

INTERVALA DÜŞMƏ TEZLİYİ İLƏ QEYRİ-SƏLİS ZAMAN SIRALARI ƏSASINDA ENERJİ İSTEHSALININ PROQNOZLAŞDIRILMASI

Möhübbət Zaməddin oğlu Əhmədov

texnika üzrə fəlsəfə doktoru

Mingəçevir Dövlət Universiteti

Xülasə

Elektrik enerjisi istehsalının proqnozlaşdırılması probleminin həlli üçün variant qeyri-səlis zaman sıraları modeli və qeyri-səlis münasibətlər qrupları istifadə olunmaqla yeni proqnozlaşdırma metodu təklif olunur. Məqalədə qeyri-səlis zaman sıraları əsasında universal çoxluğun $n=7$ sayda bərabər uzunluqlu intervallara bölünməsi ilə elektrik enerjisi istehsalının proqnozlaşdırılması probleminin həlli üçün verilənlərin paylanma sıxlığı nəzərə alınmaqla universal çoxluğun təkrar bölgüsü əsasında verilənlərin fəzifikasiyası aparılır və proqnoz nəticələri hesablanır. Təklif edilmiş üsul istifadə olunmaqla elektrik enerjisi istehsalının proqnoz nəticələri hesablanaraq bu üsulun tətbiqinin səmərəliliyi əsaslandırılmışdır.

***Açar sözlər:** qeyri-səlis məntiqi münasibətlər qrupu, qeyri-səlis zaman sıraları, qeyri-səlis çoxluqlar*

Müasir dövrdə istehsal prosesinin gələcəyi ilə bağlı doğru və düzgün qərar qəbul etmək üçün statistik göstəricilər əsasında proqnozlaşdırma prosesinin aparılması vacib və zəruri bir işdir. Müxtəlif sahələrdə proqnozlaşdırma prosesinin aparılması üçün klassik zaman sıraları modelləri populyar şəkildə istifadə olunur. Ancaq son vaxtlar hədləri verbal sözlər və ya müəyyən linqvistik termlər olan zaman sıralarına da təsadüf olunur ki, onların proqnozlaşdırılması üçün klassik zaman sıraları modelləri yararlı deyil. Məhz bununla əlaqədar olaraq, 1993-cü ildə ABS-da Alabama Universitetinin professorları Q.Song və B.Chissom tərəfindən L.Zadənin qeyri-səlis çoxluqlar və qeyri-səlis məntiq nəzəriyyələrinə əsaslanan qeyri-səlis zaman sıraları nəzəriyyəsi təklif olundu. Son 30 ilə yaxın bir dövr ərzində müxtəlif ölkələrin alimləri tərəfindən bir sıra məsələlərin həlli üçün qeyri-səlis zaman sıralarına əsaslanan müxtəlif proqnozlaşdırma üsulları təklif olunmuşdur [1...7]. Sevindirici hal odur ki, son vaxtlar müxtəlif məsələlərin həlli ilə bağlı qeyri-səlis zaman sıraları əsasında daha yaxşı proqnozlaşdırma xətası verən proqnozlaşdırma üsulları axtarışı davam edir. Bu cür məsələlərə valyuta məzənnələri, temperatur, enerji istehsalı, tələbə qeydiyyatı, demografik proseslər və s kimi məsələlərin proqnozlaşdırılmasını misal göstərmək olar.

Ümumiyyətlə, müxtəlif elm sahələrində aparılan elmi tədqiqatlarda verilən informasiya qeyri-səlis və müəyyən mənada təqribidirsə, bu halda əminliklə demək olar ki, bu sahələrdə qeyri-səlis zaman sıraları əsasında proqnozlaşdırma ən doğru seçimdir. Bu onunla əlaqədardır ki, burada həm tendensiyaların öyrənilməsi və təhlili, həm də zaman sıralarında mövcud olan qanunauyğunluqların vizuallaşdırılması ilə bağlı heç bir tələb qoyulmur. Bu konsepsiya istifadə olunmaqla 1993-cü ildən başlayaraq iqtisadiyyatın müxtəlif sahələrində bir çox elmi tədqiqat işləri aparılmışdır [1...7]. Bu elmi tədqiqatlarla bağlı bir faktı qeyd etmək lazımdır ki, təklif olunan bütün üsullarda ya xronoloji verilənlər (məsələn, konkret ölkə əhalisinin sayının illik statistik göstəriciləri, enerji istehsalı, valyuta məzənnələri üzrə statistik göstəricilər), ya da heç bir əlavə informasiya əldə edilmədən məlum statistik verilənlərin ilkin formada variasiyaları istifadə olunmuşdur.

