

Paweł Piotrowski

Instytut Elektroenergetyki PW

PROGNOZOWANIE W ELEKTROENERGETYCE W RÓŻNYCH HORYZONTACH CZASOWYCH

Rękopis dostarczono 11.02.2013 r.

W rozprawie przedstawiono wybrane zagadnienia prognozowania energii elektrycznej oraz mocy, a w szczególności omówiono prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną i moc w spółkach dystrybucyjnych oraz prognozowanie produkcji energii w farmach wiatrowych w różnych horyzontach czasowych. Zaprezentowany został spójny system pojęć dotyczący klasyfikacji metod prognostycznych, metod oceny jakości modeli prognostycznych oraz metod oceny jakości prognoz. Podano syntetyczne zestawienie zagadnień z zakresu metodyki prognozowania (ogólna klasyfikacja metod prognostycznych, dobór danych do modeli prognostycznych, statystyczne metody weryfikacji jakości modeli prognostycznych oraz metody oceny jakości prognoz) i zastosowań prognoz w elektroenergetyce w zakresie predykcji ultrakrótko-, krótko-, średnio- i długoterminowych. Zaprezentowano zwięzłą charakterystykę innych niż moc i energia celów prognozowania na potrzeby elektroenergetyki (ceny energii elektrycznej, straty energii i mocy oraz wskaźniki niezawodności).

Przedstawiono oryginalną metodę „stat-fusion” prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną o horyzoncie 15 minut na potrzeby sterowania w sieciach niskich napięć ze źródłami generacji rozproszonej wraz z weryfikacją jakości prognoz, analizą wyników oraz wnioskami.

Zaprezentowano autorską metodę szacowania jakości prognoz godzinowego zapotrzebowania na energię elektryczną wybranych grup odbiorców dla różnych horyzontów czasowych na podstawie analizy danych statystycznych. Przedstawiono wykonaną wszechstronną analizę statystyczną danych, badania mające na celu wybór najlepszej metody optymalizacyjnej służącej do doboru optymalnych współczynników opracowanej metody szacowania jakości prognoz, porównanie zaproponowanej metody z innymi metodami, analizę wyników oraz sformułowano wnioski.

Przedstawiono obszerną analizę statystyczną danych energetycznych oraz pozaenergetycznych do prognoz sumarycznej dobowej produkcji energii przez farmę wiatrową z horyzontem 1 doby, prowadzącą do selekcji najbardziej istotnych z punktu widzenia prognozowania cech procesu. Zaprezentowano przeprowadzone wszechstronne eksperymenty numeryczne testujące wybrane metody prognostyczne i ustalające odpowiednie parametry metod w zadaniu prognozowania produkcji energii (w tym w szczególności metody wykorzystujące sieci neuronowe z różnymi algorytmami uczenia), porównanie testowanych metod oraz sformułowano wnioski.

Zaprezentowano, twórczą analizę statystyczną danych energetycznych oraz pozaenergetycznych do prognoz sumarycznego miesięcznego zapotrzebowania na energię oraz moc w spółce dystrybu-

cyjnej z horyzontem od 1 do 12 miesięcy. Opisano przeprowadzone wszechstronne badania testujące wybrane metody prognostyczne mające na celu: wybór odpowiednich struktur oraz parametrów sieci neuronowych typu MLP wspomaganych algorytmami genetycznymi jako zaproponowanej metody bazowej, wybór postaci wektorów wejściowych najlepiej realizujących zadanie prognozowania, wybór odpowiednich parametrów innych testowanych metod oraz weryfikację skuteczności testowanych metod na danych pochodzących z innej spółki dystrybucyjnej. Przedstawiono ponadto analizę wyników oraz sformułowano wnioski.

Przedstawiono wykonaną wszechstronną analizę mającą na celu weryfikację jakości nowej, zmodyfikowanej metody Holta w zadaniu prognozowania długoterminowego rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną w spółce dystrybucyjnej (horyzont do 4 lat). Opisano porównanie metody z klasyczną metodą Holta oraz metodą naiwną. Zaprezentowano wyniki eksperymentów numerycznych (ponad 1000) mających na celu ustalenie wpływu wartości parametru γ na jakość prognoz dla różnych horyzontów prognoz oraz ustalenie związku między liczbą danych historycznych a jakością prognoz. Przedstawiono również analizę wyników oraz sformułowano wnioski.

