

Jan Nikodem

Jędrzej Ułasiewicz

Instytut Cybernetyki Technicznej
Politechniki Wrocławskiej

OPTIMALIZACJA I STEROWANIE ROZPIŁYWAMI W NIELINIOWYCH SIECIACH
PRZEPIYWOWYCH Z WYKORZYSTANIEM METOD PROGRAMOWANIA WSPÓLBIEŻNEGO

Streszczenie. W pracy zaprezentowano koncepcję oprogramowania systemu wspomagania decyzji dla potrzeb operatywnego sterowania pracą nieliniowych sieci przepływowych. Omówiono modelowanie sieci tej klasy, uwzględniające jej strukturę oraz podstawowe prawa rządzące rozpiływem. Sformułowano zadania optymalizacji rozpiływów oraz omówiono metody rozwiązywania tak postawionych zadań. Opisano mechanizmy programowania współbieżnego użyte w omawianym oprogramowaniu.

1. Wstęp

W wyniku realizacji w latach 1986-89 tematu ASO 5.5, będącego częścią składową Programu Resortowego RP.I.02, opracowano szereg metod i algorytmów służących do modelowania i sterowania nieliniowymi sieciami przepływowymi. Oprogramowanie zaproponowanych algorytmów pozwoliło na dokonanie oceny ich własności numerycznych oraz analizę porównawczą w odniesieniu do algorytmów innych, znanych w literaturze i stosowanych do rozwiązywania tego typu zagadnień. Aspekt użytkowy proponowanych rozwiązań zweryfikowany został w czasie realizacji szeregu wdrożeń dokonywanych na terenach Okręgowych Dystryktu Gazem (Dolnośląska ODG, Mazowiecka ODG, Górnośląska ODG, Gazownia Warszawska).

Rozpatrywane w tej pracy algorytmy zapewniają symulację zjawisk rządzących rozpiływem oraz optymalizację warunków pracy sieci z uwzględnieniem kryteriów minimalno-energetycznych lub kryterium kosztów. Algorytmy te przeznaczone są dla komputerowego wspomaganie decyzji dyspozytorskich.

Z uwagi na ilość niezbędnej informacji, skomplikowane zależności funkcyjne opisujące sieć oraz uwarunkowania wynikające ze sterowania w czasie rzeczywistym, pożądana okazała się równoległa realizacja wybranych algorytmów. Uzyskane doświadczenia wskazały na możliwość opracowania środowiska programowego, zapewniającego współbieżne wykonywanie algorytmów.

* Praca została wykonana w ramach Resortowego Programu Badań Podstawowych RP.I.02 "Teoria sterowania i optymalizacji ciągłych układów dynamicznych i procesów dyskretnych".

co umożliwia przejście z systemu wspomagania decyzji, poprzez komputerowy system akwizycji i przetwarzania danych, do komputerowego systemu sterowania w czasie rzeczywistym rozpatrywaną klasą sieci. Wykorzystanie w tym celu znanych z literatury mechanizmów programowania współbieżnego uwzględniających wymogi czasu rzeczywistego, to idea leżąca u podstaw niniejszej pracy.

2. Modelowanie nieliniowych sieci przepływowych

Rozpływ czynnika w sieci, w stanie ustalonym rozważany być może w oparciu o model znany w literaturze pod nazwą nieliniowych sieci Kirchhoffa. Struktura tych sieci opisywana jest grafem

$$G = \langle W, L, f \rangle$$

gdzie;

$W = \langle 1, 2, \dots, w \rangle$ - zbiór wierzchołków grafu G ,

$L = \langle 1, 2, \dots, l \rangle$ - zbiór łuków grafu G ,

natomiast funkcja

$$f: L \rightarrow W \times W$$

$$(\forall i \in L) (\exists! \langle w_1, w_2 \rangle \in W \times W ; w_1 \neq w_2) (f(i) = \langle w_1, w_2 \rangle)$$

gdzie; w_1 - wierzchołek początkowy łuku i -tego,

w_2 - wierzchołek końcowy łuku i -tego.

