

УДК 621.039

**Анализ динамики 1 контура при максимальной проектной аварии (МПА).**

**Аналіз динаміки 1 контуру при максимально проектованій аварії (МПА).**

**Analysis 1 of circuit dynamics in case of maximum design basis accident (IPA).**

Научный руководитель – кафедра атомных электрических станций; профессор, доктор технических наук – Королёв А. В., магистр – Шевчик А. А.

Науковий керівник - кафедра атомних електричних станцій; професор, доктор технічних наук – Корольов О. В., магістр – Шевчик А. А.

Supervisor - department of nuclear power plant; professor, doctor of technical sciences – Korolyov A. V., master – Shevchik A.A.

**Аннотация.** Анализируется динамика 1 контура при максимальной проектной аварии (МПА).

**Ключевые слова:** компенсатор давления, максимальная проектная авария (МПА). «холодный язык», «жесткий контур», ограничивающая втулка.

**Анотація.** Аналізується динаміка 1 контуру при максимальній проектній аварії (МПА).

**Ключові слова:** компенсатор тиску, максимальна проектна аварія (МПА). "холодний язык", "жорсткий контур", обмежуюча втулка

**Annotation.** Dynamics of 1 circuit in case of maximum design basis accident (IPA) are analyzed.

**Key words:** pressurizer, maximum design basis accident (IPA). "cold tongue," "hard loop", limiting bushing

Система компенсації тиску 1 контуру є системою, важливою для безпеки. Імпульсно-запобіжні клапани системи компенсації тиску відносяться до захисної системи безпеки.

Система компенсації тиску є частиною першого контуру реакторної установки з реактором В-320, працездатність якої є одним з основних умов роботи всієї РУ у всіх проектних режимах. Вода при параметрах 1 контуру володіє відносно великим температурним коефіцієнтом зміни об'єму і низькою стисливістю, що приводить (при замкнутому першому контурі) до недопустимо великих змін тиску при зміні температурного режиму першого контуру (навіть при нормальних перехідних режимах).

Теоретично можливе створення системи регулювання тиску першого контуру за допомогою компенсації температурних змін об'єму теплоносія відповідним підживленням або продуванням першого контуру, проте жорсткі вимоги, що пред'являються до цієї системи регулювання (при зміні середньої температури теплоносія на 1°C компенсуюча зміна об'єму має величину біля 80 літрів, швидкодія САР при цьому повинна перевищувати швидкість температурних змін (десятки градусів Цельсія за час десятки секунд) при реальних перехідних режимах роботи РУ, крім того необхідна підвищена надійність роботи системи регулювання) роблять вживання такої системи економічно неефективною.

Виходячи з вищенаведених причин на РУ з реакторами типа ВВЕР застосовується система компенсації тиску (об'єму) з демферним "елементом" у вигляді парової подушки.

Ду	м	0.35
Ду о.т1	м	0.1
Ду о.т2	м	0.075
Ду о.т3	м	0.05
Vкд	м3	79
Vвкд	м3	40
Wкр	м/с	15
V 1контр	м3	372
T(80-340 °С)	с	18360

Система компенсації тиску виконує наступні завдання безпеки:

- захист устаткування першого контуру від перевищення тиску вище встановленого проектом;
- відведення залишкових тепловиділень від активної зони через імпульсно-запобіжні пристрої компенсатора тиску (ІПУ КТ);
- прийом і конденсація парогазової суміші з системи аварійного паро-газовидалення.
- компенсація об'єму теплоносія при температурних розширеннях 1 контуру;
- плавна компенсація невеликих збільшень тиску 1 контуру;
- створення тиску в 1 контурі в період пуску РУ (реакторна установка);
- зниження тиску в 1 контурі при розхолодженні РУ;
- компенсація тиску 1 контуру в перехідних процесах РУ;
- збір і конденсація протічок через ІПУ КД в режимі нормальної експлуатації;
- прийом і конденсація пари, що скидається при спрацьовуванні ІПУ КД.
- компенсація об'єму теплоносія при температурних розширеннях 1 контура;
- плавна компенсація невеликих обурень тиску 1 контуру;
- створення тиску в 1 контурі в період пуску РУ (реакторна установка);