Zaprezentowano wykonaną obszerną analizę statystyczną danych energetycznych oraz pozaenergetycznych do prognoz wieloletniego rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną w spółkach dystrybucyjnych (horyzont do 10 lat). Opisano przeprowadzone obszerne badania testujące wybrane metody prognostyczne (w porównaniu do wyników metody bazowej opartej na równaniu logistycznym Prigogine'a wspomaganej algorytmami ewolucyjnymi) mające na celu określenie najskuteczniejszych metod. Ustalono właściwe parametry testowanych metod oraz zweryfikowano skuteczność testowanych metod na danych pochodzących z innej spółki dystrybucyjnej. Zaprezentowano obszerną analizę wyników oraz sformułowano wnioski. Ze względu na przyjęty układ treści pracy, weryfikacje statystyczne (postulaty sformułowane w teorii ekonometrii) przedstawiono dla wybranych modeli prognostycznych.

Spis cytowanych publikacji stanowi pewne minimum pozycji współczesnych i klasyki gatunku (liczba publikacji z zakresu prognozowania w elektroenergetyce jest bardzo obszerna) i z zamierzenia spis ten nie jest kompletny. Obszerniej zostały przedstawione wybrane publikacje krajowe.

Wszystkie badania opisane w rozprawie (z wyjątkiem kilku prognoz długoterminowych wykonanych przez M. Parola metodą Prigogine'a), tabele oraz rysunki ilustrujące przeprowadzone badania zostały wykonane przez autora rozprawy. Natomiast autorem zmodyfikowanej metody Holta, której szczegółową analizę przeprowadził autor rozprawy, jest B. Beliczyński.

Słowa kluczowe: elektroenergetyka, prognozowanie, zapotrzebowanie na energię elektryczną i moc, farma wiatrowa, produkcja energii elektrycznej, sztuczna inteligencja, rynek energii

FORECASTING IN POWER ENGINEERING IN DIFFERENT TIME HORIZONS

Summary

This dissertation presents chosen aspects of electric energy and power forecasting, particularly of electrical energy consumption and peak power in energy distribution companies and energy production in a wind farm in different time horizons. It includes a description of a coherent system of terms regarding classification of forecasts method, rating methods of forecasts models quality and rating methods of forecasts quality. Problems connected with forecasting methods and forecasts applications in power engineering in VSTLF, STLF, MTLF and LTLF are described, along with a presentation of compact characteristics of forecasting aims in power engineering other than electric energy and power.

Original "stat_fusion" forecasting method of electrical energy consumption with 15-minute time horizon for proper microgrid operation is presented, followed by revision of forecasts quality, result analysis and final conclusions.

The worked out original method of estimating hourly demand electric energy forecasts quality for chosen consumers groups is described. The method allows to estimate the error level for various horizons of forecasts (1, 2, 7, 14 and 21 days ahead) based on analysis of consumers statistical data. An extensive statistical data analysis was performed, as well as research in order to select the best optimization method for optimal choice of coefficients of the worked out method. Comparison of the proposed method to other methods, results analysis and final conclusions are described.

An extensive statistical analysis of power engineering and outside power engineering data for one-day-ahead forecasts of twenty-four-hour electric energy production in a wind farm for selection of the most essential forecasting process features is presented, followed by a description of extensive numeric experiments testing chosen forecasting methods (especially artificial neural networks using different learning algorithms), comparison of the tested forecasting methods and final conclusions.

An extensive statistical analysis of power engineering and outside power engineering data for forecasting of monthly demand on total monthly electric energy and peak power in an energy distribution company for various horizons of forecasts (from 1 to 12 months ahead) for selection of the most essential forecasting process features is presented, followed by a description of extensive research testing forecasting methods for choice of the optimal MLP type of neural network aided by genetic algorithms structure and parameters, selection of the best input vector form in the forecasting task, selection of optimal parameters of other tested forecasting methods and verifying of effectiveness of the tested forecasting methods based on data from another energy distribution company. Moreover, results analysis and final conclusions are included.

An extensive analysis for verifying the new forecasting method, a modified Holt model for long-term forecasting of annual electrical energy demand in an energy distribution company (up to 4 years' time horizon), was carried out. A comparison of the modified Holt model to the standard Holt model and naive method is described, along with results of a large number of numeric experiments (more than 1000) to determine the influence of γ parameter values for forecasts quality for different time horizons and fixing the connection between the number of historical data and forecasts quality. Moreover, results analysis and final conclusions are provided.

An extensive statistical analysis of power engineering and outside power engineering data for long-term forecasting of annual electrical energy demand in energy distribution companies (up to 10 years' time horizon) for selection of the most essential forecasting process features is presented, followed by a description of broad research into testing selected forecasting methods (in comparison

to the results of the lead method – based on Prigogine logistic equation aided by evolutionary algorithms) to set preferred methods (optimal parameters of the tested methods were fixed, efficiency of the methods was verified on data from another energy distribution company). A comparative analysis of forecasts results obtained by means of different prediction methods was carried out. Conclusions and remarks concerning long-term forecasts of annual electrical energy demand made in distribution companies have been formulated.

Keywords: power engineering, forecasting, electrical energy and power demand, wind farm, electrical energy production, artificial intelligence, energy market