Natomiast sieć Kirchhoffa to uporządkowana trójka

$$S = \langle G, \langle \xi \rangle, \langle \psi \rangle \rangle$$

gdzie;

$\langle \xi \rangle = \langle q, p \rangle$ - zbiór funkcji $\xi: W \rightarrow R$ określonych na zbiorze wierzchołków grafu G ,

$\langle \psi \rangle = \langle k, v \rangle$ - zbiór funkcji $\psi: L \rightarrow R_+$ określonych na zbiorze łuków grafu G .

Funkcje q, p, v określone są następująco:

$$q: W \rightarrow R \quad (\text{pobór czynnika w wierzchołku})$$

$$(\forall i \in W) (\exists r \in R) (q_i = r)$$

$$p: W \rightarrow R \quad (\text{potencjał wierzchołka})$$

$$(\forall i \in W) (\exists r \in R) (p_i = r)$$

$$k : \mathbb{L} \rightarrow \mathbb{R}_+ \quad (\text{oporność łuku})$$

$$(\forall i \in \mathbb{L})(\exists r \in \mathbb{R}_+)(k_i = r) \quad (6)$$

$$v : \mathbb{L} \rightarrow \mathbb{R}_+ \quad (\text{pojemność łuku})$$

$$(\forall i \in \mathbb{L})(\exists r \in \mathbb{R}_+)(v_i = r) \quad (7)$$

Ponadto w sieci tej spełnione są następujące zależności znane w literaturze jako: I oraz II prawa Kirchhoffa:

I. prawo Kirchhoffa (ciągłości przepływu)

$$A \cdot y - q = 0 \quad (8)$$

gdzie;

- A - węziowo-gałęziowa macierz incydencji,
- y, q - odpowiednio wektory; przepływów gałęziowych i poborów węziowych.

II. prawo Kirchhoffa

$$B \cdot x = 0 \quad (9)$$

gdzie;

- B - macierz oczkwa.
- x - wektor różnic potencjałów pomiędzy węziami; początkowym i końcowym, odcinków tworzących oczko.

Prawo przepływu

$$x_i = g(y_i) = k_i \cdot (y_i)^n ; \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (10)$$

gdzie funkcja $g(y_i)$ określa powiązania pomiędzy wartością przepływu y_i a różnicą potencjałów x_i , ten przepływ wywołująca.

Zadanie symulacji rozpiętów statycznych w nieliniowych sieciach przepływowych polega na znalezieniu rozwiązania układów równań (8)-(10), opisujących strukturę oraz prawa rządzące rozpięciem w sieci.

Warunki istnienia i jednoznaczności rozwiązania układów równań (8)-(10), dla funkcji (10) w postaci potęgowej, określone zostały w pracy [7]. Dla sieci, w których czynnikiem jest ciecz, zależność (10) jest funkcją potęgową stopnia drugiego (prawo Bernoulliego), postaci;

$$x_i = g(y_i) = k_i \cdot (y_i)^2 \cdot \text{sig}(y_i) \quad (11)$$

Natomiast w przypadku sieci z czynnikiem gazowym dokonywana jest odpowiednia transformacja zaproponowana w pracy [6], sprowadzająca model sieci przepływowej do postaci (1)-(10). Konieczność transformacji wynika z odmiennej niż (10) postaci prawa przepływu, wyrażonego wzorem Heringa, określającego zależność pomiędzy ilością czynnika gazowego przepływającego przez odcinek a kwadratami potencjałów panujących na jego początku i końcu. Wzór Heringa uwzględniający ponadto zmienną oporność odcinka,

związana ze ściśliwością czynnika gazowego, przyjmuje następującą postać:

$$p_{2i}^2 - p_{1i}^2 = k_i \cdot Z_i(p_i, T, w) \cdot Q_i^2 \cdot \text{sgn}(Q_i) \quad ; i=1, 2, \dots, l \quad (12)$$

gdzie; p_{1i}^2, p_{2i}^2 - potencjały w węzłach; początkowym i końcowym gałęzi i -tej,

Q_i - przepływ gazu w gałęzi i -tej,

k_i - współczynnik oporu gałęzi i -tej.

