

Розробка математичного забезпечення для аналізу ризику експлуатації підсистем ЕЕС з атомними електростанціями

Разработка математического обеспечения для анализа риска эксплуатации подсистем ЕЕС с атомными электростанциями

Development of software for risk operating analysis of electric power subsystems with nuclear power plants

- 1. Номер державної реєстрації теми – 0113U004004, НТУУ «КПІ»-2635-п.**
- 2. Науковий керівник – д.т.н., проф.. Костерев М.В., Костерев Н.В., Kosterev Nicolay V.**
- 3. Суть розробки, основні результати.**

(укр.)

Проведено аналіз умов функціонування АЕС з системами власних потреб в сучасних ЕЕС України. Визначено множину найбільш імовірних подій (інцидентів), котрі викликають аварійні ситуації в ЕЕС з АЕС і сформована структура ризиків порушення електричного зв'язку АЕС і ТЕС з енергосистемою та знеструмлення системи власних потреб електростанцій в умовах екстремальних зовнішніх впливів. Запропонована методологія комплексного моделювання технічного стану і режимів ЕЕС з АЕС для оцінки ризику виникнення аварійних ситуацій, яка, на відміну від існуючих полягає в поєднанні визначення імовірності відмови електрообладнання в умовах нечіткої інформації та зовнішніх збуреннях із статистичним моделюванням режимів підсистем ЕЕС, що дозволяє враховувати випадковість відмов електрообладнання, стохастичний характер режиму, можливий сценарій розвитку аварій та матеріальні і технічні наслідки.

Розроблена математична модель повітряної лінії електропередачі напругою 110-750 кВ для визначення загального спрацьованого ресурсу працездатності та спрощений алгоритм нечіткого логічного висновку, що базуються на використанні нечітких параметрів технічного стану окремих функціональних вузлів ПЛ. Це дає можливість більш достеменно прогнозувати ризик відмови ПЛ на заданому інтервалі часу спостереження під впливом складних метеоумов. Виявлено, що максимальна похибка визначення загального спрацьованого ресурсу ПЛ за алгоритмом нечіткого логічного виводу Мамдані і спрощеним алгоритмом складає 15,5%. Запропоновано метод оцінювання ризику відмови асинхронних двигунів в умовах нечіткої інформації, що дає можливість виконати експрес-оцінку технічного стану та ризик відмови відповідальних двигунів в системі власних потреб електростанцій та в підсистемах ЕЕС з двигуновим навантаженням при аварійних режимах в енергосистемі.

Розроблені математичні моделі відмов силового і комутаційного обладнання енергосистем та власних потреб АЕС і ТЕС, що ґрунтуються на використанні генеральної сукупності подій щодо відмов обладнання даного типу та виконана ідентифікація їх параметрів та адаптація до реальних умов функціонування.

Запропоновано метод побудови нечітких моделей відмови конкретних одиниць обладнання і ПЛ при обмежених репрезентативних статистичних даних по відмовам. На базі запропонованого методу розроблені нечіткі моделі оцінки імовірності відмов окремих елементів підсистем ЕЕС з АЕС і системи електропостачання власних потреб станції.

Розроблено математичні моделі для оцінки надійності схем електропостачання власних потреб АЕС від зовнішніх незалежних джерел живлення при нечітко заданих параметрах відмов електрообладнання, що дає можливість оцінки ризик відмови окремих схем електропостачання та виконувати ранжування їх за надійністю.

Запропоновано метод визначення оптимального засобу зниження ризику виникнення аварійної ситуації в підсистемі ЕЕС і системі ВП електростанції, який дозволяє обирати найефективніший засіб з множини можливих в умовах великої кількості оптимізаційних критеріїв. Проведено імовірнісно-статистичне моделювання тестової схеми ЕЕС показало ефективність застосованих методів, підходів та алгоритмів для здійснення ризик-

превентивного управління підсистем ЕЕС з АЕС в умовах неповноти вихідної інформації та стохастичності режиму ЕЕС.

На основі розробленого математичного забезпечення створені програмні комплекси “RISK-EES” та “RISK POWER PLANT”, які дозволяють визначати кількісні показники ризику виникнення аварійних ситуацій в ЕЕС з АЕС та знеструмлення системи ВП АЕС при аварійних збуреннях на АЕС і в ЕЕС, що дасть можливість приймати превентивні економічні і технічні рішення по підвищенню надійності енергосистем та безпеки експлуатації АЕС.

(рос.)

