

УДК 621.311:519.86

РОЗВАНТАЖЕННЯ ТА ОБМЕЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ РЕАКТОРА ВВЕР-1000

Гордієнко Є.Д.

e-mail: yehor.hordiienko@nure.ua

Науковий керівник – д-р тех. наук, проф. Стрельнікова О.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки,

кафедра прикладної математики

м. Харків, Україна

The document outlines the principles of the unloading and power limitation system of VVER-1000 reactor plants. The algorithms for automatically reducing the thermal power of the power unit in the event of the main circulation or turbo-feed pumps being turned off, as well as when the network frequency changes, are considered. The reactor control mechanism is described by moving the control elements to the core to prevent the emergency protection from being triggered. Special attention is paid to the method of calculating the relative thermal power using dimensionless correction factors. Specific numerical parameters for power unit No. 1 of the Zaporizhzhia NPP and formulas for periodic adjustment of neutron power values are given. The material is intended for studying the logic of automated control of the reactor plant in transient and emergency modes.

Відведення теплоти, яка виділяється в реакторі, коли його теплова потужність близька до номінальної, можливе тільки при роботі всіх головних циркуляційних насосів (ГЦН) та турбоживильних насосів (ТЖН), відкритих стопорних клапанів турбіни та підключенні генератора до енергосистеми. Якщо ці умови порушуються, енергоблок може продовжувати роботу лише на зниженому рівні теплової потужності реактора, регламентованому у технологічному регламенті безпечної експлуатації (ТРБЕ), залежно від складу працюючого технічного обладнання.

Розвантаження та обмеження потужності (РОП) контролює цей склад, автоматично визначає допустимий рівень потужності та обмежує можливість його перевищення.

Під час роботи енергоблоку зменшення кількості працюючих ГЦН та (або) ТЖН, зниження частоти електроживлення ГЦН, припинення подачі пари на турбіну (закриття стопорних клапанів), скидання навантаження генератора до рівня власних потреб (відключення від енергосистеми) або до рівня холостого ходу (повне відключення навантаження) повинно супроводжуватися примусовим розвантаженням реактора, якщо його теплова потужність більша за ту, яка може бути допущена за нових умов. Мета розвантаження – уникнути перевищення проектних меж, встановлених для основних технологічних параметрів, що може спричинити спрацювання аварійного захисту та повну зупинку енергоблоку, якщо стан технологічного

обладнання, що залишилося в роботі, здатний після зниження потужності забезпечити нормальну експлуатацію реакторної установки.

У реакторах ВВЕР розвантаження здійснюється опусканням в активну зону груп органів регулювання одного за одним, за визначеною проектом номінальною швидкістю та послідовністю, починаючи з регулюючої. Дія розвантаження триває до тих пір, поки теплова потужність не досягне рівня розвантаження, який встановлюється дещо нижче за той рівень обмеження, що регламентований у ТРБЕ для відповідного стану технологічного обладнання та частоти електроживлення ГЦН.

Оскільки зміна теплової потужності, викликана переміщенням органів регулювання, відбувається зі значним запізненням, РОП у процесі розвантаження контролює нейтронну потужність, яка обчислюється сигналами детекторів нейтронного потоку. Отримані дані періодично коригуються, щоб поточне значення нейтронної потужності $P_{\%}$ збігалось зі значенням теплової потужності $Q_{\%}$, що визначається за результатами вимірювань та розрахунків. З цією метою обчислювальне значення $P_{\%}$ множиться на безрозмірний коефіцієнт поправки k . Безпосередньо після включення або перезапуску функції РОП поправочний коефіцієнт встановлюється рівним одиниці. Якщо $-0,005 \leq k \cdot P_{\%} - Q_{\%} < 0,005$ (умова балансу потужностей), колишнє значення k зберігається; в іншому випадку воно змінюється так, щоб з новим коефіцієнтом поправки значення $k \cdot P_{\%}$ відрізнялося від $Q_{\%}$ не більше ніж на $\pm 0,0025$.

