

Małgorzata KOZDRÓJ-WEIGEL

Lidia PENAR

WYKORZYSTANIE TEORII PREDYKCJI  
DO PLANOWANIA ZMIAN OBCIĄŻEŃ TRANSFORMATORÓW  
W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

**Streszczenie.** W artykule wykorzystując predykcję na podstawie wzorów opisujących wykładnicze dokonano planowania dobowego obciążenia transformatora w KWK. Jednocześnie przy zastosowaniu elektronicznej techniki obliczeniowej przeprowadzone zostały badania nad predyktorem:

- 1) badanie wpływu długości prehistorii  $k$  na jakość predykcji,
- 2) badanie zależności jakości predykcji od współczynnika wykładniczości  $\alpha$ .

Proponowana metoda prowadzi do określenia prawdopodobnego zapotrzebowania na energię elektryczną, a więc do właściwego planowania jej wykorzystania.

1. Predykcja na podstawie wzorów opisujących wykładnicze

Istnieje wiele metod wnioskowania na przyszłość, przy czym zastosowanie odpowiedniej metody do budowy prognoz zależy od tego, jak kształtowały się konkretne warunki określające proces predykcji, tzn. czy jest on jednorazowy, czy wielokrotnie powtarzany i jakie kryterium mierzy efektywność zbudowanych prognoz oraz jaki charakter ma zmienna prognozowana.

Wśród znanych metod krótkookresowej predykcji znaczną rolę odgrywa metoda wykładniczego wyrównywania danych. Według tej metody prognozy buduje się na podstawie poniższych wzorów.

Wykładnicze wykładnicze oparte jest na założeniu, że przewidywana wartość pewnej funkcji może być wyrażona szeregiem Taylora.

$$Y_{TP} = f_t + \frac{df}{dt} \Delta t + \frac{1}{2!} \frac{d^2f}{dt^2} (\Delta t)^2 + \dots + \frac{1}{n!} \frac{d^n f}{dt^n} (\Delta t)^n \quad (1)$$

gdzie:

$Y_{TP}$  - wartość prognozy budowanej dla okresu prognozowania  $T$ ,

$f_t$  - ocena trendu zmiennej prognozowanej w okresie  $t$ ,

$d^k f$  -  $k$ -ta różnica ocen funkcji trendu,

$\Delta t$  - odległość okresu prognozowanego od okresu, z którego pochodzą ostatnie informacje o realizacji zmiennej prognozowanej.

Wyrazy szeregu Taylora są określone wzorami wygładzania wykładniczego. Wygładzoną wykładniczo wielkość pierwszego rzędu przedstawia wzór:

$$S_t^1(f) = \alpha f_t + (1 - \alpha)S_{t-1}^1(f) \quad (2)$$

gdzie: współczynnik wygładzania  $\alpha$  przyjmuje wartości  $0.1 < \alpha < 1$ .

Wielkości wygładzane wykładniczo wyższych rzędów przedstawiają wzory:

$$\begin{aligned} S_t^2(f) &= \alpha S_t^1(f) + (1 - \alpha)S_{t-1}^2(f) \\ &\vdots \\ S_t^n(f) &= \alpha S_t^{n-1}(f) + (1 - \alpha)S_{t-1}^n(f) \end{aligned} \quad (3)$$

Przy założeniu liniowych zmian funkcji trendu na odcinku czasu  $(t-1, t+\Delta t)$  do budowy prognoz wykorzystuje się tylko dwa pierwsze wyrazy szeregu Taylora (1), przy szybkich zmianach funkcji trendu niektórych zmiennych prognozowanych wykorzystuje się trzy pierwsze wyrazy.