Występujący w zależności (12) współczynnik ściśliwości $Z_i(p_i, T, w)$ zaproponowany został przez Redlicha-Kwonga. Szczegółowy opis metody transformacji równania (12), określającego warunki przepływu czynnika gazowego, do postaci (10) równania przepływu w sieci Kirchhoffa, zawarto w pracy [6]. Powyżej opisany model Kirchhoffa (1)-(10) opisuje statyczny rozpiętą czynnika w sieci przesyłowej jedynie w przypadkach, gdy dopuszczalne jest pominięcie w modelu zjawiska akumulacji czynnika w obrębie sieci. W sieciach z czynnikiem w postaci gazu zjawiskiem nader powszechnie obserwowanym jest niezgodność sumy chwilowych wartości wektora q poborów węzłowych, z sumą wartości chwilowych wypływów z węzłów zasilających. W takiej sytuacji układ równań (8) jest sprzeczny, co wyklucza wykorzystanie modelu (1)-(10) w procesie symulacji sieci.

Podstawą dla uwzględnienia zjawiska akumulacji w czasie procesu symulacji sieci przepływowej jest określenie ilości czynnika, który akumulacji podlega. W pracy [5] określono całkowitą ilość N czynnika zmagazynowanego w obrębie sieci, za pomocą zależności;

$$N = 0.5 \cdot p^T \cdot A \cdot v \quad (13)$$

Specyfika powyższej formuły polega na przeniesieniu zjawiska akumulacji z odcinków sieci, jedynie do jej węzłów. Postępowanie takie pozwala na dokonanie modyfikacji równania ciągłości przepływów (8) w taki sposób, aby uwzględniając akumulację, modelowało ono w stopniu właściwym dynamiczne własności sieci.

Osiągnięte rezultaty umożliwiły w pracy [5] sformułowanie równań ciągłości przepływu dla nieliniowych sieci przepływowych z akumulacją, w poniższej postaci:

$$A \cdot y - q = q' \quad (14)$$

gdzie poszczególne k -te składowe wektora q' , to czynnik bądź akumulowany aktualnie w sieci, bądź czynnik oddawany przez sieć, w zależności od tendencji zmian potencjałów węzłowych p , tj.:

$$q' = 0.5 \cdot \Delta p \cdot 1 \cdot A \cdot v \quad (15)$$

Otrzymany model (1)-(7), (9), (12), (14), (15) sieci nieliniowej Kirchhoffa gwarantuje właściwą, quasi-dynamiczną symulację zjawisk zachodzących w sieci przepływowej, spełniając podstawowe prawa fizyczne rządzące rozpiętą.

W pracy [7] zaproponowano metodę symulacji dynamicznej, sieci przepływowej polegającą na poszukiwaniu ciągu rozwiązań układów równań (1)-(7), (9), (12), (14), (15) w określonych przedziałach czasowych, przy uwzględnieniu wpływu zmian ilości gazu zakumulowanego w sieci w dwóch kolejnych interwałach.

3. Zagadnienia optymalizacji w sieciach przepływowych

Bazując na modelu sieci nieliniowej (1)-(10) w pracy [12] sformułowano zagadnienia minimalno-energetycznej nieliniowej optymalizacji statycznej z ograniczeniami. Postulowana w tej pracy postać funkcji celu

$$\sum_{i=1}^n g_i(y_i) \cdot y_i \rightarrow \min \quad (16)$$

wyraża wielkość strat energetycznych ponoszonych w obrębie sieci na realizację wymaganej wielkości przepływu q . Nie uwzględnia ona strat w źródłach oraz bezpośrednio u odbiorców.

Rozszerzeniem tak postawionego zagadnienia jest praca [3], w której postulowana postać funkcji celu;

$$\sum_{i=1}^m F_i(y_i, n_i) \rightarrow \min \quad (17)$$

gdzie;

$$F_i(y_i, n_i) = \alpha_i n_i + \beta_i y_i \quad ; \quad \alpha_i, \beta_i \in R \quad (18)$$

m - ilość źródeł zasilania sieci

wyraża koszty strat energetycznych ponoszonych na realizację wymaganej wielkości przepływu q (straty w sieci i źródłach zasilania).

