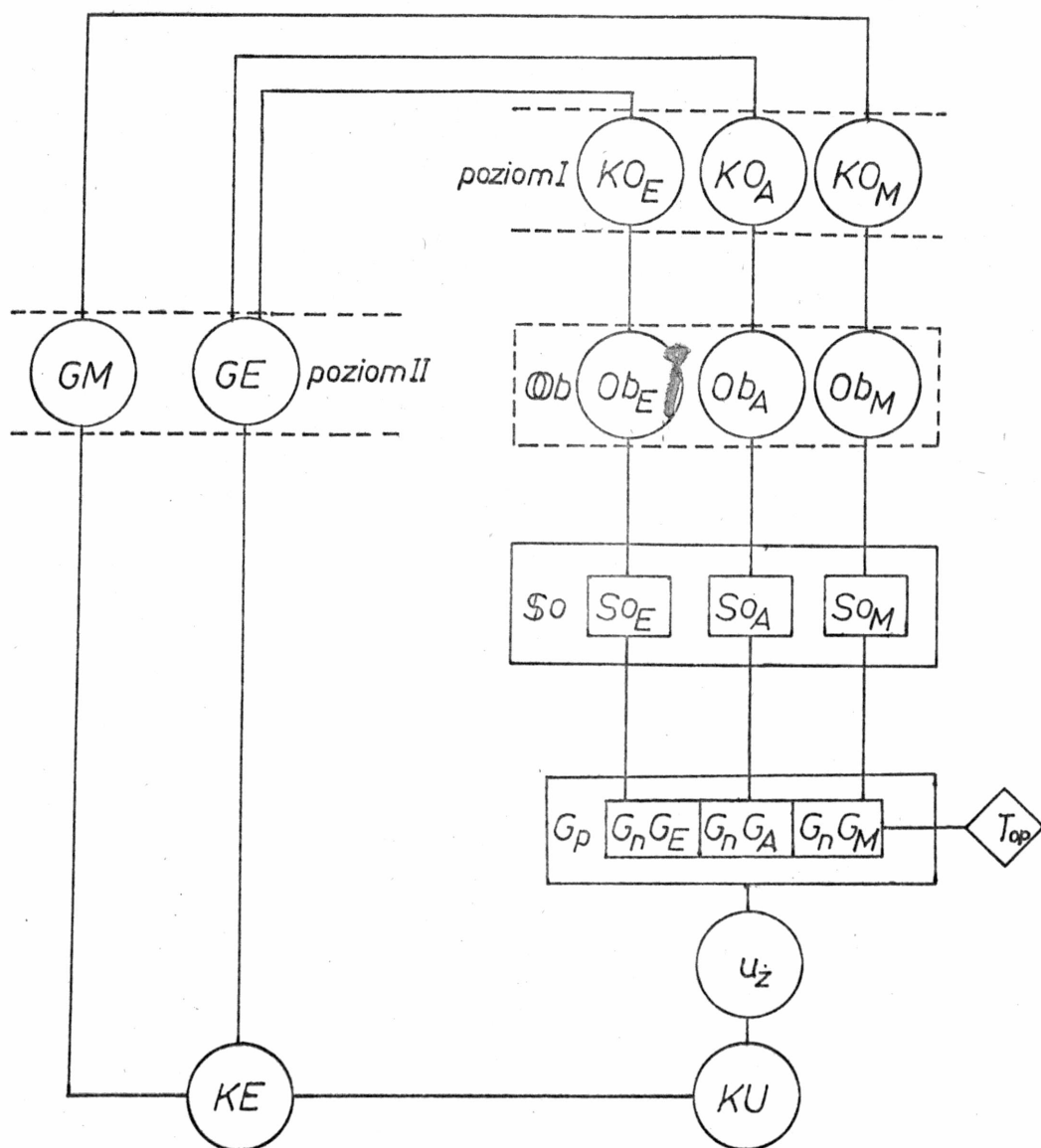
2.4. Elementarny układ eksploatacji gniazda produkcyjnego

Warunkiem koniecznym realizacji eksploatacji w praktyce jest istnienie czterech podstawowych elementów [22,38,51] :

- obiektu eksploatacji,
- stanowiska użytku,
- stanowiska obsługi,
- stanowiska kierowania eksploatacją.

W odniesieniu do urządzeń gniazda produkcyjnego każdy z tych elementów jest zazwyczaj obiektem złożonym. Na rys.2.5 przedstawiono schemat elementarnego układu eksploatacji gniazda produkcyjnego w ujęciu prakseologicznym uwzględniającego specyfikę urządzeń wchodzących w skład urządzeń gniazda.

Jak wynika ze schematu gniazdo produkcyjne G_p ma zazwyczaj rozbudowany system obsługi (w porównaniu z systemem użytku), natomiast podział systemu eksploatacji gniazda na trzy podsystemy:



Rys.2.5. Schemat elementarnego układu eksploatacji urządzeń gniazda produkcyjnego w ujęciu prakseologicznym

- KE - kierownik eksploatacji gniazda G_p (dyrektor techniczny),
- GE - główny energetyk,
- GM - główny mechanik,
- KO_E - kierownik wydziału elektrycznego,
- KO_A - kierownik wydziału automatyki
- KO_M - kierownik wydziału mechanicznego,
- Ob_E - elektryk,
- Ob_A - automatyk,
- Ob_M - mechanik,

SO_E - środki obsługi urządzeń elektrycznych,
 SO_A - środki obsługi urządzeń automatyki,
 SO_M - środki obsługi urządzeń mechanicznych,
 U_z - użytkownik,
 KU - kierownik użytku,
 $G_n G_E$ - urządzenia elektryczna,
 $G_n G_A$ - urządzenia automatyki,
 $G_n G_M$ - urządzenia mechaniczne,
 T_{op} - operacja technologiczna,
 $\mathcal{O}b$ - obsługownik zbiorowy,
 So - zbiór środków.

elektryczny E , mechaniczny M , automatyki A wiąże się ściśle ze specyfiką systemu obsługi, w którym można wyróżnić w ogólnym przypadku trzech bezpośrednich obsługowników - elektryka, mechanika, automatyka.

Stanowisko użytku gniazda składa się z użytkownika bezpośredniego, którym jest operator, przedmiotu operacyjnego w tym przypadku jest to operacja technologiczna realizowana przez gniazdo i otoczenia układu użytkowania.

Stanowisko obsługi składa się z trzech obsługowników: elektryka, mechanika, automatyka; środków obsługi, charakterystycznych dla poszczególnych obsługowników i otoczenia układu obsług.

Stanowisko kierowania eksploatacją gniazda produkcyjnego składa się z kierownika użytku (szef produkcji, kierownik wydziału produkcji) oraz z dwupoziomowego kierownictwa systemu obsługi. Poziom pierwszy stanowią trzej kierownicy obsługi poszczególnych podsystemów E, M, A (kierownik wydziału elektrycznego, kierownik wydziału mechanicznego, kierownik wydziału automatyki); drugi poziom dwaj kierownicy pełniący funkcję nadrzędną nad poziomem pierwszym: główny energetyk i główny mechanik; wszystkim koordynuje kierownik eksploatacji (dyrektor techniczny) [58].

2.5. Miejsce elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych w elementarnym układzie eksploatacji gniazda produkcyjnego

Niech będzie dane gniazdo produkcyjne $G_p = \langle G_n G_E, G_n G_M, G_n G_A \rangle$. W skład gniazda wchodzi m.in. elektroenergetyczne urządzenia odbiorcze, które są podstawowymi a często jedynymi urządzeniami gniazda. Urządzenia te są zazwyczaj urządzeniami złożonymi z urządzeń prostszych, które współpracując realizują wspólną operację technologiczną jaką jest przemiana energii elektrycznej w inną użyteczną postać energii o określonych parametrach. Ogólnie biorąc można w nich wyróżnić: urządzenia elektryczne (np. silniki elektryczne) obsługiwane przez elektryka, które są elementami makrogrupy niejednorodnej urządzeń podsystemu E ; urządzenia automatyki (np. zabezpieczenia, urządzenia sterujące) obsługiwane przez automatyka, które są elementami makrogrupy niejednorodnej urządzeń podsystemu A ; urządzenia mechaniczne (mechanizmy i zespoły mechaniczne) obsługiwane przez mechanika, które są elementami makrogrupy niejednorodnej urządzeń podsystemu M . [7,9,16,17,34,35,36,57].

Wobec tego urządzenie odbiorcze o numerze i (u_{odb}^i) można przedstawić w następującej postaci:

$$u_{odb}^i = \langle \overline{G_n G_E^i}, \overline{G_n G_M^i}, \overline{G_n G_A^i} \rangle, \quad (2.23)$$

gdzie:

$$\overline{G_n G_E^i} = \{ \overline{G_{Ej}} \}, \quad j=1, \overline{J_E} \quad (2.24)$$

$$\overline{G_{Ej}} = \{ u_{Ei} : u_{Ei} \in G_{Ej} \wedge u_{Ei} \text{ jest elementem } u_{odb}^i \}, \quad (2.25)$$

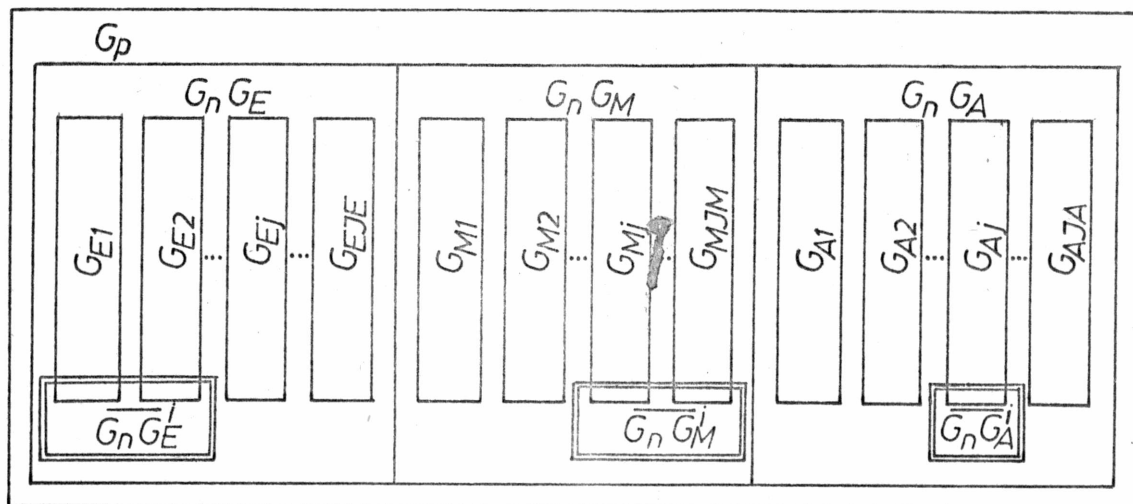
$$\overline{G_n G_M^i} = \{ \overline{G_{Mj}} \}, \quad j=1, \overline{J_M} \quad (2.26)$$

$$\overline{G_{Mj}} = \{ u_{Mi} : u_{Mi} \in G_{Mj} \wedge u_{Mi} \text{ jest elementem } u_{odb}^i \}, \quad (2.27)$$

$$\overline{G_n G_A^i} = \{ \overline{G_{Aj}} \}, \quad j=1, \overline{J_A} \quad (2.28)$$

$$\overline{G_{Aj}} = \{ u_{Ai} : u_{Ai} \in G_{Aj} \wedge u_{Ai} \text{ jest elementem } u_{odb}^i \}. \quad (2.29)$$

Uogólniony schemat gniazda produkcyjnego G_p z wydzielonym urządzeniem odbiorczym U_{odb}^i został przedstawiony na rys.2.6.



Rys.2.6. Uogólniony schemat gniazda produkcyjnego G_p z wydzielonym urządzeniem odbiorczym U_{odb}^i , $G_n G_E$ - makrogrupa niejednorodna urządzeń elektrycznych, G_{Ej} - grupa jednorodna urządzeń elektrycznych, $G_n G_E^i$ - urządzenia elektryczne urządzenia odbiorczego, $G_n G_M$ - makrogrupa niejednorodna podsystemu M , G_{Mj} - grupa jednorodna podsystemu mechanicznego, $G_n G_M^i$ - urządzenia mechaniczne, U_{odb}^i , $G_n G_A$ - makrogrupa niejednorodna urządzeń automatyki, G_{Aj} - grupa jednorodna urządzeń automatyki, $G_n G_A^i$ - urządzenia automatyki U_{odb}^i .

Zbiory określone wzorami (2.23-2.29) wyznaczają jednoznacznie miejsce elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych w elementarnym układzie eksploatacji gniazda produkcyjnego. Stanowią one ogólnie biorąc złożony obiekt eksploatacji, w skład którego mogą wchodzić urządzenia należące do trzech wyróżnionych podsystemów.

G_p tzn: elektrycznego E , mechanicznego M , automatyki A (rys.2.6).

Dla elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych charakterystyczne jest występowanie zawsze urządzeń elektrycznych.

Oprócz elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych w gnieździe G_p można zazwyczaj wydzielić jeszcze inne urządzenia, które również można przydzielić do podsystemów EMA . Wynika stąd konieczność analizy procesu eksploatacji elektroenergetycz-

nych urządzeń odbiorczych jako analizy procesu eksploatacji gniazda produkcyjnego G_p .

2.6. Podsystem eksploatacji urządzeń elektrycznych gniazda produkcyjnego

2.6.1. Podsystem eksploatacji pojedynczego urządzenia elektrycznego

W modelu prakseologicznym elementarnego układu eksploatacji gniazda G_p można wyróżnić następujące podmioty działające na pojedyncze urządzenie elektryczne U_{Ei} , świadome swoich celów [24,38] :

- użytkownika U_z ,
- obsługownika (elektryka) Ob_E ,
- kierownika użytku KU ,
- kierownika wydziału elektrycznego KO_E ,
- głównego energetyka GE ,
- kierownika eksploatacji KE .

Ponadto można wyodrębnić dwa łańcuchy działania:

- łańcuch użytkowania $t_{UEi}^u = \langle U_z, U_{Ei}, c_i \rangle$,
- łańcuch obsługiwanania $t_{UEi}^o = \langle Ob_E, So_E, U_{Ei} \rangle$.

Wyżej wymienione łańcuchy są odpowiednio nazwane:

t_{UEi}^u - łańcuchem użytkowania bezpośredniego urządzenia elektrycznego U_{Ei} , ozn.: t_{UEi}^{uB} ,

t_{UEi}^o - łańcuchem obsługiwanania bezpośredniego urządzenia elektrycznego U_{Ei} , ozn.: t_{UEi}^{oB} ,

W celu zdefiniowania podsystemu eksploatacji urządzenia elektrycznego zostaną wprowadzone następujące pojęcia:

1) łańcuch użytkowania pośredniego urządzenia elektrycznego U_{Ei}

$$t_{UEi}^{uP} = \langle KU, U_z, U_{Ei}, c_i \rangle; \quad (2.30)$$

2) łańcuch obsługiwanego pośredniego I poziomu urządzenia u_{Ei}

$$L_{u_{Ei}}^{oPI} = \langle KO_E, (Ob_E, So_E), u_{Ei} \rangle, \quad (2.31)$$

3) łańcuch obsługiwanego pośredniego II poziomu u_{Ei}

$$L_{u_{Ei}}^{oPII} = \langle GE, (KO_E, Ob_E, So_E), u_{Ei} \rangle. \quad (2.32)$$

Ponadto zostaną scharakteryzowane bliżej poszczególne elementy:

$$u_z, Ob_E, KU, KO_E, GE.$$

1) Użytkownik:

$$u_z = \langle L_{u_{Ei}}, N_{u_{Ei}} \rangle, \quad (2.33)$$

gdzie:

$L_{u_{Ei}} = \{l_{u_{Ei}w}\}_{w=1, W}$ - przestrzeń oddziaływań bezpośrednich operatora, dotyczących urządzenia elektrycznego u_{Ei} ,

$l_{u_{Ei}w}$ - zbiór dopuszczalnych wartości, jakie przyjmuje oddziaływanie typu w ,

$N_{u_{Ei}} = \{n_{u_{Ei}p}\}_{p=1, P}$ - zbiór relacji określonych na $L_{u_{Ei}}$ (zbiór relacji między oddziaływaniami typu w).

2) Obsługownik (elektryk):

$$Ob_E = \langle B_{1u_{Ei}}, S_{1u_{Ei}} \rangle, \quad (2.34)$$

gdzie:

$B_{1u_{Ei}} = \{b_{1u_{Ei}k}\}_{k=1, K}$ - przestrzeń oddziaływań bezpośrednich elektryka, dotyczących urządzenia elektrycznego u_{Ei} ,

b_{1uEik} - zbiór dopuszczalnych wartości jakie może przyjmować oddziaływanie bezpośrednie typu k ,

$S_{1uEi} = \{s_{1uEir}\}_{r=1, \overline{R}}$ - zbiór relacji określonych na B_{1uEi} (zbiór relacji między oddziaływaniami elektryka).

3) Kierownik użytku:

$$KU = \langle U_{uEi}, \mathbb{D}_{uEi} \rangle, \quad (2.35)$$

gdzie:

$U_{uEi} = \{U_{uEia}\}_{a=1, \overline{A}}$ - zbiór oddziaływań pośrednich kierownika użytku na u_{Ei} ,

U_{uEia} - zbiór dopuszczalnych wartości jakie przyjmuje oddziaływanie pośrednie typu a ,

$\mathbb{D}_{uEi} = \{d_{uEif}\}_{f=1, \overline{F}}$ - zbiór relacji określonych na U_{uEi} (zbiór relacji między oddziaływaniami pośrednimi typu a)

4) Kierownik obsługi wydziału elektrycznego:

$$KO_E = \langle \mathbb{H}_{1uEi}, \mathbb{M}_{1uEi} \rangle, \quad (2.36)$$

gdzie:

$\mathbb{H}_{1uEig} = \{h_{1uEig}\}_{g=1, \overline{G}}$ - zbiór oddziaływań pośrednich KO_E na urządzenie u_{Ei} ,

h_{1uEig} - zbiór dopuszczalnych wartości jakie przyjmuje oddziaływanie pośrednie typu g ,

$\mathbb{M}_{1uEi} = \{m_{1uEij}\}_{j=1, \overline{J}}$ - zbiór relacji określonych na $\mathbb{H}_{1uEi}$ (zbiór relacji między oddziaływaniami typu g).

5) Główny energetyk:

$$GE = \langle V_{uEi}, X_{uEi} \rangle, \quad (2.37)$$

gdzie:

$V_{uEi} = \{v_{uEil}\}_{l=1, \overline{L}}$ - zbiór oddziaływań pośrednich GE na urządzenie u_{Ei} ,

v_{uEil} - zbiór dopuszczalnych wartości jakie przyjmuje oddziaływanie pośrednie GE typu l ,

$X_{uEi} = \{x_{uEil}\}_{l=1, \overline{L}}$ - zbiór relacji określonych na V_{uEi} (zbiór relacji między oddziaływaniami typu l).

Podsystem użytku urządzenia elektrycznego PSU_{uEi} można zapisać jako uporządkowaną trójkę:

$$PSU_{uEi} = \langle W_{uEi}, L_{uEi}, \varphi_{uEi} \rangle, \quad (2.38)$$

gdzie: φ_{uEi} - funkcja przekształcająca przestrzeń W_{uEi} w przestrzeń L_{uEi} (algorytm przekształcania oddziaływań pośrednich KU na oddziaływania bezpośrednie u_z dotyczące urządzenia u_{Ei}), $\varphi: W_{uEi} \rightarrow L_{uEi}$.

Podsystem obsługi urządzenia elektrycznego PSO_{uEi} można określić następująco:

$$PSO_{uEi} = \langle V_{uEi}, B_{uEi}, \psi_{uEi} \rangle, \quad (2.39)$$

gdzie: ψ_{uEi} - funkcja przekształcająca przestrzeń V_{uEi} w przestrzeń B_{uEi} (algorytm przekształcania oddziaływań GE na oddziaływania bezpośrednie Ob_E , dotyczące urządzenia u_{Ei}), będąca złożeniem funkcji $\psi_{1uEi}: V_{uEi} \rightarrow H_{1uEi}$

$$i \quad \psi_{2uEi}: H_{1uEi} \rightarrow B_{1uEi},$$

określona przez warunek

$$\psi_{uEi}(V_{uEi}) = \psi_{2uEi}(\psi_{1uEi}(V_{uEi})), \quad (2.40)$$

co można zapisać krócej $\psi_{uEi} = \psi_{2uEi} \circ \psi_{1uEi}$ [28].

Przez podsystem eksploatacji urządzenia elektrycznego PSE_{uEi} będzie rozumiana następująca trójka

$$PSE_{uEi} = \langle W_{uEi}, V_{uEi}, \Pi_{1uEi} \rangle, \quad (2.41)$$

gdzie Π_{1uEi} - zbiór relacji między oddziaływaniami pośrednimi KU i oddziaływaniami GE na urządzenie uEi , $\Pi_{1uEi} \in \Pi_{1uEi}$ może być macierzą gry między KU i GE (o kierowniku eksploatacji KE założono, że może oddziaływać na Π_{1uEi}).

2.6.2. Podsystem eksploatacji grupy jednorodnej urządzeń elektrycznych

Każdą grupę jednorodną urządzeń elektrycznych G_{Ej} , określoną wzorem (2.4) można podzielić na dwa podzbiory [20, 24, 38]:

$G_{Ej}^u \subset G_{Ej}$ - podzbiór urządzeń elektrycznych użytkowanych, należących do grupy jednorodnej G_{Ej} ,

$G_{Ej}^o \subset G_{Ej}$ - podzbiór urządzeń elektrycznych obsługiwanych grupy jednorodnej G_{Ej} .

Przy czym spełniona jest następująca zależność

$$(u_{Ei}^{Ej} \in G_{Ej}^u) \wedge (u_{Ek}^{Ej} \in G_{Ej}^o) = (i \neq k), \quad (2.42)$$

gdzie: u_{Ei}^{Ej} - oznacza i -te urządzenie elektryczne należące do j -tej grupy jednorodnej urządzeń elektrycznych.

Zbiór: $N_{Ej} = (1, 2, \dots, l_{Ej})$ numerów urządzeń u_{Ei}^{Ej} w grupie G_{Ej} można również podzielić na dwa rozłączne podzbiory:

N_{Ej}^u - podzbiór numerów urządzeń elektrycznych, użytkowanych grupy jednorodnej G_{Ej} ,

N_{Ej}^o - podzbiór numerów urządzeń elektrycznych, obsługiwanych grupy jednorodnej G_{Ej} .

Zgodnie ze schematem (rys.2.5) elementarnego układu eksploatacji G_p można tu wyróżnić następujące podmioty działające na grupę jednorodną G_{Ej} :

- kierownik użytku KU oddziaływujący na G_{Ej} ,
- kierownik obsługi KO oddziaływujący na G_{Ej} ,
- główny energetyk GE ,
- kierownik eksploatacji KE .

W celu wprowadzenia pojęcia podsystemu eksploatacji grupy jednorodnej urządzeń elektrycznych określono:

1) Zbiór łańcuchów użytkowania bezpośredniego G_{Ej} :

$$\mathbb{L}_{GEj}^{uB} = \{ \mathbb{L}_{uEi}^{uB} \}, \quad i \in N_{Ej}^u \quad (2.43)$$

gdzie $\mathbb{L}_{uEi}^{uB} = \langle u_z, u_{Ei}^{Ej}, c_i \rangle$.

2) Zbiór łańcuchów użytkowania pośredniego G_{Ej}

$$\mathbb{L}_{GEj}^{uP} = \{ \mathbb{L}_{uEi}^{uP} \}, \quad i \in N_{Ej}^u \quad (2.44)$$

przy czym $\mathbb{L}_{uEi}^{uP} = \langle KU, (u_z, u_{Ei}^{Ej}), c_i \rangle$.

3) Łańcuch użytkowania G_{Ej}

$$\mathbb{L}_{GEj}^u = \langle KU, \mathbb{L}_{GEj}^{uP} \rangle \quad (2.45)$$

4) Łańcuch obsługiwanego bezpośredniego G_{Ej}

$$\mathbb{L}_{GEj}^{oB} = \{ \mathbb{L}_{uEi}^{oB} \}, \quad i \in N_{Ej}^o \quad (2.46)$$

gdzie $\mathbb{L}_{uEi}^{oB} = \langle Ob_E, So_E, u_{Ei}^{Ej} \rangle$.

5) Zbiór łańcuchów obsługiwanego pośredniego i poziomu

$$\mathbb{L}_{GEj}^{oPI} = \{ \mathbb{L}_{uEi}^{oPI} \}, \quad i \in N_{Ej}^o \quad (2.47)$$

gdzie $t_{uEj}^{oPI} = \langle KO_E, (Ob_E, So_E), u_{Ej}^{Ej} \rangle$.

