

АНОТАЦІЯ

Доморошин С. В. Удосконалення методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, 2021 р.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню питань стосовно удосконалення існуючої системи розподілення фінансових активів на планово-попереджувальні ремонти відповідального обладнання розподільчих пристроїв високої напруги електроенергетичних підприємств.

Для досягнення цієї мети було поставлено задачі:

- визначити номенклатуру основного електрообладнання, від якого залежить функціонування розподільчих пристроїв високої напруги (РПВН);
- визначити основні параметри, які впливають на технічний стан (ТС) певного електрообладнання РПВН;
- удосконалити математичні моделі визначення ТС відповідального електрообладнання РПВН;
- розробити модель прогнозування залишкового ресурсу електрообладнання РПВН;
- розробити модель визначення ризиків порушення роботи РПВН;
- експериментально підтвердити ефективність розроблених моделей і методу для прогнозування ризиків порушення роботи РПВН.

Об'єкт дослідження – експлуатація розподільчих пристроїв високої напруги об'єднаної електроенергетичної системи України.

Предмет дослідження – методи і моделі для прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги.

Методи дослідження. Вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань досягнуто на базі теоретичних основ проектування апаратів високої

напруги, теорії ймовірності, теорії надійності, положень теорії нечіткої логіки, методу експертних систем, методу ймовірнісно-статистичного моделювання. Всі розрахунки в роботі виконано з використанням програмного продукту MATLAB Fuzzy Logic (License Number: 271828) та MATLAB CoderTM для інтегрування в систему безперервного контролю (СБК), а також оригінальним програмним забезпеченням СБК ТОВ «Енергоавтоматизація».

В роботі отримано такі наукові результати.

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу прогнозування ризиків порушення роботи РПВН, яка ґрунтується на даних СБК щодо поточного технічного стану відповідального електрообладнання.

Проведено аналіз існуючих методів прогнозу ризиків порушення роботи електроустановок електроенергетичних систем. Виявлено ряд недоліків щодо акцентів під час керування ризиками (економічні, екологічні, безпекові та ін.), пріоритетності досліджуваного обладнання, підходів у випадку визначення ймовірнісної складової ризику.

Визначено номенклатуру відповідального електрообладнання, яке забезпечує нормальну роботу РПВН. Встановлено чинники впливу на функціонування відповідального електрообладнання, за якими можливе прогнозування ризиків відмов елементів РПВН.

Розроблено узагальнену нечітку математичну модель оцінки ТС відповідального електрообладнання РПВН, в якій інтегровано основні діагностичні чинники впливу на залишковий ресурс електрообладнання. Узагальнену нечітку математичну модель інтегровано в СБК завдяки уніфікації основних контрольованих параметрів.

Розроблено нечіткі математичні моделі оцінення ТС таких елементів розподільчих пристроїв: апарата захисту від перенапруг, елегазового вимикача, трансформатора струму, роз'єднувача.

Проведено експериментально-модельні дослідження з використанням розроблених нечітких математичних моделей. За даними СБК щодо ТС визначено ймовірність відмови відповідального обладнання РПВН ЕЕС.

Запропоновано і реалізовано удосконалений експертно-статистичний метод прогнозування залишкового ресурсу електрообладнання в режимі «on-line», обґрунтовано поєднання ймовірнісно-статистичного та евристичного методів прогнозування.

Запропоновано і реалізовано метод модифікації статистичної функції розподілу ймовірності відмови електрообладнання РПВН за даними поточного контролю ТС засобами СБК.

Розроблено і реалізовано ймовірнісно-топологічний метод визначення порушення роботи РПВН. На основі розробленого методу проведено розрахунки щодо управління ризиками експлуатації відповідального електрообладнання РПВН об'єкта ЕЕС.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі електричних та електронних апаратів Національного університету «Запорізька політехніка» і на базі підприємства ТОВ «Енергоавтоматизація». Результати дисертації впроваджено в рамках дослідної експлуатації в процесі виробництві СБК (моніторингу) обладнання розподільчих пристроїв для ПС «Нура» (Республіка Казахстан).

Ключові слова: розподільчий пристрій, ризик, залишковий ресурс, технічний стан, нечітка модель, топологічний вплив, експертні системи.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Доморошин С. В. Визначення спрацьованого ресурсу елегазового вимикача типу HGF 100/2 В,С GEC ALSTOM за нечіткою моделлю / С. В. Доморошин, П. В. Махлін // Електротехніка та електроенергетика. – 2016. – № 2. – С. 72–81.