Проведен анализ условий функционирования АЭС с системами собственных нужд в современных ЭЭС Украины. Определено множество наиболее вероятных событий (инцидентов), которые вызывают аварийные ситуации в ЭЭС с АЭС и сформирована структура рисков нарушения электрической связи АЭС и ТЭС с энергосистемой и обесточивание системы собственных нужд электростанций в условиях экстремальных внешних воздействий. Предложенная методология комплексного моделирования технического состояния и режимов ЭЭС с АЭС для оценки риска возникновения аварийных ситуаций, которая, в отличие от существующих, состоит в сочетании определения вероятности отказа электрооборудования в условиях нечеткой информации и внешних возмущениях со статистическим моделированием режимов подсистем ЕЕС, позволяющий учитывать случайность отказов электрооборудования, стохастический характер режима, возможный сценарий развития аварий, материальные и технические последствия.

Разработана математическая модель ВЛ напряжением 110-750 кВ для определения общего отработанного ресурса работоспособности и упрощенный алгоритм нечеткого логического вывода, основанные на использовании нечетких параметров технического состояния отдельных функциональных узлов ВЛ. Это дает возможность более точно прогнозировать риск отказа ВЛ на заданном интервале времени наблюдения под влиянием сложных метеоусловий. Выявлено, что максимальная погрешность определения общего отработанного ресурса ВЛ по алгоритму нечеткого логического вывода Мамдани и упрощенным алгоритмом составляет 15,5%. Предложен метод оценки риска отказа асинхронных двигателей в условиях нечеткой информации, что дает возможность выполнить экспресс-оценку технического состояния и риск отказа ответственных двигателей в системе собственных нужд электростанции и в подсистемах ЭЭС с двигательных нагрузкой при аварийных режимах в энергосистеме.

Разработанные математические модели отказов силового и коммутационного оборудования энергосистем и собственных нужд АЭС и ТЭС, основанные на использовании генеральной совокупности событий по отказам оборудования данного типа, и выполнена идентификация их параметров, адаптация к реальным условиям функционирования.

Предложен метод построения нечетких моделей отказа конкретных единиц оборудования и ВЛ при ограниченных репрезентативных статистических данных по отказам. На базе предложенного метода разработаны нечеткие модели оценки вероятности отказов отдельных элементов подсистем ЭЭС с АЭС и системы электроснабжения собственных нужд электростанции.

Разработаны математические модели для оценки надежности схем электроснабжения собственных нужд АЭС от внешних независимых источников питания при нечетко заданных параметрах отказов электрооборудования, дает возможность оценки риск отказа отдельных схем электроснабжения и выполнять ранжирование их по надежности.

Предложен метод определения оптимального средства снижения риска возникновения аварийной ситуации в подсистеме ЭЭС и системе СН электростанции, который позволяет выбирать наиболее эффективный способ из множества возможных в условиях большого количества оптимизационных критериев. Проведено вероятностно-статистическое моделирование тестовой схемы ЭЭС показало эффективность применяемых методов, подходов и алгоритмов для осуществления риск-превентивного управления

подсистем ЕЭС с АЭС в условиях неполноты исходной информации и стохастичности режима ЭЭС.

На основе разработанного математического обеспечения созданы программные комплексы "RISK-ЕЭС" и "RISK POWER PLANT", которые позволяют определять количественные показатели риска возникновения аварийных ситуаций в ЕЭС с АЭС и обесточивание системы ОП АЭС при аварийных возмущениях на АЭС и в ЕЭС, что позволит принимать превентивные экономические и технические решения по повышению надежности энергосистем и безопасности эксплуатации АЭС.

(англ.)

The analysis of the conditions of operation of NPP with auxiliary systems in modern EPS of Ukraine was performed. The most probable set of events (incidents) that cause accidents in EPS with NPP was determined. The structure of risks of electrical connection of NPP and TPP with power system and blackout of auxiliary system of power plant under extreme external influences was formed. The methodology of complex modeling of technical condition and operation of EPS with NPP to assess the risk of accidents, which, unlike existing is to combine of evaluating of probability of electrical failure in terms of fuzzy information and external disturbances with statistical modeling modes of subsystems of EPS, that takes into account the randomness of electrical failures, stochastic nature of the operation, the possible scenario of accidents, material and technical implications was proposed.