6) Łańcuch obsługiwaniania I poziomu G_{Ej}

$$t_{GEj}^{oPI} = \langle KO_E, t_{GEj}^{oPI} \rangle. \quad (2.48)$$

7) Łańcuch obsługiwaniania II poziomu G_{Ej} :

$$t_{GEj}^{oPI} = \langle GE, t_{GEj}^{oPI} \rangle. \quad (2.49)$$

Podmioty działania określa się następująco:

1) Kierownik użytku:

$$KU = \langle W_{GEj}, D_{GEj} \rangle, \quad (2.50)$$

gdzie: $W_{GEj} = \{U_{GEjc}\}_{c=1, \overline{C}}$ - przestrzeń oddziaływań pośrednich KU na urządzenia G_{Ej} ,

U_{GEjc} - zbiór dopuszczalnych wartości oddziaływań pośredniego typu c ,

$D_{GEj} = \{d_{GEjh}\}_{h=1, \overline{H}}$ - zbiór relacji określonych na W_{GEj} .

2) Kierownika obsługi I poziomu

$$KO_E = \langle H_{1GEj}, M_{1GEj} \rangle, \quad (2.51)$$

gdzie: $H_{1GEj} = \{H_{1GEjs}\}_{s=1, \overline{S}}$ - przestrzeń oddziaływań pośrednich dotyczących G_{Ej}

$M_{1GEj} = \{m_{1GEjt}\}_{t=1, \overline{T}}$ - zbiór relacji określonych na zbiorze H_{1GEj} .

3) Główny energetyk:

$$GE = \langle V_{GEj}, X_{GEj} \rangle, \quad (2.52)$$

gdzie: $V_{GEj} = \{V_{GEjl}\}_{l=1, \overline{L}}$ - przestrzeń oddziaływań pośrednich II poziomu na G_{Ej}

V_{GEj} - zbiór dopuszczalnych wartości oddziaływań GE na G_{Ej} typu I,

$X_{GEj} = \{X_{GEj\ell}\}_{\ell=1, \dots, L}$ - zbiór relacji określonych na V_{GEj} .

Podsystem użytku grupy jednorodnej urządzeń elektrycznych PSU_{GEj} można więc zapisać następująco

$$PSU_{GEj} = \langle W_{GEj}, U_{uEi}, \sigma_{Ej} \rangle, \quad (2.53)$$

gdzie: $W_{uEi}^{Ej} = \{U_{uEi}\}$, $i \in N_{Ej}$, $\sigma_{Ej}: W_{GEj} \rightarrow U_{uEi}$.

Podsystem obsługi grupy jednorodnej urządzeń elektrycznych PSO_{GEj} można przedstawić w następującej postaci:

$$PSO_{GEj} = \langle V_{GEj}, V_{uEi}^{Ej}, \alpha_{Ej} \rangle, \quad (2.54)$$

gdzie: $V_{uEi}^{Ej} = \{V_{uEi}\}$, $i \in N_{Ej}^0$, $\alpha_{Ej}: V_{GEj} \rightarrow V_{uEi}^{Ej}$,

Podsystem eksploatacji grupy jednorodnej urządzeń elektrycznych PSE_{GEj} przedstawia następująca trójka:

$$PSE_{GEj} = \langle W_{GEj}, V_{GEj}, \Pi_{2E} \rangle, \quad (2.55)$$

gdzie Π_{2E} - zbiór relacji między oddziaływaniami KU i GE dotyczącymi grupy jednorodnej G_{Ej} . Relacja $M_{2E} \in \mathbb{M}_{2E}$ może być macierzą gry między KU i GE o kierowniku eksploatacji KE założono, że jest podmiotem oddziaływującym na Π_{2E} .

2.6.3. Podsystem eksploatacji makrogrupy niejednorodnej urządzeń elektrycznych gniazda produkcyjnego

Analogicznie jak dla grupy jednorodnej można zdefiniować pojęcia podsystemu użytku, obsługi i eksploatacji makrogrupy niejednorodnej urządzeń elektrycznych.

Podsystem użytku makrogrupy niejednorodnej urządzeń elektrycznych PSU_{GnGE} można przedstawić jako uporządkowaną trójkę:

$$PSU_{GnGE} = \langle U_{GnGE}, U_{uEi}^{GnGE}, \varphi_E \rangle, \quad (2.56)$$

gdzie:

$$U_{uEi}^{GnGE} = \{ U_{uEi}^{Ej} \}, \quad j = \overline{1, J_E} \quad (2.57)$$

$$\varphi_E : U_{GnGE} \rightarrow U_{uEi}^{GnGE}, \quad (2.58)$$

przy czym U_{GnGE} - zbiór oddziaływań KU dotyczących makrogrupy niejednorodnej $G_n G_E$.

Podsystem obsługi makrogrupy niejednorodnej urządzeń elektrycznych można przedstawić następująco:

$$PSO_{GnGE} = \langle V_{GnGE}, V_{uEi}^{GnGE}, \kappa_E \rangle, \quad (2.59)$$

gdzie:

$$V_{uEi}^{GnGE} = \{ V_{uEi}^{Ej} \}, \quad j = \overline{1, J_E} \quad (2.60)$$

$$\kappa_E : V_{GnGE} \rightarrow V_{uEi}^{GnGE}, \quad (2.61)$$

przy czym V_{GnGE} - przestrzeń oddziaływań pośrednich głównego energetyka na $G_n G_E$.

Podsystem eksploatacji makrogrupy niejednorodnej urządzeń elektrycznych PSE_{GnGE} przedstawia następująca trójka:

$$PSE_{GnGE} = \langle U_{GnGE}, V_{GnGE}, \Pi_{3E} \rangle, \quad (2.62)$$

gdzie Π_{3E} - zbiór relacji między oddziaływaniami KU i GE

Relacja $\Pi_{3E} \in \Pi_{3E}$ może być macierzą gry między KU i GE .

O kierowniku KE założono, że jest podmiotem oddziaływującym na Π_{3E} .

2.7. Podsystem eksploatacji urządzeń mechanicznych gniazda produkcyjnego

Dla urządzeń mechanicznych można przeprowadzić analogiczny jak dla urządzeń elektrycznych tok rozważań. W rezultacie otrzymuje się dla poszczególnych podsystemów następujące określenia:

- 1) Podsystem użytku makrogrupy niejednorodnej urządzeń mechanicznych PSU_{GnGM} :

$$PSU_{GnGM} = \langle U_{GnGM}, U_{uMi}^{GnGM}, \varphi_M \rangle, \quad (2.63)$$

gdzie: $U_{uMi}^{GnGM} = \{U_{uMi}^{Mj}\}, j = \overline{1, J_M} \quad (2.64)$

$$U_{uMi}^{Mj} = \{U_{uMi}^i\}, i = \overline{1, N_{Mj}^u} \quad (2.65)$$

$$\varphi_M: U_{GnGM} \rightarrow U_{uMi}^{GnGM}, \quad (2.66)$$

przy czym U_{GnGM} - zbiór oddziaływań KU na makrogrupę niejednorodną urządzeń mechanicznych G_n, G_M , U_{uMi}^{Mj} - zbiór oddziaływań pośrednich KU na grupę jednorodną G_{Mj} , U_{uMi}^i - zbiór oddziaływań pośrednich KU na i -te urządzenie mechaniczne u_{Mi} .

- 2) Podsystem obsługi makrogrupy niejednorodnej urządzeń mechanicznych PSO_{GnGM} :

$$PSO_{GnGM} = \langle V_{GnGM}, V_{uMi}^{GnGM}, \varkappa_M \rangle, \quad (2.67)$$

gdzie: $V_{uMi}^{GnGM} = \{V_{uMi}^{Mj}\}, j = \overline{1, J_M} \quad (2.68)$

$$V_{uMi}^{Mj} = \{V_{uMi}^i\}, i = \overline{1, N_{Mj}^o} \quad (2.69)$$

$$\varkappa_M: V_{GnGM} \rightarrow V_{uMi}^{GnGM}, \quad (2.70)$$

przy czym V_{GnGM} - zbiór oddziaływań głównego mechanika GM na urządzenia G_n, G_M , V_{uMi}^{Mj} - zbiór oddziaływań pośrednich GM na G_{Mj} , V_{uMi}^i - zbiór oddziaływań pośrednich na urządzenie mechaniczne u_{Mi} .

3) Podsystem eksploatacji makrogrupy niejednorodnej urządzeń mechanicznych PSE_{GnGM} :

$$PSE_{GnGM} = \langle U_{GnGM}, V_{GnGM}, \Pi_{3M} \rangle, \quad (2.71)$$

gdzie Π_{3M} - zbiór relacji między oddziaływaniami $KU i GM$
 Relacja $\Pi_{3M} \in \Pi_{3M}$ może być macierzą gry między $KU i GM$.

2.8. Podsystem eksploatacji urządzeń automatyki gniazda produkcyjnego

W modelu prakseologicznym elementarnego układu eksploatacji gniazda produkcyjnego urządzenia automatyki podlegają prawie takim samym podmiotom jak urządzenia elektryczne w dwóch tylko przypadkach występuje różnica: zamiast obsługownika elektryka jest obsługownik automatyk, a kierownika wydziału elektrycznego-kierownik wydziału automatyki.

W związku z tym rozważania przeprowadzone w rozdziale 2.6 są słuszne również dla urządzeń automatyki. A więc przez analogię zostały wprowadzone pojęcia odpowiednich podsystemów, tzn. użytku, obsługi i eksploatacji makrogrupy urządzeń automatyki.

Podsystem użytku makrogrupy niejednorodnej urządzeń automatyki PSU_{GnGA} przedstawia trójka:

$$PSU_{GnGA} = \langle U_{GnGA}, U_{uAi}^{GnGA}, \varphi_A \rangle, \quad (2.72)$$

gdzie:

$$U_{uAi}^{GnGA} = \{ U_{uAi}^{Aj} \}, \quad j = \overline{1, J_A} \quad (2.73)$$

$$U_{uAi}^{Aj} = \{ U_{uAi}^u \}, \quad i = N_{Aj}^u \quad (2.74)$$

$$\varphi_A: U_{GnGA} \rightarrow U_{uAi}^{GnGA}, \quad (2.75)$$

przy czym U_{GnGA} - zbiór oddziaływań KU na makrogrupę niejednorodną urządzeń automatyki $G_n G_A$, U_{uAi}^{Aj} - zbiór oddziaływań pośrednich KU na grupę jednorodną G_{Aj} , U_{uAi}^u - zbiór oddziaływań KU na urządzenie pojedyncze automatyki u_{Ai} .

Podsystem obsługi makrogrupy niejednorodnej urządzeń automatyki PSO_{GnGA} można zapisać w następującej postaci:

$$PSO_{GnGA} = \langle V_{GnGA}, V_{uAi}^{GnGA}, \kappa_A \rangle, \quad (2.76)$$

gdzie:

$$V_{uAi}^{GnGA} = \{V_{uAi}^{Aj}\}, \quad j = \overline{1, J_A} \quad (2.77)$$

$$V_{uAi}^{Aj} = \{V_{uAi}\}, \quad i = \overline{1, N_{Aj}^0} \quad (2.78)$$

$$\kappa_A: V_{GnGA} \rightarrow V_{uAi}^{GnGA}, \quad (2.79)$$

przy czym V_{GnGA} - zbiór oddziaływań głównego energetyka GE na urządzenia $G_n G_A$, V_{uAi}^{Aj} - zbiór oddziaływań pośrednich na urządzenie automatyki u_{Ai} .

Podsystem eksploatacji makrogrupy niejednorodnej urządzeń automatyki PSE_{GnGA} można przedstawić następująco:

$$PSE_{GnGA} = \langle U_{GnGA}, V_{GnGA}, \Pi_{3A} \rangle, \quad (2.80)$$

gdzie Π_{3A} - zbiór relacji między oddziaływaniami kierownika użytku KU i głównego energetyka GE , dotyczących $G_n G_A$.

2.9. System eksploatacji gniazda produkcyjnego

Na podstawie pojęć wprowadzonych w rozdziałach 2.6, 2.7, 2.8 można zdefiniować systemy użytku, obsługi i eksploatacji gniazda produkcyjnego.

Przez system użytku gniazda produkcyjnego SUG_p będzie rozumiana następująca trójka:

$$SUG_p = \langle PSU_{GnGE}, PSU_{GnGM}, PSU_{GnGA} \rangle. \quad (2.81)$$

System obsługi gniazda produkcyjnego SOG_p przedstawia następująca trójka:

$$SOG_p = \langle PSO_{GnGA} , PSO_{GnGA} , PSO_{GnGA} \rangle . \quad (2.82)$$

System eksploatacji gniazda produkcyjnego SEG_p można zapisać następująco

$$SEG_p = \langle U_{Gp} , V_{Gp} , \Pi \rangle , \quad (2.83)$$

gdzie:

$$U_{Gp} = \{ U_{GnGE} , U_{GnGM} , U_{GnGA} \} , \quad (2.84)$$

$$V_{Gp} = \{ V_{GnGE} , V_{GnGM} , V_{GnA} \} , \quad (2.85)$$

Π - zbiór relacji między oddziaływaniami KU , $\{GE i GM\}$.

3. PROCES EKSPLOATACJI GNIAZDA PRODUKCYJNEGO

3.1. Wektor stanu systemu eksploatacji gniazda produkcyjnego

Stan systemu eksploatacji urządzeń gniazda produkcyjnego w dowolnej chwili czasu da się opisać skończonym zbiorem wielkości $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_n$, które nazwano zmiennymi stanu SEG_p [38,39]. Niech wielkości te będą współrzędnymi wektora Ω , który będzie nazwany wektorem stanu systemu eksploatacji gniazda produkcyjnego SEG_p .

$$\Omega = \langle \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_n \rangle, \quad (3.1)$$

Przy czym zmienną stanu może być np. dochód dostarczony przez system eksploatacji gniazda w jednostce czasu, intensywność działania systemu (ilość zadań operacyjnych wykonywanych w jednostce czasu), gotowość systemu itp. Zmienne stanu mogą zmieniać się w czasie, a zmiana zależy między innymi od:

- oddziaływań pośrednich kierownika użytku KU ,
- oddziaływań pośrednich głównego energetyka GE ,
- oddziaływań pośrednich głównego mechanika GM .

Przez U oznaczono wektor oddziaływań pośrednich KU

$$U = \langle U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_R \rangle, \quad (3.2)$$

przy czym

$$U_i \in \mathbb{U}_{Gp}.$$

Przez V_{GE} oznaczono wektor oddziaływań pośrednich głównego energetyka GE

$$V_{GE} = \langle V_{E1}, V_{E2}, \dots, V_{Ei}, \dots, V_{EL} \rangle, \quad (3.3)$$

przy czym

$$V_{Ei} \in \{V_{GnGE}, V_{GnGA}\}.$$

Przez V_{GM} oznaczono wektor oddziaływań pośrednich głównego mechanika GM

$$V_{GM} = \langle V_{M1}, V_{M2}, \dots, V_{MS}, \dots, V_{MS} \rangle, \quad (3.4)$$

przy czym

$$V_{Ms} \in V_{GnGM}.$$

Składowe wektorów U, V_{GE}, V_{GM} mogą być ciągłymi bądź dyskretnymi funkcjami czasu. Wektory oddziaływań pośrednich U, V_{GE}, V_{GM} nazwane będą również wektorami sterowania lub w skrócie sterowaniami.

Podstawą dalszych rozważań będzie założenie, że wektor stanu systemu eksploatacji gniazda w dowolnej chwili jest tożsamościowo równy wektorowi pewnej wektorowej funkcji czasu zwanej PROCESEM EKSPLOATACJI URZĄDZENIA GNIAZDA PRODUKCYJNEGO.

3.2. Definicje procesu eksploatacji gniazda produkcyjnego

1. Dyskretnym, bez pamięci procesem eksploatacji gniazda produkcyjnego jest funkcja g , dla której:

$$\Omega(k+1) = g(\Omega(k), U(k), V_{GE}(k), V_{GM}(k)) \quad \text{dla } k \in K \quad (3.5)$$

gdzie:

$$\Omega = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_i \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix}, \quad g = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_i \\ \vdots \\ g_n \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_r \\ \vdots \\ U_R \end{bmatrix}, \quad V_{GE} = \begin{bmatrix} V_{E1} \\ V_{E2} \\ \vdots \\ V_{EI} \\ \vdots \\ V_{EL} \end{bmatrix}, \quad V_{GM} = \begin{bmatrix} V_{M1} \\ V_{M2} \\ \vdots \\ V_{Ms} \\ \vdots \\ V_{MS} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$\omega_i(k+1) = g_i(\omega_1(k), \dots, \omega_n(k), U_1(k), \dots, U_R(k), V_{E1}(k), \dots, V_{EL}(k), V_{M1}(k), \dots, V_{MS}(k)).$$

2. Dyskretnym procesem eksploatacji gniazda produkcyjnego z pamięcią będzie nazwana funkcja g , dla której:

$$\Omega(k+1) = g(\Omega(k), \Omega(k-\mu_1), \dots, \Omega(k-\mu_t), U(k), V_{GE}(k), V_{GM}(k)) \quad \text{dla } k \in K \quad (3.7)$$

gdzie $\Omega, g, U, V_{GE}, V_{GM}$ wyrażone wzorem (3.6),

$$\omega_i(k+1) = g_i(\omega_1(k), \dots, \omega_n(k), \omega_1(k-\mu_1), \dots, \omega_n(k-\mu_n), \omega_1(k-\mu_t), \dots, \\ \dots, \omega_n(k-\mu_t), U_1(k), \dots, U_R(k), V_{E1}(k), \dots, V_{M1}(k), V_{EL}(k), \dots, V_{MS}(k)),$$

$\mu_1, \dots, \mu_t$ - horyzont pamięci.

3. Ciągłym, bez pamięci procesem eksploatacji gniazda produkcyjnego nazwana będzie funkcja f , dla której:

$$\frac{d\Omega(t)}{dt} = f(\Omega(t), U(t), V_{GE}(t), V_{GM}(t)) \quad \text{dla } t \in T \quad (3.8)$$

gdzie:

$$\Omega = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_i \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix}, \quad f = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_i \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_r \\ \vdots \\ U_R \end{bmatrix}, \quad V_{GE} = \begin{bmatrix} V_{E1} \\ V_{E2} \\ \vdots \\ V_{Ei} \\ \vdots \\ V_{EL} \end{bmatrix}, \quad V_{GM} = \begin{bmatrix} V_{M1} \\ V_{M2} \\ \vdots \\ V_{Ms} \\ \vdots \\ V_{MS} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$\frac{d\omega_i(t)}{dt} = f_i(\omega_1(t), \dots, \omega_n(t), U_1(t), \dots, U_R(t), V_{E1}(t), \dots, V_{EL}(t), V_{M1}(t), \dots, V_{MS}(t)).$$

4. Ciągłym procesem eksploatacji gniazda produkcyjnego z pamięcią będzie funkcja f , dla której:

$$\frac{d\Omega(t)}{dt} = f(\Omega(t), \Omega(t-\tau_1), \dots, \Omega(t-\tau_t), U(t), V_{GE}(t), V_{GM}(t)), \quad (3.10)$$

gdzie: $\Omega, f, U, V_{GE}, V_{GM}$ określone wzorem (3.9)

$$\frac{d\omega_i(t)}{dt} = f_i(\omega_1(t), \dots, \omega_n(t), \omega_1(t-\tau_1), \dots, \omega_n(t-\tau_1), \dots, \omega_1(t-\tau_t), \dots, \omega_n(t-\tau_t), U_1(t), \dots, \\ \dots, U_R(t), V_{E1}(t), \dots, V_{EL}(t), V_{M1}(t), \dots, V_{MS}(t)),$$

$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_t$ - horyzont pamięci.

4. POTENCJAŁ EKSPLOATACYJNY GNIAZDA PRODUKCYJNEGO

4.1. Uwagi wstępne

Szczególne znaczenie w modelach sterowania eksploatacją urządzeń ma tzw. potencjał eksploatacyjny [21,23,24]. Pod tym pojęciem rozumie się pewne uogólnione charakterystyki zdolności eksploatacyjnych. Podstawą wyznaczania potencjału eksploatacyjnego są najczęściej różnego rodzaju ресурсы np. paliwowy, energetyczny itp. Miary potencjału eksploatacyjnego skonstruowane w oparciu o różne ресурсы urządzeń przedstawiono w [21,23,24]. Mogą one być liczbami, funkcjami liczbowymi bądź też relacjami określonymi na elementach systemu. W praktyce najczęściej stosowanymi miarami potencjału eksploatacyjnego elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych w zależności od ich rodzaju są:

- czas pracy urządzenia do momentu jego likwidacji,
- liczba wytopów realizowanych przez urządzenie do jego likwidacji,
- liczba ton wsadu przetopionego lub nagrzanego w urządzeniu do jego likwidacji.

Dla urządzeń gniazda produkcyjnego można wprowadzić wspólną miarę potencjału eksploatacyjnego, jaką jest ilość operacji technologicznych zrealizowanych w gnieździe do momentu likwidacji urządzenia, bądź czas pracy. Celowe jest więc z punktu widzenia gniazda produkcyjnego określenie potencjału eksploatacyjnego makrogrup niejednorodnych urządzeń dla poszczególnych struktur funkcjonalnych.

4.2. Potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń o strukturze funkcjonalnej równoległej

Struktura funkcjonalna równoległa została zdefiniowana w rozdziale 2.3. Na tej podstawie potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń G_j o strukturze równoległej $Z_{G_j}^R$ można przedstawić następująco:

$$Z_{G_j}^R = \sum_{i=1}^{I_j} z_{u_i} , \quad (4.1)$$

gdzie Z_{u_i} - potencjał eksploatacyjny i -tego urządzenia pojedynczego grupy jednorodnej G_j .

Zrealizowanie czynności c_l operacji technologicznej powoduje zmniejszenie potencjału grupy G_j o wielkość $Z_{G_j}^{c_l}$ czyli

$$Z_{G_j}^{R'} = Z_{G_j}^R - Z_{G_j}^{c_l}, \quad (4.2)$$

gdzie: $Z_{G_j}^{R'}$ - potencjał grupy jednorodnej G_j po wykonaniu czynności c_l ,

$Z_{G_j}^{c_l}$ - wymagany potencjał do zrealizowania c_l -tej czynności przez grupę jednorodną G_j .

Urządzenia grupy jednorodnej G_j o strukturze równoległej spełniają warunki:

$$\sum_{i=1}^{I_j} z_{u_i}^{c_l} = Z_{G_j}^{c_l}, \quad (4.3)$$

$$Z_{G_j}^{R'} = \sum_{i=1}^{I_j} z_{u_i}' = \sum_{i=1}^{I_j} (z_{u_i} - z_{u_i}^{c_l}) = \sum_{i=1}^{I_j} z_{u_i} - \sum_{i=1}^{I_j} z_{u_i}^{c_l} = Z_{G_j}^R - Z_{G_j}^{c_l}, \quad (4.4)$$

gdzie: z_{u_i}' - potencjał eksploatacyjny i -tego urządzenia po zrealizowaniu c_l -tej czynności,

$z_{u_i}^{c_l}$ - potencjał zużyty przez i -te urządzenie G_j na zrealizowanie c_l -tej czynności.

Oczywiście musi być spełniony warunek wykonania danej czynności:

$$z_{u_i} \geq z_{u_i}^{c_l}, \quad i = \overline{1, I_j}. \quad (4.5)$$

4.3. Potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń o strukturze szeregowej

Niech będzie dana grupa jednorodna G_j o strukturze funkcjonalnej szeregowej (rozdział 2.3). Niech ponadto potencjały eksploatacyjne urządzeń pojedynczych wynoszą odpowiednio $z_{u_1}, z_{u_2}, \dots, z_{u_{I_j}}$. Czynnościom operacji technologicznej, w których

realizacji uczestniczą pojedyncze urządzenia G_j zostaną przyporządkowane numery urządzeń tzn. urządzenie u_i -te wykonuje c_i -tą czynność operacji technologicznej. Wówczas potencjał każdego urządzenia po wykonaniu czynności w realizacji, której bierze udział będzie wynosił:

$$z_{u_i} - z_{u_i}^{c_i} \quad (4.6)$$

gdzie: $z_{u_i}^{c_i}$ - oznacza potencjał eksploatacyjny wymagany do wykonania c_i -tej czynności operacyjnej przez pojedyncze urządzenie grupy G_j .