Zagadnieniu wyznaczania optymalnej strategii współdziałania zbiorników sieciowych z systemem zasilania sieci, poświęcono prace [3,11]. Zaproponowany w niej, wielopoziomowy, algorytm oparty na technice agregacji informacji o sieci, umożliwia przekształcenie wyjściowego zadania optymalizacji do problemu rozwiązania ciągu nieliniowych zadań programowania mieszanego. Wykrczystano w tym celu zmodyfikowaną metodę podziału i ograniczeń z zastosowaniem specyficznych testów dopuszczalności i optymalności zadań optymalizacji ciągłej. Wynikiem działania algorytmu są optymalne w sensie (17) harmonogramy napełniania zbiorników sieciowych w odniesieniu do prognozowanych histogramów zapotrzebowań odbiorców.

W pracach późniejszych zaproponowano szereg metod rozwiązania tak postawionych zagadnień z wykorzystaniem zmodyfikowanego algorytmu Kelleya [8], metody Fletchera-Reevesa [3], czy zmodyfikowanej metody Crossa-Lobaczewa [12], oraz określono własności numeryczne proponowanych algorytmów. Opisano także sposoby wykorzystywania zaproponowanych metod w warunkach wystąpienia deficytu czy sytuacjach awaryjnych.

4. Programowanie współbieżne w sterowaniu rozpięciem

System komputerowego wspomaganie sterowania siecią przepływową zapewnić powinien zbieranie informacji odnośnie do:

- bieżącego stanu technicznego sieci, tj. wyłączenia, awarie itp.,
- aktualnych parametrów ruchowych sieci (potencjały węzłowe, przepływy, temperatura, skład procentowy czynnika itp.),
- histogramów zmian potencjałów węzłowych, przepływów i innych parametrów niezbędnych do dokonywania rozliczeń z odbiorcami,
- bieżących informacji na temat parametrów eksploatacyjnych sieci.

Wśród powyższych informacji wyróżnić można dwie grupy funkcjonalne [1];

I. Informacje niezbędne do operatywnego sterowania siecią przepływową, na bazie których podejmowane są decyzje dyspozytorskie.

II. Dane stanowiące podstawę do bilansowania wielkości dostaw czynnika w zróżnicowanych horyzontach czasowych.

W oparciu o informacje grupy I wypracowywane są decyzje sterujące pracą sieci przepływowej, zapewniające ciągłość i niezawodność dostaw czynnika do odbiorców. Ponadto prowadzony jest bieżący zapis, składający się na dokumentację pracy systemu (raporty, statystyki) oraz podejmowane są decyzje zwiększające efektywność pracy systemu.

Informacje grupy II niezbędne są do dokonywania bilansów przepływów w sieci w dłuższych horyzontach czasowych, co jest szczególnie istotne dla sieci z akumulacją lub zbiornikami sieciowymi. Stanowią one ponadto podstawę do prognozowania sytuacji, które wystąpić mogą w sieci w przyszłości.

Powyższy podział wyodrębnia informacje, które wymagają wypracowywania reakcji sterujących w czasie rzeczywistym (I), w odniesieniu do których należy zapewnić:

- akwizycję i transmisję danych do dyspozytora,
- wstępną selekcję i przetwarzanie informacji powiązane z jej agregacją,
- opracowywanie procedur wspomagających decyzje sterujące.

Informacje grupy II, istotne z punktu widzenia sterowania siecią, nie wymagają jednak natychmiastowej reakcji systemu sterowania. Jednakże pamiętać należy, iż decydują one o ogólnej strategii sterowania w dłuższych horyzontach czasowych, określając tym samym wartości parametrów niezbędne przy opracowywaniu bieżących decyzji sterujących. Z tego powodu zbieranie i przetwarzanie informacji tej grupy przebiegać powinno również z uwzględnieniem określonych wymogów czasowych.

Dla potrzeb komputerowego systemu sterowania rozpięciem w nieliniowej sieci przepływowej przewidziano następujące pakiety oprogramowania;

- procedury oprogramowania systemowego,
- procedury obsługi przerw i urządzeń we/wy,
- biblioteka programów symulacji sieci przepływowych,
- biblioteka programów optymalizacji sieci przepływowych,
- programy wspomagające decyzje dyspozytorskie,
- biblioteka programów statystycznych,
- oprogramowanie sprawozdawczo-ewidencyjne,

Procedury oprogramowania systemowego umożliwiają tworzenie programów współbieżnych, dostarczają mechanizmów synchronizacji i komunikacji międzyzadaniowej oraz zapewniają obsługę zegara systemowego. Umożliwiają ponadto współbieżne wykonywanie programów utworzonych pod kontrolą systemu MS DOS z uwzględnieniem określonych priorytetów przyporządkowanych poszczególnym zadaniom. W skład oprogramowania systemowego wchodzi także moduł obsługi błędów.

