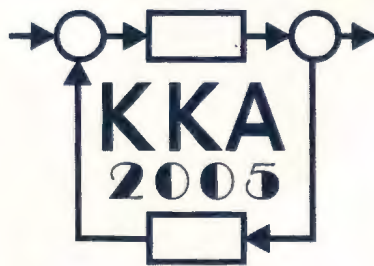


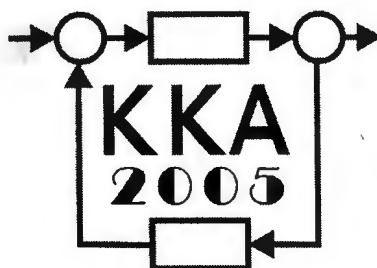
XV Krajowa Konferencja Automatyki

Tom II



**Redaktorzy:
Zdzisław Bubnicki
Roman Kulikowski
Janusz Kacprzyk**

XV Krajowa Konferencja Automatyki Tom II



Redaktorzy:
Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący	Zdzisław BUBNICKI
Zastępca Przewodniczącego	Roman KULIKOWSKI

CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA	Michał BIAŁKO
Mikołaj BUSŁOWICZ	Władysław FINDEISEN
Ryszard GESSING	Henryk GÓRECKI
Jakub GUTENBAUM	Jerzy JÓZEFczyk
Stanisław KACZANOWSKI	Tadeusz KACZOREK
Janusz KACPRZYK	Jerzy KLAMKA
Józef KORBICZ	Zbigniew KOWALSKI
Krzysztof KOZŁOWSKI	Juliusz L. KULIKOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI	Kazimierz MALANOWSKI
Krzysztof MALINOWSKI	Wojciech MITKOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI	Władysław PEŁCZEWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA	Leszek RUTKOWSKI
Stanisław SKOCZOWSKI	Roman SŁOWIŃSKI
Jerzy ŚWIĄTEK	Andrzej ŚWIERNIAK
Ryszard TADEUSIEWICZ	Piotr TATJEWSKI
Krzysztof TCHOŃ	Leszek TRYBUS
Jan WĘGLARZ	Andrzej P. WIERZBICKI

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Roman KULIKOWSKI
Zastępcy Przewodniczącego	Janusz KACPRZYK
	Stanisław KACZANOWSKI
	Tadeusz KACZOREK
	Krzysztof MALINOWSKI
Członkowie	Roman OSTROWSKI
	Tadeusz PUCHAŁKA
	Dariusz WAGNER
Sekretarze naukowci	Jan STUDZIŃSKI
	Jan W. OWSIŃSKI

ISBN 83-89475-01-4

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

TECHNIKA SYSTEMÓW – DIAGNOSTYKA

ZASTOSOWANIE ELEMENTÓW KOREKCYJNYCH AUTOMATYKI W DIAGNOSTYCE OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Paweł LINDSTEDT*, Paweł OSTAPKOWICZ*

* Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny
ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok, e-mail: ostad@pb.bialystok.pl

Streszczenie: Praca prezentuje koncepcję zastosowania elementów korekcyjnych automatyki w diagnostyce obiektów technicznych.

Wykazuje się, że w przypadku obiektów technicznych dających się sprowadzić do UAR istnieje możliwość pozyskiwania nowej cennej informacji diagnostycznej. Informacją tą są sygnały interakcji, wynikające z pracy obiektu badawczego (korektora) – dołączonego do badanego (diagnostowanego) obiektu. Dzięki tej informacji staje się możliwe polepszenie podatności diagnostycznej wskazanych obiektów technicznych, a stąd zwiększenie skuteczności ich diagnostowania, realizowanego dotychczasowymi metodami.

Praca oprócz teoretycznego opisu rozwiązania zawiera także przykłady jego praktycznych zastosowań.

Słowa kluczowe: Automatyka, elementy korekcyjne, diagnostyka, polepszanie podatności diagnostycznej.

1. WSTĘP

Praktyczna realizacja procesu diagnostowania jest problemem złożonym i skomplikowanym. Na jego skuteczność duży wpływ ma podatność diagnostyczna badanego obiektu, która jest ściśle powiązana z możliwością pomiaru dostępnej informacji diagnostycznej.

