

В. І. Борисенко*, В. В. Горанчук

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: vborysenko@ispnpp.kiev.ua

МОДЕЛЬ РЕАКТИВІСНОЇ АВАРІЇ НА РБМК-1000

Проведено дослідження на моделі реактивісної аварії на РБМК-1000, внаслідок якої 26 квітня 1986 р. було зруйновано реактор РБМК-1000 енергоблока № 4 на Чорнобильській АЕС. Модель реактивісної аварії на РБМК-1000 розроблено на основі рівнянь кінетики ядерного реактора з урахуванням зворотних зв'язків за реактивністю реактора. Реактивність змінюється внаслідок як зовнішнього впливу: переміщення органів регулювання; зміни температури теплоносія на вході в реактор, так і внаслідок дії зворотних зв'язків за параметрами активної зони: зміни температури палива, густини теплоносія, концентрації ^{135}Xe . У моделі враховано утворення пари в активній зоні реактора, що відповідає реальній фізиці процесів в РБМК та дає змогу отримати результати моделювання, які найкраще відповідають зареєстрованим даним і наслідкам аварійного процесу.

Дослідження реактивісної аварії на РБМК-1000 проведено для різних комбінацій значень ефективності органів регулювання; коефіцієнтів реактивності за температурою палива і густиною теплоносія; зміни температури теплоносія на вході в реактор; часу спрацювання аварійного захисту, а також рівня потужності реактора перед закриттям стопорних клапанів турбогенератора.

Різні сценарії реактивісної аварії на РБМК-1000 дають змогу виявити найбільш несприятливі комбінації зовнішніх впливів на хід реактивісної аварії, а саме: час початку вибігу головних циркуляційних насосів, час спрацювання аварійного захисту, рівень потужності перед закриттям стопорних клапанів турбогенератора. У більшості сценаріїв реактивісної аварії в першу чергу досягаються критичні значення величини ентальпії палива, за яких починається процес руйнації палива в твелах, руйнація тепловиділяючих збірок і технологічного каналу. Важливими результатами проведених досліджень є: 1 – визначення суттєвого впливу часу спрацювання аварійного захисту після закриття стопорних клапанів турбогенератора на значення максимуму нейтронної потужності, яка досягається під час реактивісної аварії; 2 – визначення впливу рівня потужності реактора перед закриттям стопорних клапанів турбогенератора на перебіг аварії; 3 – руйнація палива може бути досягнута не тільки при надкритичності на миттєвих нейтронах, а також і при надкритичності на нейтронах, що запізнюються.

Ключові слова: уран-графітовий реактор, реактивність, температурний коефіцієнт реактивності, коефіцієнт реактивності за густиною теплоносія, ентальпія палива, «кінцевий ефект», графітовий витиснювач.

V. I. Borysenko*, V. V. Goranchuk

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants,
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*Corresponding author: vborysenko@ispnpp.kiev.ua

MODEL OF REACTIVITY ACCIDENT OF THE RBMK-1000 REACTOR

The reactor model was used to study the accident that destroyed the RBMK-1000 reactor at Unit 4 of the Chernobyl nuclear power plant on 26 April 1986. The model of reactivity accident of the RBMK-1000 reactor is based on equations of nuclear reactor kinetics, taking into account feedback in reactor reactivity. Reactivity changes as a result of both external influences – the movement of control rods, changes in the reactor inlet coolant temperature, – and as a result of feedback by core parameters – changes in fuel temperature, coolant density, and ^{135}Xe concentration. The model takes into account steam generation in the reactor core, which corresponds to the real physics of processes at the RBMK reactor and allows obtaining simulation results that best match the recorded data and the consequences of the accident process.

The study of reactivity accident on RBMK-1000 reactor is carried out for different combinations of values of control rods efficiency; reactivity coefficients by fuel temperature and coolant density; changes in the reactor inlet coolant temperature; the emergency protection time, as well as the reactor power level before closing the turbine generator stop valve.