Zatem potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń o strukturze funkcjonalnej szeregowej $Z_{G_j}^s$ można zapisać następująco:

$$Z_{G_j}^s = \min \{ z_{u_i} \} \quad \text{dla } i = \overline{1, I_j} . \quad (4.7)$$

Natomiast potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń o strukturze szeregowej po wykonaniu operacji technologicznej $Z_{G_j}^{s'}$ będzie wynosił:

$$Z_{G_j}^{s'} = \min \{ z_{u_i} - z_{u_i}^{c_i} \} \quad \text{dla } i = \overline{1, I_j} . \quad (4.8)$$

Daną operację można zrealizować, gdy

$$Z_{G_j}^s \geq \max \{ z_{u_i}^{c_i} \} , \quad i = \overline{1, I_j} . \quad (4.9)$$

4.4. Potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń o strukturze funkcjonalnej mieszanej

W celu wyznaczenia potencjału eksploatacyjnego grupy jednorodnej o strukturze funkcjonalnej mieszanej $Z_{G_j}^M$ tworzy się w grupie jednorodnej podgrupy urządzeń, które ze względu na dane czynności c_i mają strukturę funkcjonalną równoległą, pozostałe urządzenia tworzą podgrupę o strukturze funkcjonalnej szeregowej. Wówczas na podstawie wzoru (4.7) można określić potencjał eksploatacyjny podgrupy o strukturze szeregowej $Z_{pG_j}^s$ następująco:

$$Z_{PG_j}^s = \min_i \{z_{u_i}\}, \quad i \in N_j^s, \quad (4.10)$$

przy czym N_j^s - zbiór numerów urządzeń grupy jednorodnej G_j tworzących strukturę funkcjonalną szeregową.

Potencjały eksploatacyjne wydzielonych podgrup urządzeń tworzących struktury funkcjonalne równoległe można wyznaczyć na podstawie wzoru (4.1):

$$Z_{PG_j}^{R_{c_l}} = \sum_i z_{u_i}, \quad i \in N_j^{R_{c_l}}, \quad (4.11)$$

przy czym: $Z_{PG_j}^{R_{c_l}}$ - potencjał eksploatacyjny podgrupy urządzeń grupy jednorodnej G_j , która ze względu na czynność c_l ma strukturę funkcjonalną równoległą,

$N_j^{R_{c_l}}$ - zbiór numerów urządzeń grupy jednorodnej G_j , które biorą udział w realizacji czynności c_l .

Na podstawie wyznaczonych potencjałów eksploatacyjnych wszystkich podgrup urządzeń grupy jednorodnej, tworzących struktury funkcjonalne równoległe można znaleźć podgrupę o najmniejszej wartości potencjału eksploatacyjnego:

$$Z_{G_j}^{M'} = \min \{Z_{PG_j}^{R_{c_l}}\}, \quad \text{gdzie } c_l \in T_{op}, \quad (4.12)$$

gdzie l - oznacza numery czynności operacji technologicznej ze względu, na które wydzielono podgrupy urządzeń w grupie jednorodnej G_j o strukturze funkcjonalnej równoległej.

Tak więc potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń o strukturze funkcjonalnej mieszanej $Z_{G_j}^M$ można określić następująco:

$$Z_{G_j}^M = \min \{Z_{PG_j}^s, Z_{PG_j}^{R_{c_l}^*}\}. \quad (4.13)$$

Po wykonaniu operacji technologicznej T_{op} potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej urządzeń o strukturze mieszanej będzie wynosił:

$$Z_{G_j}^{M'} = \min \{ Z_{PG_j}^{s'}, Z_{PG_j}^{R_{Cl}^{*}} \}, \quad (4.14)$$

przy czym:

$Z_{PG_j}^{s'}$ - potencjał eksploatacyjny podgrupy urządzeń o strukturze funkcjonalnej szeregowej grupy jednorodnej G_j po wykonaniu operacji technologicznej, T_{op} ,

$Z_{PG_j}^{R_{Cl}^{*}}$ - potencjał eksploatacyjny podgrupy urządzeń o strukturze funkcjonalnej równoległej, dla której jest on najmniejszy po wykonaniu operacji T_{op} .

4.5. Potencjał eksploatacyjny gniazda produkcyjnego

Traktując w ogólnym przypadku grupy jednorodne urządzeń każdego z podsystemów jako grupy o strukturze funkcjonalnej mieszanej, potencjały ich można przedstawić następująco:

$$Z_{GE_j} = \min \{ Z_{PGE_j}^s, Z_{PGE_j}^{R_{Cl}^{*}} \}, \quad (4.15)$$

$$Z_{GM_j} = \min \{ Z_{PGM_j}^s, Z_{PGM_j}^{R_{Cl}^{*}} \}, \quad (4.16)$$

$$Z_{GA_j} = \min \{ Z_{PGA_j}^s, Z_{PGA_j}^{R_{Cl}^{*}} \}, \quad (4.17)$$

przy czym $Z_{GE_j}(Z_{GM_j}, Z_{GA_j})$ - potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej $G_{Ej}(G_{Mj}, G_{Aj})$,

$Z_{PGE_j}^s(Z_{PGM_j}^s, Z_{PGA_j}^s)$ - potencjał podgrupy urządzeń tworzących strukturę funkcjonalną szeregową grupy jednorodnej $G_{Ej}(G_{Mj}, G_{Aj})$,

$Z_{PGE_j}^{R_{Cl}^{*}}(Z_{PGM_j}^{R_{Cl}^{*}}, Z_{PGA_j}^{R_{Cl}^{*}})$ - potencjał eksploatacyjny podgrupy urządzeń o strukturze funkcjonalnej równoległej, określony wzorem (4.12) grupy jednorodnej $G_{Ej}(G_{Mj}, G_{Aj})$.

Takie założenie jest słuszne, ponieważ dla grupy jednorodnej o strukturze funkcjonalnej szeregowej człon $Z_{PG_j}^{R_{Cl}^{*}}$ nie istnieje,

a więc wzór (4.15) przyjmie postać

$$Z_{G_j} = \min \{ Z_{PG_j}^s \} = \min \{ Z_{G_j}^s \} = Z_{G_j}^s, \quad (4.18)$$

Natomiast dla grupy jednorodnej o strukturze funkcjonalnej równoległej człon $Z_{PG_j}^s$ nie istnieje, a więc wzór (4.15) ma postać:

$$Z_{G_j} = \min \{ Z_{PG_j}^{R_{C_l}^*} \} = \min \{ Z_{G_j}^{R_{C_l}^*} \} = Z_{G_j}^{R_{C_l}^*}, \quad (4.19)$$

Zakładając, że grupy jednorodne mają strukturę funkcjonalną mieszaną uwzględnia się wszystkie możliwe przypadki.

Potencjały eksploatacyjne makrogrup niejednorodnych urządzeń $G_n G_E$, $G_n G_M$, $G_n G_A$ wynoszą odpowiednio:

$$Z_{G_n G_E} = \min \{ Z_{G_E j} \}, \quad j = \overline{1, J_E} \quad (4.20)$$

$$Z_{G_n G_M} = \min \{ Z_{G_M j} \}, \quad j = \overline{1, J_M} \quad (4.21)$$

$$Z_{G_n G_A} = \min \{ Z_{G_A j} \}, \quad j = \overline{1, J_A} \quad (4.22)$$

gdzie: $Z_{G_n G_E}$ - potencjał eksploatacyjny makrogrupy niejednorodnej urządzeń elektrycznych, $Z_{G_n G_M}$ - potencjał eksploatacyjny makrogrupy niejednorodnej urządzeń mechanicznych, $Z_{G_n G_A}$ - potencjał eksploatacyjny makrogrupy niejednorodnej urządzeń automatyki.

Potencjał eksploatacyjny gniazda produkcyjnego Z_{G_p} można zapisać następująco:

$$Z_{G_p} = \min \{ Z_{G_n G_E}, Z_{G_n G_M}, Z_{G_n G_A} \}. \quad (4.23)$$

Po wykonaniu operacji technologicznej T_{op} przez gniazdo produkcyjne potencjał eksploatacyjny gniazda Z'_{G_p} będzie wynosił:

$$Z'_{G_p} = \min \{ Z'_{G_n G_E}, Z'_{G_n G_M}, Z'_{G_n G_A} \}, \quad (4.24)$$

gdzie

$$Z'_{G_n G_E} = \min_j \{ Z'_{G_{Ej}} \} , j = \overline{1, J_E} \quad (4.26)$$

$$Z'_{G_n G_M} = \min_j \{ Z'_{G_{Mj}} \} , j = \overline{1, J_M} \quad (4.27)$$

$$Z'_{G_n G_A} = \min_j \{ Z'_{G_{Aj}} \} , j = \overline{1, J_A} \quad (4.28)$$

przy czym $Z'_{G_{Ej}}, Z'_{G_{Mj}}, Z'_{G_{Aj}}$ - spełniają warunek określony wzorem (4.14), $Z'_{G_n G_E}$ - potencjał eksploatacyjny makrogrupy niejednorodnej urządzeń elektrycznych po wykonaniu operacji T_{op} ,

$Z'_{G_n G_M}$ - potencjał eksploatacyjny makrogrupy niejednorodnej $G_n G_M$ po wykonaniu T_{op} , $Z'_{G_n G_A}$ - potencjał eksploatacyjny makrogrupy niejednorodnej $G_n G_A$ po wykonaniu T_{op} .

5. KONFLIKTOWE SYTUACJE W SYSTEMIE EKSPLOATACJI GNIAZDA PRODUKCYJNEGO

5.1. Identyfikacja eksploatacyjnych sytuacji konfliktowych w systemie eksploatacji gniazda produkcyjnego

Własności urządzeń istotne z punktu widzenia celu ich wykorzystania zmieniają się z upływem czasu i ze zmianą intensywności użytkowania. Zjawisko to powoduje konieczność odtwarzania własności urządzeń przez odpowiednie obsługiwanie. Te dwa procesy: proces utraty istotnych własności urządzeń - w szerszym ujęciu proces użytkowania urządzeń i proces odtwarzania własności urządzeń - proces obsługiwania składają się na proces eksploatacji [20,21,22,23,24,38,39].

Identyfikując sytuacje decyzyjne należy wyodrębnić przestrzeń oddziaływań decyzyjnych na procesy użytkowania i obsługiwania oraz źródła tych oddziaływań: decydentów - potencjalnych uczestników sytuacji konfliktowych. Cele decydentów nie muszą być zgodne. Użytkowanie jest związane zawsze z utratą potencjału eksploatacyjnego gniazda produkcyjnego, obsługiwanie ma na celu odtworzenie potencjału gniazda. Niezgodność celów pomiędzy decydentami obsługi i użytkowania prowadzi do sytuacji konfliktowych. Zbyt intensywne użytkowanie gniazda i nienadążanie w odtworzeniu jego zdolności użytkowej jest w praktyce często przyczyną sytuacji konfliktowych.

Identyfikacja eksploatacyjnych sytuacji konfliktowych polega na określeniu z zadaną dokładnością (zależną od poziomu analizy identyfikacyjnej) praktycznych odpowiedników: obszaru działań, pól użyteczności, pola działań, fragmentu sieci prakseologicznej, dla którego rozważana jest sytuacja konfliktowa, zbiorze uczestników sytuacji, zbioru ich strategii i funkcji wypłat w poszczególnych polach użyteczności [24,38].

W systemie eksploatacji gniazda produkcyjnego potencjalnymi uczestnikami konfliktu są decydenci zajmujący w prakseologicznych pośrednich łańcuchach działania miejsce podmiotów działania. Są nimi kierownik użytku *KU*, główny energetyk *GE*, główny mechanik *GM*. Szczególną rolę w systemie eksploatacji odgrywa kierownik eksploatacji, który sam nie uczestniczy w konflikcie

lecz pełni funkcję podmiotu sterującego przebiegiem konfliktu, a więc jest organizatorem gry, w której uczestniczą zainteresowane strony (uczestnicy gry). Zatem proces eksploatacji gniazda produkcyjnego zależy od konfliktu interesów uczestniczących w nim stron, a osiągnięte wyniki od decyzji podejmowanych przez ich uczestnika.

O ile *KU, GE, GM* są rozsądnymi graczami w grach eksploatacji o tyle natura, która jest przeciwnikiem decydentów eksploatacji wymaga traktowania jej jako uczestnika konfliktu nieświadomego swego celu.

W spotykanych w literaturze modelach eksploatacyjnych sytuacji konfliktowych odpowiednikiem obszaru działań jest najczęściej zbiór dopuszczalnych decyzji eksploatacyjnych, rozumianych jako decyzje dotyczące użytkowania, obsługiwanego, bądź jednocześnie użytkowania i obsługiwanego [19,39,40,43,46,49,56].

Decyzje eksploatacyjne charakteryzują się liczbowo następującymi wielkościami:

- potencjałem eksploatacyjnym przydzielonym na realizację określonego zadania lub na określony czas,
- intensywnością zużywania potencjału eksploatacyjnego,
- intensywnością odtwarzania potencjału eksploatacyjnego,
- czasem użytkowania urządzeń,
- czasem obsługiwanego urządzeń,
- liczbą zadań użytkowych i terminem ich realizacji,
- jakością użytkowania,
- różnymi rodzajami wskaźników gotowości.

W modelach eksploatacyjnych gniazda produkcyjnego w warunkach istnienia konfliktu decyzje eksploatacyjne są oparte na następujących wielkościach:

- wskaźnikach gotowości i zapotrzebowania na gotowość gniazda produkcyjnego,
- liczbie urządzeń użytkowanych i obsługiwanych gniazda produkcyjnego,
- na prawdopodobieństwie wystąpienia zakłóceń w procesie użytkowania na skutek braku surowca koniecznego do wykonania operacji technologicznej w gnieździe,
- na prawdopodobieństwie wystąpienia zakłóceń w procesie obsługiwanego gniazda produkcyjnego na skutek braku części zamiennych.

Polem użyteczności tworzącym pole działań jest w tym przypadku pole użyteczności ekonomicznej.

Ośrodkiem działań jest gniazdo produkcyjne i ludzie podejmujący decyzje eksploatacyjne dotyczące urządzeń realizujących operację technologiczną.

W zależności od decyzji eksploatacyjnych otrzymanych w wyniku rozważanych sytuacji konfliktowych można utworzyć różne zbiory strategii i różne postacie funkcji wypłat.

5.2. Eksploatacyjne gry między decydentami systemu eksploatacji gniazda produkcyjnego

Z analizy prakseologicznego elementarnego układu eksploatacji gniazda produkcyjnego wynika, że sytuacje konfliktowe występujące pomiędzy poszczególnymi podmiotami sterującymi procesem eksploatacji można zamodelować za pomocą następujących gier:

- 1) gry prowadzonej między kierownikiem użytku KU i głównym energetykiem GE , oznaczonej jako $\{KU, GE\}$,
- 2) gry prowadzonej między KU i głównym mechanikiem GM - $\{KU, GM\}$,
- 3) gry prowadzonej między $\{KU, GE\}$, $\{KU, GM\}$ równocześnie.

Pierwsza gra ma miejsce wówczas, gdy użyteczność decyzji głównego energetyka GE dominuje nad użytecznością decyzji głównego mechanika GM . Odzwierciedleniem tej sytuacji jest np. realizacja operacji technologicznej w głównej mierze przez makrogrupy niejednorodne urządzeń elektrycznych i automatyki, a więc pomocniczą odgrywa makrogrupa niejednorodna urządzeń mechanicznych (np. nagrzewnica indukcyjna). Druga odpowiada sytuacji odwrotnej tzn. urządzenia elektryczne i automatyki pełnią funkcję pomocniczą w realizacji operacji technologicznej. Trzecia natomiast jest grą charakterystyczną dla przypadku, w którym w realizacji operacji biorą udział w takim samym stopniu urządzenia, na które oddziałują GM jak i urządzenia, na które oddziałują GE .

Żeby zidentyfikować grę, która odpowiada konkretnemu gniazdu produkcyjnemu należy posługiwać się wartościami użyteczności oddziaływań głównego energetyka, głównego mechanika [12, 31, 32, 37, 45, 54]. Możliwe są trzy relacje, jakie mogą zachodzić między wartościami tych użyteczności:

$$1) \quad u^* [\{\mathbb{W}_{G_n G_E}, \mathbb{W}_{G_n G_A}\}] > u^* [\mathbb{W}_{G_n G_M}] \quad , \quad (5.1)$$

$$2) \quad u^* [\{\mathbb{W}_{G_n G_E}, \mathbb{W}_{G_n G_A}\}] < u^* [\mathbb{W}_{G_n G_M}] \quad , \quad (5.2)$$

$$3) \quad u^* [\{\mathbb{W}_{G_n G_E}, \mathbb{W}_{G_n G_A}\}] = u^* [\mathbb{W}_{G_n G_M}] \quad , \quad (5.3)$$

gdzie $u^* [\{\mathbb{W}_{G_n G_E}, \mathbb{W}_{G_n G_A}\}]$ - oznacza wartość użyteczności oddziaływań pośrednich GE na $G_n G_E$, $u^* [\mathbb{W}_{G_n G_M}]$ - użyteczność oddziaływań pośrednich GM na $G_n G_M$. Nierówność pierwsza odpowiada grze $\{KU, GE\}$, druga $\{KU, GM\}$, a relacja równości $\{\{KU, GE\}, \{KU, GM\}\}$.

Na przykład, gdy o roli GE w procesie eksploatacji gniazda produkcyjnego decyduje liczność urządzeń elektrycznych i automatyki, a głównego mechanika GM liczność urządzeń mechanicznych, w liczności całego zbioru urządzeń gniazda produkcyjnego, wartości użyteczności oddziaływań GE i GM można określić na podstawie liczności zbiorów utworzonych z urządzeń określonych podsystemów, tworzących strukturę funkcjonalną szeregową. Wówczas użyteczności $u^* [\{\mathbb{W}_{G_n G_E}, \mathbb{W}_{G_n G_A}\}]$, $u^* [\mathbb{W}_{G_n G_M}]$ można określić następująco

$$u^* [\{\mathbb{W}_{G_n G_E}, \mathbb{W}_{G_n G_A}\}] = \frac{\|G_n G_E^s\| + \|G_n G_A^s\|}{\|G_n G_E^s\| + \|G_n G_A^s\| + \|G_n G_M^s\|} \quad , \quad (5.4)$$

$$u^* [\mathbb{W}_{G_n G_M}] = \frac{\|G_n G_M^s\|}{\|G_n G_E^s\| + \|G_n G_A^s\| + \|G_n G_M^s\|} \quad , \quad (5.5)$$

gdzie: $\|G_n G_E^s\|$ - liczność makrogrupy niejednorodnej urządzeń elektrycznych o strukturze funkcjonalnej szerekowej,
 $\|G_n G_A^s\|$ - liczność makrogrupy niejednorodnej urządzeń automatyki o strukturze funkcjonalnej szerekowej,
 $\|G_n G_M^s\|$ - liczność makrogrupy niejednorodnej urządzeń mechanicznych o strukturze funkcjonalnej szerekowej.

Innym kryterium decydującym o wartości użyteczności oddziaływan może być cenność urządzeń wchodzących w skład wyróżnionych makrogrup niejednorodnych. Przyjęta postać kryterium wyznaczania użyteczności oddziaływan GM i GE zależy od organizatora gry, decydenta nadrzędnego, jakim jest kierownik eksploatacji. Często wartości użyteczności są określone na podstawie obserwacji prowadzonych podczas eksploatacji [47].

Problem sterowania eksploatacją urządzeń gniazda produkcyjnego w zależności od uczestniczących stron został przedstawiony w rozdziale 8.

5.3. Eksploatacyjne gry statystyczne w sterowaniu eksploatacją gniazda produkcyjnego

Ważnym problemem w sterowaniu eksploatacją gniazda produkcyjnego jest uwzględnienie pewnych czynników losowych, wpływających na przebieg procesu eksploatacji gniazda. Jak wiadomo można wyznaczyć politykę eksploatacyjną optymalną jednak to optymalne rozwiązanie jest trudne do realizacji ze względu na różne, na ogół losach zakłócenia występujące w procesie użytkowania i obsługiwanienia gniazda produkcyjnego. Do najważniejszych tego rodzaju zakłóceń w procesie użytkowania oprócz uszkodzeń na skutek zużycia i starzenia urządzeń dochodzi jeszcze jedno, bardzo ważne zakłócenie - brak surowca, koniecznego do realizacji operacji technologicznej. O ile pierwszy rodzaj zakłóceń jest uwzględniony w modelu stochastycznym sterowania urządzeń elektroenergetycznych [20,24] o tyle drugi nie. W celu zidentyfikowania drugiego rodzaju zakłócenia, charakterystycznego dla urządzeń gniazda należy rozwiązać grę statystyczną, której wynik wchodzi jako jeden z parametrów do modelu stochastycznego. Problem uwzględniania tego rodzaju zakłóceń w procesie użytkowania jak i obsługiwanienia (brak części zamiennych do przeprowadzenia obsługi na skutek niewywiązania się kooperantów), został rozwiązany w rozdziale 7.

W systemie eksploatacji G_p bardzo często GE i główny mechanik GM nie jest w stanie przewidzieć na jaką część urządzeń może w najbliższym czasie zgłosić zapotrzebowanie kierownik użytku zainteresowany w realizacji operacji technologicznej.

Tym bardziej, że dla niektórych grup urządzeń elektroenergetycznych odbiorczych nie jest znana ich dotychczasowa historia eksploatacji. Uwzględnienie tej sytuacji prowadzi do modelu sterowania współczynnikiem gotowości gniazda produkcyjnego, oparte-
tego na grze statystycznej (rozdział 6).

6. STEROWANIE GOTOWOŚCIĄ GNIAZDA PRODUKCYJNEGO W MODELU GRY STATYSTYCZNEJ

6.1. Uwagi wstępne

Jednym ze wskaźników wykonania zadania operacyjnego przez gniazdo produkcyjne jest współczynnik gotowości gniazda, który jest zmienną stanu [20,21,23,24,25,26,56]. Zmiana tej zmiennej stanu jest symptomem sytuacji growej.

Uczestnikami prowadzonej gry są:
decydent eksploatacji gniazda - DE ,
natura - N .

Najsilniej na stopień realizacji operacji technologicznej spośród parametrów decyzyjnych, którymi dysponują DE i N oddziałują: ze strony DE - zmiany w czasie współczynnika gotowości gniazda produkcyjnego, ze strony N - zmiany w czasie współczynnika zapotrzebowania na gotowość gniazda.

6.2. Współczynnik gotowości gniazda produkcyjnego i współczynnik zapotrzebowania na gotowość gniazda produkcyjnego

Zgodnie z przyjętym założeniem (wzór 2.42) bieżącą ocenę działania systemu eksploatacji gniazda można prowadzić w oparciu o analizę współczynnika gotowości grupy jednorodnej urządzeń każdego z podsystemów, współczynnika gotowości makrogrupy niejednorodnej i współczynnika gotowości gniazda.

Współczynnik gotowości grupy jednorodnej urządzeń w k -tym etapie sterowania przedstawia wzór:

$$\eta_j(k) = \frac{\|G_j^u(k)\|}{\|G_j^u(k)\| + \|G_j^o(k)\|}, \quad (6.1)$$

gdzie:

$\|G_j^u(k)\|$ - liczba urządzeń j -tej grupy jednorodnej znajdujących się w użytku w k -tym etapie sterowania,

$\|G_j^o(k)\|$ - liczba urządzeń j -tej grupy jednorodnej obsługiwanych w k -tym etapie.

Współczynnik gotowości makrogrupy niejednorodnej w k-tym etapie sterowania można zapisać jako wektor:

$$\eta_{G_n G} = \langle \eta_j(k) \rangle, \quad j = \overline{1, J}, \quad (6.2)$$

gdzie:

$\eta_j(k)$ - wartość współczynnika gotowości j-tej grupy jednorodnej wchodzącej w skład makrogrupy niejednorodnej $G_n G$,

J - liczba wszystkich grup jednorodnych tworzących makrogrupę niejednorodną $G_n G$.

A zatem współczynnik gotowości gniazda produkcyjnego można przedstawić jako macierz:

$$\eta_{G_p}(k) = \langle \eta_{G_n G_E}(k), \eta_{G_n G_A}(k), \eta_{G_n G_M}(k) \rangle^T. \quad (6.3)$$

Tak zdefiniowany współczynnik gotowości gniazda informuje o gotowości poszczególnych grup jednorodnych urządzeń gniazda do wykonania danej operacji technologicznej, a także daje możliwość podjęcia odpowiednich decyzji przez decydenta eksploatacji odnośnie podsystemów eksploatacji makrogrup niejednorodnych gniazda.

Często z różnymi zadaniami stawianymi przez system operacyjny [24,39] zmienia się intensywność wykonywania operacji technologicznej przez gniazdo, a więc zmienia się zapotrzebowanie na ilość urządzeń, które powinny być użytkowane w danym etapie sterowania. Liczba ta może przekraczać możliwości DE odnośnie ich przygotowania.