W dotychczasowej działalności diagnostycznej zakłada się, że stan techniczny eksploatowanych obiektów związany jest jedynie z sygnałami diagnostycznymi, które są bezpośrednio z nimi (z ich działaniem) związane. Oznacza to, że często pojawia się niedobór informacji powodujący zmniejszenie skuteczności diagnostowania.

Skutecznym sposobem polepszania podatności diagnostycznej obiektów technicznych może być zastosowanie układów korekcyjnych (opisanych i stosowanych w automatyce) do pozyskiwania nowych sygnałów diagnostycznych (informacji diagnostycznej). Dzięki tej nowej informacji diagnostycznej zaistniała realna moż-

liwość zwiększenia efektywności diagnostowania, realizowanego dotychczasowymi metodami.

Przedstawiony sposób polepszania podatności diagnostycznej może znaleźć zastosowanie do diagnostowania wielu obiektów technicznych, które da się sprowadzić do UAR. Przykłady zastosowania elementów korekcyjnych jako źródła informacji diagnostycznej do różnych obiektów opisane są w dalszej części pracy.

2. ELEMENTY KOREKCYJNE JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI DIAGNOSTYCZNEJ

Korekcja układu automatyki polega na wprowadzeniu do układu stosunkowo niewielkich modyfikacji pozwalających na poprawę własności statycznych i dynamicznych układu, zachowując przy tym podstawową strukturę układu i jego głównych części składowych. Jest ona realizowana poprzez włączenie do układu elementów korekcyjnych nazywanych korektorami. Korektory wprowadza się w zasadzie do regulacyjnej części układu, bo tam najłatwiej jest oddziaływać na dynamikę układu, a przy tym same korektory mogą być zaprojektowane na odpowiednio niskie poziomy sygnałów (a zatem i na małą moc), co z kolei zapewnia im pożądane małe wymiary [1]. Pomiędzy badanym obiektem a dołączonym korektorem dochodzi do wzajemnych oddziaływań (interakcji). Powstaje sygnał, który może być wyprowadzony na zewnątrz układu i zmierzony.

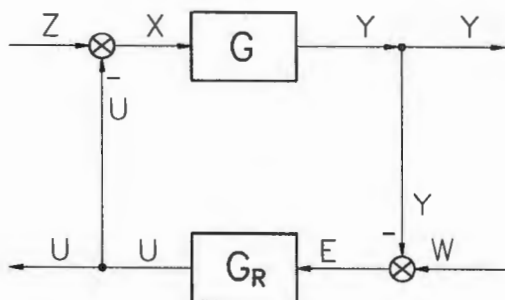
Zatem można stwierdzić, że odpowiednio przeprowadzona korekcja układu automatyki polepsza jego podatność diagnostyczną, która jak już wiadomo jest ściśle powiązana z ilością i jakością dostępnej informacji diagnostycznej.

Stąd zakłada się, że każdy element korekcyjny z dowolnych UAR (reprezentujących obiekty techniczne) jest źródłem informacji, która może być przydatna w procesie oceny (diagnostowania) układów, w tym tych skomplikowanych, niepodatnych diagnostycznie.

3. OPIS ROZWIĄZANIA

Działanie wielu złożonych obiektów technicznych, w praktyce może być opisane, zgodnie z zasadami automatyki, – transmitancją [5, 9, 10, 11].

Schemat blokowy takiego obiektu sprowadzonego do UAR przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy obiektu technicznego sprowadzonego do UAR: G – transmitancja obiektu; G_R – transmitancja regulatora; Y – transformata sygnału wyjściowego (użytkowego) obiektu; X – transformata sygnału wejściowego obiektu; Z – transformata zakłócenia wynikającego z oddziaływania otoczenia na obiekt; W – transformata wielkości zadanej do regulatora; E – transformata uchybu; U – transformata sygnału sterującego

Układ (rys. 1) opisuje następująca zależność:

$$\begin{aligned} Y &= XG = (Z - U)G = ZG - UG = \\ &= ZG - (W - Y)GG_R = \\ &= ZG - WGG_R + YGG_R \end{aligned} \quad (1)$$

która po przekształceniach przyjmie postać:

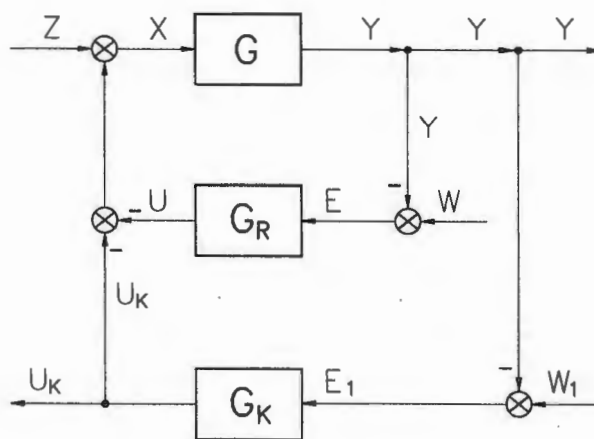
$$Y(1 - GG_R) = ZG - WGG_R, \quad (2)$$

a ostatecznie:

$$Y = Z \frac{G}{1 - GG_R} - W \frac{GG_R}{1 - GG_R}. \quad (3)$$

Analizując wzór (3) nietrudno dojść do wniosku, że praktycznie rzecz biorąc zmiany dostępnego sygnału Y mogą wynikać od zmian stanu technicznego obiektu opisanego parametrami transmitancji G i/ lub od zmian oddziaływania otoczenia na obiekt, reprezentowanego tu przez sygnał Z . Taka właśnie sytuacja jest charakterystyczna dla niepodatnych diagnostycznie obiektów technicznych – diagnosta dysponuje jednym równaniem z dwiema niewiadomymi, zatem problem diagnozowania takiego obiektu staje się niemożliwy do jednoznacznego rozwiązania. Tego typu układy wymagają polepszania ich podatności diagnostycznej.

Na rys. 2 pokazano UAR z dołączonym elementem korekcyjnym – korektorem (o transmitancji G_K).



Rys. 2. Układ UAR (z badanym obiektem o transmitancji G) i dołączonym korektorem (obiektem badawczym o transmitancji G_K): W_1 – wartość zadana do korektora; U_K – transformata sygnału wyjściowego z obiektu badawczego (sygnał słabej interakcji – oddziaływania G_K na G); E_1 – transformata uchybu korektora

Zgodnie z zasadami automatyki, dla układu (rys. 2) mogą być ustalone następujące zależności opisujące sygnał Y :

$$Y = ZG - WGG_R + YGG_R - U_K G, \quad (4)$$

następnie po kolejnych przekształceniach:

$$Y(1 - GG_R) = ZG - WGG_R - U_K G, \quad (5)$$

i ostatecznie:

$$Y = Z \frac{G}{1 - GG_R} - W \frac{GG_R}{1 - GG_R} - U_K \frac{G}{1 - GG_R}, \quad (6)$$

oraz zależności opisujące sygnał U_K (nazwany, ze względu na charakter występujących oddziaływań pomiędzy dołączonym korektorem a obiektem – sygnałem słabych interakcji międzyobiektoowych):

$$\begin{aligned} U_K &= W_1 G_K - Z G G_K + W G_R G G_K \\ &\quad - Y G_R G G_K + U_K G G_K \end{aligned} \quad (7)$$

następnie:

$$\begin{aligned} U_K (1 - GG_K) &= W_1 G_K - Z G G_K \\ &\quad + W G_R G G_K - Y G_R G G_K \end{aligned} \quad (8)$$

i ostatecznie:

$$\begin{aligned} U_K &= W_1 \frac{G_K}{1 - GG_K} - Z \frac{GG_K}{1 - GG_K} \\ &\quad - W \frac{G_R GG_K}{1 - GG_K} - Y \frac{G_R GG_K}{1 - GG_K} \end{aligned} \quad (9)$$

Przy poprawnym dobraniu i dołączeniu do badanego obiektu, korektor będzie reagował na każdą zmianę parametrów konstrukcyjnych obiektu (wynikającą z zaistniałych uszkodzeń lub jego zużycia) odpowiednią zmianą funkcjonowania (przebiegu i kształtu sygnału

U_K). Stąd na podstawie badania tylko zmian funkcjonowania korektora możliwa staje się ocena różnorodnych zmian zachodzących w układzie [5, 6, 7, 11].