Przy wykorzystaniu dwóch wyrazów szeregu Taylora (1) mamy następujące postacie wzorów opisujących predykcje:

$$f_t = 2S_t(f) - S_t^2(f) \quad (4)$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} [S_t(f) - S_t^2(f)] \quad (5)$$

Przy trzech wyrazach szeregu

$$f_t = 3S_t(f) - 3S_t^2(f) + S_t^3(f) \quad (6)$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)^2} [S_t(f) - 2S_t^2(f) + S_t^3(f)] \quad (7)$$

$$\frac{d^2f}{dt^2} = \frac{\alpha^2}{2(1 - \alpha)^2} [(6 - 5\alpha)S_t^2(f) - 2(5 - 4\alpha)S_t^2(f) + (4 - 3\alpha)S_t^3(f)] \quad (8)$$

Jako kryterium jakości predykcji przyjęto kryterium minimalnego błędu średniokwadratowego.

Dla oceny przeciętnej dokładności predykcji policzono przeciętny względny błąd prognozy, który można wyrazić wzorem:



cd. tabeli 1

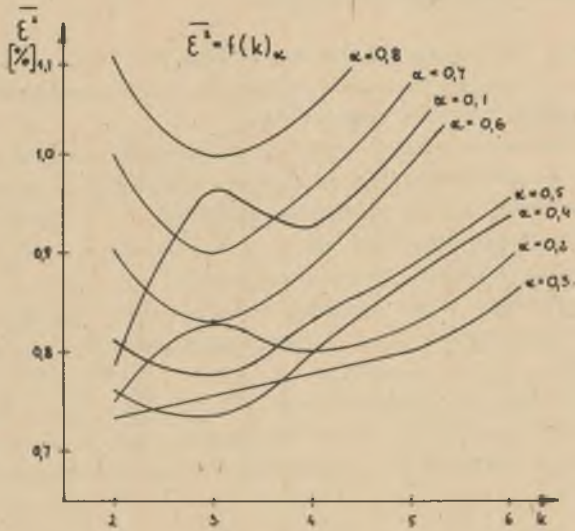
1	2	3	4	5	6	7	8	9
18								
	3800	1000	3930	0,967	2700	3700	5307	0,716
19	4100	1500	4366	0,939	2700	4200	5866	0,699
20	4100	3500	5390	0,761	800	4399	5941	0,690
21	4000	4150	5764	0,691	0	4150	5764	0,694
22								
	3900	4200	5735	0,680	0	4200	5735	0,680
23	3700	4100	5522	0,670	0	4100	5522	0,670
24	3600	4400	5687	0,633	0	4400	5687	0,633
1	3600	4100	5455	0,660	0	4100	5455	0,660
2	3400	4100	5329	0,638	0	4100	5329	0,638
3	3300	4000	5189	0,636	0	4000	5189	0,636
4	3500	4100	5393	0,649	0	4100	5393	0,649
5	3600	4200	5530	0,651	0	4200	5530	0,651
6								
Dn. I	4288	1612	4581	0,935	2794	4406	6152	0,697
Dn. II	4025	2000	4497	0,895	2238	4438	5842	0,689
Dn. III	3575	4150	5483	0,652	0	4150	5483	0,052
Doba	3963	2588	4735	0,837	1677	4265	5819	0,681

Do wyznaczenia przebiegów napięć i prądów obciążenia zastosowano metodę ciągłej rejestracji tych wielkości uniwersalnymi piszącymi wolto-ampe-romierzami. Na podstawie odczytów liczników energii elektrycznej oblicze- no i zestawiono w tabeli 1 wartości:

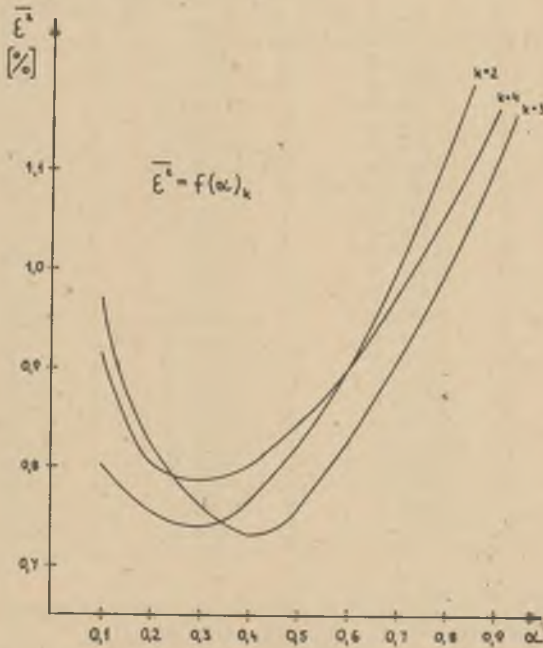
- mocy czynnej ( $P$ ),
- mocy biernej ( $Q$ ),
- mocy pozornej ( $S$ ),
- współczynnika mocy ( $\cos\varphi$ ),

uśrednione w przedziałach: 60-minutowych, zmianowych i dobowych.

Tabela 1 sporządzona dla transformatora 110/5 kV - 10 mVA zawiera war- tości  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ,  $\cos\varphi$  i jako wielkości skompensowane oraz jako wielkości na- turalne (bez kompensacji) uwzględniając pracę baterii kondensatorów sta- tycznych.



Rys. 1. Zmiany błędu prognozy w zależności od wartości współczynnika wygładzania



Rys. 2. Zmiany błędu prognozy w zależności od liczby punktów prehistorii

### 3. Modelowanie cyfrowe. Analiza wyników

Oprócz normalnej realizacji algorytmu predykcji według zasad omówionych w rozdziale 1, program przewiduje pracę ze zmiennymi współczynnikiem  $\alpha$  oraz zmienną liczbą punktów prehistorii.

W procesie opracowania danych wyjściowych umożliwia wybór optymalnej wartości  $\alpha$  oraz  $k$ , dla której otrzymuje się najlepszą jakość predykcji ocenianą według wartości błędu średniokwadratowego.

Badania przeprowadzone były dla  $\Delta t = 1$ , to znaczy dla  $(k+1)$ -szej wartości na podstawie  $k$  wartości poprzedzających.

Rys. 2 obrazuje zmiany błędu prognozy w zależności od liczby punktów prehistorii  $k$ , wykorzystanych do obliczenia wygładzonych wykładniczo wartości i pochodnych.