Sytuacje tego rodzaju mają miejsce, gdy nie można przewidzieć na jakie i jaką część grupy jednorodnej urządzeń gniazda może w najbliższym czasie zgłosić zapotrzebowanie system operacyjny. Jako przykład mogą stanowić awarie gniazda wywołane nadmiernym jego przeciążeniem.

Zanim określony zostanie współczynnik zapotrzebowania na gotowość gniazda produkcyjnego G_p , analogicznie jak przy definiowaniu współczynnika gotowości $\eta_{G_p}(k)$ zostaną wprowadzone pojęcia współczynników zapotrzebowania na gotowość grupy jednorodnej i makrogrupy niejednorodnej urządzeń.

Współczynnik zapotrzebowania na gotowość j-tej grupy

jednorodnej w k-tym etapie sterowania można przedstawić następująco:

$$\gamma_j(k) = \frac{\|G_j^z(k)\|}{\|G_j(k)\|} \quad (6.4)$$

gdzie:

$\|G_j^z(k)\|$ - liczba urządzeń j-tej grupy jednorodnej, na którą zgłasza zapotrzebowanie system operacyjny w k-tym etapie,

$\|G_j(k)\|$ - liczba wszystkich urządzeń j-tej grupy jednorodnej.

Współczynnik zapotrzebowania na gotowość makrogrupy niejednorodnej $G_n G$ w k-tym etapie będzie wektorem:

$$\gamma_{G_n G}(k) = \langle \gamma_j(k) \rangle, \quad j = \overline{1, J}, \quad (6.5)$$

gdzie:

$\gamma_j(k)$ - współczynnik zapotrzebowania na gotowość j-tej grupy jednorodnej wchodzącej w skład makrogrupy niejednorodnej $G_n G$,

J - liczba wszystkich grup jednorodnych tworzących makrogrupę niejednorodną $G_n G$.

Współczynnik zapotrzebowania na gotowość gniazda produkcyjnego w k-tym etapie przedstawia macierz:

$$\gamma_{G_p}(k) = \langle \gamma_{G_n G_E}(k), \gamma_{G_n G_A}(k), \gamma_{G_n G_M}(k) \rangle^T. \quad (6.6)$$

W praktyce współczynniki zapotrzebowania na gotowość są wielkościami losowymi i dlatego sterowanie wartościami współczynników gotowości w oparciu o zasadę, że zapotrzebowanie przez system operacyjny na użytkowanie gniazda produkcyjnego w k-tym etapie nie powinno przewyższać możliwości systemu eksploatacji G_p , ma wiele cech charakterystycznych dla sytuacji określonej w literaturze jako gry z naturą [18,30,38,39,52,54,55].

6.3. Dziedzina i założenia modelu

Dane jest gniazdo produkcyjne $G_p = \langle G_n G_A, G_n G_E, G_n G_M \rangle$.

Każda z makrogrup niejednorodnych składa się odpowiedniej liczby grup jednorodnych: J_E, J_M, J_A .

$$G_n G_E = \{ G_{Ej} \} , \quad j = \overline{1, J_E}$$

$$G_n G_M = \{ G_{Mj} \} , \quad j = \overline{1, J_M}$$

$$G_n G_A = \{ G_{Aj} \} , \quad j = \overline{1, J_A}$$

Wyróżniono w każdej grupie jednorodnej G_j (G_{Ej} , G_{Mj} , G_{Aj})

$G_j^u \subset G_j$ - podzbiór urządzeń użytkowanych j-tej grupy jednorodnej,

$G_j^o \subset G_j$ - podzbiór urządzeń obsługiwanych j-tej grupy jednorodnej,

$\| G_j^u \|$ - liczność podzbioru urządzeń użytkowanych j-tej grupy jednorodnej,

$\| G_j^o \|$ - liczność podzbioru urządzeń obsługiwanych j-tej grupy jednorodnej.

Podzbiory G_j^u oraz G_j^o są rozłączne

$$\| G_j \| = \| G_j^u \| + \| G_j^o \| ,$$

Rozpatrywany będzie K - etapowy proces sterowania.

$\mathcal{K} = \{ k \} , k = \overline{1, K}$ - zbiór numerów etapów sterowania.

Współczynniki gotowości w k-tym etapie odpowiednio: dla grup jednorodnych, makrogrup niejednorodnych i gniazda są określone wzorami (6.1-6.3).

Współczynnik zapotrzebowania na gotowość w k-tym etapie są dane odpowiednio wzorami (6.4-6.6).

Współczynniki $\eta_j(k)$, $\gamma_j(k)$ przyjmują wartości z przedziału $[0, 1]$.

Zbiorem graczy jest

$$\Theta = \{ N, DE \} ,$$

a zbiorami strategii graczy będą odpowiednio:

- dla N - zbiór możliwych wartości $\gamma_j(k)$, czyli przedział $[0, 1]$,
- dla DE - zbiór możliwych wartości $\eta_j(k)$, czyli przedział $[0, 1]$.

6.4. Podstawowe relacje modelu

Rozpatrywany będzie pojedynczy k -ty etap sterowania o czasie trwania τ . Przy czym zarówno za mała jak i za duża wartość współczynnika gotowości dla poszczególnych grup jednorodnych gniazda w stosunku do wartości współczynnika zapotrzebowania na gotowość tych grup związana jest z pewnymi stratami. Straty te są proporcjonalne do różnicy współczynnika gotowości danej grupy jednorodnej i współczynnika zapotrzebowania na gotowość tej grupy. Zostaną przyjęte następujące oznaczenia: decyzje DE odnośnie j -tej grupy jednorodnej, dotycząca współczynnika gotowości $\eta_j(k)$ na k -ty etap sterowania, oznaczono przez $y_j(k) \in [0,1]$, zaś "decyzję" N dotyczącą współczynnika zapotrzebowania na gotowość $\gamma_j(k)$ w k -tym etapie sterowania oznaczono przez $x_j(k) \in [0,1]$.

Jak wiadomo strukturę gry statystycznej [18,31,32] tworzą następujące elementy: przestrzeń stanów natury, przestrzeń decyzji statystyka, funkcja strat statystyka, funkcja decyzji.

Przyjęto następujące oznaczenia:

$X = [0,1]$ - przestrzeń stanów natury,

$Y = [0,1]$ - przestrzeń decyzji decydenta eksploatacji DE ,

$x_j(k)$ - stan natury dotyczący j -tej grupy jednorodnej w k -tym etapie, tzn. $x_j(k) \in X$,

$y_j(k)$ - decyzja DE , jaką może on podjąć na k -ty etap tzn. $y_j(k) \in Y$.

W modelu będzie rozważano niesekwencyjne podejmowanie decyzji statystycznych, tzn. założono, że decydent eksploatacji zdecydował się na ustaloną z góry dla danej j -tej grupy jednorodnej liczbę n_j obserwacji współczynnika zapotrzebowania na gotowość w $k-1$ etapie sterowania (np. jeśli przyjąć długość etap sterowania τ równą jeden miesiąc, wówczas n_j może być równa liczbie dni w miesiącu).

Zbiór wszystkich możliwych wyników prób n_j - elementowych w $k-1$ etapie nazwano przestrzenią prób j -tej grupy jednorodnej i oznaczono $A_j(k-1)$.

Wektor wyników obserwacji, który będzie nazwany wynikiem eksperymentu można przedstawić następująco:

$$a_j(k-1) = (a_{j1}(k-1), a_{j2}(k-1), \dots, a_{jn}(k-1)) \in A_j(k-1). \quad (6.7)$$

Po zaobserwowaniu eksperymentu $a_j(k-1)$, DE podejmuje jedną z decyzji $y_j(k) \in Y$. Kieruje się on przy tym pewną funkcją decyzyjną, tj. taką regułą postępowania, która określa mu, jaką decyzję $y_j(k) \in Y$ ma podjąć, gdy wynik eksperymentu był $a_j(k-1) \in A_j(k-1)$. W związku z tym należy wprowadzić definicję niezrandomizowanej funkcji decyzyjnej.

Definicja 1: Każdą funkcję $d(a_j(k-1))$ określoną jako $(d: A_j(k-1) \rightarrow Y, y_j(k) \in Y, a_j(k-1) \in A_j(k-1), d(a_j(k-1)) = y_j(k))$ tzn. odwzorowującą przestrzeń prób $A_j(k-1)$ w przestrzeń Y decyzji DE nazywa się niezrandomizowaną funkcją decyzyjną decydenta eksploatacji DE , dotyczącą j -tej grupy jednorodnej gniazda.

Funkcja $d(a_j(k-1))$ wskazuje więc DE , jaką decyzję $y_j(k) \in Y$ ma on wybrać, gdy zaobserwuje w $k-1$ etapie wynik eksperymentu $a_j(k-1)$. Istnieje wiele funkcji decyzyjnych $d(a_j(k-1))$, którymi DE mógłby się posłużyć.

Zbiór wszystkich niezrandomizowanych funkcji decyzyjnych związanych z j -tą grupą jednorodną $d(a_j(k-1))$, oznaczony będzie symbolem D_j . Decydent eksploatacji DE będzie poszukiwał optymalnej funkcji decyzyjnej $d \in D_j$ jako swej strategii. W celu porównania ze sobą różnych funkcji decyzyjnych i wyboru najlepszej z nich, DE musi mieć pewne charakterystyki funkcji decyzyjnych $d(a_j(k-1))$ i kryterium wyboru. Charakterystyką funkcji decyzyjnej $d(a_j(k-1))$ jest tzw. funkcja ryzyka [45]. Określenie jej wymaga jednak uprzedniego zdefiniowania funkcji strat [31].

Definicja 2: Niech dla danego stanu natury $x_j(k) \in X$ i wybranej przez decydenta eksploatacji decyzji $y_j(k) \in Y$ liczba $L(x_j(k), y_j(k))$ oznacza stratę, jaką ponosi DE gdy podjął decyzję $y_j(k) \in Y$ przy prawdziwym stanie natury $x_j(k)$. Funkcja $L(x_j(k), y_j(k))$ określona na iloczynie kartezjańskim $X \times Y$ przestrzeni stanów natury i decyzji DE , przyjmująca liczbowe wartości

i ograniczona od dołu jest funkcją strat DE i będzie oznaczana L .

Definicja 3: Grę określoną jako trójkę (X, Y, L) nazywać się będzie pierwotną grą strategiczną, odpowiadającą statystycznemu problemowi decyzyjnemu eksploatacyjnemu.

Jednakże DE mając możliwość eksperymentowania na zmiennej losowej, $A_j(k-1)$ dającego wynik $a_j(k-1)$, będzie przy podejmowaniu decyzji $y_j(k) \in Y$ posługiwał się jakąś funkcją decyzyjną $d(a_j(k-1))$. Wtedy wypłata L w pierwotnej grze strategicznej jest zmienną losową i gra ta przestaje wystarczać DE jako narzędzie podejmowania eksploatacyjnych decyzji statystycznych. Zostanie zatem podana funkcja ryzyka jako przeciętnej straty.

Definicja 4: Funkcję $R(x_j(k), d)$ określoną na iloczynie $X \times D_j$ przestrzeni stanów natury i zbioru funkcji decyzyjnych i przyjmującą rzeczywiste wartości określone jako

$$R(x_j(k), d) = E_{x_j(k)} L(x_j(k), y_j(k)) = \int_{A_j(k-1)} L(x_j(k), y_j(k)) dF(a_j(k-1) | x_j(k))$$

nazwano funkcją ryzyka.

Funkcja ryzyka oznacza zatem wartość oczekiwaną funkcji strat DE , określoną dla ustalonego stanu natury $x_j(k)$, w rozkładzie $F(a_j(k-1) | x_j(k))$, gdyż $y_j(k) = d(a_j(k-1))$. $F(a_j(k-1) | x_j(k))$ jest dystrybuantą warunkowego rozkładu zmiennej losowej $A_j(k-1)$, którą DE może obserwować, a zatem jest ona znana. Dla ustalonego stanu natury $x_j(k)$ i dla ustalonej funkcji decyzyjnej $d \in D_j$ ryzyko $R(x_j(k), d)$ nie jest już zmienną losową i może spełniać rolę wypłaty w grze DE z naturą. Wypłata taka to średnia strata, na jaką jest narażony DE stosując wielokrotnie funkcję decyzyjną $d \in D_j$, gdy stan natury jest $x_j(k) \in X$. Pierwotna gra strategiczna (X, Y, L) zostaje zamieniona w ten sposób na nową grę tzw. grę statystyczną, dzięki informacji statystycznej w postaci wyniku eksperymentu.

Definicja 5: Jeżeli X jest przestrzenią stanów natury, Y jest przestrzenią decyzji DE , $A_j(k-1)$ jest przestrzenią n_j wymiarowych obserwacji prowadzonych $k-1$ etapie, D_j jest zbiorem funkcji decyzyjnych przekształcających $A_j(k-1)$ w Y a $R(x_j(k), d)$ jest funkcją ryzyka, to grę $G = (X, Y, L)$ nazywa się grą statystyczną eksploatacyjną.

Podstawowa zatem definicja 5 gry statystycznej eksploatacyjnej dotyczącej j-tej grupy jednorodnej określa tę grę jako dwuosobową o sumie zerowej między DE i naturą, w której strategiami DE są funkcje decyzyjne $d \in D_j$, a wypłatą przypadającą naturze (graczowi I) od DE (gracz II) jest ryzyko $R(x_j(k), y_j(k))$.

Natura może używać mieszanej strategii przy wyborze stanu natury $x_j(k)$ w grze statystycznej.

Definicja 6: Każdy rozkład prawdopodobieństwa ξ na przestrzeni X stanów natury, przyjęty przez DE przed eksperymentem i określony dystrybuantą $G(x_j(k))$ nazywa się rozkładem a priori stanów natury. Zbiór wszystkich rozkładów a priori ξ oznaczono jako Ξ .

Zatem problem ten można rozwiązać opierając się na jednym z twierdzeń z teorii gier statystycznych, które w tym przypadku przyjmie postać:

Twierdzenie 1: Jeżeli w problemie decyzji statystycznych sformułowanym jako gra statystyczna, statystyk DE przeprowadzi eksperyment obserwując zmienną losową $A_j(k-1)$ o warunkowym rozkładzie $F(a_j(k-1)|x_j(k))$ otrzymując wynik $a_j(k-1)$ to niezrandomizowana bayesowska funkcja decyzyjna względem pewnego rozkładu a priori ξ stanów natury jest równa $y_j(k) = d(a_j(k-1))$, gdzie $y_j(k) \in Y$ jest decyzją minimalizującą wartość oczekiwanej funkcji strat $L(x_j(k), y_j(k))$ w warunkowym rozkładzie a posteriori stanów natury określonych dystrybuantą $G(x_j(k)|a_j(k-1))$.

6.5. Optymalne strategie decydenta eksploatacji

W celu określenia funkcji strat $L(x_j(k), y_j(k))$ będącej funkcją wypłaty w pierwotnej grze strategicznej (X, Y, L) zostaną wprowadzone dwa rodzaje jednostkowych kosztów (strat) ponoszonych przez DE . Niech $W_1^j(k)$ oznacza koszt magazynowania i przechowywania urządzenia pojedynczego należącego do j-tej grupy w k-tym etapie, gdy współczynnik $\eta_j(k)$ w k-tym etapie był za duży, natomiast $W_2^j(k)$ oznacza stratę zysku przez DE przeliczoną na pojedyncze urządzenie j-tej grupy jednorodną poniesioną na skutek niewykonania zadania operacyjnego (czynności).

Zatem funkcję strat $L(x_j(k), y_j(k))$ dla DE można zapisać następująco:

$$L(x_j(k), y_j(k)) = \begin{cases} W_1^j(k)(y_j(k) - x_j(k)) & \text{dla } y_j(k) \geq x_j(k) \\ W_2^j(k)(x_j(k) - y_j(k)) & \text{dla } y_j(k) < x_j(k). \end{cases} \quad (6.8)$$

Pierwotna gra strategiczna (X, Y, L) może być zamieniona na grę statystyczną (X, D_j, R) przez wprowadzenie dodatkowych informacji statystycznej o stanach natury $x_j(k) \in X$. Wiadomo, że DE gniazda produkcyjnego G_p może prowadzić obserwacje odnosnie rzeczywistego zapotrzebowania na gotowość danej grupy jednorodnej urządzeń w czasie trwania $k-1$ etapu sterowania w dowolnych η_j okresach, ażeby podjąć prognozę [33] przygotowania optymalnego współczynnika gotowości na etap k -ty, określony w modelu jako $y_j(k)$. A zatem założono, że określony został wektor $a_j(k-1) = (a_{j1}(k-1), a_{j2}(k-1), \dots, a_{jn}(k-1))$ wartości współczynników zapotrzebowania na gotowość j -tej grupy jednorodnej w różnych η_j okresach w przeciągu trwania etapu τ .

Jeżeli przez $y_j(k) = d(a_j(k-1))$ oznaczmy statystyczną niezrandomizowaną funkcję decyzyjną, to optymalną funkcję decyzyjną wyznaczającą $y_j(k)$ (wartość współczynnika gotowości $\eta_j(k)$ w k -tym etapie, j -tej grupy jednorodnej) można będzie znaleźć jako bayesowską funkcję decyzyjną.

Niech $G(x_j(k) | a_j(k-1))$ jest dystrybuantą rozkładu a posteriori stanu natury $x_j(k) \in X$ tzn. wielkości rzeczywistego współczynnika zapotrzebowania na gotowość j -tej grupy, wyznaczonego ze statystycznej obserwacji, tj. wektora $a_j(k-1)$. Wówczas korzystając z twierdzenia 1, bayesowską funkcję decyzyjną $y_j(k) = d^*(a_j(k-1))$ wyznaczającą optymalny współczynnik gotowości w k -tym etapie j -tej grupy jednorodnej, znaleźć można, jako minimum średniej straty w rozkładzie a posteriori, tzn. jako minimum

$$E(L(x_j(k), y_j(k)) | a_j(k-1)) = \int_X L(x_j(k), y_j(k)) dG(x_j(k) | a_j(k-1)). \quad (6.9)$$

W dalszym ciągu dystrybuanta rozkładu a posteriori współczynnika zapotrzebowania na gotowość j-tej grupy $x_j(k)$ w k-tym etapie będzie oznaczona jako $F(x_j(k))$.

Przyjmując funkcję strat określoną wzorem (6.8) można wyznaczyć jej wartość oczekiwaną w rozkładzie a posteriori współczynnika zapotrzebowania na gotowość j-tej grupy jednorodnej gniazda produkcyjnego w k-tym etapie $x_j(k)$.

$$\begin{aligned} E[L(x_j(k), y_j(k) | a_j(k-1))] &= W_1^j(k) \int_0^{y_j(k)} (y_j(k) - x_j(k)) dF(x_j(k)) + \\ &+ W_2^j(k) \int_0^1 (x_j(k) - y_j(k)) dF(x_j(k)) = (6.10) \\ &= (W_1^j(k) + W_2^j(k)) y_j(k) F(y_j(k)) + W_2^j(k) E(x_j(k)) - \\ &- W_2^j(k) y_j(k) - (W_1^j(k) + W_2^j(k)) \int_0^{y_j(k)} x_j(k) dF(x_j(k)). \end{aligned}$$

Minimalizując względem $y_j(k)$ tę wartość oczekiwaną funkcji straty, otrzymano po przekształceniach:

$$\frac{\partial E[L(x_j(k), y_j(k) | a_j(k-1))]}{\partial y_j(k)} = (W_1^j(k) + W_2^j(k)) F(y_j(k)) - W_2^j(k). \quad (6.11)$$

Przyrównując do zera tę pochodną cząstkową względem $y_j(k)$, otrzymano równanie:

$$W_1^j(k) + W_2^j(k) F(y_j(k)) - W_2^j(k) = 0. \quad (6.12)$$

Skąd

$$F(y_j^*(k)) = \frac{W_2^j(k)}{W_1^j(k) + W_2^j(k)}. \quad (6.13)$$

Otrzymany za pomocą bayesowskiej funkcji decyzyjnej optymalnej współczynnik gotowości j-tej grupy, do której DE musi przygotować system eksploatacji na k-ty etap sterowania jest zatem liczbą $y_j^*(k)$ spełniającą równanie (6.13).

$F(y_j(k))$ jest dystrybuantą rozkładu a posteriori $x_j(k)$ na współczynnik zapotrzebowania na gotowość j-tej grupy jednorodnej. Uzyskany wynik oznacza, że $y_j^*(k)$ spełnia równość

$$P(x_j(k) < y_j^*(k)) = \frac{W_2^j(k)}{W_1^j(k) + W_2^j(k)}, \quad (6.14)$$

czyli, że $y_j^*(k)$ musi być kwantylem w rozkładzie a posteriori $x_j(k)$ rząd, którego określony jest wzorem (6.13).

Aby wyznaczyć optymalny $y_j^*(k)$ na k-ty etap należy po pierwsze wyznaczyć $W_1^j(k), W_2^j(k)$ występujące w funkcji straty $L(x_j(k), y_j(k))$, po drugie należy na podstawie obserwacji statystycznej w k-1 etapie wyznaczyć rozkład a posteriori współczynnika zapotrzebowania, a następnie za pomocą dystrybuanty tego rozkładu należy znaleźć kwantyl rzędu wyznaczonego wzorem (6.13) w rozkładzie $x_j(k)$.

Otrzymany rozkład $x_j(k)$ może być różnych typów. W przypadku, gdy nie jest żadnym ze znanych typów rozkładów należy wówczas z wykresu dystrybuanty współczynnika zapotrzebowania na gotowość odczytać graficznie kwantyl rzędu $\frac{W_1^j(k)}{W_1^j(k) + W_2^j(k)}$.

Jak widać, decydent eksploatacji w k-tym etapie może zmieniać wartość kwantyla ustalając odpowiednio koszty $W_1^j(k)$ i $W_2^j(k)$ na odpowiednim poziomie w zależności od polityki eksploatacji jaką chce realizować.

Po dokonaniu obserwacji w k-1 ($k \in K$) etapie sterowania współczynników zapotrzebowania na gotowość poszczególnych grup jednorodnych urządzeń każdego z wyróżnionych podsystemów, można wyznaczyć na tej podstawie ich współczynniki gotowości, które są potrzebne w celu realizacji operacji technologicznej w k-tym etapie. Stosując wzór (6.2) można określić współczynniki gotowości makrogrup niejednorodnych urządzeń ($G_n G_E, G_n G_M, G_n G_A$). Wartość otrzymanych współczynników informuje o tym, jak ma być przygotowany podsystem eksploatacji odpowiednich makrogrup niejednorodnych urządzeń do wykonania zadania operacyjnego w k-tym etapie sterowania. A więc:

$$\eta_{G_n G_E}^*(k) = \langle \eta_j^*(k) \rangle, \quad \eta_j^*(k) = y_j^*(k), \quad j = \overline{1, J_E} \quad (6.15)$$

$$\eta_{G_n G_A}^*(k) = \langle \eta_j^*(k) \rangle, \quad \eta_j^*(k) = y_j^*(k), \quad j = \overline{1, J_A} \quad (6.16)$$

$$\eta_{G_n G_M}^*(k) = \langle \eta_j^*(k) \rangle, \quad \eta_j^*(k) = y_j^*(k), \quad j = \overline{1, J_M}, \quad (6.17)$$

są wynikiem prognozy strategii natury na k -ty etap, uzyskanej na podstawie danych strategii natury w $k-1$ etapie sterowania.

Macierz:

$$\eta_{G_p}^*(k) = \langle \eta_{G_n G_E}^*(k), \eta_{G_n G_A}^*(k), \eta_{G_n G_M}^*(k) \rangle^T, \quad (6.18)$$

określa optymalny współczynnik gotowości gniazda produkcyjnego w k -tym etapie, a jednocześnie wyznacza zadania dla głównego energetyka ($\eta_{G_n G_E}^*(k)$, $\eta_{G_n G_A}^*(k)$) i głównego mechanika ($\eta_{G_n G_M}^*(k)$). Po przeprowadzeniu obserwacji w k -tym etapie decydent nadrzędny ma możliwość oceny decydentów niższego poziomu, co do przygotowania się do wykonania operacji technologicznej.

Praktyczne zastosowanie modelu eksploatacyjnej gry statystycznej przedstawiono w załączniku do rozprawy w rozdziale 12.