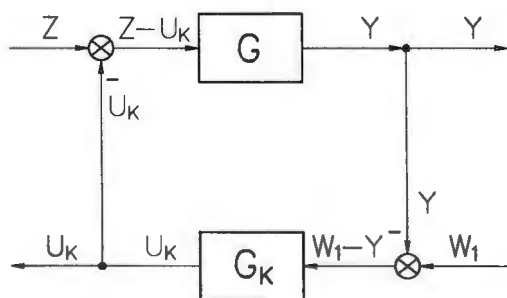
Po wprowadzeniu korektorów o innych parametrach można wyznaczyć dalsze sygnały: U_{K1} , U_{K2} , U_{K3} itd. W ten sposób można uzyskać pełną informację o diagnozowanym obiekcie. Korektory jako źródło informacji diagnostycznej znalazły zastosowanie praktyczne.

4. ZASTOSOWANIE ELEMENTÓW KOREKCYJNYCH W DIAGNOSTYCE OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Przykładem zastosowania elementów korekcyjnych jako źródła dodatkowej informacji diagnostycznej mogą być np. różnego rodzaju instalacje hydrauliczne [3, 4, 5].

a. Instalacje hydrauliczne samolotów

Schemat blokowy instalacji hydraulicznej samolotu sprowadzonej do UAR pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Układ z obiektem badanym (instalacją hydrauliczną samolotu) o transmitancji G i dołączonym obiektem badawczym (korektorem) o transmitancji G_K : W_1 – wartość zadana do korektora; U_K – transformata sygnału wyjściowego z obiektu badawczego (sygnał słabej interakcji – oddziaływania G_K na G); Z – transformata zakłócenia wynikającego z oddziaływania otoczenia na obiekt; Y – transformata sygnału wyjściowego (użytkowego) obiektu

Zgodnie z zasadami automatyki dla układu (rys. 3) otrzymuje się następujące relacje między sygnałami:

$$\begin{aligned} Y &= (Z - U_K)G \\ U_K &= (W_1 - Y)G_K \end{aligned} \quad (10)$$

które po przekształceniach można doprowadzić do postaci:

$$\begin{aligned} Y &= ZG - W_1G_KG + YG_KG \\ U_K &= W_1G_K - ZG_KG + U_KG_KG \end{aligned} \quad (11)$$

Z równań (11) eliminuje się nieznaną i niedostępną sygnał Z . Stąd otrzymuje się:

$$Y + W_1G_KG - YG_KG = W_1 + U_KG - U_K \frac{1}{G_K}, \quad (12)$$

a następnie zależności:

$$\begin{aligned} G &= \frac{1}{G_K} \quad \text{dla } W_1 - Y - U_K \frac{1}{G_K} \neq 0 \\ \frac{1}{G_K} &= \frac{W_1 - Y}{U_K} \quad \text{dla } G_KG - 1 \neq 0 \end{aligned}, \quad (13)$$

które można zapisać jako:

$$G = \frac{1}{G_K} = \frac{W_1 - Y}{U_K}. \quad (14)$$

Zakładając, zgodnie z zasadami automatyki, że wartość zadana do korektora odpowiada wartości sygnału wyjściowego z niedalekiej przeszłości y_{n-1} określanej czasem przesunięcia τ , co oznacza, że:

$$W_1 = Ly(t + \tau) = Ye^{s\tau}, \quad (15)$$

gdzie: s – operator czasu t ,

ostatecznie otrzymuje się zależność:

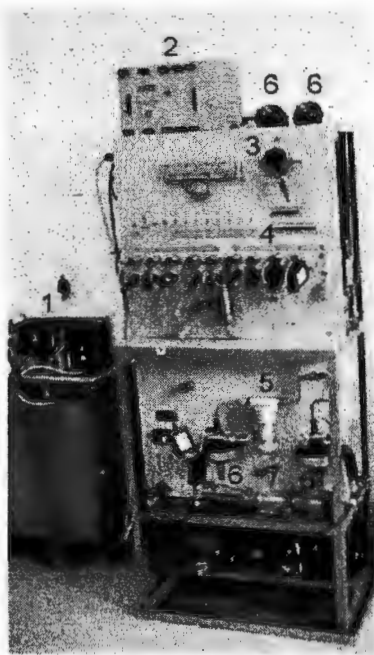
$$G = \frac{1}{G_K} = \frac{Y(e^{s\tau} - 1)}{U_K}, \quad (16)$$

która jednoznacznie potwierdza, że identyfikacja badanego obiektu o nieznannej transmitancji G , przy założeniu że staje się ona odwrotnością transmitancji G_K znanego korektora, może być dokonana na podstawie dostępnych sygnałów Y i U_K .