Qeyri-səlis zaman sıraları anlayışı ilə bağlı ədəbiyyatda aşağıdakı təriflərə rast gəlinir [2...4]:

Tərif 1. Bərabər zaman intervallarında təyin olunmuş qeyri-səlis dəyişənlərin qiymətləri çoxluğu qeyri-səlis zaman sıraları adlanır.

Tərif 2. Dayanıqlı verilənlərin xronoloji ardıcılığı kimi təyin olunan zaman sıraları qeyri-səlis verilənlərə malik olarsa, bu halda bu zaman sıralarına qeyri-səlis zaman sırasları deyilir.



Tərif 3. Fərz edək ki, $Y(t)$ ($t = \dots, 0, 1, 2, \dots$), R^1 həqiqi ədədlər çoxluğunun altçoxluğudur və elə bir universal çoxluqdur ki, bu universal çoxluqda $f_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots$) qeyri-səlis çoxluqları təyin olunmuşdur. $F(t)$ çoxluğu isə öz növbəsində $f_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots$) qeyri-səlis çoxluqlarından ibarətdir. Onda $F(t)$ çoxluğuna $Y(t)$ ($t = \dots, 0, 1, 2, \dots$) universal çoxluğunda təyin olunmuş qeyri-səlis zaman sıraları deyilir.

Fərz edək ki, $F(t)$ ancaq və ancaq $F(t-1)$ ilə səbəblənir və bu o deməkdir ki, $(t-1)$ zaman anında olan $F(t-1)$ qiyməti ilə t zaman anındakı $F(t)$ qiyməti arasındakı qeyri-səlis münasibəti $F(t-1) \rightarrow F(t)$ kimi işarələmək olar. Bu halda $F(t)$ qeyri-səlis zaman sıraları 1-ci tərtib qeyri-səlis zaman sıraları adlanır.

$$F(t) = F(t-1) R(t, t-1), \quad (1)$$

burada \circ işarəsi maxmin kompozisiya operatorudur.

Fərz edək ki, $F(t)$ 1-ci tərtib qeyri-səlis zaman sırasıdır və $R(t, t-1) = R(t-1, t-2)$ münasibəti ixtiyari t üçün doğrudur. Bu halda $F(t)$ -yə zamana görə dəyişməyən (time – invariant) qeyri-səlis zaman sıraları deyilir. Əgər istənilən t üçün $R(t, t-1) \neq R(t-1, t-2)$ münasibəti doğru olarsa, bu halda $F(t)$ -yə zamana görə dəyişən (time-variant) qeyri-səlis zaman sıraları deyilir.

Buradan məlum olur ki, $F(t)$ linqvistik dəyişən kimi götürülsə, $f_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots$) bu linqvistik dəyişənin linqvistik qiymətləri kimi qəbul edilir. Klassik zaman sıraları ilə qeyri-səlis zaman sıraları arasındakı fərq ondan ibarətdir ki, əvvəlkilərin müşahidəsi zamanı real ədədlər istifadə olunduğu halda, qeyri-səlis zaman sıralarında sıra hədləri kimi qeyri-səlis çoxluqlar istifadə olunur.

Zamana görə dəyişən (time-variant) qeyri-səlis zaman sıraları modeli əsasında enerji istehsalının proqnozlaşdırılması məsələsinin həlli üçün təklif olunan proqnozlaşdırma metodunun alqoritmi aşağıdakı kimidir:

Addım 1. Cədvəl 3-dəki statistik verilənlər əsasında U – universal çoxluğu təyin olunur. Münasib $d_{\min} = -64$ və $d_{\max} = 68$ qiymətləri eksperimental şəkildə Cədvəl 3-dəki verilənlərə uyğun olaraq seçildikdən sonra $d_{\text{sol}} = 1764 + d_{\min} = 1700$ və $d_{\text{sağ}} = 11832 + d_{\max} = 11900$ kimi təyin olunur. Beləliklə, universal çoxluq $U = \{1700, 11900\}$ kimi təyin olunur.