7. STEROWANIE EKSPLOATACJĄ GNIAZDA PRODUKCYJNEGO W WARUNKACH ZAKŁOCEN ZEWNĘTRZNYCH

7.1. Uwagi wstępne

Dotychczasowe modele sterowania eksploatacją urządzeń w warunkach stochastycznych przyjmowały za wielkości losowe potencjał eksploatacyjny urządzenia, czas przebywania urządzenia w obsłudze oraz stan urządzenia [20,24,25]. Na tej podstawie wykorzystując programowanie matematyczne były wyznaczane optymalne polityki użytku i obsługi. Dla gniazda produkcyjnego realizacja tych optymalnych polityk eksploatacyjnych okazuje się trudna, a to ze względu na innego rodzaju, na ogół losowe zakłócenia występujące w systemie eksploatacji. Zakłóceniem tym w realizacji procesu użytkowania gniazda są częste wypadki niedotrzymania umów kooperacyjnych, a więc terminów i wielkości dostaw surowca podawanego operacji technologicznej w gnieździe. Uniemożliwia to wykonanie zadań użytkowych przez gniazdo produkcyjne. Natomiast w procesie obsługi brak części zamiennych uniemożliwia wykonanie różnorodnych, planowych obsług w danym k-tym etapie sterowania. Najwłaściwsze wydaje się więc, aby w tej sytuacji uwzględnić tę niepewność od razu w konstruowaniu modelu sterowania wyznaczającego optymalne polityki użytku i obsługi gniazda. Można to zrobić wprowadzając następujące wielkości losowe:

- prawdopodobieństwo braku zakłóceń zewnętrznych w procesie użytkowania-prawidłowego przebiegu dostaw surowca podlegającego operacji technologicznej w gnieździe,
- prawdopodobieństwo braku zakłóceń w wykonaniu p-tego rodzaju obsługi w k-tym etapie sterowania, ze względu na brak części zamiennych.

Problem oceny wielkości związanych ze złą kooperacją można rozwiązać na podstawie teorii gier statystycznych [3,18,41,42,62].

7.2. Ocena prawdopodobieństwa braku zakłóceń zewnętrznych w realizacji procesu użytkowania i obsługi gniazda produkcyjnego w modelu gry statystycznej

Prawdopodobieństwo braku zakłóceń w procesie użytkowania gniazda produkcyjnego na skutek niedostarczenia surowca zostanie

wyznaczone na podstawie gry statystycznej skonstruowanej dla rozwiązania tego problemu. Prawdopodobieństwo to, oznaczono jako $p_{zs}(k)$, przy czym może to być każda z liczb z przedziału $[0,1] = P_{zs}$. Zatem $p_{zs}(k) \in P_{zs}$ można potraktować jako stan natury tj. pierwszego gracza w konstruowanej grze statystycznej. Drugim graczem będzie kierownik użytku reprezentujący gracza świadomego swoich celów, mającego za zadanie oszacowanie prawdopodobieństwa $p_{zs}(k) \in P_{zs}$ na k -ty etap sterowania. Przez $P_{kus} = [0,1]$ oznaczono przestrzeń decyzji kierownika użytku KU (statystyka). Decyzja $p_{kus}(k) \in P_{kus}$ jest oceną prawdopodobieństwa $p_{zs}(k)$. Przyjęto kwadratową funkcję strat

$$L(p_{zs}(k), p_{kus}(k)) = [p_{zs}(k) - p_{kus}(k)]^2. \quad (7.1)$$

Założono, że KU chce prawdopodobieństwo $p_{zs}(k)$ oszacować na podstawie informacji, czy w poprzednim etapie sterowania kooperanci wywiązali się właściwie z dostaw surowca, czy też wystąpiły zakłócenia w procesie użytkowania.

Oznaczono przestrzeń prób $X = \{W(k-1), N(k-1)\}$, gdzie $W(k-1)$ odpowiada zdarzeniu wystąpienia w $k-1$ etapie sterowania wywiązania się kooperantów z dostaw surowca obrabianego w gnieździe, natomiast $N(k-1)$ zdarzenie przeciwne.

Ponieważ kierownik użytku może zaobserwować jedynie w $k-1$ etapie sterowania zdarzenie $W(k-1)$ lub $N(k-1)$, zatem niezrandomizowana funkcja decyzyjna d kierownika użytku odwzorowująca przestrzeń prób X w przestrzeń decyzji P_{kus} przyjmie postać:

$$d(W(k-1)) = p_{kus1}(k), \quad d(N(k-1)) = p_{kus2}(k), \quad (7.2)$$

gdzie

$$p_{kus1}(k) \in P_{kus}, \quad p_{kus2}(k) \in P_{kus}.$$

W celu określenia gry statystycznej (P_{zs}, D, R) należy określić funkcję ryzyka $R(p_{zs}(k), d)$. Dla przestrzeni prób dwuelementowej słuszne są zależności:

$$P\{W(k-1) | p_{zs}(k)\} = p_{zs}(k), \quad (7.3)$$

$$P\{N(k-1) | p_{zs}(k)\} = 1 - p_{zs}(k). \quad (7.4)$$

Tak więc funkcja ryzyka $R(p_{zs}(k), d)$ przyjmie następującą postać:

$$\begin{aligned} R(p_{zs}(k), d) = E_{p_{zs}(k)} L(p_{zs}(k), p_{kus}(k)) = & (1 + 2p_{kus2}(k) - \\ & - 2p_{kus1}(k)) p_{zs}^2(k) + (p_{kus1}^2(k) - p_{kus2}^2(k) - \\ & - 2p_{kus2}(k)) p_{zs}(k) + p_{kus2}^2(k). \end{aligned} \quad (7.5)$$

Optymalną niezrandomizowaną funkcję decyzyjną d można wyznaczyć, jako bayesowską funkcję decyzyjną [18]. Przyjmując, że w kolejnych etapach sterowania prawdopodobieństwo $p_{zs}(k)$ ($k = \overline{1, K}$) niewystąpienia zakłóceń w dostawie surowca jest zmienną losową o danym rozkładzie, a rozkład ten odpowiada rozkładowi a priori ξ stanów natury $p_{zs}(k) \in P_{zs}$ można wyznaczyć ryzyko bayesowskie [31] jako:

$$\begin{aligned} r(\xi, d) = E_d R(p_{zs}(k), d) = \int_{P_{zs}} R(p_{zs}(k), d) d\xi = \\ = (1 + 2p_{kus2}(k) - 2p_{kus1}(k)) E(p_{zs}^2(k)) + \\ + (p_{kus1}^2(k) - p_{kus2}^2(k) - 2p_{kus2}(k)) E(p_{zs}(k)) + p_{kus2}^2(k), \end{aligned} \quad (7.6)$$

gdzie $g(p_{zs}(k))$ jest funkcją gęstości rozkładu prawdopodobieństwa $p_{zs}(k)$, $E(p_{zs}^2(k))$ jest drugim momentem zwykłym, a $E(p_{zs}(k))$ jest wartością oczekiwania zmiennej losowej $p_{zs}(k)$.

Oznaczając, że

$$m_1 = E(p_{zs}(k)), \quad (7.7)$$

$$m_2 = E(p_{zs}^2(k)) \quad (7.8)$$

ryzyko bayesowskie $r(\xi, d)$ jest funkcją momentów m_1 i m_2 .

$$r(\xi, d) = (1 + 2p_{KUs2}(k) - 2p_{KUs1}(k))m_2 + (p_{KUs1}^2(k) - p_{KUs2}^2(k) - 2p_{KUs2}(k)) \frac{m_1}{1 - m_1} p_{KUs2}^2(k). \quad (7.9)$$

Wyznaczając bayesowską funkcję decyzyjną d , minimalizującą bayesowskie ryzyko dla danego rozkładu a priori ξ należy $r(\xi, d)$ różniczkować względem $p_{KUs1}(k)$ i $p_{KUs2}(k)$, tj. decyzji, jakie funkcja d przyporządkowuje odpowiednio zaobserwowanemu zdarzeniu $W(k-1)$ lub $N(k-1)$.

Otrzymano zatem

$$\frac{\partial r(\xi, d)}{\partial p_{KUs1}(k)} = -2m_2 + 2p_{KUs1}(k)m_1, \quad (7.10)$$

$$\frac{\partial r(\xi, d)}{\partial p_{KUs2}(k)} = 2m_2 - 2p_{KUs2}(k)m_1 - 2m_1 + 2p_{KUs2}(k). \quad (7.11)$$

Przyrównując do zera te pochodne cząstkowe, otrzymano układ równań:

$$\begin{cases} p_{KUs1}(k)m_1 = m_2 \\ p_{KUs2}(k) - p_{KUs2}(k)m_1 = m_1 - m_2 \end{cases}, \quad (7.12)$$

którego rozwiązaniem są:

$$p_{KUs1}(k) = \frac{m_2}{m_1}, \quad (7.13)$$

$$p_{KUs2}(k) = \frac{m_1 - m_2}{1 - m_1}. \quad (7.14)$$

Stąd wynika, że niezrandomizowana bayesowska funkcja decyzyjna, otrzymana dla problemu szacowania prawdopodobieństwa $p_{zs}(k)$ zdarzenia niewystąpienia zakłóceń w procesie użytkowania na skutek braku surowca poddawanego operacji technologicznej w gnieździe

produkcyjnym, ma następującą postać:

$$d(W(k-1)) = \frac{m_2}{m_1} \quad \text{oraz} \quad d(N(k-1)) = \frac{m_1 - m_2}{1 - m_1}, \quad (7.15)$$

gdzie m_1 jest pierwszym momentem, a m_2 drugim momentem w rozkładzie a priori parametru $p_{zs}(k)$.

Niekiedy zdarza się, że nieznanym jest rozkład a priori lub KU zainteresowany jest najostrożniejszą oceną prawdopodobieństwa $p_{zs}(k)$. Wtedy należy posługiwać się nie bayesowską, lecz minimaksową oceną [10, 14, 18].

Minimaksową funkcję decyzyjną można określić, jeżeli znajdzie się najpierw wyrównującą funkcję decyzyjną, tzn. taką, że jej ryzyko nie zależy od $p_{zs}(k)$. Ze wzoru (7.5) na funkcję ryzyka $R(p_{zs}(k), d)$ wynika, że funkcja ta nie będzie zależała od $p_{zs}(k)$ wtedy, gdy będzie

$$1 + 2p_{kus2}(k) - 2p_{kus1}(k) = 0 \quad \text{oraz} \quad p_{kus1}^2(k) - p_{kus2}^2(k) - 2p_{kus2}(k) = 0. \quad (7.16)$$

Rozwiązując ten układ równań, otrzymuje się

$$p_{kus1}(k) = \frac{3}{4}, \quad (7.17)$$

$$p_{kus2}(k) = \frac{1}{4}. \quad (7.18)$$

Zatem funkcja decyzyjna określona jako $d(W(k-1)) = \frac{3}{4}$ oraz $d(N(k-1)) = \frac{1}{4}$ jest wyrównującą funkcją decyzyjną, a jej stałe ryzyko wynosi $R(p_{zs}(k), d) = \frac{1}{16}$. Aby była to minimaksowa funkcja decyzyjna, wystarczy wykazać, że jest ona bayesowska względem pewnego rozkładu a priori parametru $p_{zs}(k)$ [18, 31].

Istotnie, jeżeli przyjąć jako rozkład a priori parametru $p_{zs}(k)$ rozkład beta z parametrami $p = q = 0,5$. Wtedy

$$m_1 = \frac{1}{2}, \quad (7.19)$$

$$m_2 = \frac{3}{8}. \quad (7.20)$$

Stąd bayesowska funkcja decyzyjna będzie $d(W(k-1)) = \frac{3}{4} = p_{KUs1}(k)$ oraz $d(N(k-1)) = \frac{1}{4} = p_{KUs2}(k)$.

Na mocy twierdzenia mówiącego o efektywnym znajdowaniu minimaksowej funkcji decyzyjnej [1], funkcja decyzyjna określona jako $d(W(k-1)) = \frac{3}{4}$ oraz $d(N(k-1)) = \frac{1}{4}$ jest minimaksową funkcją decyzyjną, tzn. daje minimaksową ocenę prawdopodobieństwa $p_{zs}(k)$ niedostarczenia surowca do gniazda produkcyjnego.

Jeżeli nie dysponuje się dostatecznymi informacjami o rozkładzie a priori, to zamiast bayesowskich ocen prawdopodobieństwa $p_{zs}(k)$ można użyć w modelu stochastycznym sterowanie eksploatacją minimaksowej oceny tego prawdopodobieństwa, tj. 0,75, gdy zaobserwowano w $k-1$ etapie starowanie zdarzenia $W(k-1)$ lub 0,25 gdy zaobserwowano zdarzenie $N(k-1)$.

Można analogiczny tok rozważań przeprowadzić w celu oszacowania prawdopodobieństwa braku zakłóceń w wykonaniu p-tego rodzaju obsługi w k-tym etapie sterowania ze względu na brak części zamiennych $b_{cp}(k)$ i otrzymać wartości interesujących prawdopodobieństw [7].

Wyznaczone wielkości losowe wejdą do funkcji kryterium i ograniczeń procesu eksploatacji.

7.3. Matematyczny model decyzyjny sterowania eksploatacją gniazda produkcyjnego

Rozważony będzie matematyczny model sterowania eksploatacją gniazda produkcyjnego spełniający założenia przyjmowane w dotychczasowych opracowaniach [7,20,24], uzupełnione zaproponowanymi w rozprawie zmiennymi losowymi dotyczącymi zakłóceń w dostawie surowców i części zamiennych. Są to:

1. Urządzenie należące do grupy jednorodnej nie może się znajdować w dwóch stanach eksploatacyjnych.
2. Stanowiska eksploatacyjne są rozłączne w sensie czynnościowym i czas przejścia urządzenia z jednego stanowiska na drugie jest pomijalnie mały.
3. Stanowiska eksploatacyjne są dostępne w każdym etapie sterowania.
4. Urządzenia należące do grupy jednorodnej są eksploatowane niezależnie od siebie.

5. Za wielkości losowe w modelu przyjęto: potencjał eksploatacyjny urządzenia, czas przebywania urządzenia w obsłudze, zakłócenia zewnętrzne w procesie użytkowania (brak surowca do wykonania operacji technologicznej), zakłócenia zewnętrzne w procesie obsługi (brak części zamiennych do wykonania obsługi).

6. Urządzenie modelowe należące do grupy jednorodnej skomponowane jest z dwóch elementów tworzących strukturę szeregową. Przy czym intensywność uszkodzeń pierwszego elementu jest stała czyli $\lambda_p = \text{const}$ i nie zależy od wartości potencjału (odpowiada to uszkodzeniom przypadkowym), intensywność natomiast drugiego elementu jest liniową funkcją potencjału (odpowiada to uszkodzeniom na skutek zużycia) $\lambda_z = \text{var}$.

7. Rozkład czasu obsługi jest rozkładem wykładniczym i dystrybuanta ma postać

$$P(t) = 1 - e^{-\mu t}, \quad (7.21)$$

gdzie

μ - intensywność obsługi.

8. Dystrybuanta potencjału eksploatacyjnego pojedynczego urządzenia ma postać

$$F(z) = 1 - \exp \left[-(\lambda_p z + \frac{1}{\Theta} z^2) \right], \quad (7.22)$$

gdzie:

λ_p - intensywność uszkodzeń,

Θ - parametr skali w rozkładzie Weibulle'a.

9. Prawdopodobieństwo wykonania zadania użytkowego C_i w k -tym etapie sterowania przez urządzenie u_i -te ma postać:

$$P(x_{li}^k(t)) = \exp \left\{ - \left[\lambda_p (z_2 - z_1) + \frac{1}{\Theta} (z_2^2 - z_1^2) \right] \right\}, \quad (7.23)$$

gdzie

$z_1 = m - z_i^k$ - oczekiwana wartość zużytego potencjału do chwili realizacji czynności C_i ,

$z_2 = m - z_i^k + x_{li}^k(t)$ - oczekiwana wartość zużytego potencjału przez pojedyncze urządzenie,

m - oczekiwana wartość potencjału urządzenia u_i po wyjściu z p -tej obsługi.

10. Prawdopodobieństwo niewystąpienia zakłóceń w procesie użytkowania gniazda produkcyjnego na skutek braku surowca $p_{zs}(k)$ określono na podstawie rozwiązania gry statystycznej (rozdział 7.2).

11. Prawdopodobieństwo niewystąpienia zakłóceń zewnętrznych (na skutek braku części zamiennych) w wykonaniu p-tej obsługi dla grupy jednorodnej wyznaczone na podstawie gry statystycznej $b_{cp}(k)$ (rozdział 7.2).

12. Zbiór użytków nie jest zbiorem pustym.

13. Zbiór obsług nie jest zbiorem pustym.

Za parametry w modelu przyjęto:

1) parametry grup jednorodnych urządzeń elektrycznych, mechanicznych, automatyki

$$G_{Ej} = \{ u_{Ei}^{Ej} \} , \quad i = \overline{1, I_{Ej}} ,$$

$$u_{Ei}^{Ej} = \langle i, z_{Ei}, \lambda_{Ei}, r_{Ei}, t_{Ei}, p_{Ei} \rangle , \quad - \text{urządzenie modelowe elektryczne,}$$

$$G_{Mj} = \{ u_{Mi}^{Mj} \} , \quad i = \overline{1, I_{Mj}} ,$$

$$u_{Mi}^{Mj} = \langle i, z_{Mi}, \lambda_{Mi}, r_{Mi}, t_{Mi}, p_{Mi} \rangle , \quad - \text{urządzenie modelowe mechaniczne,}$$

$$G_{Aj} = \{ u_{Ai}^{Aj} \} , \quad i = \overline{1, I_{Aj}} ,$$

$$u_{Ai}^{Aj} = \langle i, z_{Ai}, \lambda_{Ai}, r_{Ai}, t_{Ai}, p_{Ai} \rangle , \quad - \text{urządzenie modelowe automatyki,}$$

gdzie

i - numer urządzenia,

$z_{Ei}(z_{Mi}, z_{Ai})$ - oczekiwany potencjał eksploatacyjny urządzenia elektrycznego (mechanicznego, automatyki),

$\lambda_{Ei}(\lambda_{Mi}, \lambda_{Ai})$ - maksymalna intensywność użytku urządzenia elektrycznego (mechanicznego, automatyki),

$t_{Ei}(t_{Mi}, t_{Ai})$ - chwila wyjścia urządzenia elektrycznego (mechanicznego, automatyki) z obsługi,

$p_{Ei}(p_{Mi}, p_{Ai})$ - numer ostatniej obsługi urządzenia elektrycznego (mechanicznego, automatyki);

2) parametry makrogrup niejednorodnych określone wzorami (2.13-2.15) ,

- 3) parametry gniazda produkcyjnego określone wzorem (2.16);
- 4) parametry operacji technologicznej dotyczące grupy jednorodnej urządzeń

$$T_{op} = \{c_l\}, \quad l \in L^j,$$

$c_l = \langle l, t_l, T_l, \lambda_l, r_l, f_l, \alpha_l \rangle$ - użytek modelowy,

gdzie

- l - numer czynności operacji technologicznej T_{op} ,
- t_l - chwila rozpoczęcia czynności c_l ,
- T_l - chwila zakończenia czynności c_l ,
- λ_l - intensywność wykonania c_l ,
- r_l - typ urządzenia wykonującego c_l - tą czynność
- f_l - minimalna liczba urządzeń danej grupy jednorodnej potrzebnej do wykonania c_l - tej czynności,
- α_l - jednostkowy dochód eksploatacyjny za realizację l -tej czynności,
- L^j - zbiór utworzony z czynności operacyjnych w realizacji, których bierze udział grupa jednorodna G_j ;

- 5) parametry zadania obsługowego dotyczące danej grupy jednorodnej urządzeń

$$\psi = \{\psi_p\}, \quad (7.24)$$

$\psi_p = \langle p, \mu_p, \beta_p \rangle$ - obsługa modelowa,

gdzie

- p - numer obsługi,
- μ_p - intensywność wykonania p -tej obsługi,
- β_p - jednostkowy nakład eksploatacyjny na realizację p -tej obsługi,

Za charakterystyki w modelu przyjęto:

- 1) charakterystyki procesu eksploatacji

$\rho^j = [\rho_{sr}]_{SG \times SG}$ - macierz prawdopodobieństw przejść pomiędzy stanami eksploatacyjnymi grupy jednorodnej,

$F^j = [F_{sr}]_{SG \times SG}$ - macierz dystrybuant czasów przejść pomiędzy stanami eksploatacyjnymi grupy jednorodnej;

2) potencjał eksploatacyjny grupy jednorodnej

$$Z_{Gj}^k = \sum_{i=1}^{I_j} z_{u_i}^k, \quad (7.25)$$

gdzie

k - numer etapu sterowania,

i - numer urządzenia,

j - numer grupy jednorodnej urządzeń,

$z_{u_i}^k$ - oczekiwany potencjał i -tego urządzenia na początku etapu k ,

3) potencjały eksploatacyjne makrogrup niejednorodnych określone wzorami (4.21 - 4.23);

4) potencjał eksploatacyjny gniazda produkcyjnego określony wzorem (4.23);

5) równanie potencjału eksploatacyjnego grupy jednorodnej w k -tym etapie sterowania

$$Z(t) = Z(t_k) - \left\{ \sum_{l=1}^{L^j} \sum_{i=1}^{I_j} x_{li}^k(t) p(x_{li}^k(t) + \right. \quad (7.26)$$

$$\left. + z_{u_i}^k \bar{p}(x_{li}^k(t)) \right\} p_{zs}(k) + \sum_{i=1}^{I_j} M(t-t_i) m_i b_{cp}(k),$$

gdzie

t_1 - chwila wyjścia urządzenia o numerze i z ostatniej obsługi,

t_k - chwila rozpoczęcia etapu numer k ,

m_i - oczekiwana wartość potencjału i -tego urządzenia odtworzona w ostatniej obsłudze,

$x_{li}^k(t)$ - ilość potencjału zużytego przez i -te urządzenie na realizację l -tej czynności operacyjnej w k -tym etapie do chwili t ,

$p(x_{li}^k(t))$ - prawdopodobieństwo zrealizowania zadania użytkowego

$$x_{li}^k(t) = \lambda_{li}^k (t-t_k) \text{ dla } (t-t_k) \leq \tau_k, \quad (7.27)$$

$\bar{p}(x_{li}^k(t))$ - prawdopodobieństwo uszkodzenia się urządzenia i przy wykonywaniu zadania użytkowego q_i ,

λ_{li}^k - intensywność wykonania l -tego użytku w k -tym etapie sterowania przez i -te urządzenie,

τ_k - czas trwania etapu o numerze k ,

$p_{zs}(k)$ - prawdopodobieństwo niewystąpienia zakłóceń w realizacji operacji technologicznej na skutek braku surowca,

$b_{cp}(k)$ - prawdopodobieństwo niewystąpienia zakłóceń w realizacji p-tego rodzaju obsługi na skutek braku części zamiennych;

$$M(t - t_i) = \begin{cases} 0 & \text{dla } t < t_i, \\ \Lambda & \text{dla } t \geq t_i > t_k, \end{cases} \quad (7.28)$$

6) użyteczność na k-ty etap sterowania dla grupy jednorodnej dana jest w postaci

$$w_j^k = w_{ju}^k + w_{jo}^k = p_{zs}(k) \sum_{l=1}^{L_j} \alpha_l \sum_{i=1}^{I_j} x_{li}^k p(x_{li}^k) + \\ + \sum_{p=1}^{P_j} \sum_{i=1}^{I_j} M(t - t_i) \times m_i \beta_p b_{cp}(k). \quad (7.29)$$

Za wskaźnik jakości w modelu przyjęto współczynniki gotowości grup jednorodnych określone wzorem (6.1) gdzie

$$\|G_j^u(k)\| = \|U^j(k)\|, \quad (7.30)$$

$$U^j = \{u_i^j \mid z_i^j(k) \geq w^j\}, \quad (7.31)$$

w^j - minimalna wartość potencjału.

Problem decyzyjny sformułowano następująco:

Wyznaczyć taką politykę eksploatacyjną dla każdej z grup jednorodnych $G_j - (\hat{X}_j^*, \hat{Y}_j^*)$, która spełnia następujące warunki:

$$(1) \quad \eta_j(X_j^*, Y_j^*) = \max_{(X_j, Y_j) \in E} \eta_j(X_j, Y_j), \quad (7.32)$$

$$(2) \quad X_j = [x_{li}]_{L_j \times I_j}, \quad x_{li} \in [0, \min(z_i, \lambda_i, \tau)], \quad (7.33)$$

$$(3) \quad Y_j = [y_{pi}]_{P_j \times I_j}, \quad y_{pi} \in \{0, 1\}, \quad (7.34)$$

$$(4) \quad \sum_{i=1}^{I_j} z_i^j + \sum_{p=1}^{P_j} \mu_p T_m^0 - \sum_{l=1}^{L_j} \lambda_l (T_l - t_l) \geq \varphi I_j m, \quad (7.35)$$

gdzie φ, I_j, m - wielkości dane,

$$(5) \quad \bigwedge_{i \in I_j} \bigwedge_{k \in K} x_{li}^k \leq \lambda_i \tau_k, \quad (7.36)$$

$$(6) \quad \bigwedge_{i \in I_j} \bigwedge_{k \in K} z_l^k \geq x_{li}^k. \quad (7.37)$$

Warunki (2), (3) i (4) definiują zbiór dopuszczalnych polityk eksploatacyjnych $\mathcal{E}$. Problem powyższy należy rozwiązywać metodą symulacyjną [48].

