

энергоблока № 2 ХАЭС и № 4 РАЭС как минимум на 54 % и 32 % соответственно.

Результаты

Таким образом, количественная оценка влияния основных мероприятий по повышению безопасности демонстрирует существенное повышение безопасности, т. е. снижение частоты повреждения активной зоны в результате их внедрения.

На ХАЭС-2 и РАЭС-4 эти мероприятия будут реализованы в первую очередь, и безопасность этих блоков покажет будущую безопасность для атомной энергетики Украины. Реализация этой программы даст результаты повышения безопасности новых украинских блоков, а также уменьшения тарифа на страхование ответственности за возможный ядерный ущерб.

Выводы

Анализ безопасности ХАЭС-2 и РАЭС-4 показывает, что частоты повреждения активной зоны находятся в области, близкой к предельным значениям, установленным в ОПБУ.

Внедрение предлагаемых мероприятий по повышению безопасности позволяют снизить ЧПАЗ, т. е. повысить уровень безопасности энергоблоков

№2 ХАЭС и №4 РАЭС как минимум на 54 % и 32 % соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. НП 306.1.02./1.034-2000. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБУ-2000). Утверждены ГАЯР Украины, - 1999.
2. Основные принципы безопасности атомных станций. Серия безопасности № 75. INSAG-3, IAEA, Vienna,- 1988.
3. ОАО КИ «Энергопроект». Хмельницкая АЭС. Энергоблок №2. Отчет по анализу безопасности. Глава 19. Вероятностный анализ безопасности. 43-923.203.254.ОБ.19.03, - 2004.
4. ОАО КИ «Энергопроект». Ровенская АЭС. Энергоблок №4. Отчет по анализу безопасности. Глава 19. Вероятностный анализ безопасности. 38-223.203.003.ОБ.19.03, - 2004.
5. СМ-88, СМ-90 «Сводные мероприятия по повышению надежности и безопасности действующих и сооружаемых АЭС с реакторами ВВЭР».
6. Программа модернизации энергоблоков АЭС Украины с реакторами ВВЭР-1000 (В-320). Часть 1, 2. ОАО КИ «Энергопроект»,- 1996.

Получено 07.10.2004 г.

УДК. 504.4.054:621.311.25

Мороз Н.А.

Севастопольский Национальный университет ядерной энергии и промышленности

АЛГОРИТМИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ МЕДИ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ РЕГИОНА РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС

На основі схеми нодалізації систем охолодження ставу охолоджувача Запорізької АЕС розроблено алгоритм визначення концентрації міді у воді ставу. Встановлено, що порівняно високе значення концентрації міді у воді обумовлене виключно значеннями ви-

На основе схемы нодализации систем охлаждения пруда – охладителя Запорожской АЭС разработан алгоритм определения концентрации меди в воде пруда – охладителя. Выяснено, что сравнительно высокое установившееся значение концентрации меди в воде обусловлено только зна-

An algorithm of definition of the copper concentration in pond-cooler water on basis of nodalization scheme of pond-cooler cooling system in Zaporozhskaya NPP is developed. It is determined that high stabled values of copper concentration in water depends only on values of

тратної і прихідної частин водного балансу ставу-охолоджувача.

чениями расходной и приходной части водного баланса пруда-охладителя.

pond-cooler water balance receipts and expenditure parts.

C – концентрация, мг/дм³;
 Q – расход воды, м³;
 V – объем, м³;
 τ – время, час.

Ведение

На протяжении всего периода эксплуатации Запорожской АЭС (1984-2004гг.) непосредственному и достаточно мощному экологическому воздействию подвергается экосистема водоема-охладителя АЭС. К настоящему времени накоплено значительное количество данных для оценки воздействия ЗАЭС на экосистему водоема-охладителя и прилегающую акваторию Каховского водохранилища [1, 2, 3].

Результаты многочисленных лабораторных экспериментов позволили сделать вывод о том, что одним из приемлемых выходов из сложив-

шейся ситуации является осуществление плановых режимов продувки водоема-охладителя в Каховское водохранилище. Целью продувки пруда охладителя в Каховское водохранилище является поддержание качества воды пруда-охладителя на экологически безопасном уровне путем предотвращения накопления минеральных солей, обусловленного процессами испарительного концентрирования.