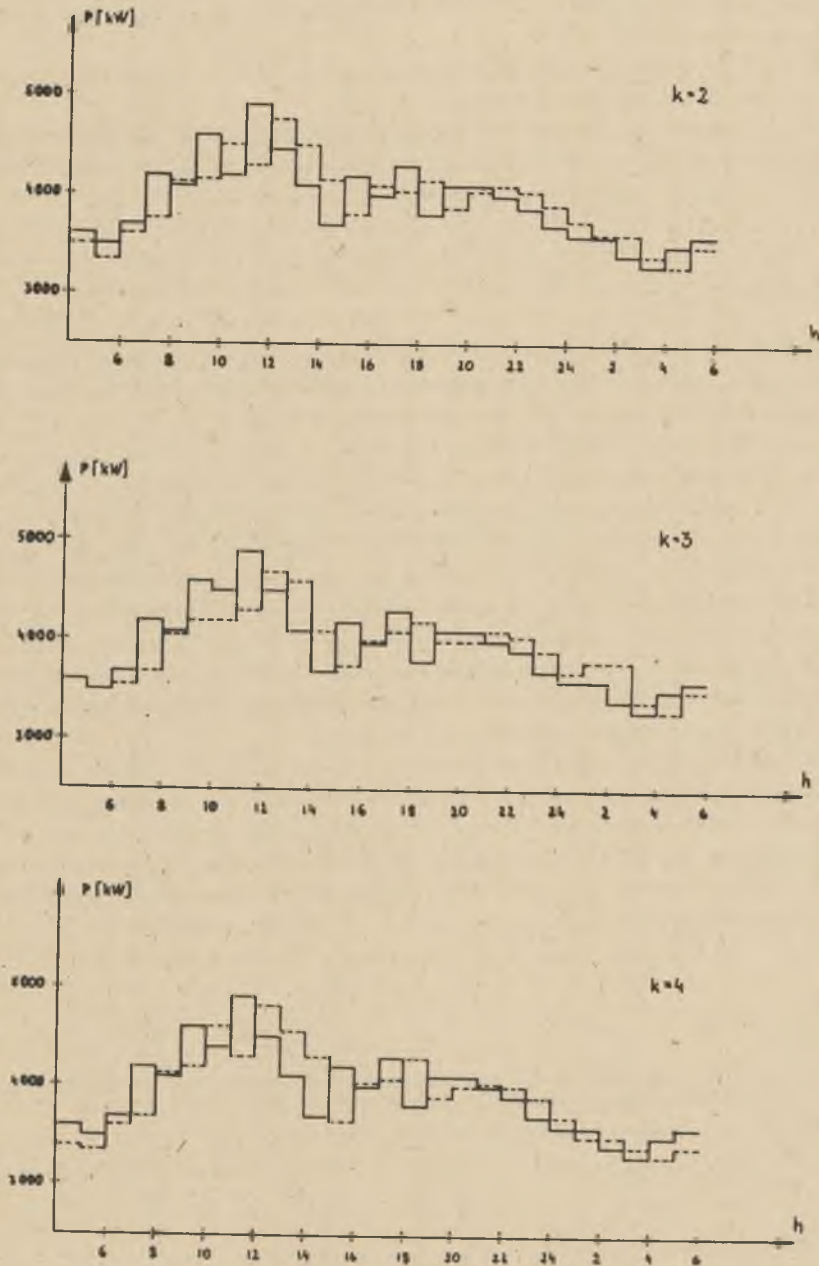
Zależność  $\bar{\epsilon}^2 = f(k)$  ma minimum przy  $k = 3$ , więc dla tego rodzaju procesów, gdzie jakość predykcji jest unimodalną funkcją długości predykcji, wybór  $k$  jest zagadnieniem pierwszoplanowym, od którego zależy wiarygodność predykcji.

Tabela 2

Alfa = .4

Wartości rzecz.	Wartości z predykcji		
	K=2	K=3	K=4
3700.0	3580.0	3604.0	3582.4
4200.0	3680.0	3692.0	3735.2
4100.0	4100.0	4112.0	4135.6
4600.0	4120.0	4180.0	4201.6
4200.0	5500.0	4488.0	4596.0
4900.0	4280.0	4340.0	4318.4
4500.0	4760.0	4712.0	4820.0
4100.0	4580.0	4664.0	4577.0
3700.0	4180.0	4132.0	4283.2
4200.0	4100.0	4052.0	3965.6
4000.0	4040.0	4100.0	4013.6
3800.0	4240.0	4216.0	4324.0
4100.0	3900.0	3936.0	3892.8
4100.0	4040.0	3980.0	4044.8
4000.0	4100.0	4136.0	4028.0
3900.0	4020.0	4020.0	4084.8
3700.0	3920.0	3908.0	3908.0
3600.0	3740.0	3728.0	3706.4
3600.0	3620.0	3596.0	3574.4
3400.0	3600.0	3588.0	3544.8
3300.0	3440.0	3440.0	3418.4
3500.0	3320.0	3296.0	3296.0
3600.0	3460.0	3448.0	3404.8

Jak wykazały badania współczynnik  $\alpha$  zależy od charakterystyk statycznych ciągu podlegającego predykcji i dla różnych procesów rzeczywistych może przyjmować różne wartości. Z rysunku 1 wynika, że dla badanych procesów istnieje pewna określona wartość  $\alpha = \alpha_{opt}$ , przy której błąd predyk-



Rys. 3. Przebiegi rzeczywistych i przewidywanych wartości mocy

eji jest minimalny. Dla przedstawionego procesu wartości  $\alpha$  opt leży w granicach  $0,3 \div 0,4$ , więc mamy do czynienia z układem w większym stopniu zachowawczym, gdyż  $0,1 < \alpha < 0,5$ , a w układach mniej ezuliyoh stosowanych przy dużych szumach  $0,5 < \alpha < 1$ .