Pakiet procedur obsługi przerw i urządzeń we/wy zawiera oprogramowanie zapewniające właściwą reakcję na przerwanie generowane przez zjawiska zachodzące w sieci. Zapewnia tym samym, w połączeniu z mechanizmami wyłączenia, odpowiednią do wymogów sterowania w czasie rzeczywistym, reakcję systemu. W skład tego pakietu wchodzi procedury obsługi urządzeń niestandardowych służące do sprzęgania komputera z obiektem.

Biblioteki programów symulacji i optymalizacji zapewniają oprogramowanie modelujące sieć dla potrzeb sterowania w czasie rzeczywistym (wyznaczanie przepływów na bazie danych otrzymywanych w wybranych punktach sieci, lokalizacja węzłów sieci o potencjałach powyżej albo poniżej przedziału wartości dopuszczalnych). Ponadto programy te wykorzystywane są przez programy wspomagające decyzje dyspozytora dla modelowania sytuacji awaryjnych lub deficytowych czy też oceny skutków zamierzanych decyzji.

Wybrany wariant sterowania siecią może zostać przeanalizowany pod kątem jego optymalności w rozumieniu kryteriów podanych powyżej oraz oceniony w aspekcie przyjętej, długofalowej (np. 24-godzinnej) strategii sterowania pracą sieci.

Programy wspomagające decyzje dyspozytorskie to pakiet zapewniający dokonywanie okresowych analiz stanu sieci (np. wielkość akumulacji czynnika w obrębie sieci), zgodnie z przyjętymi wymaganiami wynikającymi ze specyfiki danej sieci. Oprogramowanie to, wykorzystując programy symulacji i optymalizacji, zapewnia także opracowywanie zalecanych harmonogramów pracy sieci w dłuższych horyzontach czasowych.

W skład biblioteki programów statystycznych wchodzi oprogramowanie przetwarzające informacje dostarczane z punktów pomiarowych sieci, do postaci wymaganej przez pakiet programów wspomagających decyzje i programów sprawozdawczo-ewidencyjnych.

Na oprogramowanie sprawozdawczo-ewidencyjne składają się moduły zapewniające standardowe usługi, takie jak; przeglądanie katalogów dyskowych, wyświetlanie informacji o systemie, sporządzanie raportów godzinowych czy długookresowych. Celem zapewnienia właściwej realizacji procesu zbierania informacji i wypracowywania decyzji sterujących, z uwzględnieniem wymogów czasowych, niezbędną jest budowa oprogramowania uwzględniającego wymagania specyficzne dla pracy w czasie rzeczywistym. A w szczególności [13];

- możliwość pracy wielozadaniowej,
- system priorytetów zapewniający wyłączenie zadania o niższym priorytecie przez zadanie o priorytecie wyższym,
- efektywny mechanizm reakcji na zdarzenia zewnętrzne,
- zapewnienie mechanizmów synchronizacji i komunikacji międzyzadaniowej,
- niezawodny mechanizm reakcji na błędy programowe i sprzętowe.

Mechanizmy pracy wielozadaniowej uzyskano poprzez zastosowanie MODULI-2 jako języka implementacji systemu. Wybór taki, z uwagi iż MODULA-2 [15] nie posiada sztywnych mechanizmów synchronizacji, komunikacji i przełączania zadań, wydaje się być szczególnie korzystny. Dostarczane przez ten język operacje elementarne pozwalają na zasadniczo dowolne, dostosowane do aktualnych potrzeb skonstruowanie mechanizmów wielozadaniowości. Modułarna struktura języka ułatwia w istotny sposób tworzenie zarówno systemu, jak i programów aplikacyjnych. Utworzone jądro implementujące zadania zawarte w procedurach oprogramowania systemowego. Budowę jądra realizującego wielozadaniowość opisano w pracy [8].