Коригування проводиться із затримкою, яка враховує запізнення зміни теплової потужності по відношенню до нейтронної і вибирається в залежності від причини, що викликала спрацювання РОП, в межах від 0 (негайне коригування) до 100 с. Негайне коригування проводиться за ініціативою оператора, а також автоматично – у тих випадках, коли зміна розрахованого значення відносної теплової потужності обумовлена корекцією поправочних коефіцієнтів алгоритму розрахунку $Q_{\%}$, а не зміною фактичної потужності реактора.

Відносна теплова потужність $Q_{\%}$ [1] визначається за середнім значенням різниці температур теплоносія в робочих петлях першого контуру [2]

$$\Delta T_1 = T_{\text{гар}} - T_{\text{хол}},$$
$$Q_{\%} = A \cdot \Delta T_1 \cdot K_A \cdot K_B \cdot K_C.$$

Коефіцієнт перерахунку A пов'язує значення ΔT_1 (у градусах Цельсія) з тепловою потужністю $Q_{\%}$. Він визначається так, щоб значення ΔT_1 , регламентоване в проекті для номінальної теплової потужності, відповідало б $Q_{\%} = 1$; наприклад, для серійних енергоблоків з реакторами ВВЕР-1000 [3]

$$A = \frac{1}{(T_{\text{гар}} - T_{\text{хол}})_{\text{ном}}} = \frac{1}{322 - 289} = 0,00303^{\circ}\text{C}^{-1}.$$

Безрозмірний поправочний коефіцієнт K_A враховує, що при тому самому значенні ΔT_1 теплова потужність залежить від витрати теплоносія через реактор, зменшуючись при зміні витрати, викликаній відключенням ГЦН. Наприклад, для енергоблока №1 Запорізької АЕС прийнято, що $K_A \leq 0,7667$ при відключенні одного з чотирьох ГЦН, $K_A \leq 0,5235$ при відключенні двох ГЦН у протилежних петлях, $K_A \leq 0,5228$ при відключенні двох ГЦН у суміжних петлях.

Безрозмірний поправочний коефіцієнт K_B враховує зменшення теплової потужності за зміни витрати теплоносія через реактор, викликаній зменшенням частоти живлення ГЦН: $K_B = 0,98$ при частоті нижче 49 Гц, $K_B = 1,00$ при частоті вище 49 Гц.

Безрозмірний поправочний коефіцієнт K_C враховує тривалість роботи реактора (кількість ефективних діб, що минули з початку поточної паливної кампанії реактора) і може змінюватися в діапазоні від 0,4000 до 1,2500. Кількість ефективних діб $t_{\text{еф}}$ можна визначити в залежності від календарної тривалості поточної кампанії (t) [4]

$$t_{\text{еф}} = \frac{1}{24} \int_t Q_{\%}(t) dt.$$

Значення коефіцієнтів A , K_A , K_B задаються, виходячи з характеристик конкретного енергоблока і можуть коригуватися, за необхідності, у процесі експлуатації. Значення K_C встановлюється та оперативно змінюється персоналом енергоблоку.

Якщо порушення нормальних умов експлуатації відбулося при потужності реакторної установки більше 75%, виконанню функції РОМ має передувати прискорений попереджувальний захист (швидке розвантаження блоку до рівня приблизно 40% номінальної потужності), що здійснюється скиданням в активну зону спеціально призначеної для цього групи органів регулювання. Прискорений попереджувальний захист може бути ініційований автоматично або вручну – впливом на ключ, що розташований на блочному щиті керування.

Список використаних джерел:

1. IEC 61513. Nuclear power plants – Instrumentation and control for systems important to safety – General requirements for systems. 2001.
2. IEC 61226. Nuclear power plants – Instrumentation and control for systems important to safety – Classification. 2005.
3. ДСТУ 3956-2000. Технічні засоби вимірювання та керування в промислових процесах. – Ч. 1: Основні поняття. Терміни та визначення.
4. Інструкція з експлуатації пристрою розвантаження та обмеження потужності ректора РОП2. 123456.ТА.УС.ІЕ.20.02.Ж / ОП «Запорізька атомна електростанція». – 2011.