### **АНАЛІЗ динаміки 1 контуру при максимально проектованій аварії (МПА).**

Розглянемо динаміку 1 контуру при максимально проектованій аварії (МПА)

Початкові дані для розрахунку

Клапан в трубопроводі, що з'єднує КД і гарячу нитку Ду 850 першого контуру не можна ставити, оскільки при його випадковому закритті перший контур ставитися на "жорсткий контур". Подібний випадок стався на американській АЕС Три Майл Айленд в 1978р. Тому в трубопроводі Ду 300, що з'єднує КД і гарячу нитку Ду 850, ставлять органічну витрату вставку, в якій при МПА позникає закінчення вскипаючої рідини і швидкість потоку падає до 15-20 м/с. Розглянемо ймовірність заміни обмежувальної втулки з 100 мм до 50 мм.

Розрахуємо площу КД:

$$S = \pi * r * r = 3.14 * 0.175 * 0.175 = 0.096211 \text{ м}^2$$

Площа перерізів втулки поступово зменшуючи її діаметр:

$$S1 = \pi * r_{o.t1} * r_{o.t1} = 3.14 * 0.05 * 0.05 = 0.007854 \text{ м}^2$$

$$S2 = \pi * r_{o.t2} * r_{o.t2} = 3.14 * 0.375 * 0.375 = 0,004418 \text{ м}^2$$

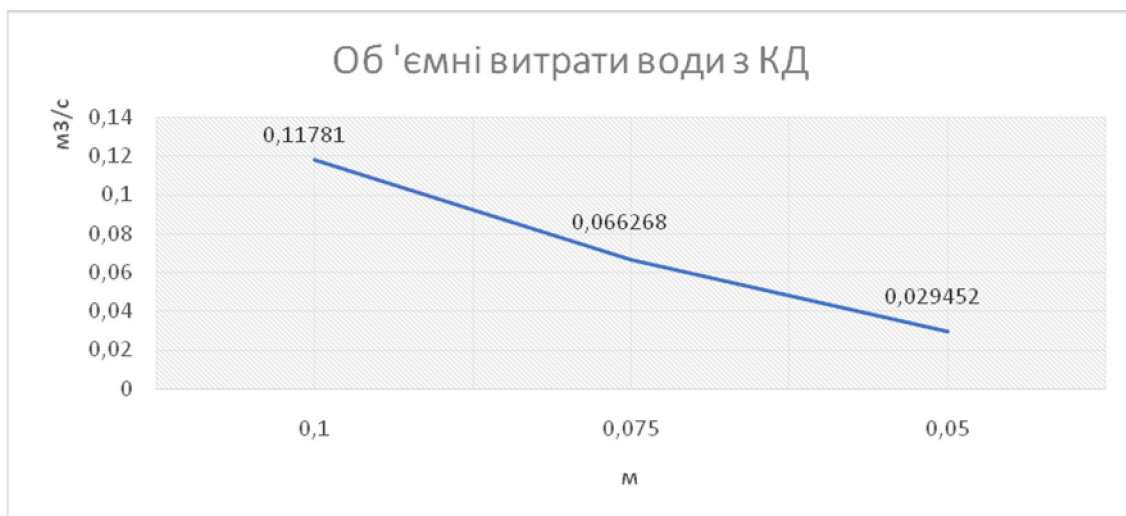
$$S3 = \pi * r_{o.t3} * r_{o.t3} = 3.14 * 0.25 * 0.25 = 0,001963 \text{ м}^2$$

Оцінимо об'ємну витрату води з КД:

$$G1 = S1 * W_{кр} = 0.007854 * 15 = 0,11781 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G2 = S2 * W_{кр} = 0,004418 * 15 = 0,066268 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G3 = S3 * W_{кр} = 0,001963 * 15 = 0,029452 \text{ м}^3/\text{с}$$