2. Доморошин С. В. Оцінювання ймовірності відмови елегазових вимикачів «ГЕС ALSTOM» на інтервалі часу / С. В. Доморошин, В. В. Літвінов // Гідроенергетика України. – 2018. – № 1–2. – С. 39–44.
3. Доморошин С. В. Нечітке моделювання ймовірності відмови апаратів захисту від перенапруг / С. В. Доморошин, О. А. Сахно // Електротехніка та електроенергетика. – 2018. – № 3. – С. 39–51.
4. Sakhno A. A. Improvement of the nonequilibrium-compensation method for state diagnostics of high-voltage apparatus with condenser insulation / A. A. Sakhno, L. S. Skrupskaya, S. V. Domoroshchyn // Electrical engineering and power engineering. – 2019. – № 4. – P. 56–64.
5. S. Domoroshchyn. Estimating the failure probability of an instrument transformer cell in the high voltage distributing device using an expert-statistical method / S. Domoroshchyn, O. Sakhno // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – № 4/2. – P. 70-81.
6. Доморошин С. В. Метод ризик-аналізу порушення функціонування розподільчих пристроїв високої напруги / С. В. Доморошин, О. А. Сахно // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2020. – № 3 (51). – С. 41-52.
7. A. Sakhno. Comparative analysis of methods for residual life of current transformers prediction / A. Sakhno, S. Domoroshchin. L. Skrupskaya // Innovative engineering, technology and industry. International scientific conference. Seattle, Washington, USA. Global science and education in the modern realities. August 26-27. – 2020. – P. 7–10.
8. A. Sakhno. Generalized mathematical model for determining technical condition of responsible electrical equipment of high-voltage switchgear / A. Sakhno, S. Domoroshchin // Innovative engineering, technology and industry. International scientific conference. Svishtov, Bulgaria. Search for scientific answers to the challenges of our time'2020. December 28-29. – 2020. – P. 5–8.
9. A. Sakhno. Probabilistic-topological method for determining risk of disruption of high-voltage switchgear / A. Sakhno, S. Domoroshchin // Innovative

engineering, technology and industry. International scientific conference. Karlsruhe, Germany. The current stage of development of scientific and technological progress'2021. No 15 on February 9. – 2021. – P. 5–7.

ABSTRACT

Domoroshchyn S. V. Improved methods for predicting the risk of high voltage switchgear disruption. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of Ph.D in specialty 141 “Electric Power, Electrical and Electromechanics” – National University “Zaporizhzhya Polytechnic”, Zaporizhzhya, 2021.

The dissertation work is devoted to the solution of issues on the improvement of the existing system of distribution of financial assets for planned preventive repairs of responsible equipment of high-voltage switchgears of electric power enterprises.

To achieve this goal, the following objectives were set:

- determine the nomenclature of the main electrical equipment on which the operation of high voltage switchgear (HVS) depends;
- determine the main parameters that affect the technical condition (TC) of certain electrical equipment of the HVS;
- improve mathematical models for determining the TC of responsible electrical equipment of the HVS;
- develop the model of forecasting the residual life of HVS electrical equipment;
- develop a model for determining the risks of disruption of the HVS;
- to experimentally confirm the effectiveness of the models developed and the method for predicting the risks of malfunctioning the HVS.

The object of the study is the operation of high voltage switchgears of the EPS.

The subject of the study is methods and models for predicting the risks of disruption of high-voltage switchgears.

Research methods. The solution of the problems set in the dissertation work was achieved on the basis of the theoretical foundations of designing high-

voltage devices, probability theory, reliability theory, the positions of the theory of fuzzy logic, the method of expert systems, and the method of probability-statistical modeling. All calculations in the work were made using the MATLAB Fuzzy Logic software product (License Number: 271828) and MATLAB Coder™ for integration into the continuous monitoring systems (CMS), as well as the original software of the enterprise "Energy Automation."

The following scientific results are obtained in the work.

The dissertation work solved the scientific and practical problem of predicting the risks of malfunction of the HVS, which is based on data from CMS regarding the current technical state of responsible electrical equipment.

Analysis of existing methods of forecasting the risks of disruption of electrical installations of electric power systems was carried out. A number of deficiencies were identified regarding the emphasis in risk management (economic, environmental, without pitch, etc.), the priority of the equipment under investigation, approaches in determining the probabilistic component of the risk.