Addım 2. Statistik verilənlər əsasında U universal çoxluq bərabər uzunluqlu intervallara u_1, u_2, \dots, u_7 bölünür. Məsələn, enerji istehsalının statistik göstəriciləri üçün universal çoxluq $U = [1700, 11900]$ kimi qəbul olunaraq, 7 bərabər uzunluqlu intervala bölünmüşdür (Cədvəl 1). Sonra həmin intervallara xronoloji verilənlərin paylanma sıxlığı müəyyən olunaraq cədvəldə göstərilmişdir:

Cədvəl 1

Universal çoxluğun intervalları və verilənlərin paylanma sıxlığı

İntervallar	Xronoloji verilənlərin paylanma sıxlığı
[1700, 3157]	1
[3157, 4614]	1
[4614, 6071]	3
[6071, 7528]	8
[7528, 8985]	9
[8985, 10442]	11
[10442, 11900]	6

Addım 3. Hər bir interval üçün xronoloji verilənlərin qeyri-səlis paylanmasının çəki əmsalları təyin olunur. Bu intervallarda qeydiyyatla bağlı xronoloji verilənlər hər bir interval üzrə böyükdən kiçiyə doğru sortlaşdırılır. Ən çox sayda verilən sayı olan intervalı 5 bərabər uzunluqlu alt intervala, növbəti çox saylı verilən düşən intervalı 4 bərabər uzunluqlu alt intervala, növbəti çox sayda verilən düşən intervalı 3 və sonra isə 2 bərabər uzunluqlu alt intervala bölərək, sonrakı intervalların uzunluqları dəyişməz saxlanılır (Cədvəl 2).

Verilənlərin intervallara düşmə tezliyi

Qeyri-səlis çoxluqlar	İntervallar
U_1	[1700, 3157]
U_2	[3157, 4614]
U_3	[4614, 6071]
U_4	[6071, 6557]
U_5	[6557, 7042]
U_6	[7042, 7528]
U_7	[7528, 7892]
U_8	[7892, 8257]
U_9	[8257, 8621]
U_{10}	[8621, 8985]
U_{11}	[8985, 9276]
U_{12}	[9276, 9568]
U_{13}	[9568, 9859]
U_{14}	[9859, 10151]
U_{15}	[10151, 10442]
U_{16}	[10442, 11171]
U_{17}	[11171, 11900]

Addım 4. Cədvəl 2-də verilən qeyri-səlis çoxluqlar universal çoxluqda təyin olunan linqvistik dəyişənin linqvistik termlərini xarakterizə edir. Sonra addım mənsubiyyət funksiyasından istifadə olunmaqla xronoloji verilənlərin fəzififikasiyası aparılır. Bu əməliyyatın aparılmasında məqsəd crisp verilənlər əsasında alınan qeyri-səlis çoxluqlar ilə təsvir olunan qeyri-səlis zaman sıralarını almaqdan ibarətdir.

Addım 5. Fəzififikasiya olunmuş verilənlər əsasında qeyri-səlis məntiqi münasibət aşağıdakı kimi qurulur: “ $A_p, A_q, A_r \rightarrow A_s$ ”. Bu qeyri-səlis münasibətin mənası aşağıdakı kimi ifadə olunur: “Əgər p, q və r illəri üçün fəzififikasiya olunmuş verilənlər müvafiq surətdə A_p, A_q və A_r olarsa, onda s ili üçün verilən A_s olacaqdır”. Proqnozlaşdırma prosesində proqnoz qiymətlərin qeyri-səlis məntiqi münasibətlər əsasında hesablanması (2) düsturu əsasında aparılır

$$t_j = \begin{cases} \frac{1+0,5}{\frac{1}{a_1} + \frac{0,5}{a_2}} & \text{if } j=1 \\ \frac{0,5+1+0,5}{\frac{0,5}{a_{j-1}} + \frac{1}{a_j} + \frac{0,5}{a_{j+1}}} & \text{if } 2 \leq j \leq n-2 \\ \frac{0,5+1}{\frac{0,5}{a_{n-1}} + \frac{1}{a_n}} & \text{if } j=n \end{cases} \quad (2)$$

Burada, a_{j-1}, a_j, a_{j+1} müvafiq surətdə A_{j-1}, A_j, A_{j+1} qeyri-səlis intervallarının orta nöqtələridir.