Standardowy dla większości implementacji MODULI-2 moduł SYSTEM [15] dostarcza operacji elementarnych umożliwiających skonstruowanie, w znacznym stopniu dowolnych, mechanizmów zarządzania zadaniami. Moduł zarządzający zadaniami prowadzi ewidencję zadań znajdujących się w systemie. Dane o zadaniach utrzymywane są w postaci kolejek.

Podstawowa jest kolejka zadań gotowych. Jest ona uporządkowana według priorytetów. Kolejka zadań opóźnionych złożona jest z zadań, które mają być uaktywnione w określonych momentach w przyszłości. Zadania w tej kolejce są uporządkowane według czasów aktywacji. Ostatnia jest kolejka zadań, które zostały zawieszony przez zadanie posiadające status zadania głównego.

Założono dwa możliwe tryby szeregowania zadań [14]. W pierwszym z kolejki zadań gotowych do wykonania, uporządkowanej według priorytetów, program szeregujący nie wyłącza zadania bieżącego, do najbliższego punktu synchronizacji lub jest ono wyłączone przez pojawiające się zadanie o wyższym priorytecie. Zadanie takie może być aktywowane przerwaniem lub też po upływie czasu, do którego było opóźnione.

W trybie drugim bieżące zadanie jest wyłączone cyklicznie, co ustalony kwant czasu, usuwane z czoła kolejki i umieszczane w kolejce po ostatnim

z zadań o tym samym priorytecie. Następnie uruchamiane jest pierwsze zadanie z kolejki procesów gotowych.

Ze względu na wielozadaniowość systemu występuje konieczność ochrony danych wspólnych dla dwu lub więcej procesów tworzących regiony krytyczne. W tym celu wykorzystywane są procedury semaforowe będące typowymi mechanizmami synchronizacji zadań i służące między innymi do ochrony zasobów systemu. Komunikacja pomiędzy zadaniami realizowana jest za pomocą komunikatów (mailbox) [2].

Omawiane oprogramowanie czasu rzeczywistego wyposażone zostało w mechanizm pozwalający na ustalenie dla każdego zadania, specyficznego sposobu reagowania na błędy. Obsługa obejmuje głównie błędy powodowane przez operacje dyskowe [10], lecz oprogramowanie zawiera także rozbudowany mechanizm sygnalizacji błędów. Komunikaty o błędach pochodzące od poszczególnych zadań umieszczane są w kolejce. Pierwszy komunikat z kolejki wyświetlany jest w oknie błędów, które jest zawsze widoczne na ekranie. Skasowanie aktualnego komunikatu o błędzie powoduje wyświetlenie kolejnego komunikatu z kolejki.

5. Wnioski końcowe

Prezentowany system optymalizacji i sterowania rozpiętymi w nieliniowej sieci przepływowej znajduje się we wstępnej fazie wdrażania i przewidywane są jego rozszerzenia oraz modyfikacje, wynikające z uzyskiwanych obecnie doświadczeń. Tym niemniej wstępne wyniki testów potwierdzają dużą przydatność zaproponowanego rozwiązania. Planowane jest również opracowanie oprogramowania nie korzystającego w ogóle z funkcji systemu MS DOS. Jako kolejny etap prac możliwe byłoby wtedy przeniesienie opracowanego systemu na autonomiczny sterownik akceptujący kod mikroprocesora 8086 i posiadający własny system operacyjny. Umożliwiłoby to przygotowywanie programów aplikacyjnych na mikrokomputerze typu IBM PC w języku wysokiego poziomu (w tym przypadku w MODULI-2), które następnie mogłyby być eksploatowane na autonomicznym sterowniku, nie posiadającym systemu operacyjnego ani środków rozwijania oprogramowania. Osiągnięcie takiego rezultatu pozwoliłoby na znaczne usprawnienie procesu wytwarzania oprogramowania dla sterowników przemysłowych. Ponadto doświadczenia uzyskiwane obecnie w procesie wdrażania pierwszej wersji systemu wskazują na uniwersalność proponowanych rozwiązań.