The mathematical model of the overhead transmission line of 110-750 kV to determine of total crafted resource performance and simplified fuzzy inference algorithm which is based on the use of fuzzy parameters of technical condition of individual functional units of overhead transmission line was developed. This enables more reliably to predict the risk of failure of overhead transmission line on time interval of observation under the influence of hard meteorological conditions. The maximum error of the total crafted resource performance of overhead transmission line by the algorithm Mamdani fuzzy inference and simplified algorithm is 15.5 %. The method for evaluating the risk of failure of induction motors in terms of fuzzy information was proposed. This makes possible to perform the rapid assessment of the technical condition and the risk of failure of critical motors in the auxiliary system of power plant and subsystems EPS with motor load at emergency operation in the power system.

The mathematical models of power and switching equipment failures of EPS and auxiliary systems of NPP and TPP, which are based on the use of the general totality of events on this type of equipment failures were developed. The identification of parameters of this equipment and adaptation to the real operating conditions was performed.

The method of construction of fuzzy models of specific equipment failure and overhead transmission line with using the limited representative statistical data of failures was proposed. The fuzzy models for assessing the probability of failures of individual elements of subsystems EPS with NPP and auxiliary systems of power plant on the basis of the proposed method were developed.

The method of determining the optimal means of reducing the risk of an emergency in the subsystem EPS and auxiliary system of power plant was proposed, which allows to choose the most efficient means of the set of large number possible of optimization criteria. The probabilistic-statistical simulation of test scheme of EPS showed the effectiveness of the applied methods, approaches and algorithms for the implementation of risk preventive management of subsystems of EPS with NPP at incomplete initial information and stochastic operation of EPS.

The software "RISK-ЕЭС" and "RISK POWER PLANT" on the basis of developed mathematical software was constructed, which allow to determine quantitative risk of emergencies in EPS with NPP and blackout of auxiliary system of NPP during emergency disturbances at NPP and EPS. This will make possible to take preventive economic and technical solutions of improving the power system reliability and safety operation of NPP.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню, а комплексний підхід щодо аналізу ризику експлуатації ЕЕС, що містить електростанції різних типів (АЕС, ТЕС, ГЕС) з системами електропостачання власних потреб, який полягає в поєднанні оцінки імовірності відмови електрообладнання в умовах неповноти і невизначеності інформації та зовнішніх збуреннях із статистичним моделюванням режимів ЕЕС, що дозволяє комплексно визначати кількісні показники ризику виникнення аварійних ситуацій в ЕЕС з АЕС і знеструмлення ВП електростанцій при відмовах електрообладнання та ризик відмови схем електропостачання ВП АЕС від незалежних джерел, забезпечує формування превентивних заходів і управлінських рішень щодо мінімізації негативних наслідків.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Застосування розроблених методів, математичних моделей і програмного забезпечення дозволить значно підвищити надійність роботи ЕЕС з АЕС та рівень безпеки функціонування АЕС при втраті власних джерел електропостачання ВП за рахунок:

- підвищення на 16-17% достовірності визначення технічного стану і на основі цього більш обґрунтовано примати рішення щодо стратегії його експлуатації;
- зниження ризику виникнення аварійних ситуацій в підсистемах ЕЕС з АЕС;
- зниження ризику знеструмлення систем електропостачання ВП електростанцій і підприємств-споживачів;
- підвищення надійності схем подачі живлення на шини ВП АЕС від незалежних зовнішніх джерел, що дає можливість забезпечити безпеку функціонування АЕС.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Результати наукових розробок можуть застосовуватись атомних, теплових і гідравлічних електростанціях, в енергогенеруючих та енергопостачальних компаніях, а також на потужних промислових підприємствах з системами електропостачання, в НЕК “Укренерго”, НЕК “Енергоатом”.

8. Стан готовності розробки.

Розроблене математичне і програмне забезпечення аналізу ризику експлуатації підсистем ЕЕС з атомними електростанціями реалізовано в програмних продуктах “RISK - ЕЕС” і “RISK POWER PLANT”. Необхідна подальша інтеграція програм визначення імовірностей відмов електрообладнання, розрахунку ustalених після аварійних і динамічних режимів в ЕЕС при відмовах електрообладнання та програм оцінки і управління ризиком експлуатації ЕЕС з АЕС і систем електропостачання ВП станції до єдиного програмного комплексу.

9. Існуючі результати впровадження.

1. У ТОВ УК «Метрополія». Виконано модельно-експериментальні розрахунки показників ризику виникнення аварійних ситуацій при відмовах електрообладнання. На основі одержаних результатів сформовано рекомендації щодо підвищення функціональної надійності ЕЕС з АЕС.