Przedstawiony model sterowania eksploatacją gniazda produkcyjnego bazuje na charakterystycznych dla tego typu obiektów wielkościach losowych, tj. na potencjale eksploatacyjnym, czasie przebywania urządzeń w obsłudze, stanie urządzeń, a jednocześnie względne dwie bardzo ważne zmienne losowe charakterystyczne dla urządzeń gniazda produkcyjnego, tzn. zakłócenia w wykonaniu użytku na skutek braku surowca i zakłócenie w przeprowadzeniu obsługi na skutek braku części zamiennych. Łatwo zauważyć, że zakłócenia te mają istotne znaczenie w ustalaniu właściwych polityk eksploatacyjnych.

8. EKSPLOATACYJNA GRA STRATEGICZNA KIEROWNIKA UŻYTKU I GŁÓWNEGO ENERGETYKA

W gnieździe produkcyjnym G_p , w którym wyróżniono makrogrupę niejednorodną urządzeń elektrycznych $G_n G_E$ składają się z J_E grup jednorodnych, z których każda jest licznosci I_{Ej} , w procesie eksploatacji możliwe jest przesłanie urządzeń grupy jednorodnej G_{Ej} do wykonania C_{Ej} czynności operacyjnych - użytkowników. Przez $C_{Ej} = \{1, 2, \dots, C_{Ej}\}$ oznaczono zbiór numerów poszczególnych użytkowników (czynności operacji technologicznej), w których uczestniczą urządzenia j-tej grupy jednorodnej urządzeń elektrycznych. Niech C_{Ej} -ty rodzaj użytku charakteryzuje się utratą $q_{C_{Ej}}$ jednostek potencjału eksploatacyjnego przez pojedyncze urządzenie grupy jednorodnej G_{Ej} . Jedną z możliwych strategii kierownika użytku KU , jest podjęcie decyzji, że pewna część całego zbioru urządzeń o licznosci I_{Ej} grupy jednorodnej G_{Ej} zostanie skierowana do wykonania C_{Ej} -tego użytku. Rozpatruje się jeden etap sterowania. Założono, że pojedyncze urządzenie u_{Ei}^{Ej} może wykonać tylko jeden rodzaj użytku w danym etapie sterowania, a więc może wystąpić pewna utrata potencjału eksploatacyjnego. Jeżeli tę część urządzeń, która została skierowana do wykonania C_{Ej} -tego użytku oznaczy się przez $I_{C_{Ej}}$, to wektor strategii kierownika użytku KU dotyczący grupy jednorodnej G_{Ej} przyjmie postać:

$$I_{KU}^{Ej} = \langle I_{1Ej}, I_{2Ej}, \dots, I_{C_{Ej}} \rangle, \quad (8.1)$$

w której

$$I_{C_{Ej}} = \frac{n_{C_{Ej}}}{I_{Ej}}, \quad I_{C_{Ej}} \geq 0, \quad \sum_{C_{Ej}=1}^{C_{Ej}} I_{C_{Ej}} = 1, \quad (8.2)$$

$n_{C_{Ej}}$ - ilość urządzeń j-tej grupy jednorodnej, które zostały skierowane do wykonania C_{Ej} -tego użytku.

Główny energetyk GE odpowiada za przygotowanie podsystemu obsługi wykonującego obsługi urządzeń elektrycznych. Podsystem ten może wykonać P_{Ej} rodzajów obsług na urządzeniach grupy jednorodnej G_{Ej} . Przez $P_{Ej} = \{1, 2, \dots, P_{Ej}, \dots, P_{Ej}\}$ oznaczono zbiór numerów obsług, do których mogą być skierowane urządzenia G_{Ej} .

Niech p_{Ej} -ten rodzaj obsługi charakteryzuje się możliwością odtworzenia $S_{p_{Ej}, c_{Ej}}$ jednostek potencjału na pojedyncze urządzenie biorące udział w realizacji c_{Ej} -tego użytku. Strategią GE będzie takie przygotowanie podsystemu obsługi urządzeń elektrycznych do wykonania p_{Ej} -tego rodzaju obsług (np. zaopatrzenie w części zamienne, zabezpieczenie odpowiedniej ilości personelu technicznego) aby mogło w danym etapie sterowania obsłużyć część V_{Ej} wszystkich urządzeń możliwych do obsłużenia przez podsystem obsługi urządzeń elektrycznych. Wektor strategii GE dotyczących G_{Ej} jest następujący:

$$V_{Ej} = \langle v_{1Ej}, v_{2Ej}, \dots, v_{p_{Ej}}, \dots, v_{p_{Ej}} \rangle, \quad (8.3)$$

gdzie
$$v_{p_{Ej}} = \frac{m_{p_{Ej}}}{M_{Ej}}, \quad v_{p_{Ej}} \geq 0, \quad \sum_{p_{Ej}=1}^{p_{Ej}} v_{p_{Ej}} = 1, \quad (8.4)$$

$m_{p_{Ej}}$ - ilość urządzeń G_{Ej} , na które przygotowano podsystem obsługi urządzeń elektrycznych w celu wykonania p_{Ej} -tego rodzaju obsługi,

M_{Ej} - całkowita ilość urządzeń G_{Ej} możliwych do obsłużenia w podsystemie obsługi urządzeń elektrycznych.

Można przyjąć, że funkcja kryterium dla GE ma następującą postać:

$$M(I_{Ej}, V_{Ej}) = \sum_{p_{Ej}=1}^{p_{Ej}} \sum_{c_{Ej}=1}^{c_{Ej}} (s_{p_{Ej}, c_{Ej}} - q_{c_{Ej}}) I_{c_{Ej}} v_{p_{Ej}}. \quad (8.5)$$

Problem decyzyjny jest następujący:

Do obsługi ilu urządzeń grupy jednorodnej G_{Ej} ma GE przygotować podsystem obsługi urządzeń elektrycznych wykonujący p_{Ej} rodzajów obsług na urządzeniach G_{Ej} , by funkcja kryterium osiągnęła maksimum, jeżeli nie wiadomo jaka ilość urządzeń grupy jednorodnej G_{Ej} zostanie przesłane do wykonania c_{Ej} rodzajów użytków. W sposób formalny można to zapisać następująco

Znaleźć takie
$$I_{KU}^{Ej} = \langle I_{1Ej}^*, I_{2Ej}^*, \dots, I_{c_{Ej}}^*, \dots, I_{c_{Ej}}^* \rangle,$$

oraz takie
$$V^{Ej} = \langle v_{1Ej}^*, v_{2Ej}^*, \dots, v_{p_{Ej}}^*, \dots, v_{p_{Ej}}^* \rangle,$$

które maksymalizują $M(I_{KU}^{Ej}, V_{Ej}^{Ej})$, przy ograniczeniach

$I_{KU}^{Ej*} \in I_{KU}^{Ej}$, gdzie I_{KU}^{Ej} - zbiór dopuszczalnych strategii KU ,
 $V_{Ej}^{Ej*} \in V_{Ej}^{Ej}$, gdzie V_{Ej}^{Ej} - zbiór dopuszczalnych strategii GE .

Na podstawie twierdzenia von Neumana [14] powyższy problem decyzyjny można sprowadzić do problemu znalezienia optymalnych strategii oraz wartości gry o sumie zerowej [2,38,50,59,60] o następującej macierzy wypłat dla głównego energetyka GE :

$$A_{GE}^{Ej} = [a_{PEj, c_{Ej}}]_{P_{Ej} \times C_{Ej}}, \quad (8.6)$$

gdzie

$$a_{PEj, c_{Ej}} = s_{PEj, c_{Ej}} - q_{c_{Ej}}. \quad (8.7)$$

Ponieważ nie ma pełnej informacji o tendencjach decyzji kierownika użytku (na które mogą mieć wpływ: uszkodzenia urządzeń, nabyte doświadczenia podczas eksploatacji, plany produkcyjne) należy liczyć się z wystąpieniem sytuacji najbardziej niekorzystnej dla głównego energetyka. Dlatego należy poszukiwać optymalnych strategii mieszanych będących rozwiązaniem gry macierzowej (wzór 8.6). Problem ten można sprowadzić do rozwiązania zadania liniowego [1,5,11,13,29,53,59,61].

Jeśli gracz I - główny energetyk, używa strategii $\langle V_{Ej}^1, \dots, V_{PEj}^1, \dots, V_{PEj}^1 \rangle$ to zapewnia sobie wypłatę co najmniej λ , gdzie λ jest dowolną taką liczbą, że

$$\sum_{P_{Ej}} a_{PEj, c_{Ej}} V_{PEj}^1 \geq \lambda \quad \text{dla } c_{Ej} = 1, 2, \dots, C_{Ej}, \quad (8.8)$$

a więc znalezienie optymalnej strategii dla gracza I sprowadza się do programu:

Zmaksymalizować λ
 przy ograniczeniach

$$-\sum_{P_{Ej}} a_{PEj, c_{Ej}} V_{PEj}^1 + \lambda \leq 0 \quad \text{dla } c_{Ej} = 1, 2, \dots, C_{Ej}, \quad (8.9)$$

$$\sum_{p_{Ej}} \frac{p_{Ej}}{p_{Ej}} v_{p_{Ej}} = 1, \quad (8.10)$$

$$v_{p_{Ej}} \geq 0 \quad \text{dla} \quad p_{Ej} = 1, 2, \dots, p_{Ej}. \quad (8.11)$$

Podobnie problem gracza II kierownika użytku sprowadza się do programu:

zminimalizować λ
przy ograniczeniach

$$-\sum_{c_{Ej}} \frac{c_{Ej}}{c_{Ej}} a_{p_{Ej} c_{Ej}} I_{c_{Ej}} + \lambda \geq 0 \quad \text{dla} \quad p_{Ej} = 1, 2, \dots, p_{Ej}, \quad (8.12)$$

$$\sum_{c_{Ej}} \frac{c_{Ej}}{c_{Ej}} I_{c_{Ej}} = 1, \quad (8.13)$$

$$I_{c_{Ej}} \geq 0 \quad \text{dla} \quad c_{Ej} = 1, 2, \dots, c_{Ej}. \quad (8.14)$$

A zatem problem rozwiązania gry macierzowej $\{KU, GE\}$ można sprowadzić do rozwiązania dualnych liniowych programów na podstawie twierdzenia [14]:

Twierdzenie 8.1: Rozwiązanie gry macierzowej $\|a_{ij}\|$ dla $i \leq n, j \leq m$ jest równoważne rozwiązaniu dualnych zadań programu liniowego:

$$(1) \quad \min \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{dla} \quad x_i \geq 0, \\ \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \geq 1; \quad j = 1, \dots, m,$$

$$(2) \quad \max \sum_{j=1}^m y_j \quad \text{dla} \quad y_j \geq 0, \\ \sum_{j=1}^m a_{ij} y_j \leq 1; \quad i = 1, \dots, n.$$

Wypłatą gry v jest wielkość, będąca odwrotną wartością optymalnych $\sum_{i=1}^n x_i^o = \sum_{j=1}^m y_j^o = \frac{1}{v}$, a optymalne strategie mieszane p_i^o i q_j^o są związane z optymalnymi wartościami x_i^o i y_j^o zależnościami $p_i^o = vx_i^o$, $q_j^o = vy_j^o$.

A więc są to następujące dwa zadania:

$$1) \quad \min \sum_{p_{Ej}}^{p_{Ej}} x_{p_{Ej}} , \quad x_{p_{Ej}} \geq 0 , \quad (8.15)$$

$$\sum_{p_{Ej}}^{p_{Ej}} a_{p_{Ej}, c_{Ej}} x_{p_{Ej}} \geq 1 , \quad c_{Ej} = 1, 2, \dots, C_{Ej} , \quad (8.16)$$

$$2) \quad \max \sum_{c_{Ej}}^{C_{Ej}} y_{c_{Ej}} , \quad y_{c_{Ej}} \geq 0 , \quad (8.17)$$

$$\sum_{c_{Ej}}^{C_{Ej}} a_{p_{Ej}, c_{Ej}} y_{c_{Ej}} \leq 1 , \quad p_{Ej} = 1, 2, \dots, P_{Ej} , \quad (8.18)$$

gdzie wartość gry $\{KU, GE\} = \lambda$ równa jest:

$$\sum_{p_{Ej}}^{p_{Ej}} x_{p_{Ej}} = \sum_{c_{Ej}}^{C_{Ej}} y_{c_{Ej}} = \frac{1}{\lambda} , \quad (8.19)$$

a optymalne mieszane strategie $v_{p_{Ej}}^*$ i $I_{c_{Ej}}^*$ są równe odpowiednio

$$v_{p_{Ej}}^* = \lambda x_{p_{Ej}} , \quad (8.20)$$

$$I_{c_{Ej}}^* = \lambda y_{c_{Ej}} . \quad (8.21)$$

Do rozwiązania tych dualnych zadań liniowych wykorzystano algorytm simpleks [5,13,52,54,61].

Ponieważ główny energetyk, ażeby zapewnić wykonanie operacji technologicznej w najbardziej dla niego niekorzystnej sytuacji musi zabezpieczyć podsystem obsługi urządzeń elektrycznych w odpowiednie części zamienne, personel obsługujący. Dlatego musi on mieć rozeznanie dotyczące nie tylko jednej grupy jednorodnej urządzeń elektrycznych, ale wszystkich grup. W związku z tym gra między KU i GE przyjmie postać gier rozgrywanych między KU i GE dotyczących urządzeń każdej G_{Ej} . Jeżeli na podstawie obserwacji decyzji stwierdzą KU i GE eksploatacje kilka wyróżnionych grup jednorodnych urządzeń elektrycznych jest szczególnie kłopotliwe (tzn. duża trudność w uzyskaniu części zamiennych, a więc długi okres przygotowania się do wykonania obsługi, częste uszkodzenia) wówczas można liczbę rozgrywanych gier zawęzić do gier do-

dotyczących tych grup.

W analogiczny sposób można zamodelować grę kierownika użytku i głównego mechanika $\{KU, GM\}$, a więc jednocześnie rozwiązać grę trzeciego typu $\{KU, GE\}$, $\{KU, GM\}$

Model ten jest szczególnie przydatny wówczas, jeśli główny energetyk nie posiada pełnej informacji o decyzjach kierownika użytku - politykach użytku, w k-tym etapie sterowania. Pozwala on głównemu energetykowi zabezpieczyć podsystem obsługi urządzeń elektrycznych, jak również automatyki na wypadek wystąpienia dla niego sytuacji najbardziej niekorzystnej (tzn. prognozować liczbę części zamiennych, intensywność obsługa itp.).

Praktyczne posługiwanie się modelem eksploatacyjnej gry strategicznej przedstawiono w załączniku do rozprawy (rozdział 12).

9. OGÓLNY ALGORYTM STEROWANIA EKSPLOATACJA GNIAZDA PRODUKCYJNEGO W SYTUACJI KONFLIKTOWEJ

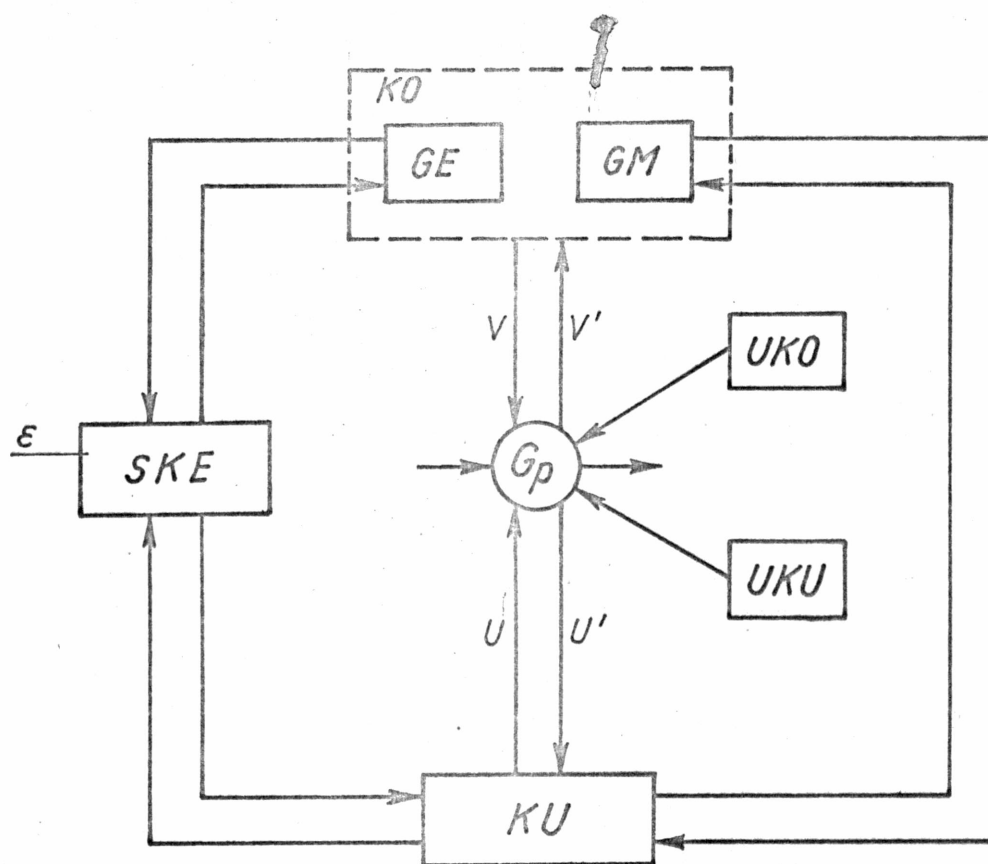
W analizie systemu kierowania eksploatacją istotną rolę odgrywa pojęcie eksploatacyjnej sytuacji informacyjno-decyzyjnej lub niekiedy tylko sytuacji decyzyjnej bądź też sytuacji informacyjnej [24,38]. Z sytuacji tej wynika bezpośrednio struktura informacyjno-decyzyjna systemu kierowania.

W modelu informacyjno-decyzyjnym gniazda produkcyjnego pokazanym na rys.9.1 obok kierownictwa obsługi KO (głównego energetyka i głównego mechanika) i kierownika użytku KU jest jeszcze kierownik eksploatacji KE . Rola tego trzeciego kierownika polega na tym, aby godzić interesy obydwu stron (strony zabezpieczającej i strony wykonującej operację technologiczną). Steruje on systemem pośrednio poprzez KO oraz KU i jest oceniany przez swego zwierzchnika według określonego kryterium $\mathcal{E}$. Taki model decyzyjny wykorzystano w rozprawie uzupełniając go o tzw. utajonych kierowników. Zakłócenia w procesie użytkowania i obsługi można traktować jako przejaw działania utajonych kierowników: utajonego kierownika użytku UKU , utajonego kierownika obsługi UKO , na których główni kierownicy praktycznie nie mają wpływu. Tak więc w grze eksploatacyjnej pojawiają się nowi partnerzy, których w sytuacji decyzyjnej trzeba uwzględnić jako tzw. portenów losowych.

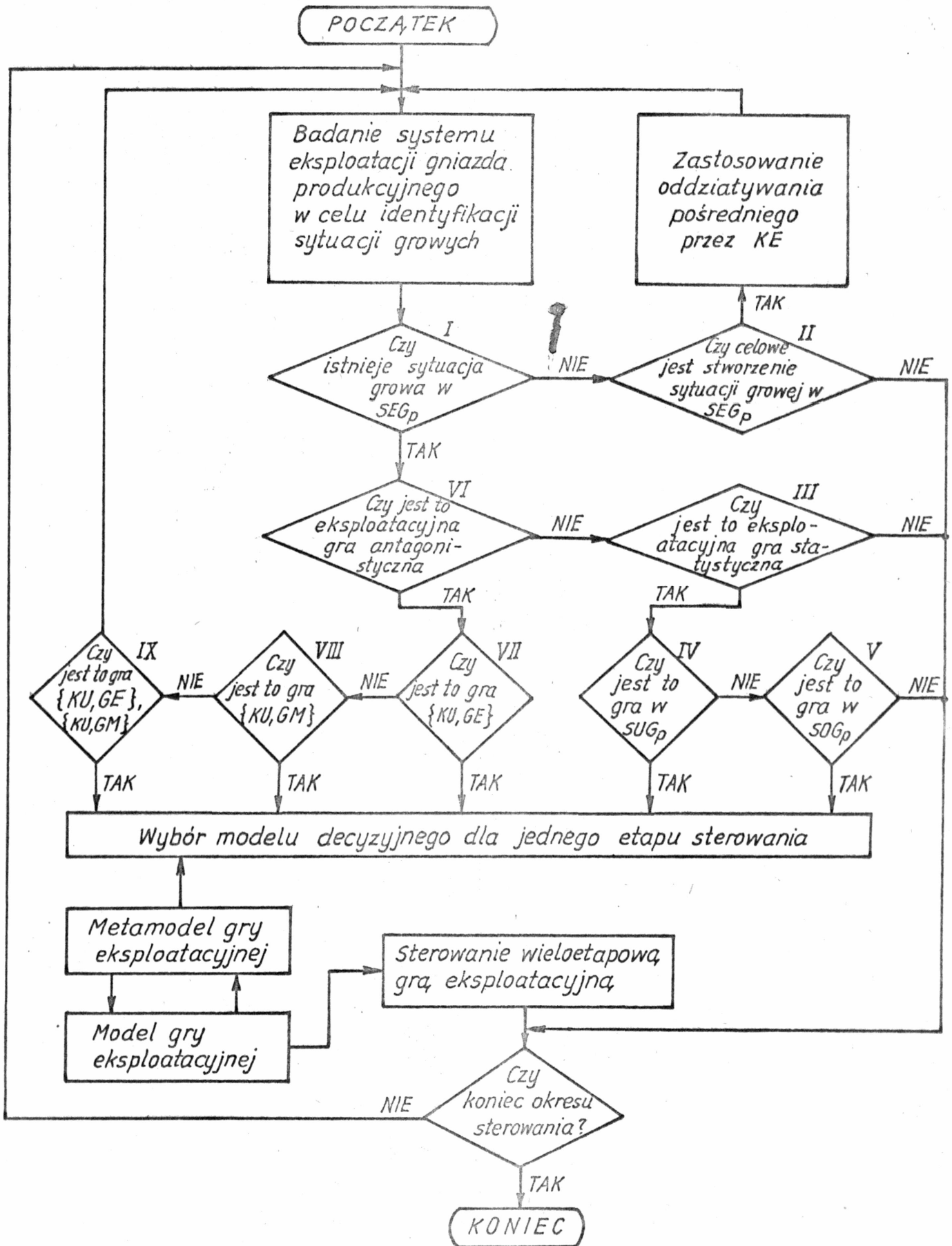
Struktura informacyjno-decyzyjna gniazda produkcyjnego jest podstawą do budowy właściwych modeli decyzyjnych sterowania eksploatacją urządzeń gniazda. Ponieważ eksploatacja urządzeń gniazda produkcyjnego przebiega w warunkach sytuacji konfliktowych celowe jest ustalenie ogólnej metody sterowania eksploatacją w tych warunkach, wykorzystującej zidentyfikowane eksploatacyjne gry w rozdziałach 6,7,8.

Metodę taką określa algorytm przedstawiony na rys.9.2.

Pierwszym blokiem algorytmu jest blok badań systemu eksploatacji. Zadania te powinny umożliwiać dokonywanie bieżącej identyfikacji sytuacji growych. Jest to blok przygotowawczy do rozstrzygnięcia następujących przypadków: *I*. Czy istnieje sytuacja growa w systemie eksploatacji? Jeśli nie, to rozstrzyga się predykat *II*.



Rys. 9.1 Model informacyjno - decyzyjny systemu eksploatacji gniazda produkcyjnego
 V - decyzja obsługi, V' - informacje dotyczące obsługi,
 U - decyzja użytku, U' - informacje dotyczące użytku,
 ε - kryterium oceny kierownika eksploatacji.



Rys. 9.2 Ogólny algorytm sterowania eksploatacją gniazda produkcyjnego wykorzystujący zidentyfikowane eksploatacyjne gry.

Czy celowe jest stworzenie sytuacji growej. Otóż decydent nadrzędny jest w stanie stworzyć warunki umożliwiające powstanie sytuacji growej np. przez odpowiednie ustalenie premii, nagród itp. Predykat *III*. Czy jest to eksploatacyjna gra statystyczna, jeśli tak to rozstrzyga się predykat *IV*. Czy jest to gra statystyczna w systemie użytku, jeśli nie to, czy jest to gra statystyczna w systemie obsługi, jeśli tak, to należy wybrać odpowiedni model decyzyjny, w przypadku przeciwnym należy przejść do sterowania w sytuacji bezkonfliktowej. Rozstrzygając predykat *VII*, *VIII* i *IX* ustalamy z jakim rodzajem eksploatacji gry strategicznej mamy do czynienia $\{KU, GE\}$, $\{KU, GM\}$, $\{\{KU, GE\}, \{KU, GM\}\}$. Przy dokonywaniu wyboru modelu decyzyjnego dla jednego etapu sterowania należy kierować się znajomością, na którą ze zmiennych stanu najsilniej oddziałuje gra, która parametry decyzyjne są strategiami graczy. A zatem muszą istnieć odpowiednie metamodely gier eksploatacyjnych.