The nomenclature of responsible electrical equipment has been determined, which ensures normal operation of the HVS. Factors of influence on the functioning of responsible electrical equipment have been established, according to which it is possible to predict the risks of failures of HVS elements.

A generalized fuzzy mathematical model of TC evaluation of responsible electrical equipment of HVS has been developed, in which the main diagnostic factors of impact on residual life of electrical equipment are integrated. The generalized fuzzy mathematical model is integrated into the CMS due to the unification of the main controlled parameters.

Fuzzy mathematical models have been developed for evaluating the TC of the following components of switchgear: overvoltage protection device, gas-insulated switch, current transformer, disconnecter.

Experimental model studies were carried out using developed fuzzy mathematical models. According to CMS data as per TC, the probability of failure of the responsible EPS HVS equipment is determined.

An improved expert-statistical method of predicting the residual life of electrical equipment in the "on-line" mode is proposed and implemented, a combination of probabilistic-statistical and heuristic prediction methods is justified.

Method of modification of statistical function of distribution of probability of failure of electrical equipment of HVS is proposed and implemented based on data of vehicle monitoring by means of CMS.

A probabilistic-topological method for determining a malfunction of the HVS has been developed and implemented. On the basis of the developed method, calculations were made to manage the risk of operation of the responsible electrical equipment of the EPS facility.

Dissertation work was carried out at the Department of Electrical and Electronic Devices of the National University "Zaporizhzhya Polytechnic" and on the basis of the enterprise "Energy Automation." The results of the dissertation were introduced, as part of pilot operation, in the production of SBC (monitoring) equipment of switchgears for PS "Nura" (Republic of Kazakhstan).

Keywords: switchgear, risk, residual resource, technical condition, fuzzy model, topological influence, expert systems.

LIST OF PUBLICATION OF THE APPLICANT

1. Domoroshchyn S. V. Vyznachennia spratsovanoho resursu elehazovoho vymykacha typu HGF 100/2 B,C GEC ALSTOM za nechitkoiu modelliu / S. V. Domoroshchyn, P. V. Makhlin // Elektrotekhnika ta elektroenerhetyka. – 2016. – № 2. – S. 72-81.

2. Domoroshchyn S. V. Otsiniuvannia ymovirnosti vidmovy elehazovykh vymykachiv «GEC ALSTOM» na intervali chasu / S. V. Domoroshchyn, V. V. Litvinov // Hidroenerhetyka Ukrainy. – 2018. – № 1-2. – S. 39-44.

3. Domoroshchyn S. V. Nechitke modeliuвання ymovirnosti vidmovy aparativ zakhystu vid perenapruh / S. V. Domoroshchyn, O. A. Sakhno // Elektrotehnika ta elektroenerhetyka. – 2018. – № 3. – S. 39–51.
4. Sakhno A. A. Improvement of the nonequilibrium-compensation method for state diagnostics of high-voltage apparatus with condenser insulation / A. A. Sakhno, L. S. Skrupskaya, S. V. Domoroshchyn // Electrical engineering and power engineering. – 2019. – № 4. – P. 56-64.
5. S. Domoroshchyn. Estimating the failure probability of an instrument transformer cell in the high voltage distributing device using an expert-statistical method / S. Domoroshchyn, O. Sakhno // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – № 4/2. – P. 70-81.
6. Domoroshchyn S. V. Metod ryzyk-analizu porushennia funktsionuvannia rozpodilchyykh prystroiv vysokoi napruhy / S. V. Domoroshchyn, O. A. Sakhno // Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy. – 2020. – № 3 (51). – S. 41–52.
7. A. Sakhno. Comparative analysis of methods for residual life of current transformers prediction / A. Sakhno, S. Domoroshchin. L. Skrupskaya // Innovative engineering, technology and industry. International scientific conference. Seattle, Washington, USA. Global science and education in the modern realities. August 26-27. – 2020. – P. 7–10.
8. A. Sakhno. Generalized mathematical model for determining technical condition of responsible electrical equipment of high-voltage switchgear / A. Sakhno, S. Domoroshchin // Innovative engineering, technology and industry. International scientific conference. Svishtov, Bulgaria. Search for scientific answers to the challenges of our time'2020. December 28-29. – 2020. – P. 5–8.
9. A. Sakhno. Probabilistic-topological method for determining risk of disruption of high-voltage switchgear / A. Sakhno, S. Domoroshchin // Innovative engineering, technology and industry. International scientific conference. Karlsruhe, Germany. The current stage of development of scientific and technological progress'2021. No 15 on February 9. – 2021. – P. 5–7.