Cədvəl 3

Elektrik enerjisi istehsalı göstəriciləri

İllər	İstehsal olunan elektrik enerjisi (Mvt/saat)	İllər	İstehsal olunan elektrik enerjisi (Mvt/saat)	İllər	İstehsal olunan elektrik enerjisi (Mvt/saat)
1982	1764	1995	8384	2008	9185
1983	3651	1996	9076	2009	6759
1984	4619	1997	8110	2010	5237
1985	6689	1998	10090	2011	6289
1986	7174	1999	10157	2012	8127
1987	8172	2000	10863	2013	7633
1988	9154	2001	11020	2014	7684
1989	9562	2002	10099	2015	7403
1990	10613	2003	10566	2016	6763
1991	11832	2004	10236	2017	8160
1992	9679	2005	10412	2018	7464
1993	8650	2006	11601	2019	7051
1994	8650	2007	9662	2020	5920

Addım 6. Universal çoxluğun 7 intervala bölgüsündən sonra verilənlərin paylanma sıxlığı nəzərə alınmaqla universal çoxluğun yeni bölgüsü əsasında verilənlərin fəzafikasıyası prosesinin nəticələri Cədvəl 4-də verilmişdir.

Cədvəl 4

Elektrik enerjisi istehsalı göstəricilərinin fəzafikasıyası

İllər	Fakt	A _i	İllər	Fakt	A _i	İllər	Fakt	A _i
1982	1764	A ₁	1995	8384	A ₉	2008	9185	A ₁₁
1983	3651	A ₂	1996	9076	A ₁₁	2009	6759	A ₅
1984	4619	A ₃	1997	8110	A ₈	2010	5237	A ₃
1985	6689	A ₅	1998	10090	A ₁₄	2011	6289	A ₄
1986	7174	A ₆	1999	10157	A ₁₅	2012	8127	A ₈
1987	8172	A ₈	2000	10863	A ₁₆	2013	7633	A ₇
1988	9154	A ₁₁	2001	11020	A ₁₆	2014	7684	A ₇
1989	9562	A ₁₂	2002	10099	A ₁₄	2015	7403	A ₆
1990	10613	A ₁₆	2003	10566	A ₁₆	2016	6763	A ₅
1991	11832	A ₁₇	2004	10236	A ₁₅	2017	8160	A ₈
1992	9679	A ₁₃	2005	10412	A ₁₅	2018	7464	A ₆
1993	8650	A ₁₀	2006	11601	A ₁₇	2019	7051	A ₆
1994	8650	A ₁₀	2007	9662	A ₁₃	2020	5920	A ₃

Xronoloji verilənlər əsasında qurulmuş qeyri-səlis münasibətlər istifadə olunmaqla (2) düsturu əsasında aparılan proqnozlaşdırma prosesində alınan proqnoz nəticələr Cədvəl 5-də təsvir edilmişdir.

Məqalədə proqnozlaşdırma prosesinin nəticələrini müqayisəli şəkildə təhlil etmək məqsədilə 2 parametrdən istifadə olunur. Bu parametrlər aşağıdakılardır:

- a) Orta proqnozlaşdırma xətası (Average Forasting Error Rate):

$$AFER = \left(\sum_{i=1}^n (|A_i - F_i| / A_i) \right) / n * 100\% ; \quad (2)$$

- b) Orta kvadratik xəta (Mean Square Error):

$$MSE = \left(\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2 \right) / n, \quad (3)$$

burada A_i – real statistik verilənlər, F_i – proqnoz qiymətləridir.