Algorytm przedstawiony pozwala optymalizować decyzje decydentów w całym k etapowym procesie sterowania w sytuacji konfliktowej. Wykorzystano go w przykładzie zamieszczonym w załączniku do rozprawy.

10. WNIOSKI OGÓLNE

Na podstawie przeprowadzonych w rozprawie rozważań, można sformułować następujące wnioski:

1. Racjonalna eksploatacja elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych wymaga traktowania ich w systemie eksploatacji w ścisłej więzi z innymi urządzeniami technicznymi stanowiącymi określone gniazdo produkcyjne. W rozprawie wykazano, że złożoność ta powoduje występowanie szeregu eksploatacyjnych sytuacji konfliktowych.

2. Modele sterowania eksploatacją elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych oparte na teorii gier pozwalają w sposób właściwy uwzględniać rzeczywiste sytuacje eksploatacyjne, tj. losowy charakter związków zachodzących w procesie eksploatacji, a także permanentny konflikt występujący między określonymi decydentami systemu kierowania eksploatacją.

3. Przedstawiony w rozprawie model sterowania gotowością elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych pozwala uwzględnić losowy charakter zmian systemu operacyjnego. Jest on szczególnie przydatny do ustalania polityk eksploatacyjnych w warunkach zmienności wymuszeń generowanych przez ten system. Umożliwia on decydentowi nadrzędnemu ocenę działalności głównego energetyka i głównego mechanika w zakresie właściwego przygotowania podsystemów obsługi.

4. Model sterowania eksploatacją elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych w warunkach zakłóceń zewnętrznych uwzględnia charakterystyczne, występujące w praktyce braki w zakresie surowców niezbędnych do realizacji procesu technologicznego oraz braki w zakresie niezbędnych części zamiennych.

5. Przedstawione w rozprawie sytuacje konfliktowe między decydentami eksploatacji odpowiadają odpowiednim eksploatacyjnym grom strategicznym, stanowiącym podstawę do wyznaczania optymalnych polityk użytkowych i obsługowych. Dają decydentowi eksploatacji możliwości oceny decyzji eksploatacyjnych kierownika użytku oraz kierowników obsługi.

6. Efektywne korzystanie z opracowanych modeli wymaga posiadania niezbędnych (odpowiednio szczegółowych i wiarygodnych) informacji eksploatacyjnych. Zakres tych informacji określają ustale-

nia zawarte w rozprawie. Wiąże się to z koniecznością uzupełnienia przepisów eksploatacji elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych wymaganiami odpowiedniej organizacji systemu zbierania danych eksploatacyjnych.

11. LITERATURA

- [1] Adelson - Velskij T.M., Arkazarov V.L., Donskoj M.V.,
Programmirovanie igr, Nauka, Moskva 1978
- [2] Aumann R.J., Shapley L.S., Vames of Non - Atomic Games, New
Jersey 1974
- [3] Bartkowiak A., Podstawowe algorytm] statystyki matematycznej,
PWN, Warszawa 1979.
- [4] Bołtianski W.G., Sterowanie optymalne układami dyskretnymi,
WNT, Warszawa 1978.
- [5] Dantzig G., Ford L.R., Fulkerson D.R., A Primal - Dual
Algorithm for Linear Programs, Linear Inequalities and Related
Systems, 1959, s. 172-213.
- [6] Dąbrowska G., Eksploatacja elektroenergetycznych urządzeń
odbiorczych w przemyśle, magisterska praca dyplomowa, Wrocław
1976.
- [7] Dąbrowska G., Kudka R., Przeglądy techniczne jako zasada po-
dejmowania decyzji zabiegów remontowych, Raport Inst. Energo-
elektr. PWr. seria PREPRINTY nr 75.
- [8] Dąbrowska G., Kudka R., System eksploatacji urządzeń w aspek-
cie efektywnego i niezawodnego działania, Raporty Inst. Energo-
elektr. PWr. seria PREPRINTY nr 77.
- [9] Dąbrowska G., Kudka R., Zur Exploitierungstheorie von Anlagen,
Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig, 1978, z. 36, s.
79-83.
- [10] Diemianow W.F., Małoziemow W.N., Wstęp do metod minimaksyma-
lizacji, WNT, Warszawa 1975.
- [11] Emeljanov S.V., Burkov V.N., Ivanovskij A.G., Metod dełovych
igr, AN SSSR, Moskva 1976.
- [12] Fishburn P., Teorija poleznosti dlja prinjatija rešenij,
Nauka, Moskva 1978.

- [13] Gass S.J., Linear Programming, New York 1958.
- [14] Germejer Ju. B., Vvedenie v teoriju issledovanija operacji, Nauka, Moskva 1971.
- [15] Gniedenko B.W., Kowalenko J.N., Wstęp do teorii obsługi masowej, PWN, Warszawa 1971.
- [16] Gogolewski Z., Kuczewski Z., Napęły elektryczny, WNT, Warszawa 1972.
- [17] Grabowski Z., Szypkowski H., Oświetlenie elektryczne, Wyd.III, PWN, Warszawa 1972.
- [18] Greń J., Gry statystyczne i ich zastosowanie, PWE, Warszawa 1972.
- [19] Harsanyi J.C., Approaches to the Bargaining Problem before and after the Theory of Games a Critical Discussion of Zeuthens Mick's and Nash's Theories, Econometrica, 24, 1956, s. 144÷157.
- [20] Kudła R., Model stochastyczny sterowania eksploatacją urządzeń elektroenergetycznych, Rozprawa doktorska, Wrocław 1978.
- [21] Konieczny J., Podstawowe pojęcia i miary eksploatacyjne, Prace Zespołu Teorii Eksploatacji, WAT, 1968, z.2.
- [22] Konieczny J., Olearczuk E., Żelazowski W., Elementy nauki o eksploatacji, WNT, Warszawa 1969
- [23] Konieczny J., Wstęp do teorii eksploatacji urządzeń, WNT, Warszawa 1971.
- [24] Konieczny J., Sterowanie eksploatacją urządzeń, PWN, Warszawa 1975.
- [25] Konieczny J., Podstawy eksploatacji urządzeń, MON, Warszawa 1975.
- [26] Korzan B., Elementy teorii grafów i sieci, metody i zastosowania, WNT, Warszawa 1978

- [27] Konig D., Stoyan D., Metody teorii obsługi masowej, WNT, Warszawa 1979
- [28] Kuratowski K., Wstęp do teorii mnogości i topologii, PWN, Warszawa 1975.
- [29] Lemke C.E., Bimatrix Equilibrium Points and Mathematical Programming, Man. Sci, Vol. 11, No 7, May, 1965, s. 681÷689.
- [30] Lesz M., Ekonomiczne gry decyzyjne, PWE, Warszawa 1979.
- [31] Lindgren B.W., Elementy teorii decyzji, WNT, Warszawa 1977.
- [32] Luce R.D., Raiffa M., Gry i decyzje, PWN, Warszawa 1964.
- [33] Malko J., Planowanie systemów elektroenergetycznych, PWN, Wrocław - Warszawa 1976.
- [34] Mantell C., Elektrochemia przemysłowa, WNT, Warszawa 1965.
- [35] Masny J., Teresiak Z., Elektryczne urządzenia odbiorcze w przemyśle, Wyd. PWr., Wrocław 1976
- [36] Mazur M., Przemysłowe urządzenia elektrotermiczne, WNT, Warszawa 1963.
- [37] Miller D.W., Starr M.K., Praktyka i teoria decyzji, PWN, Warszawa 1971.
- [38] Miszański W., Koncepcja sterowania eksploatacją urządzeń w oparciu o teorię gier. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, 1973, z. 1/13.
- [39] Miszański W., Sterowanie gotowością grupy urządzeń w modelu gry z naturą. Zagadnienia Eksploatacji maszyn, 1973, z. 3-4 (15-16), s. 391÷400.
- [40] Miszański W., Gry "zaopatrzenie - przydział" w planowaniu eksploatacji urządzeń, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, 1976, z. 1/25, s. 109÷113.
- [41] Miszański W., Rachunek prawdopodobieństwa, WAT, Warszawa 1977.

- [42] Miszański W., Procesy stochastyczne, WAT, Warszawa, 1978.
- [43] Miszański W., Wymiana generacji sprzętu i problemy planowania eksploatacji, Systemy Zabezpieczenia Wojsk, WAT, 1979, z. 4 s. 90÷98.
- [44] Mitchell G.M., Badania operacyjne, metody i przykłady, WNT, Warszawa 1977.
- [45] Moore P.G., Ryzyko w podejmowaniu decyzji, PWE, Warszawa 1975.
- [46] Morgenstern O., von Neumann J., Theory of Games and Economic Behaviour, Princeton University Press, Princeton, 1947.
- [47] Mothes J., Sytuacje niepewne a podejmowanie decyzji w przemyśle, WNT, Warszawa 1972.
- [48] Napierała M., Patrz J., Model symulacyjny wyboru strategii remontowej dla skomplikowanych układów produkcyjnych, Metody Cybernetyczne w Zarządzaniu, PAN, Wrocław 1979, s. 329÷423.
- [49] Nash J., The Bargaining Problem, Econometrica, 18, 1950, s. 155÷162.
- [50] Nash J., Non-Cooperative Games, Annals of Mathematics, vol. 54, No 2, September, 1951, s. 286÷195.
- [51] Olearczuk E., Zarys teorii użytkowania urządzeń technicznych, WNT, Warszawa 1972.
- [52] Owen G., Teoria gier, PWN, Warszawa 1975.
- [53] Parthasarathy T., Raghavan T., Nekotoryje voprosy teorii igr dwuch lic, Mir, Moskva 1976.
- [54] Sadowski W., Teoria podejmowania decyzji, PWE, Warszawa 1976.
- [55] Sadowski W., Decyzje i prognozy, PWE, Warszawa 1977.
- [56] Sienkiewicz P., O ocenie gotowosci bojowej, Systemy Zabezpieczenia Wojsk, WAT, 1979, z. 4, s. 105÷113.

- [57] Sochor B., Elektryczne piece oporowe, PWT, Warszawa 1955.
- [58] Tomaszewski A., Sterowanie jakością produkcji maszyn i urządzeń, WNT, Warszawa 1977.
- [59] Tyszka T., Konflikty i strategie, niektóre zastosowania teorii gier, WNT, Warszawa 1978.
- [60] Wolfe P., Determinateness of Polyhedral Games Linear Inequalities and Related Systems, 1959, s. 298-301.
- [61] Vajda S., The Theory of Games and Linear Programming Linear Inequalities and Related Systems, 1959, s. 11-108.
- [62] Zieliński R., Wybrane zagadnienia optymalizacji statystycznej, PWN, Warszawa 1974.

Przykład sterowania gotowością urządzeń elektrycznych gniazda produkcyjnego w zakładzie przemysłowym w modelu gry statystycznej

Zastosowanie modelu eksploatacyjnej gry statystycznej w sterowaniu gotowością gniazda produkcyjnego (rozdział 6) zostanie przedstawione na przykładzie urządzeń elektrycznych elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych zainstalowanych w gnieździe produkcyjnym, realizującym operację technologiczną prasowania wlewków w Zakładach Przetwórczo-Hutniczych Metali Nieżelaznych "Hutmen" we Wrocławiu.

W ramach gniazda prasowania wlewków G_p współpracuje 83 urządzenia różnego rodzaju tzn. elektryczne, mechaniczne, automatyki, mechaniczno-energetyczne, tak więc elementarny układ eksploatacji G_p odpowiada układowi przedstawionemu na rys. 2.5

Dla urządzeń elektrycznych gniazda G_p przyjęto następujący zbiór parametrów techniczno-eksploatacyjnych:

$$\mathcal{O}_E = \langle P_n, n_n, U_n, r, L, \lambda, P, u, Z_p \rangle, \quad (12.1)$$

gdzie:

- P_n - moc,
- n_n - prędkość obrotowa,
- U_n - napięcie znamionowe,
- r - typ,
- L - liczba wyróżnionych użytków (czynności operacyjnych),
- λ - intensywność użytku,
- P - liczba wyróżnionych obsłóg,
- u - intensywność obsłóg,
- Z_p - resursy międzyobsługowe dla obsłóg rodzaju p.

Zbiór wyróżnionych parametrów techniczno-eksploatacyjnych urządzeń elektrycznych elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych gniazda prasowania wlewków G_p jest licznosci $\mathcal{O}_E = \overline{1, 11}$.

Na podstawie rozważań przeprowadzonych w rozdziale 2 wyróżniono $J_E = 4$ grupy jednorodnych urządzeń elektrycznych $G_{Ej} (j = \overline{1, 4})$.

Przedziały zmienności poszczególnych parametrów $[t_{OE}^{j,min}, t_{OE}^{j,max}]$ dla wyróżnionych grup G_{Ej} zamieszczono w tabeli nr 4. Liczności $\|G_{Ej}(k)\|$ przedstawiono w tabeli nr 1^{xx)}. Makrogrupa niejednorodna urządzeń elektrycznych utworzona z wyróżnionych grup jednorodnych ma postać

$$G_n G_E = \{ G_{Ej} \} , \quad j = \overline{1,4} . \quad (12.2)$$

Rozpatrywany jest etap skrowania k-ty o długości $T = 1 \text{ rok}$. Przyjęto dla wszystkich grup jednorodnych liczbę $n_j = 300$ ($j = \overline{1,4}$) obserwacji współczynnika zapotrzebowania na gotowość w $k-1$ etapie sterowania (poprzednim roku). Wyniki obserwacji dla poszczególnych grup $a_j(k-1) \in A_j(k-1)$ przedstawiono w tabeli nr 5.

Charakterystyczna dla urządzeń gniazda prasowania wlewków G_p jest zmiana dyskretna współczynnika zapotrzebowania na gotowość G_{Ej} ($j = \overline{1,4}$).

Grupy jednorodne spełniają warunek:

$$\|G_{Ej}(k-1)\| = \|G_{Ej}(k)\| . \quad (12.3)$$

W celu wyznaczenia rozkładu a posteriori współczynnika zapotrzebowania na gotowość $F(x_j(k))$ posłużono się dystrybucją empiryczną rozkładu dyskretnego wyznaczoną na podstawie obserwacji $a_j(k-1)$ w poprzednim etapie sterowania (tabela nr 5).

Koszty $W_1^j(k)$ i $W_2^j(k)$ dla wyróżnionych grup jednorodnych G_{Ej} ($j = \overline{1,5}$) zostały wyznaczone na podstawie danych księgowych zakładu, a wartości ich podano w tabeli nr 2.

Funkcje strat $L(x_j(k), y_j(k))$ określone wzorem (6.8) przyjmą następujące postacie dla wyróżnionych G_{Ej} :

^{xx)} Ze względu na zastrzeżenia zakładów nie podano danych technicznych urządzeń, dane te znajdują się w Archiwum Zakładów Przetwórczo-Hutniczych Metali Nieżelaznych "Hutmen" we Wrocławiu.

$$1) \quad L(x_1(k), y_1(k)) = \begin{cases} 8,69(y_1(k) - x_1(k)) & \text{dla } y_1(k) \geq x_1(k) \\ 28,2(x_1(k) - y_1(k)) & \text{dla } y_1(k) < x_1(k) \end{cases} \quad (12.4)$$

$$2) \quad L(x_2(k), y_2(k)) = \begin{cases} 6,67(y_2(k) - x_2(k)) & \text{dla } y_2(k) \geq x_2(k) \\ 27(x_2(k) - y_2(k)) & \text{dla } y_2(k) < x_2(k) \end{cases} \quad (12.5)$$

$$3) \quad L(x_3(k), y_3(k)) = \begin{cases} 6,67(y_3(k) - x_3(k)) & \text{dla } y_3(k) \geq x_3(k) \\ 32,4(x_3(k) - y_3(k)) & \text{dla } y_3(k) < x_3(k) \end{cases} \quad (12.6)$$

$$4) \quad L(x_4(k), y_4(k)) = \begin{cases} 3,66(y_4(k) - x_4(k)) & \text{dla } y_4(k) \geq x_4(k) \\ 22,5(x_4(k) - y_4(k)) & \text{dla } y_4(k) < x_4(k) \end{cases} \quad (12.7)$$

Wyprowadzone zależności w celu wyznaczenia optymalnego współczynnika gotowości grupy jednorodnej $y_j^*(k)$, są słuszne również dla rozkładu dyskretnego. $y_j^*(k)$ jest kwantylem w rozkładzie a posteriori $x_j(k)$ rząd, którego określony jest wzorem (6.14). Rzędy i wartości poszczególnych kwantyli zamieszczono w tabeli nr 3. Kwantyle zostały odczytane graficznie z wykresów dystrybuanty współczynnika zapotrzebowania na gotowość $F(x_j(k))$ dla $(j=1,4)$ rys. 12.1 ÷ 12.4 .

Zatem optymalny współczynnik gotowości makrogrupy niejednorodnej $G_n G_E$ na k-ty etap sterowania wynosi

$$\eta_{G_n G_E}^*(k) = [0,58, 0,67, 0,56, 0,8] \quad (12.8)$$

Wyznaczony współczynnik gotowości $\eta_{G_n G_E}^*(k)$ na k-ty etap sterowania wyznacza optymalną decyzję, jaką powinien podjąć decydent eksploatacji DE w celu przekazania jej do realizacji dla głównego energetyka GE , odpowiedzialnego za podsystem obsługi

urządzeń elektrycznych $PSO_{G_n G_E} \cdot DE$ ma możliwość poprzez obserwację w k-tym etapie współczynnika gotowości $\eta_{G_n G_E}(k)$ oceny wywiązania się G_E z postawionego zadania na k-ty etap i zastosowania odpowiednio kar i nagród za jego działalność. Jednocześnie G_E musi tak zorganizować swój podsystem obsługi urządzeń elektrycznych, aby utrzymać żadaną wielkość $\eta_{G_n G_E}^*(k)$.

Tabela 1

Liczność wyróżnionych grup jednorodnych urządzeń elektrycznych spełniających warunek $\|G_j(k-1)\| = \|G_j(k)\|$

$\ G_{E1}(k)\ $	$\ G_{E2}(k)\ $	$\ G_{E3}(k)\ $	$\ G_{E4}(k)\ $
12	9	9	5

Tabela 2

Koszt magazynowania i przechowywania urządzenia pojedynczego i strata zysku przez decydenta eksploatacji przeliczona na pojedyncze urządzenie

	G_{E1}	G_{E2}	G_{E3}	G_{E4}
$W_1^j(k)$	8,69	6,67	6,62	3,66
mln zł/1 jedn. $\eta(k)$				
$W_2^j(k)$	28,8	27	32,4	22,5
mln zł/1 jedn. $\eta(k)$				

Uwaga: Koszty $W_1^j(k)$ i $W_2^j(k)$ zostały przeliczone na jednostkę współczynnika gotowości danej grupy odpowiadającą pojedynczemu urządzeniu.

Tabela 3

Rząd kwantyla w rozkładzie a posteriori współczynnika zapotrzebowania na gotowość grupy jednorodnej i wartość kwantyla odczytana graficznie z wykresu dystrybucyjności $F(x_j(k))$

	G_{E1}	G_{E2}	G_{E3}	G_{E4}
$\frac{W_2^j(k)}{W_1^j(k) + W_2^j(k)}$	0,76	0,8	0,83	0,86
$y_j^*(k)$	0,58	0,67	0,56	0,8

Tabela 4

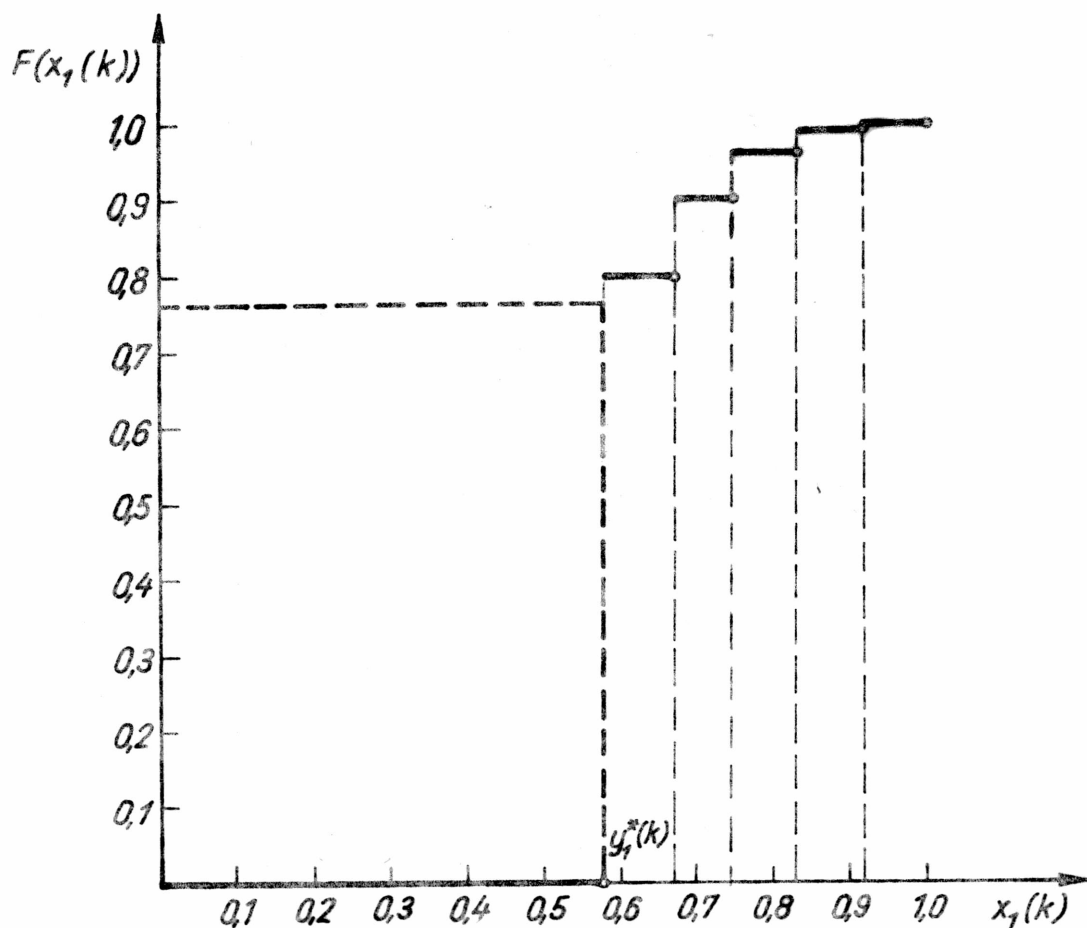
Przedziały zmienności parametrów techniczno-eksploatacyjnych
urządzeń elektrycznych wyróżnionych grup jednorodnych

	t_{OE}	P_n	n_n	U_n	r	L^j		P_j	μ	Z_1	Z_2	Z_3
		kW	$\frac{obr}{min}$	V	-	-		-	$\frac{1}{h_{rob}}$	h_{rob}	h_{rob}	h_{rob}
G_{E1}	$[t_{OE,min}, t_{OE,max})$	[3,4)	[600,700)	[200,400)	1	5	[0,75,1)	1 2 3	0,375 0,1875 0,003	[4370,4400)	[8700,9000)	[70000, 70100)
G_{E2}	$[t_{OE,min}, t_{OE,max})$	[17,18)	[970,1000)	[200,400)	2	4	[0,7,1)	1 2 3	0,365 0,15 0,002	[4360,4400)	[8650,8800)	[52500, 53000)
G_{E3}	$[t_{OE,min}, t_{OE,max})$	[17,23)	[700,740)	[200,400)	3	3	[0,7,1)	1 2 3	0,33 0,04 -	[4376,4400)	[8750,8850)	[70000, 70200)
G_{E4}	$[t_{OE,min}, t_{OE,max})$	[30,32)	[1450,1500)	[200,400)	4	6	[0,5,08)	1 2 3	0,33 0,042 -	[4280,4500)	[26200, 26500)	[87500, 87600)