Графік 1. Залежність діаметра обмежуючої втулки від об'ємних витрат води з КД

Час за який виключається "холодний язик"

$$T_1 = V_{\text{вкд}} / G_1 = 40 / 0,11781 = 363 \text{ с} = 6 \text{ мин}$$

$$T_2 = V_{\text{вкд}} / G_2 = 40 / 0,066268 = 603 \text{ с} = 10 \text{ мин}$$

$$T_3 = V_{\text{вкд}} / G_3 = 40 / 0,029452 = 1379 \text{ с} = 18 \text{ мин}$$



Графік 2. Залежність діаметра обмежуючої втулки від часу за який виключається «холодний язик»

Розрахунки показали, що зменшення діаметра обмежуючої втулки з 100 до 50 мм показали, що час роботи системи підігріву води для ліквідації "холодної мови" збільшиться в 3 рази до 18 хвилин.

Для перевірки швидкості заповнення КД у нормальному режимі розігріву. Розрахуємо швидкість води у вставці, змінюючи діаметр її зі 100 до 50 мм

Визначимо об'ємне розширення води 1 контуру. Обсяг води з 1 контуру візьмемо з інструкції з експлуатації В320:

$$V_{1\text{контр}} = 372 \text{ м}^3.$$

Визначимо швидкість води в обмежувальній втулці через час розігріву реактора з 80 до 340°C:

$$G = V_{1\text{контр}} / T(80-340^\circ\text{C}) = 372 / 18360 = 0.020 \text{ м}^3/\text{с}$$

Швидкість води в обмежувальній втулці при штатному розігріві реактора

$$W_1 = G \cdot 4 \cdot \sqrt{D_{\text{от1}}^2} \cdot \Pi = 0.020 \cdot 4 / 0.01 \cdot 3.14 = 2.54 \text{ м/с}$$

$$W_2 = G \cdot 4 \cdot \sqrt{D_{\text{от2}}^2} \cdot \Pi = 0.020 \cdot 4 / 0.005625 \cdot 3.14 = 4.52 \text{ м/с}$$

$$W_3 = G \cdot 4 \sqrt{D_{out} \cdot \pi} = 0.020 \cdot 4 / 0.0025 \cdot 3.14 = 10.19 \text{ м/с}$$



Графік 3. Залежність діаметра обмежувальної втулки від швидкості води в обмежувальній втулці при штатному розігріві реактора

### Висновки

Розрахунки показали, що зменшення діаметра вставки до 50 мм недоцільне, оскільки можлива кавітація і руйнування трубопроводу 1 контуру. Стає зрозуміло, чому вибрали діаметр 100 мм вставки. Оскільки при цьому швидкість закінчення води з КД складе 2.5 м/с

Однак зауважимо, що швидкість води в реакторі сягає 5 м/с, тому можна зменшити діаметр вставки до 75 мм. Що призведе до швидкості 4.5 м/с при закінченні. Що є допустимою швидкістю. Це нам дозволить зберігати реактор недопускаючи "холодного язика" протягом 10 хвилин. Можна згадати, що аварія на АЕС ТріМайлАйленді повністю розвинулася за 9 хвилин.

### Література

1. Мазурок А. С. Удосконалення методики теплогідравлічного аналізу в рамках робіт по продовженню ресурсу корпусних реакторів. – Дис. наукового ступеня доктора філософії, - Одеса: 2020. – 276 с.
2. Маргунова, Т.Х. Атомные электрические станции: учебник для вузов / Т.Х. Маргунова. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Высшая школа, 1978. -360 с.
3. Стерман Л. С., Тевлин С. А., Шарков А. Т. Тепловые и атомные электростанции / Под ред. Л.С. Стермана. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Энергоиздат, 1982. — 456 с.
4. Інструкція для експлуатації “Системи аварійного охолодження першого контуру” 1.0001-022ИЭ. ЮУ АЕС , 2001

Королёв Александр Викторович,  
Корольов Олександр Вікторович,  
Korolyov Alexander,  
Шевчик Андрей Андреевич,  
Шевчик Андрій Андрійович,  
Shevchik Andriy.