Cədvəl 5

Elektrik enerjisi istehsalının faktiki və proqnoz (F_i) göstəriciləri

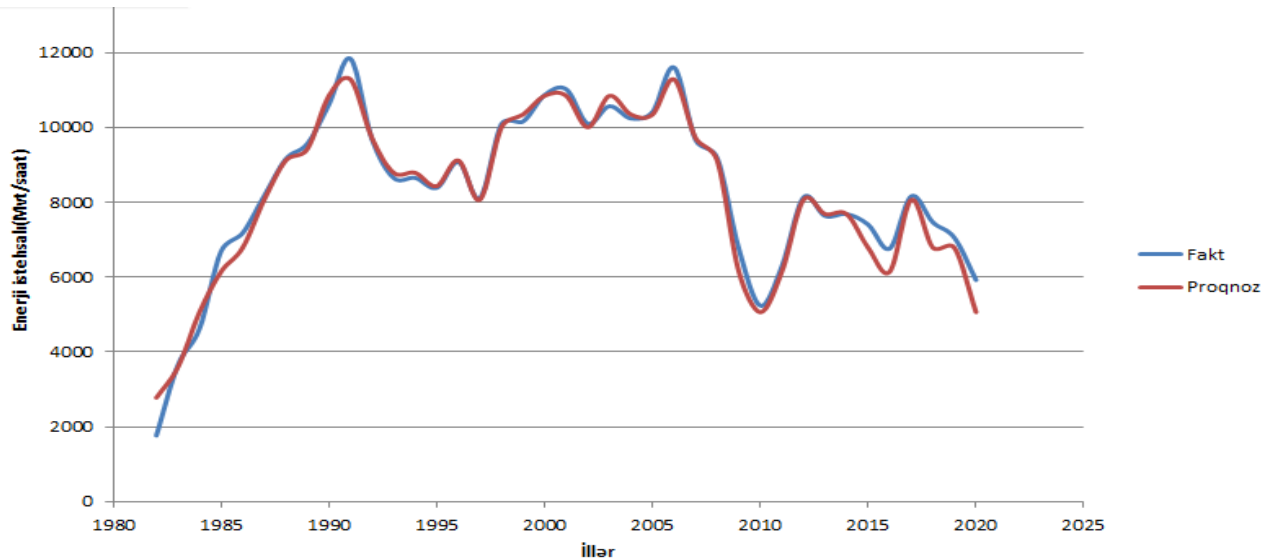
İllər	Fakt	A_i	FLG	F_i	İllər	Fakt	A_i	FLG	F_i
1982	1764	A_1	$A_1 A_2$	2775	2002	10099	A_{14}	$A_{13} A_{14} A_{15}$	10001
1983	3651	A_2	$A_1 A_2 A_3$	3592	2003	10566	A_{16}	$A_{15} A_{16} A_{17}$	10843
1984	4619	A_3	$A_2 A_3 A_4$	5063	2004	10236	A_{15}	$A_{14} A_{15} A_{16}$	10343
1985	6689	A_5	$A_3 A_4 A_5$	6144	2005	10412	A_{15}	$A_{14} A_{15} A_{16}$	10343
1986	7174	A_6	$A_4 A_5 A_6$	6782	2006	11601	A_{17}	$A_{16} A_{17}$	11281
1987	8172	A_8	$A_7 A_8 A_9$	8066	2007	9662	A_{13}	$A_{12} A_{13} A_{14}$	9709
1988	9154	A_{11}	$A_{10} A_{11} A_{12}$	9116	2008	9185	A_{11}	$A_{10} A_{11} A_{12}$	9116
1989	9562	A_{12}	$A_{11} A_{12} A_{13}$	9418	2009	6759	A_5	$A_3 A_4 A_5$	6144
1990	10613	A_{16}	$A_{15} A_{16} A_{17}$	10843	2010	5237	A_3	$A_2 A_3 A_4$	5063
1991	11832	A_{17}	$A_{16} A_{17}$	11281	2011	6289	A_4	$A_3 A_4 A_5$	6144
1992	9679	A_{13}	$A_{12} A_{13} A_{14}$	9709	2012	8127	A_8	$A_7 A_8 A_9$	8066
1993	8650	A_{10}	$A_9 A_{10} A_{11}$	8787	2013	7633	A_7	$A_6 A_7 A_8$	7685
1994	8650	A_{10}	$A_9 A_{10} A_{11}$	8787	2014	7684	A_7	$A_6 A_7 A_8$	7685
1995	8384	A_9	$A_8 A_9 A_{10}$	8431	2015	7403	A_6	$A_4 A_5 A_6$	6782
1996	9076	A_{11}	$A_{10} A_{11} A_{12}$	9116	2016	6763	A_5	$A_3 A_4 A_5$	6144
1997	8110	A_8	$A_7 A_8 A_9$	8066	2017	8160	A_8	$A_7 A_8 A_9$	8066
1998	10090	A_{14}	$A_{13} A_{14} A_{15}$	10001	2018	7464	A_6	$A_4 A_5 A_6$	6782
1999	10157	A_{15}	$A_{14} A_{15} A_{16}$	10343	2019	7051	A_6	$A_4 A_5 A_6$	6782
2000	10863	A_{16}	$A_{15} A_{16} A_{17}$	10843	2020	5920	A_3	$A_2 A_3 A_4$	5063
2001	11020	A_{16}	$A_{15} A_{16} A_{17}$	10843					

Universal çoxluğun 7 intervala bölgüsü üçün orta proqnozlaşdırma xətası (AFER) və orta kvadratik xətanın (MSE) qiymətləri Cədvəl 6-da verilmişdir.