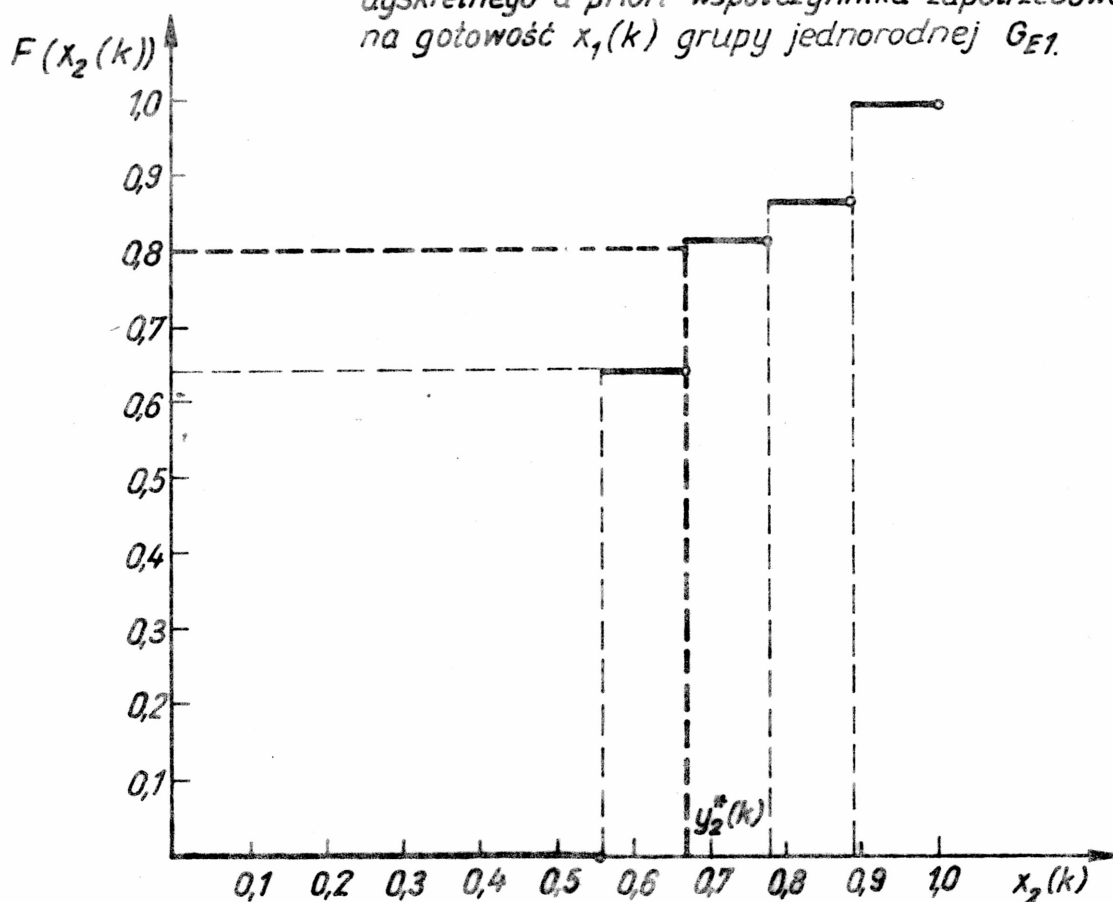
Tabela 5

Wyniki obserwacji i wartość dystrybuanty empirycznej rozkładu a priori współczynnika zapotrzebowania na gotowość wyróżnionych grup jednorodnych

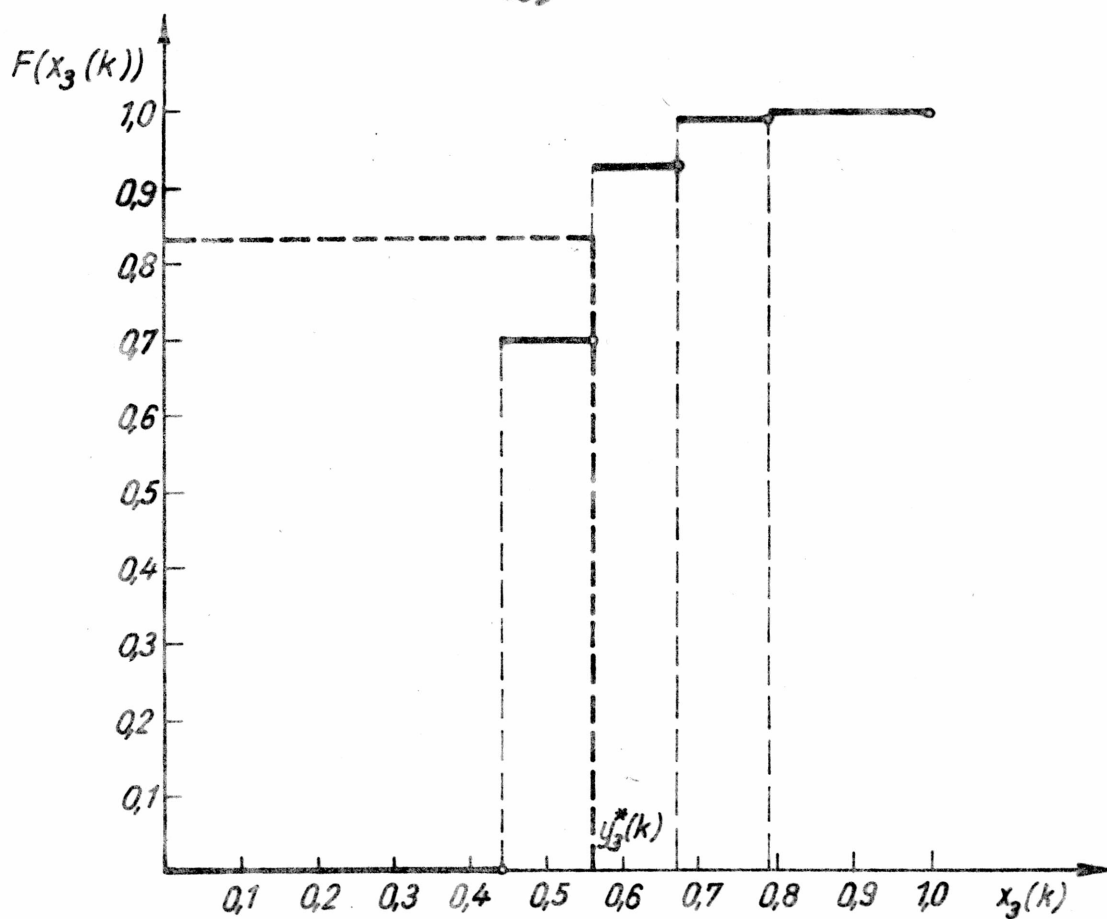
G_{E1}				G_{E2}				G_{E3}				G_{E4}			
$a_1(k-1)$	n_1	n'_1	$F(x_1(k))$	$a_2(k-1)$	n_2	n'_2	$F(x_2(k))$	$a_3(k-1)$	n_3	n'_3	$F(x_3(k))$	$a_4(k-1)$	n_4	n'_4	$F(x_4(k))$
0,58	185	0,62	0,62	0,56	193	0,64	0,64	0,44	212	0,7	0,7	0,6	238	0,77	0,77
0,67	55	0,18	0,80	0,67	51	0,17	0,81	0,56	34	0,11	0,81	0,8	20	0,07	0,84
0,75	30	0,1	0,90	0,78	16	0,05	0,86	0,67	32	0,12	0,93	1,00	47	0,16	1,00
0,83	17	0,06	0,96	0,89	38	0,13	0,99	0,78	19	0,06	0,99	-	-	-	-
0,92	8	0,03	0,99	1,0	2	0,01	1,00	0,89	3	0,01	1	-	-	-	-
1	5	0,01	1,00	-	-	-	-	1,00	-	-	1	-	-	-	-
-	300	1,00	-	-	300	1,00	-	-	300	1,00	-	-	300	1,00	-



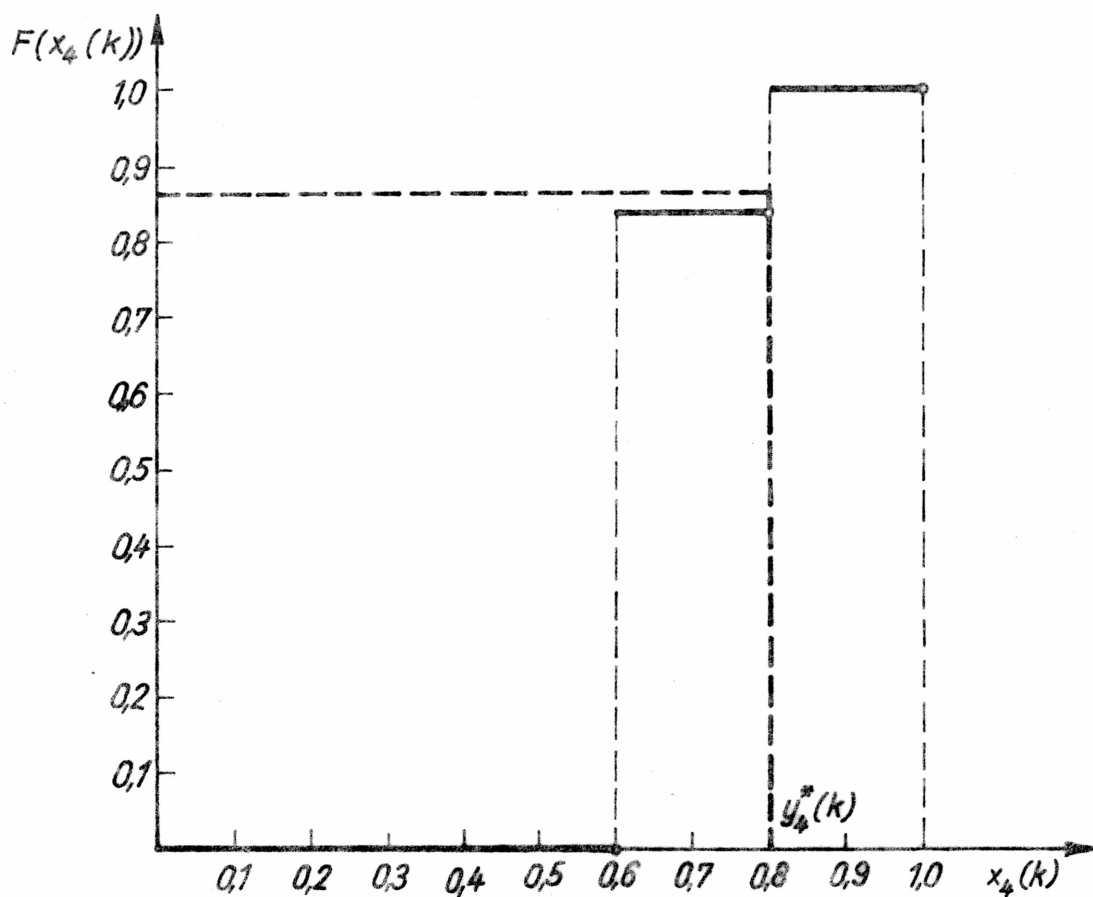
Rys. 12.1 Dystrybuanta empiryczna $F(x_1(k))$ rozkładu dyskretnego a priori współczynnika zapotrzebowania na gotowość $x_1(k)$ grupy jednorodnej G_{E1} .



Rys. 12.2 Dystrybuanta empiryczna $F(x_2(k))$ rozkładu dyskretnego a priori współczynnika zapotrzebowania na gotowość $x_2(k)$ grupy jednorodnej G_{E2} .



Rys. 12.3 Dystrybuanta empiryczna $F(x_3(k))$ rozkładu dyskretnego a priori współczynnika zapotrzebowania na gotowość $x_3(k)$ grupy jednorodnej G_{E3} .



Rys. 12.4 Dystrybuanta empiryczna $F(x_4(k))$ rozkładu dyskretnego a priori współczynnika zapotrzebowania na gotowość $x_4(k)$ grupy jednorodnej G_{E4} .

Eksplatacyjna gra strategiczna kierownika użytku i głównego energetyka na przykładzie wybranego gniazda produkcyjnego w zakładzie przemysłowym

Praktyczne wykorzystanie modelu eksploatacyjnej gry strategicznej kierownika użytku KU i głównego energetyka GE - KU, GE opisanej w rozdziale 8, zostanie pokazane na przykładzie makrogrupy niejednorodnej urządzeń elektrycznych elektroenergetycznych urządzeń odbiorczych gniazda prasowania wlewków. Makrogrupa $G_N G_E$ została opisana formalnie w załączniku nr 1.

Operacja technologiczna prasowania wlewków składa się z sześciu czynności operacyjnych tabela 7, czyli wzór (2.22) w tym przypadku przyjmie postać:

$$T_{op} = \{c_1\}, \quad 1 = \overline{1,6} \quad (12.9)$$

a więc liczba wyróżnionych czynności operacji technologicznej prasowania wlewków wynosi $L = 6$. Na podstawie wzoru (12.9) zbudowano zbiory numerów użytków realizowanych przez poszczególne grupy jednorodne G_j ($j = \overline{1,4}$), oznaczone jako C_{E_j} - tabela nr 8.

Wartości wszystkich wielkości zamieszczonych w załączniku zostały określone na podstawie badań trwających rok w Zakładach Hutniczo-Przetwórczych Metali Nieżelaznych "Hutmen" we Wrocławiu.

Za miarę potencjału urządzeń gniazda prasowania wlewków przyjęto liczbę roboczogodzin urządzenia do jego złomowania. Wartości utraty $q_{C_{E_j}}$ jednostek potencjału eksploatacyjnego przez pojedyn-

cze urządzenie grupy G_{E_j} ($j = \overline{1,4}$) przy realizacji C_{E_j} - tego użytku, dla wyróżnionych grup G_{E_j} ($j = \overline{1,4}$) zamieszczono w tabelach 8-11.

Urządzenia elektryczne gniazda prasowania wlewków podlegają trzem rodzajom obsługi, a więc zbiory obsługi są następujące:

$$P_{E_j} = \{1_{E_j}, 2_{E_j}, 3_{E_j}\} \text{ bez względu na numer grupy.}$$

Interpretacją wyróżnionych obsługi przedstawia tabela 12.

Dla urządzeń elektrycznych gniazda produkcyjnego wartość odtworzanego potencjału eksploatacyjnego przez podsystem obsługi pod-

czas wykonywania p_{E_j} - tego rodzaju obsługi zależy od tego, w realizacji jakiego rodzaju użytku brało ono udział. Związane to jest z intensywnością użytkowania, różnym stopniem zużycia urządzenia, a więc różnym zakresem wykonywanych obsług. Wartości odtwarzanego potencjału eksploatacyjnego na pojedyncze urządzenie poprzez obsługę rodzaju p_{E_j} , jeśli brało ono udział w wykonaniu c_{E_j} - tego użytku, oznaczone jako $s_{p_{E_j}, c_{E_j}}$ dla wyróżnionych grup $G_{E_j}^j (j=\overline{1,4})$

i zamieszczono w tabelach 13-16.

Tabela 6

Interpretacja czynności operacji technologicznej prasowania wlewków

Numer wyróżnionej czynności operacji prasowania wlewków-1	Nazwa czynności operacji technologicznej prasowania wlewków
1	Transport wlewków
2	Cięcie wlewków
3	Tłoczenie wlewków
4	Nawijanie drutu
5	Chłodzenie drutu
6	Transport kręgów

Tabela 7

Numery czynności operacji technologicznej i zbiory numerów wyróżnionych użytkowników grup jednorodnych G_{E_j}

Numer grupy	Numery czynności operacyjnych, w których uczestniczą grupy G_{E_j}	Numery wyróżnionych użytkowników grup jednorodnych G_{E_j}	Liczba wyróżnionych użytkowników C_{E_j}
1	2	3	4
G_{E_1}	1,3,4,5,6	$C_{E_1} = 1,2,3,4,5$	5

1	2	3	4
G_{E_2}	2,4,5,6	$C_{E_2} = 1,2,3,4$	4
G_{E_3}	1, 2, 3	$C_{E_3} = 1,2,3$	3
G_{E_4}	1,2,3,4,5,6	$C_{E_4} = 1,2,3,4,5,6$	6

Tabela 8

Wartości utraconego potencjału podczas realizacji c_{E_1} - tego użytku przez pojedyncze urządzenie grupy jednorodnej¹ G_{E_1}

nr użytku wartość utraconego potencjału	1	2	3	4	5
$q_{c_{E_1}}$	538	100	1000	250	1350

Tabela 9

Wartości utraconego potencjału podczas realizacji c_{E_2} - tego użytku przez pojedyncze urządzenie grupy jednorodnej² G_{E_2}

nr użytku wartość utraconego potencjału	1	2	3	4
$q_{c_{E_2}}$	650	120	1200	300

Tabela 10

Wartości utraconego potencjału podczas realizacji c_{E_3} - tego użytku przez pojedyncze urządzenie grupy jednorodnej³ G_{E_3}

numer użytku wartość utraconego potencjału	1	2	3
$q_{c_{E_3}}$	165	450	2150

Tabela 11

Wartość utraconego potencjału podczas realizacji c_{E_4} - tego użytku przez pojedyncze urządzenie grupy jednorodnej G_{E_4}

nr użytku wartość utraconego potencjału	1	2	3	4	5	6
$q_{c_{E_4}}$	550	2560	1320	450	990	220

Tabela 12

Interpretacja wyróżnionych rodzajów obsługi

Numer wyróżnionej obsługi p_{E_j}	Interpretacja wyróżnio- nych obsług
1_{E_j}	przegląd
2_{E_j}	remont średni
3_{E_j}	remont kapitalny

Tabela 13

Wartość odtworzonego potencjału przez wykonanie p_{E_1} - tego rodzaju obsługi na pojedyncze urządzenia grupy jednorodnej G_{E_1} , jeśli wykonywało c_{E_1} - ten rodzaj użytku

nr obsługi wartość odtworzonego potencjału	1_{E_1}	2_{E_1}	3_{E_1}	4_{E_1}	5_{E_1}
$s_{1_{E_1}, c_{E_1}}$	776	437	1286	629	1779
$s_{2_{E_1}, c_{E_1}}$	1014	529	1376	583	1540
$s_{3_{E_1}, c_{E_1}}$	919	529	1476	440	1445

Tabela 14

Wartość odtworzonego potencjału przez wykonanie p_{E_2} - tego rodzaju obsługi na pojedyncze urządzenie grupy jednorodnej G_{E_2} , jeśli wykonywało c_{E_2} - ten rodzaj użytku

nr obsługi wartość odtworzonego potencjału	1_{E_2}	2_{E_2}	3_{E_2}	4_{E_2}
$S_{1_{E_2}, c_{E_2}}$	1248	752	1935	1087
$S_{2_{E_2}, c_{E_2}}$	1382	910	1867	870
$S_{3_{E_2}, c_{E_2}}$	1492	850	1770	980

Tabela 15

Wartość odtworzonego potencjału przez wykonanie p_{E_3} - tego rodzaju obsługi na pojedyncze urządzenie grupy jednorodnej G_{E_3} , jeśli wykonywało c_{E_3} - ten rodzaj obsługi

nr obsługi wartość odtworzonego potencjału	1_{E_3}	2_{E_3}	3_{E_3}
$S_{1_{E_3}, c_{E_3}}$	899	1317	2785
$S_{2_{E_3}, c_{E_3}}$	823	1084	2880
$S_{3_{E_3}, c_{E_3}}$	1032	1180	2819

Tabela 16

Wartość odtworzonego potencjału przez wykonanie p_{E_4} - tego rodzaju obsługi na pojedyncze urządzenie grupy jednorodnej G_{E_4} , jeśli wykonywano c_{E_4} - ten rodzaj użytku

nr obsługi wartość odtworzonego potencjału	1_{E_4}	2_{E_4}	3_{E_4}	4_{E_4}	5_{E_4}	6_{E_4}
$S_{1_{E_4}, c_{E_4}}$	4120	5417	3465	5450	2419	2720
$S_{2_{E_4}, c_{E_4}}$	1978	4072	2748	4021	5990	4148
$S_{3_{E_4}, c_{E_4}}$	3407	3988	5607	4735	4561	2577

Na podstawie danych zawartych w tabelach 8-11 i 13-16 skonstruowano macierze wypłat dla głównego energetyka:

$$A_{GE}^{E1} = \begin{bmatrix} 238 & 337 & 286 & 379 & 429 \\ 476 & 429 & 379 & 333 & 190 \\ 381 & 429 & 476 & 190 & 95 \end{bmatrix}, \quad (12.10)$$

$$A_{GE}^{E2} = \begin{bmatrix} 598 & 632 & 735 & 787 \\ 732 & 790 & 667 & 570 \\ 842 & 730 & 570 & 680 \end{bmatrix}, \quad (12.11)$$

$$A_{GE}^{E3} = \begin{bmatrix} 734 & 867 & 632 \\ 658 & 634 & 730 \\ 867 & 730 & 669 \end{bmatrix}, \quad (12.12)$$

$$A_{GE}^{E4} = \begin{bmatrix} 3570 & 2857 & 2145 & 5000 & 1429 & 2500 \\ 1428 & 2142 & 1428 & 3571 & 5000 & 3928 \\ 2857 & 1428 & 4285 & 4285 & 3571 & 2857 \end{bmatrix}. \quad (12.13)$$

Problem wyznaczenia optymalnych strategii CE - v^{Ej*} sprowadzono na podstawie wzorów (8.8-8.14) do rozwiązania dualnych zadań liniowych, przyjmujących postacie określone wzorami (8.15-8.18). Zadania te rozwiązano wykorzystując algorytm simpleks. Program napisano w języku Fortran^{xx)}. Wyniki obliczeń na maszynie cyfrowej wyznaczające strategie optymalne kierownika użytku I_{KU}^{Ej*} i głównego energetyka v^{Ej*} , przedstawiają dla wyróżnionych grup jednorodnych G_{Ej} ($j = \overline{1,4}$) następujące wektory:

$$\begin{aligned} I_{KU}^{E1*} &= \langle 0,16, 0, 0,49, 0, 0,35 \rangle, \\ I_{KU}^{E2*} &= \langle 0,39, 0, 0,08, 0,53 \rangle, \\ I_{KU}^{E3*} &= \langle 0,08, 0,26, 0,67 \rangle, \\ I_{KU}^{E4*} &= \langle 0, 0,6, 0,29, 0, 0,17, 0 \rangle, \\ v^{E1*} &= \langle 0,6, 0,35, 0,05 \rangle, \\ v^{E2*} &= \langle 0,46, 0,4, 0,14 \rangle, \\ v^{E3*} &= \langle 0,24, 0,65, 0,11 \rangle, \\ v^{E4*} &= \langle 0,63, 0,17, 0,2 \rangle. \end{aligned} \quad (12.14) \quad (12.15)$$

Całkowite ilości urządzeń grup G_{Ej} możliwych do obsłużenia w podsystemie obsługi urządzeń elektrycznych M_{Ej} ($j = \overline{1,4}$) przyporządkowanych gniazdu prasowania wlewków wynoszą:

Tabela 17

Liczba urządzeń grupy G_{Ej} możliwych do obsłużenia w podsystemie obsługi

grupa jednorodna \ Liczba urzadz. możliwych do obsługi	M_{Ej}
G_{E1}	8
G_{E2}	5
G_{E3}	4
G_{E4}	4

xx) Szczegółowe programy obliczeniowe znajdują się w Archiwum Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej

Ilość urządzeń grup G_{E_j} , na które należy przygotować podsystem obsługi urządzeń elektrycznych w celu wykonania P_{E_j} - tego rodzaju obsługi $m_{P_{E_j}}$ wynoszą:

$$m_{P_{E_j}} = M_{E_j} \cdot v_{P_{E_j}} \quad (12.16)$$

Wartości $m_{P_{E_j}}$ dla grup G_{E_j} wynoszą odpowiednio:

Tabela 18

Liczba urządzeń na które należy przygotować podsystem obsługi

nr obsługi grupa jednorodna	$P_{E_j} = 1_{E_j}$	$P_{E_j} = 2_{E_j}$	$P_{E_j} = 3_{E_j}$
G_{E_1}	4	3	1
G_{E_2}	2	2	1
G_{E_3}	1	2	1
G_{E_4}	2	1	1

Wartości $m_{P_{E_j}}$ wyznaczają zadania jakie stoją przed GE a także jak należy P_{E_j} przygotować podsystem, ażeby zabezpieczyć się przed najbardziej niekorzystną sytuacją generowaną przez decyzje KU.

Wartości funkcji kryterium dla GE w zależności od wyróżnionych grup jednorodnych G_{E_j} wynoszą odpowiednio:

Tabela 19

Wartości funkcji kryterium głównego energetyka $M(I_{KU}^{Ej}, v^{Ej})$

nr grupy	Wartości funkcji kryt.	$M(I_{KU}^{Ej}, v^{Ej})$
G_{E_1}		328,32
G_{E_2}		685,15
G_{E_3}		699,91
G_{E_4}		2452,46

Odbiorcy	egz.
1. Promotor	1
2. Recenzenci	3
3. Archiwum Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej	1
4. Biblioteka Główna Politechniki Wrocławskiej	1
5. Autorka	4
Razem	10