Different reactivity accident scenarios at RBMK-1000 reactor allow us to determine the most unfavorable combinations of external influences on the course of reactivity accident, namely: start time of main coolant pump rundown, time of activation of emergency protection, power level before the closing of turbine generator stop valves. In most reactivity accident scenarios, first of all, the critical values of fuel enthalpy are reached, at which the process of fuel destruction in the fuel element, destruction of the fuel assembly, and assembly channel start.

Important results of studies are 1 – determination of the fact that the time of activation of emergency protection after the closing of stop valves of turbine generator significantly affects the value of the maximum neutron power that is achieved during a reactivity accident; 2 – determination of the effect of reactor power before the closing of turbine generator stop valves over the course of the accident; 3 – the destruction of fuel can be achieved not only with supercriticality on instantaneous neutrons, but also with supercriticality on delayed neutrons.

Keywords: uranium-graphite reactor, reactivity, temperature coefficient of reactivity, coolant density coefficient of reactivity, fuel enthalpy, end effect, graphite displacer.

REFERENCES

1. [Chornobyl Accident: Supplement to INSAG-1. INSAG-7. Report of the International Advisory Group on Nuclear Safety \(Vienna, IAEA, 1993\) 159 p. \(Rus\)](#)
2. V.I. Borysenko, V.V. Goranchuk. Model of Reactivity Accident of the RBMK-1000 of the Chornobyl NPP 4th Power Unit. [Yaderna Enerhetyka ta Dovkillia \(Nuclear Power and the Environment\) 2\(21\) \(2021\) 39. \(Ukr\)](#)
3. V.I. Borysenko. On the nuclear safety of uranium-graphite reactors. [Problemy Bezpeky Atomnykh Elektrostantsii i Chornobylia \(Problems of Nuclear Power Plants Safety and of Chornobyl\) 26 \(2016\) 15. \(Rus\)](#)
4. J.R. Kipin. *Physical Fundamentals of Nuclear Reactor Kinetics. Rus. transl.* (Moskva: Atomizdat, 1967) 428 p. (Rus)
5. I.A. Kuznetsov. *Emergency and Transient Processes in Fast Reactors* (Moskva: Energoatomizdat, 1967) 171 p. (Rus)
6. V.I. Borysenko, V.V. Goranchuk. Determination of conservative parameters of model of reactor for research of transient of VVER-1000. [Problemy Bezpeky Atomnykh Elektrostantsii i Chornobylia \(Problems of Nuclear Power Plants Safety and of Chornobyl\) 20 \(2013\) 28. \(Rus\)](#)
7. N.V. Karpan. *Chornobyl. Revenge of the Peaceful Atom* (Moskva, 2006) 566 p. (Rus)
8. V.A. Halimonchuk, A.V. Kuchin. Simulation of the Chornobyl accident. [Yaderna ta Radiatsiina Bezpeka \(Nuclear and Radiation Safety\) 3\(51\) \(2011\) 20. \(Rus\)](#)
9. M.A. Abramov et al. *Channel-Type Nuclear Power Reactor RBMK*. Yu.M. Cherkashov (Ed.) (Moskva: State Unitary Enterprise Research and Design Institute of Power Engineering, 2006) 632 p. (Rus)
10. [A.N. Rumyantsev. Chornobyl in 2009. \(Rus\)](#)
11. Information on the Chornobyl accident and its consequences prepared for the IAEA. INSAG-1. *Atomnaya Energiya* 61(5) (1986) 301. (Rus)
12. [V.M. Dmitriev. The causes of the Chornobyl accident are known. \(Rus\)](#)
13. Analysis of NPP System Operation in the Turbine Generator Rundown Mode at Unit 4 of ChNPP (26.04.86) According to Parameter Registration Data and Design Documentation. Report of the Research and Design Institute of Power Engineering, 1995. (Rus)
14. Technological regulations for the operation of Units 3 and 4 of Chornobyl NPP with RBMK-1000 reactors. 1E-C-II. Came into force by Order No. 953 dated 12.15.1983 (Chornobyl, ChNPP, 1983) 98 p. (Rus)

Надійшла/Received 28.01.2022