Cədvəl 6

Proqnozlaşdırma xətalari

	N=7
AFER	4,44%
MSE	4878803,8



Şəkl. 1. Elektrik enerjisi istehsalı - interval sayı N=7



Universal çoxluğun 7 intervala bölgüsü üzrə elektrik enerjisi istehsalının faktiki göstəriciləri və proqnoz qiymətlərin qrafik təsviri şəkl.1-də verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, faktiki göstəricilər ilə proqnoz qiymətlər arasındakı orta kvadratik xəta (MSE) əhəmiyyətli dərəcədə kiçikdir və proqnoz qiymətlər bütün universal çoxluqda faktiki göstəriciləri tendensiyaya müvafiq olaraq izləyir. Başqa sözlə desək, təklif olunan proqnozlaşdırma alqoritmi şəkildən görüldüyü kimi faktiki istehsal göstəricilərinə çox yaxın qiymətlər proqnozlaşdırmağa imkan verir. Bu isə orta proqnozlaşdırma xətasının (AFER) qiymətindən də aşkar görünür.

Nəticə

Qeyri-səlis zaman sıraları əsasında elektrik enerjisi istehsalının proqnozlaşdırılması üçün qeyri-səlis münasibətlər qrupu istifadə olunmaqla daha yaxşı proqnoz nəticələri almağa imkan verən yeni metod təklif olunur. Universal çoxluğun $N=7$ sayda intervala bölgüsü zamanı verilənlərin paylanma sıxlığı nəzərə alınaraq təkrar bölgü aparılmış və qeyri-səlis zaman sıraları qurulmuşdur. Təklif olunan proqnozlaşdırma alqoritmi əsasında Visual Basic 6 obyekt-yönlü proqramlaşdırma sistemində proqram layihəsi işlənib hazırlanmış və universal çoxluğun $N=7$ sayda intervala bölgüsü halında elektrik enerjisi istehsalı üzrə orta proqnozlaşdırma xətası (AFER) üçün 4,44 %, orta kvadratik xəta üçün isə 4878803,8 qiymətləri alınmışdır.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat

1. Əhmədov M.Z. Elektrik enerjisi istehsalının qeyri-səlis zaman sıralarının tətbiqi ilə proqnozlaşdırılması // İnformasiya Texnologiyaları Problemləri, 2013, №2, s.53-63
2. Song Q., Chissom B.S. Fuzzy time series and its models // Fuzzy Sets and Systems 54 (1993), pp.269-277
3. Song Q., Chissom B.S. Forecasting enrollments with fuzzy time series part I // Fuzzy Sets and Systems 54 (1993), pp.1-9
4. Song Q., Chissom B.S. Forecasting enrollments with fuzzy time series part II // Fuzzy Sets and Systems 62 (1994), pp.1-8
5. Garg B., Beg M.M.S., Ansari A.Q., Imran B.M. Fuzzy Time Series Prediction Model // Communications in Computer and Information Science, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, ISBN978-3-642-19423-8, Vol. 141 (2011), pp.126-137
6. Garg B., Beg M., Ansari Q. A New Computational Fuzzy Time Series Model to Forecast Number of Outpatient Visits / Proc. 31st Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS 2012), University of California at Berkeley, USA, 2012, August 6-8, pp.1-6
7. Мамедова М. Г., Джабраилова З.Г. Применение нечеткой логики в демографическом прогнозе // Информационные Технологии, 2004, №3, с.45-53

M.Z.Ahmedov

Doctor of Philosophy in Technics

Mingachevir State University

Forecasting electricity production using fuzzy time series based on frequency density

Abstract

In this paper a new method for handling the problem of forecasting electricity production based on fuzzy time series is proposed. In the proposed method for the formation of fuzzy sets, the division of the universal set into 7 interval is used and for calculation forecasting results used fuzzy logical relation groups. On the basis of suggested method the forecasting results are given, and the effectiveness of the application of this method is substantiated.

Keywords: *uzzy relation groups, fuzzy time series, fuzzy sets*



M.З.Ахмедов

доктор философии по технике
Мингячевирский государственный университет

**Прогнозирование производства электрической энергии нечеткими временными рядами с
использованием плотности данных**

Резюме

В статье предлагается новый метод для решения проблемы прогнозирования производства электрической энергии на основе нечетких временных рядов. В предложенном методе для формирования нечетких множеств используется разделения универсального множества на 7 интервалов и для получения прогнозируемых значений используется группы нечетких логических отношений. На основе предложенного метода даны прогнозные результаты, обоснована эффективность применения данного метода.

Ключевые слова: *группы нечетких логических отношений, нечеткие временные ряды, нечеткие множества*

Daxil olub: 11.10.2021