2. У ТОВ «Центр сприяння впровадженню реформ в енергетиці» з допомогою впровадженого програмного комплексу, створеного на базі розроблених методів і моделей, для підсистем ЕЕС з АЕС, виконана оцінка імовірності відмов електрообладнання, прогнозування терміну вичерпання ресурсу та ранжування його за надійністю. Для АЕС різної потужності проведено розрахунки надійності схем електропостачання власних потреб від незалежних джерел (ТЕС, ГАЕС, ГЕС) при нечітко заданих параметрах відмов електрообладнання.

3. У ВАТ «Київхімволокно». В рамках спільної науково-технічної діяльності проведено ретроспективний аналіз параметрів режиму експлуатації силових

трансформаторів. Проведено комплексні розрахунки для оцінки технічного стану СТ та ризику відмови за наявності дефекту. Сформовані практичні рекомендації щодо терміну виводу в ремонт силового трансформатора.

4. У ВАТ «Київхімволокно». Впроваджено методи і моделі оцінки технічного стану, залишкового ресурсу та ризику відмови вимикачів системи електропостачання заводу. Виконано оцінку рівня відновлення ресурсу вимикачів після ремонту, визначено імовірність їх відмови на найближчий термін експлуатації.

Запропоновано впровадження розроблених комплексів програм оцінки технічного стану силового і комутаційного обладнання і прогнозу ресурсу силового і комутаційного обладнання в «Черкасиобленерго», «Житомиробленерго» і ДП НЕК «Укренерго».

За матеріалами роботи підготовлена докторська дисертація за темою: «Розвиток методів і моделей оцінки технічного стану електрообладнання та ризику виникнення аварійних ситуацій в ЕЕС в умовах невизначеності інформації».

Основні положення роботи використано при вдосконаленні лекційних курсів «Експлуатація і режими роботи електростанцій», «Моделі оцінки технічного стану і режимів електрообладнання електростанцій», та «Експертні системи діагностики електрообладнання та прийняття рішень».

10. Назва організації, телефон, E-mail.

НТУУ «КПІ» факультет електроенерготехніки та автоматики, кафедра електричних станцій, 406-82-33, kafedra_et@fea.kpi.ua.

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки.

1. Костерев М.В., Бардик Є.І., Литвинов В.В. Нечітко-статистичний підхід оцінювання експлуатаційної та режимної надійності об'єктів підсистем електроенергетичної системи // Наукові праці ДНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика». - 2013, №1. – С.122-128.
2. Бардик Є.І., Костерев М.В. Підвищення ефективності управління енергокомпаніями на основі оцінки ризику виникнення аварій при відмовах електрообладнання // Доклади III Міжнародної конференції «Інтелектуальні енергетичні системи - ІЕС(ESS'13)», 2013.
3. Бардик Є.І., Костерев М.В., Болотний М.П. Нечітке моделювання силового трансформатора для оцінки ризику відмови за наявності дефекту // Доклади III Міжнародної конференції «Інтелектуальні енергетичні системи - ІЕС(ESS'13)», 2013
4. Kosterev M.V., Bardyk E.I., Litvinov V.V. Risk Estimation of Induction Motor Fault in Power System //WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS. – 2013, October, Vol. 8. – pp 217 – 226.
5. Костерев М.В., Конкевич К.О. Застосування кластерного аналізу для побудови еквівалентної моделі вузла навантаження ЕЕС // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
6. Костерев М.В., Черний А.В., Дудник А.А. Моделирование узла нагрузки ЭЭС с учетом вероятности отказа электрооборудования // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
7. Костерев М.В., Бичок О.Ю. Оцінка ризику стійкості двигунового навантаження в підсистемі АЕС // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
8. Бардик Є.І. Моделі оцінки надійності електропостачання власних потреб АЕС від незалежних джерел при нечітко заданих параметрах відмов електрообладнання // Доклади III Міжнародної конференції «Інтелектуальні енергетичні системи - ІЕС(ESS'13)», 2013