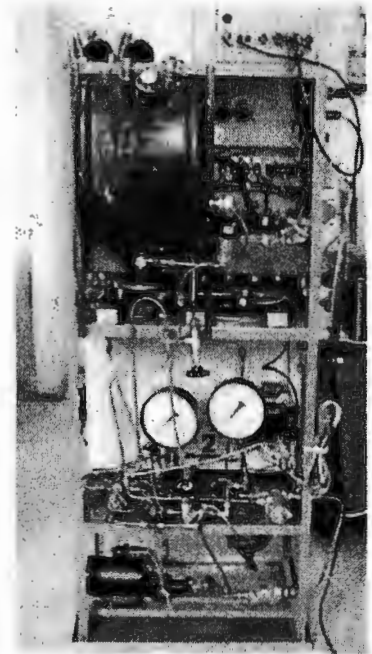
Na rys. 4 i 5 pokazano widok modelowej instalacji hydraulicznej, symulującej sygnały występujące podczas działania rzeczywistych instalacji typu „pokładowe instalacje hydrauliczne samolotów”. Do instalacji dołączono dwa obiekty korekcyjne (korektory), a następnie prowadzono jej badania diagnostyczne przy wszystkich możliwych uszkodzeniach.

Przykładowe wyniki badań przedstawiono na rys. 6. W tym przypadku na stanowisku badawczym zarejestrowano: sygnał przemieszczenia DSS (opisujący działanie odbiornika), ciśnienie w instalacji y oraz sygnały słabych interakcji z dwóch korektorów q_{K1} i q_{K2} . Zmiany stanu technicznego (np. pęknięcia, erozja, korozja – stąd wycieki) pojawiające się normalnie w czasie eksploatacyjnym θ zostały zasymulowane sztucznie przez spowodowanie wycieku z badanej instalacji (1 kropla na 5-litrową instalację).

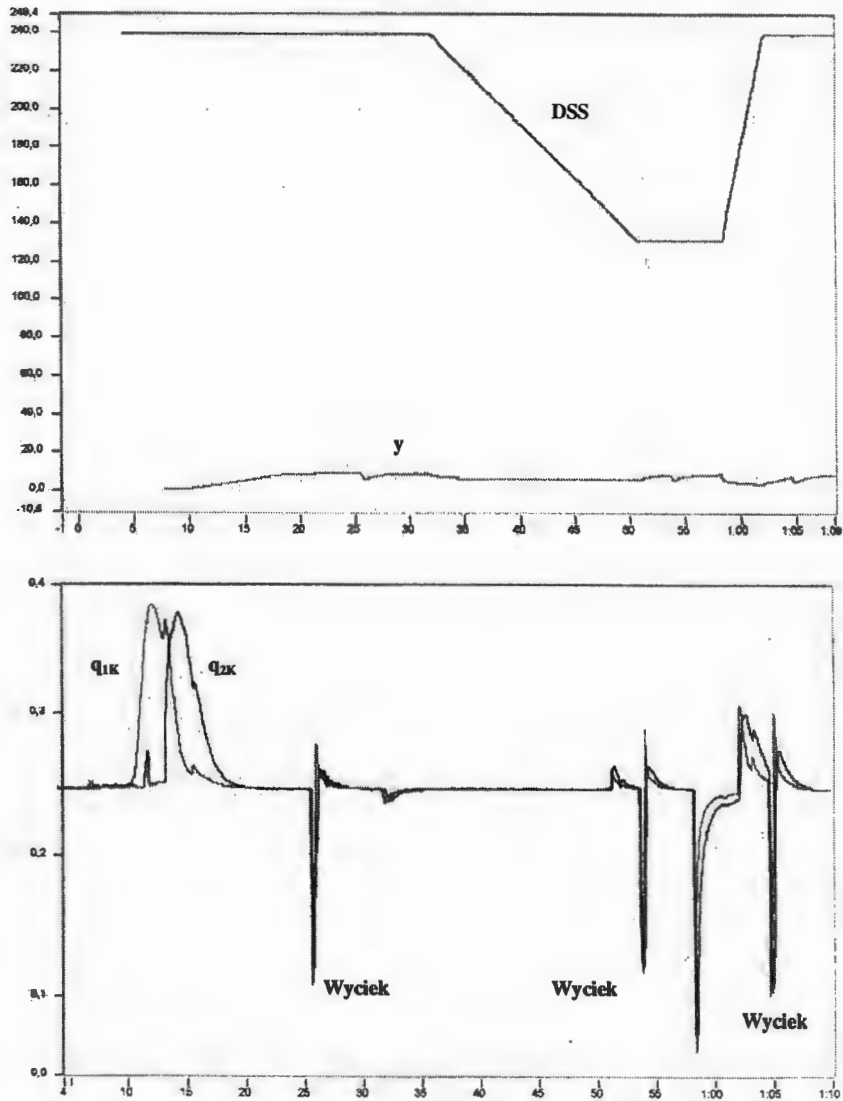
Prezentowane przebiegi sygnałów stanowią potwierdzenie dużej przydatności diagnostycznej nowo pozyskanych sygnałów interakcji międzyobiektowych.