W tabeli 2 przedstawiono przykładowy wynik rozwiązania zagadnienia obliczony na emc dla optymalnej wartości  $\alpha$ .

Na rys. 3 przedstawione wykresy zmian rzeczywistych i przewidywanych wartości mocy czynnej transformatora w KWK dla różnej liczby punktów prehistorii.

### Zakończenie

Aktualnymi problemami w górnictwie ze względu na efektywność gospodarowania energią elektryczną jest planowanie optymalnego wykerzystania istniejących na kopalni elementów systemu energetycznego.

Jako przykład zastosowania metody wykładniczego w predykcji rozpatrzone zostało zagadnienie predykcji zmian obciążenia transformatorów. Jako prehistorię wykorzystane dobowe wykresy zmian obciążenia w odpowiednich dniach tygodnia w przeszłości. Należy zauważyć, że przy predykcji dobowych zmian obciążenia w pełne dni robocze niekoniecznie trzeba brać jako prehistorię wykresy z dni jednodniowych. Prognozując w ten sposób dobowe obciążenia elementów systemu energetycznego, można optymalniej wykerzystać istniejące na kopalni rezerwy energetyczne zapewniając tym sposobem lepsze wykorzystanie istniejącego sprzętu górniczego, ułatwiając pracę służbom dyspozytorskim.

Ponadto przy budowie układów sterowania automatycznego całych kompleksów transportu górniczego i poszczególnych maszyn można osiągnąć znaczne efekty dzięki zastosowaniu metod statystycznej teorii predykcji.

Przeprowadzane są dalsze badania zmierzające do prognozowania obciążalności i wykerzystania energii elektrycznej w poszczególnych elementach systemu energetycznego.

### LITERATURA

- [1] Frenkel A.: Matematiezeskije metody analiza dynamiki i prognezirewanija proizweditelnosti trnda. "Ekonemika", Moskwa 1972.
- [2] Pawłowski Z.: Prognozy ekonometryczne. PWN, Warszawa 1973.
- [3] Pawłowski Z.: O pewnej prostej metodzie budowy prognoz popytu. Mandel Wewnętrzny nr 2, 1968.

Wpłynęło do Redakcji 14.1.1981 r.

Recenzent: doc. dr inż. Norbert Musiel



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ  
ПРЕДСКАЗАНИЯ К ПЛАНИРОВАНИЮ ИЗМЕНЕНИЙ НАГРУЗОК ТРАНСФОРМАТОРОВ  
В КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Р е з ю м е

В статье, пользуясь предсказанием на основании формул, описывающих показательное сглаживание, произведено планирование суточной нагрузки трансформатора в каменноугольных шахтах. Одновременно, применяя электронную вычислительную технику, были проведены исследования, касающиеся предикатора:

- 1) исследования влияния длины предистории к на качество предсказания,
- 2) исследование зависимости качества предсказания от коэффициента сглаживания  $\alpha$ .

Предлагаемый метод может вести к определению вероятного потребления электрической энергии, следовательно, к правильному планированию ее использования.

THE THEORY OF PREDICTION APPLIED  
IN THE PLANNING OF CHANGES IN TRANSFORMERS LOADS  
AT THE COALLIERIES

S u m m a r y

The paper presents a 24-hour-plan of transformer load at the coallieries. It has been done by using prediction on the basis of formulas that describe the exponential smoothing. At the same time by applying electronic computation techniques studies of predictor have been carried out:

- 1) studies over the effect on the length of prehistory ( $k$ ) on the prediction quality,
- 2) studies over the dependance of the prediction quality on the smoothing coefficient ( $L$ ).

The method suggested can lead to the determination of probable demand for energy hence to the adequate planning of its consumption.