Цели исследования

С целью оценки экологического воздействия на экосистему пруда-охладителя ЗАЭС необходимо

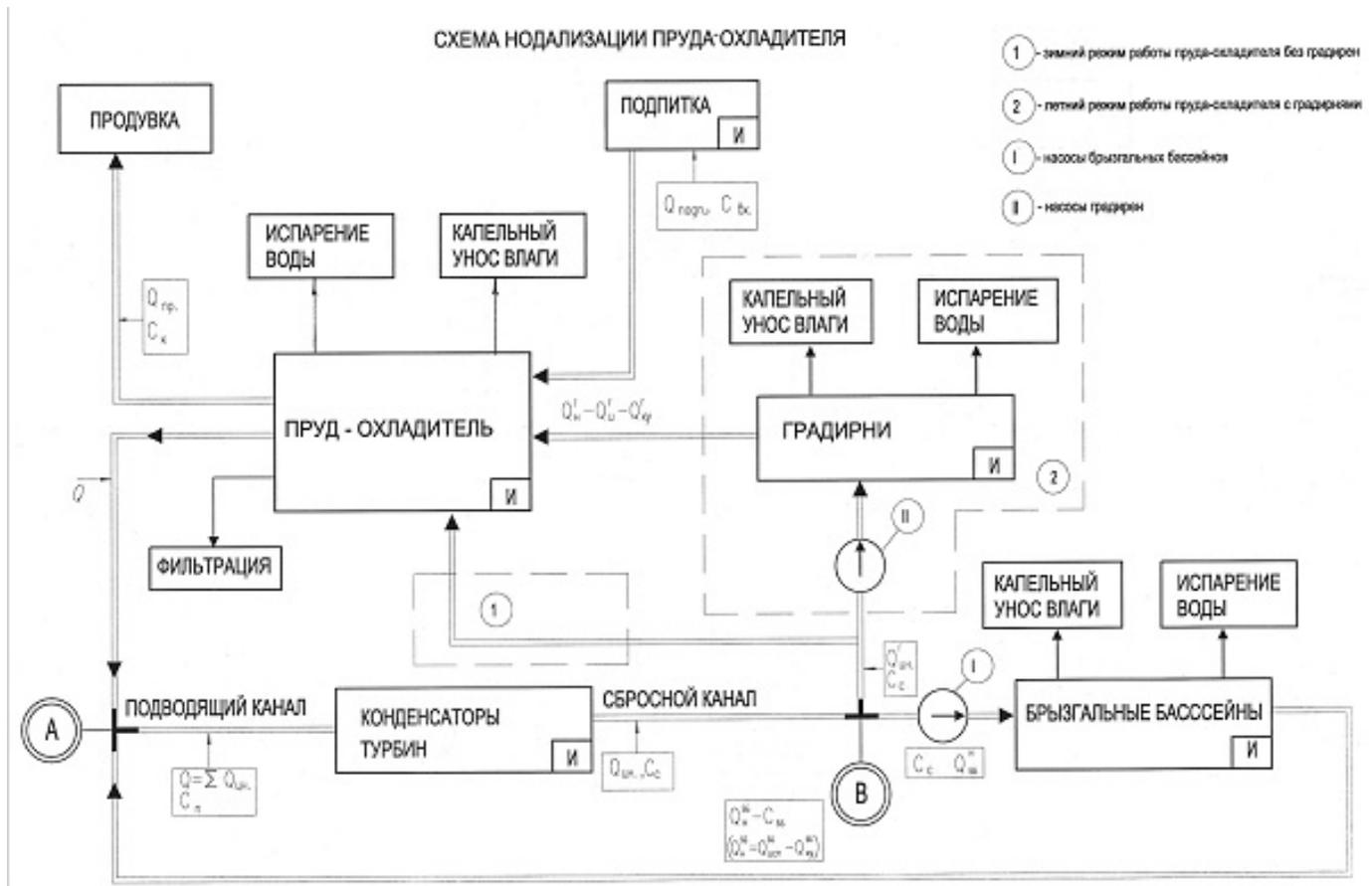


Рис. 1. Схема нодализации пруда-охладителя ЗАЭС.

разработать имитационную математическую модель для расчета концентрации меди на основе водо-хозяйственного баланса распределения меди в системе АЭС – водоем-охладитель – окружающая среда.

Постановка задачи

Разработать алгоритм для расчета водного баланса изменения концентрации меди в воде пруда-охладителя Запорожской АЭС.

На основе схемы нодализации систем охлаждения пруда-охладителя (рис. 1) составлена модель и алгоритм решения уравнений определения концентрации в объектах пруда-охладителя Запорожской АЭС.

1. Состав технологических объектов R_i системы «Запорожская АЭС - пруд-охладитель ЗАЭС – окружающая среда», описывается множеством $R = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5\}$,

где R_1 – конденсаторы турбин АЭС – источники поступления меди; R_2 – брызгальные бассейны; R_3 – градирни; R_4 – пруд-охладитель; R_5 – узел технологического сопряжения «А».