Rys. 4. (po lewej) Stanowisko symulacji uszkodzeń instalacji hydraulicznej samolotu (widok z przodu): 1 – przetwornik – A/C; 2 – tester do zadawania wartości sygnałów; 3 – układ do pomiaru przemieszczeń; 4 – czujniki ciśnienia; 5 – urządzenie do wprowadzania opóźnień; 6 – korektory; 7 – siłownik



Rys. 5. (po prawej) Stanowisko symulacji uszkodzeń instalacji hydraulicznej samolotu (widok z tyłu): 1 – pompa zębata; 2 – manometry pomiaru ciśnienia w instalacji; 3 – zbiornik hydrauliczny



Rys. 6. Praca instalacji niezdatnej (z symulowanymi wyciekami zewnętrznymi w chwilach $t=0'25''$, $t=0'52,5''$, $t=1'0,5''$): DSS – sygnał odbiornika (przemieszczenie tłoka); y – ciśnienie w instalacji; q_{K1} , q_{K2} – sygnały mierzonych słabych interakcji

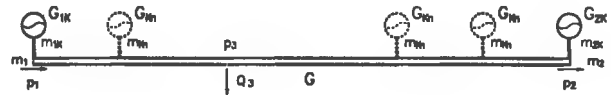
3.2. Instalacje rurociągowie

Elementy korekcyjne jako źródło dodatkowej informacji mogą być np. zastosowane w odniesieniu do rurociągów, w szczególności do diagnozowania wycieków.

Rurociąg można sprowadzić do UAR, otrzymując układ zgodny z rys. 3. Następnie z równań (11) eliminuje się G , i otrzymuje zależność (17) opisującą zakłócenie Z działające na obiekt (którym może być np. wyciek) w funkcji dostępnych sygnałów: Y, W_1, U_K .

$$Z = \frac{G_K(G_K W_1^2 - Y W_1 - Y U_K - W U_K + Y U_K)}{G_K W_1 - G_K Y - U_K} \quad (17)$$