LITERATURA

- [1] Fjałkowski Z., Nikodem J., Ułasiewicz J.: Mikrokomputerowe wspomaganie operatywnego sterowania i optymalizacji warunków pracy sieci przesyłowej gazu. V Konferencja nt. "Zastosowanie Komputerów w Przemysle", str. 209-217. Szczecin 1987.
- [2] Iszkowska W., Kalinowska-Iszkowska M., Maniecki M.: Projektowanie systemów operacyjnych w ujęciu syntetycznym. PWN, Warszawa 1987.
- [3] Klempous R., Kotowski J., Nikodem J., Ułasiewicz J.: Water distribution systems. Components, Instruments & Techniques for Low Cost Automation & Applications, str. 541-551. IFAC, Valencia 1986.
- [4] Klempous R., Kotowski J., Nikodem J.: Some models for water distribution systems. Journal of Computation & Applied Mathematics, vol.21, str. 257-269. North-Holland, Amsterdam 1988.
- [5] Klempous R., Nikodem J., Ułasiewicz J.: Simulation model of high pressure gas pipeline networks. System Analysis and Simulation, vol.47, str. 216-219. Akademie-Verlag, Berlin 1988.
- [6] Klempous R., Nikodem J., Ułasiewicz J.: Symulacja przepływów w sieciach gazowych z uwzględnieniem zjawiska akumulacji. Raport ICT, vol.22. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1988.
- [7] Klempous R., Kordecki H., Nikodem J.: Adaptation of the Cross method for the dynamic flow simulation in the gas networks. 4th journées francophones sur la Logistique et les Transports, str. 305-311. AFCEP, Paris 1989.
- [8] Nikodem J.: Algorytmy optymalizacji nieliniowych sieci przepływowych drogą minimalizacji strat energetycznych. Raport ICT, vol.20. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1988.
- [9] Nikodem J., Ułasiewicz J.: Modyfikacja algorytmu Kelleya do zadań z nieliniowym zbiorem rozwiązań dopuszczalnych. Archiwum Automatyki i Telemechaniki, vol.33, str. 105-115. PWN, Warszawa 1988.
- [10] Nikodem J., Siwiński G., Ułasiewicz J.: Error handling in the real-time operating system. Performance Evaluation, Reliability and Exploitation of Computer Systems, str. 215-222. Ossolineum, Wrocław 1989.
- [11] Nikodem J., Gawrych-Zukowski A., Ułasiewicz J.: Zastosowanie metody agregacji do sterowania procesem akumulacji w systemie wodociagowym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, vol.89, str. 107-120. Gliwice 1987.
- [12] Nikodem J., Ułasiewicz J.: Wyznaczanie przepływów gazu w sieciach przesyłowych z wykorzystaniem zmodyfikowanej metody Crossa-Lobaczewa. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, vol.9, str. 188-190. SIGMA, Warszawa 1987.
- [13] Olsen P.: Modula-2 for Real-time Systems. Computer Standards & Interfaces, vol.6, str. 81-70. Elsevier (North-Holland).
- [14] Schoitsch E.: Software-Engineering Aspects of Real-Time Programming concepts. Reports of Austrian Research Centre Seibersdorf, A-2444 Seibersdorf.
- [15] TopSpeed Modula-2, Users Manual. Jensen & Partners International, USA 1988.

Recenzent: Doc.dr inż.E.Toczyłowski

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

AN APPLICATION OF CONCURRENT PROGRAMMING METHODS FOR FLOW OPTIMIZATION AND CONTROL IN NONLINEAR NETWORKS

Summary

In this paper the software environment for operative control in nonlinear flow network is presented. This software is one of the tools for supporting dispatcher management and real-time decision making. The mathematical model based on the network structure and physical rules of the flow is described in brief. Some optimization problems are outlined and the methods of solving them are discussed. Finally, the concurrent programming methods useful for operative control are described.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЕМ В НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОТОЧНЫХ СЕТЯХ

Резюме

В работе представлена концепция программного обеспечения операционной системы принятия решений для нужд оперативного управления работой нелинейных проточных сетей. Рассмотрены принципы моделирования сетей такого класса с учётом их структуры и законов растекания. Сформулирована задача оптимизации растеканий, а также рассмотрены методы решения так поставленных задач. Представлены принципы параллельного программирования и применены при разработке программного обеспечения.