2. Состав процессов внешних факторов P_q водохозяйственного баланса пруда-охладителя Запорожской АЭС описывается множеством $P = \{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}\}$,

где P_1 – подпитка пруда-охладителя из сбросного канала ЗаТЭС; P_2 – капельный унос; P_3 – осадки; P_4 – испарение, включающее как естественное так и искусственное; P_5 – приток брызгальных бассейнов; P_6 – приток градирен; P_7 – фильтрация;

P_8 – расход воды на полив и санузлы; P_9 – пропуск пруда-охладителя в Каховское водохранилище; P_{10} – хозяйственно-бытовые и промышленные стоки; P_{11} – вода после вспомогательных производств.

3. Схема взаимодействия между объектами системы «ЗАЭС – пруд – охладитель ЗАЭС – окружающая среда».

Множество объектов R_i и соответствующих процессов водохозяйственного баланса пруда – охладителя Запорожской АЭС – множество P_q система связей задается триарным отношением на декартовом произведении множеств R_i и P_q , вступающих во взаимодействие $B \subset R_i \times P_q$, которое представляет собой множество, состоящее из упорядоченных троек, 1-й элемент означает объект R_i из которого исходит поток процесса P_q (2-й элемент), 3-й элемент – объект R_i , в который входит поток P_q ; $R_i + P_q$.

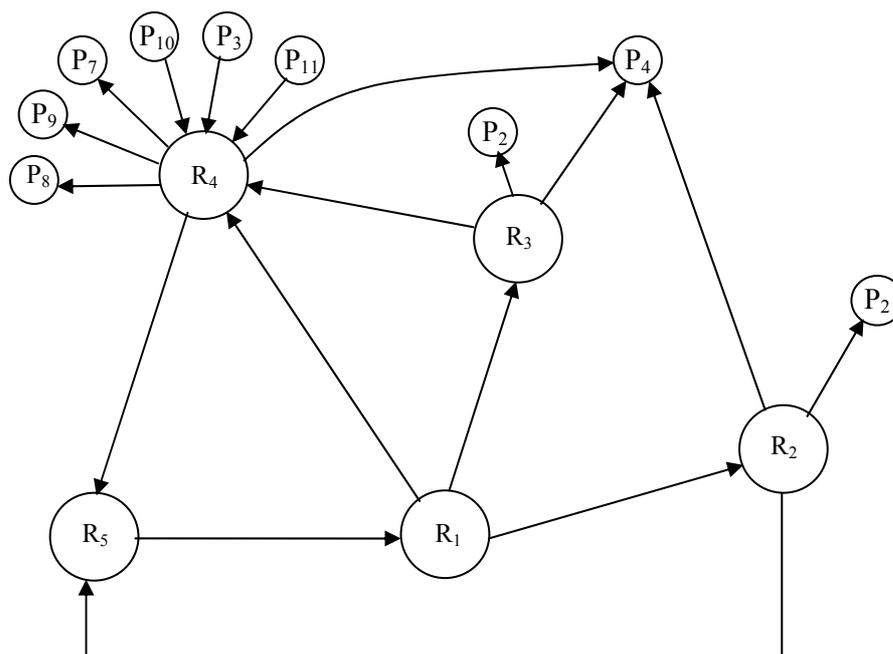


Рис. 2. Формализованный ориентированный граф.

$$D = \left\{ \begin{array}{l} R_1 P_j \\ R_2 P_j \\ R_3 P_j \\ R_4 P_j \\ (R_5 P_j) \end{array} \right\}, j = 1 \dots 11.$$

Схема нодализации пруда-охладителя Запорожской АЭС представлена в виде направленного ориентированного графа (рис. 2):

Представленные на рис. 2. состояния каждого объекта и процесса описываются множеством переменных, которые связаны следующими соотношениями:

1. Определение (потока) поступления примеси из объекта R_1 - конденсаторов турбин.

1.1. Количество примеси на входе в конденсаторы:

$$G_{\text{вх}} = \sum Q_{\text{цн}} \times C_{\text{п}},$$

где $C_{\text{п}}$ - концентрация примеси подводящего канала пруда-охладителя;

1.2. Количество примеси на выходе из конденсаторов турбин:

$$G_{\text{вых}} = \sum Q_{\text{цн}} \times C_{\text{с}},$$

где $C_{\text{с}}$ - концентрация примеси сбросного канала;

2. Объект R_2 - брызгальный бассейн.