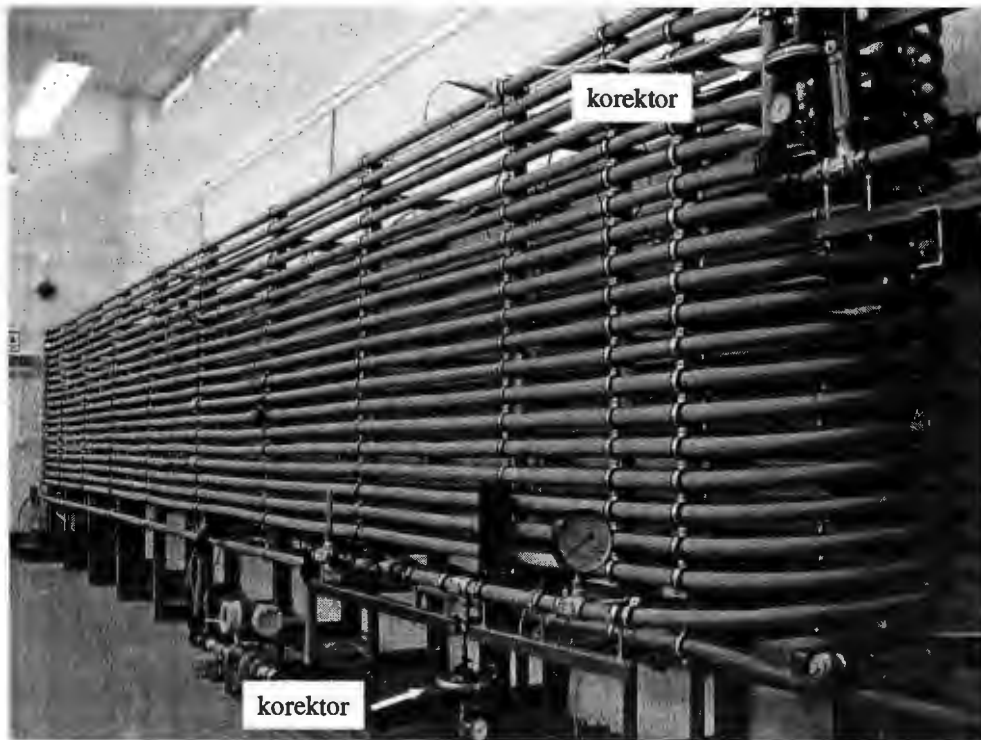
Praktyczna realizacja rozwiązania polega na dołączeniu na początku i końcu diagnozowanego rurociągu dwóch korektorów badawczych o odpowiednio dobranych transmitancjach G_{1K} i G_{2K} . Dodatkowo dopuszcza się rozmieszczenie kilku takich korektorów wzdłuż rurociągu. Ich liczba będzie zależna m.in. od wielkości rurociągu. Układy pomiarowe korektorów mierzą fluktuację przepływu pomiędzy badanym obiektem a korektorem. Pomiar ten dokonywany jest na elemencie typu kryza z użyciem czujnika różnicy ciśnień. Konstrukcja korektora umożliwia nastawę jego punktu pracy i dostarczanie do sygnału z rurociągu. Schemat rurociągu z dołączonymi korektorami pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Schemat diagnozowanego rurociągu z wyciekiem z dołączonymi obiektami badawczymi (korektorami): p_1, p_2 – ciśnienie na początku i na końcu rurociągu; p_3 – ciśnienie w miejscu wycieku; m_1, m_2 – natężenie przepływu na początku i na końcu rurociągu; m_3 – natężenie wycieku; G – nieznaną transmitancję rurociągu; G_{1K}, G_{2K}, G_{Kn} – transmitancje obiektów badawczych; m_{1K}, m_{2K}, m_{Kn} – sygnały korektorów (nowe sygnały diagnostyczne)

Miejsce i wielkość wycieku będą nadal identyfikowane z wykorzystaniem dostępnych standardowych sygnałów pomiarowych dla rurociągu, tj. ciśnienia, natężenia przepływu, temperatury – przy użyciu dotychczasowych procedur (metod) diagnostycznych. Uzupełnienie diagnozowania będą stanowiły odrębne procedury, korygujące mierzone sygnały ciśnienia nowo pozyskanymi sygnałami słabych interakcji międzyobiektywnych $m_{1K/2K/Kn}$.

Rysunek 8 przedstawia widok stanowiska badawczego z rurociągiem modelowym o średnicy 34 mm i długości 380 m. Na początku i na końcu rurociągu zamontowano po jednym korektorze badawczym, a następnie prowadzono badania diagnostyczne z symulowanymi wyciekami.

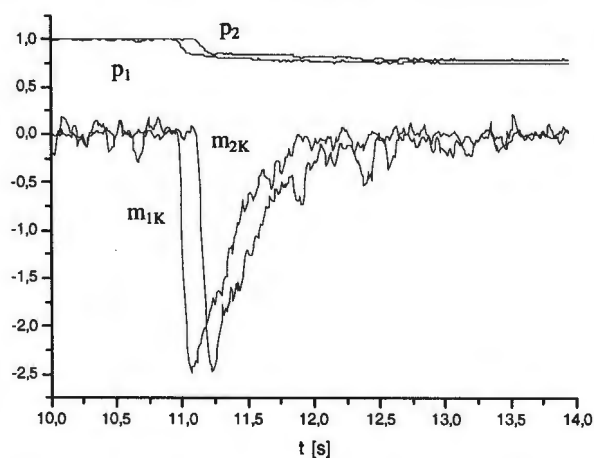


Rys. 8. Ogólny widok rurociągu modelowego oraz zainstalowanych korektorów

Przykładowe uzyskane przebiegi sygnałów słabych interakcji m_{1K}, m_{2K} pokazano na rys. 9. W tym przy-

padku na rurociągu modelowym symulowano wyciek rzędu około 7%, w miejscu o współrzędnej 155 m.