9. Бардик Є.І. Оцінка ризику відмови високовольтних вимикачів з урахуванням рівня відновлення ресурсу після ремонту // Наукові праці ДНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика». - 2013, №2(15). – С.19-27.
10. Бардик Є.І. Моделювання електроенергетичної системи для оцінки ризику виникнення аварій при відмовах електрообладнання // Наукові праці ДНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика». - 2013, №1(14). – С.9-15.
11. Бардик Є.І. Моделювання парку вітроенергетичних установок для оцінки надійності при зміні погодних умов // Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика XXI століття» - Крим: інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2013
12. Бардик Є.І., Безбереж'єв Ю.В., Одінцов Д.П. Аналіз можливості використання пристроїв FACTS в схемах власних потреб електричних станцій // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
13. Бардик Є.І., Гаєвська Г.М., Турос Г.А. Статистичне моделювання ризику відмов електрообладнання і підсистем електроенергетичних систем // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
14. Бардик Є.І., Гаєвська Г.М., Болотний М.П. Оцінка ризику порушення електропостачання споживачів при відмові окремих елементів енергосистем // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
15. Бардик Є.І., Болотний М.П., Лобок О.В. Моделі електрообладнання енергосистем для визначення нечіткої можливості відмови при розвитку виявленого дефекту // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
16. Бардик Є.І., Приступчук І.О., Мельник С.І. Визначення збитків енергосистем при порушенні електропостачання споживачів // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
17. Бардик Є.І., Вожаков Р.В., Радкевич М.М. Комплексне моделювання комутаційного обладнання енергосистем для оцінки імовірності відмови // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
18. Бардик Є.І., Болотний М.П., Ковдриш М.В. Оцінки ризику експлуатації електроенергетичних об'єктів за наслідками // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
19. Бардик Є.І., Вожаков Р.В., Одінцов Д.М. Оптимальне управління ресурсом комплексу електрообладнання і ланцюгів транзиту електроенергії між вузлами енергосистеми // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики». К: НТУУ «КПІ», 2013
20. Бардик Є.І. Моделі оцінки надійності схем електропостачання власних потреб АЕС від незалежних джерел при нечітко заданих параметрах відмови електрообладнання // Праці ІЕД НАНУ. – 2014, вип.37.
21. Бардик Є.І., Костерев М.В., Болотний М.П. Підвищення надійності функціонування енергокомпаній на основі оцінки ризику виникнення аварійних ситуацій при відмовах електрообладнання // Праці ІЕД НАНУ. – 2014, вип. 39.
22. Бардик Є.І. Моделювання оцінки ризику відмов електрообладнання електроенергетичних систем з урахуванням рівня відновлення ресурсу після ремонту // Науковий вісник НГУ – 2014, № 3.

23. Бардик Є.І., Безбереж`єв Ю.В., Андрійчук В.В. Прогнозування ризику відмови силового кабелю електродвигуна ВП електростанцій // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». – К: НТУУ «КПІ», 2014.
24. Бардик Є.І., Болотний М.П., Ковдриш М.В. Нечітке моделювання силового трансформатора для оцінки ризику пошкодження за наявності залишкової деформації // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». – К: НТУУ «КПІ», 2014.
25. Бардик Є.І., Приступчук І.О., Бондаренко В.І. Математична модель повітряної лінії для визначення загального спрацьованого ресурсу працездатності // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». – К: НТУУ «КПІ», 2014.
26. Бардик Є.І., Болотний М.П., Мельник С.І. Формування функції розподілу імовірності відмов асинхронних двигунів ВП електростанцій при нечітко заданих параметрів // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». – К: НТУУ «КПІ», 2014.
27. Бардик Є.І., Гаєвська А.М., Яскевич Д.В. Ситуаційна модель управління експлуатацією електрообладнання енергосистем // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». – К: НТУУ «КПІ», 2014.
28. Костерев М.В. Бардик Є.І., Літвінов В.В. Визначення Парето-оптимальних рішень при ризик-орієнтованому превентивному управлінні режимами електроенергетичної системи // Гідроенергетика – 2014.
29. Kosterev M.V., Vardyck E.I., Litvinov V.V. Preventive Risk-Management of Power System for Its Reliability Increasing // WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS. – 2014.
30. Костерев М.В., Бурдужан О.Г., Дудник О.О. Визначення чутливості зміни напруги вузла навантаження ЕЕС // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». – К: НТУУ «КПІ», 2014.
31. Костерев М.В., Савищев Б.С., Конкевич К.О. Алгоритм оцінки двигунового навантаження у вузлах ЕЕС // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». – К: НТУУ «КПІ», 2014.
32. Костерев М.В., Вожаков Р.В., Черний А.В. Оценка риска нарушения устойчивости узла нагрузки ЕЭС // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». – К: НТУУ «КПІ», 2014.
33. Вожаков Р.В. Використання часових рядів для прогнозування спрацьовання ресурсу електрообладнання. // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». – К: НТУУ «КПІ», 2014.