Dla porównania przedstawiono także przebiegi sygnałów ciśnienia: p_1 – mierzonego na początku rurociągu, p_2 – mierzonego na końcu rurociągu, w punktach oddległych względem punktów zamontowania korektorów o około 1 m, przy czym wielkości te na rysunku sprowadzono do jednakowego poziomu.



Rys. 9. Przykładowe przebiegi sygnałów interakcji m_{1K} , m_{2K} oraz sygnałów ciśnienia p_1 , p_2 (wyciek rzędu około 7 %)

Analizując przebiegi porównywanych sygnałów interakcji i ciśnienia można dostrzec wyraźne różnice na korzyść sygnałów interakcji, co potwierdza, że w przypadku rurociągów identyfikacja i lokalizacja wycieków prowadzona obecnie stosowanymi metodami będzie mogła być uzupełniona o nowe rozwiązanie (metodę), oparte na informacji, którą są sygnały wynikające z interakcji zachodzących między obiektem badanym (rurociągiem) a dołączonym obiektem badawczym (korektorem).

Ponadto ustalono, że dołączenie do rurociągu korektorów nie wpływa na poprawność funkcjonowania samego rurociągu i jest łatwe do zrealizowania.

5. PODSUMOWANIE

W oparciu o otrzymane dla obu rozpatrywanych przypadków zależności teoretyczne można stwierdzić, że obiekt niepodatny diagnostycznie zostaje przekształcony w obiekt podatny diagnostycznie – (16) i (17).

Dowodzą tego także prezentowane wyniki badań modelowych, które wyraźnie wykazują, że odpowiednio dobrane i dołączone do diagnozowanych obiektów technicznych elementy korekcyjne stwarzają możliwość pozyskiwania cennej informacji diagnostycznej, pozwalającej na polepszenie podatności diagnostycznej obiektów,

a stąd zwiększenie skuteczności ich diagnozowania.

Ponadto stwierdzono, że wprowadzenie korektorów i ich praca nie będą wpływały na poprawne działanie badanych obiektów.

USING OF AUTOMATICS' CORRECTIVE ELEMENTS IN DIAGNOSTICS OF TECHNICAL OBJECTS

Abstract: This work presents conception of using of automatics' corrective elements in diagnostics of technical objects. There is shown that is a possibility of improving diagnostics susceptibility of technical objects by means of causing measurable signals of interactions between a tested object (technical object) and a specially joined testing object (corrector). Signals of a weak interaction is a desirable piece of diagnostic information. Thanks to this information there is a possibility of improving diagnostics susceptibility and the diagnosis, realised by current methods, to become more effective.

Literatura

- [1] Antoniewicz J. (1975) *Automatyka*. WNT, Warszawa.
- [2] Ashby W.R. (1963) *Wstęp do cybernetyki*. PWN, Warszawa.
- [3] Lindstedt P. *Weak interactions between objects in the signal-based and parametric diagnostics of transport-dedicated complex engineering systems*, Aircraft Engineering and Aerospace Technology, An International Journal, przyjęty do druku.
- [4] Lindstedt P., Ostapkowicz P. (2004) Diagnosing of the leakages from pipelines based on signals of weak interobjects interactions. *Archiwum Transportu*, Komitet Transportu PAN, 2, Warsaw, 17-31.
- [5] Lindstedt P. (2002) *Praktyczna diagnostyka maszyn i jej teoretyczne podstawy*. Wydawnictwo Naukowe ASKON, Warszawa.
- [6] Lindstedt P. (1997) *Formowanie sygnałów diagnostycznych*. ZEM PAN, 2.
- [7] Lindstedt P. (1995) *Element korekcyjny jako źródło informacji diagnostycznej*. ZEM PAN, 2.
- [8] Paton R., Frank P., Clark R. (1989) *Fault diagnostic in dynamic systems*. Theory and applications, Cambridge University Press.
- [9] Skinners S.: *Modern control system. Theory and application*, Addison Wesley 1972.
- [10] Söderström T., Stoica P. (1997) *System identification*. PWN, Warszawa.
- [11] Takahashi Y., Rabins M.J., Auslander D.M. (1976) *Sterowanie i systemy dynamiczne*. WNT, Warszawa.



Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk

ISBN 83-89475-01-4