2.1. Количество примеси, входящей в брызгальный бассейн:

$$dC_{\text{вх}}^{\text{бб}} = \sum Q_{\text{нбб}} \times C_{\text{с}} \times d\tau;$$

2.2. Количество примеси, уходящей из брызгального бассейна:

$$G_{\text{ух}}^{\text{бб}} = \left[\sum Q_{\text{н}}^{\text{бб}} - Q_{\text{ку}}^{\text{бб}} - Q_{\text{и}}^{\text{бб}} \right] \times C_{\text{бб}} \times d\tau,$$

где $\sum Q_{\text{н}}^{\text{бб}}$ - суммарный расход воды в циркуляционной системе брызгальных бассейнов,

$Q_{\text{ку}}^{\text{бб}}$ - расход воды брызгального бассейна капельным уносом, $Q_{\text{и}}^{\text{бб}}$ - расход воды брызгального бассейна испарением.

2.3. Изменение количества примесей в брызгальном бассейне за $d\tau$

$$dG = V_{\text{бб}} \times dC_{\text{бб}} = \sum Q_{\text{н}}^{\text{бб}} \times C_{\text{с}} \times d\tau - (\sum Q_{\text{н}}^{\text{бб}} - Q_{\text{ку}}^{\text{бб}} - Q_{\text{и}}^{\text{бб}}) \times C_{\text{бб}} d\tau. \quad (1)$$

Решая уравнение (2) относительно $C_{\text{бб}}$ (при известном значении $C_{\text{с}}$), находим значение $C_{\text{бб}}$.

3. Объект R_3 - градирни.

3.1. Количество примесей, входящих в градирни

$$dG_{\text{вх}}^{\text{г}} = Q_{\text{н}}^{\text{г}} \times C_{\text{по}} \times d\tau;$$

3.2. Количество примесей, уходящих из градирни

$$dG_{yx}^r = (Q_n^r - Q_r^{ky} - Q_r^n) \times C_r \times d\tau;$$

3.3. Изменение количества примесей в водном объеме градирни за время $d\tau$

$$dG^r = V_r \times dC_r,$$

где V_r – объем воды в бассейне градирни. Имеем:

$$Q_{no}^r \times C_{no} \times d\tau - (Q_n^r - Q_r^{ky} - Q_r^n) \times C_r \times d\tau = V_r \times dC_r. \quad (2)$$

4. Объект R_4 – пруд-охладитель АЭС.

4.1. Количество примесей на входе:

$$dG_{vx}^{np} = (\sum Q_{цн} - Q_n^{66}) \times C_c \times d\tau + Q_r \times C_r \times d\tau + Q_{подп} \times C_{vx} \times d\tau;$$

4.2. Количество примесей на выходе

$$dG_{вых}^{no} = Q_{пр} \times C_{no} \times d\tau + Q_{нг} \times C_{no} \times d\tau + (Q_{no}^{ky} + Q_{no}^{\phi}) \times C_{no} \times d\tau + Q_{no}^n \times 0 \times d\tau;$$

4.3. Изменение за $d\tau$

$$dG_{no} = \sum Q_{цн} \times C_c \times d\tau - Q_n^{66} \times C_c \times d\tau + Q_r \times C_r \times d\tau + Q_{подп} \times C_{vx} \times d\tau - Q_{пр} \times C_{no} \times d\tau - Q_{нг} \times C_{no} \times d\tau - Q_{no}^{ky} \times C_{no} \times d\tau - Q_{no}^{\phi} \times C_{no} \times d\tau = V_{no} \times dC_{no}.$$

Преобразуем данное выражение

$$\sum Q_{цн} \times C_c - Q_n^{66} + Q_r \times C_r + Q_{подп} \times C_{vx} - C_{no} \times (Q_{пр} + Q_{нг} + Q_{no}^{ky} + Q_{но}^{\phi} + \sum Q_{цн} - Q_n^{66} + Q_{no}^{\phi}) = V_{no} \times \frac{dC_{no}}{d\tau}. \quad (3)$$

5. Объект R_5 – узел «А».

5.1. Количество примесей на входе в узел «А» из пруда-охладителя и брызгального бассейна

$$dG_{vx} = (\sum Q_{цн} - Q_n^{66}) \times C_{no} + (Q_n^{66} - Q_{ку}^{66} - Q_i^{66}) \times C_{66};$$

5.2. Количество примесей на выходе из узла «А» (рис. 1).

$$G_{вых} = \sum Q_{цн} \times C_c;$$

5.3. Учитывая, что $G_{vx} = G_{вых}$, получим

$$(\sum Q_{цн} - Q_n^{66}) \times C_{no} + (Q_n^{66} - Q_{ку}^{66} - Q_i^{66}) \times C_{66} = \sum Q_{цн} \times C_c. \quad (4)$$

Исходя из сущности происходящих производственных и природных процессов, составим математическую балансовую модель функционирования системы в виде системы уравнений:

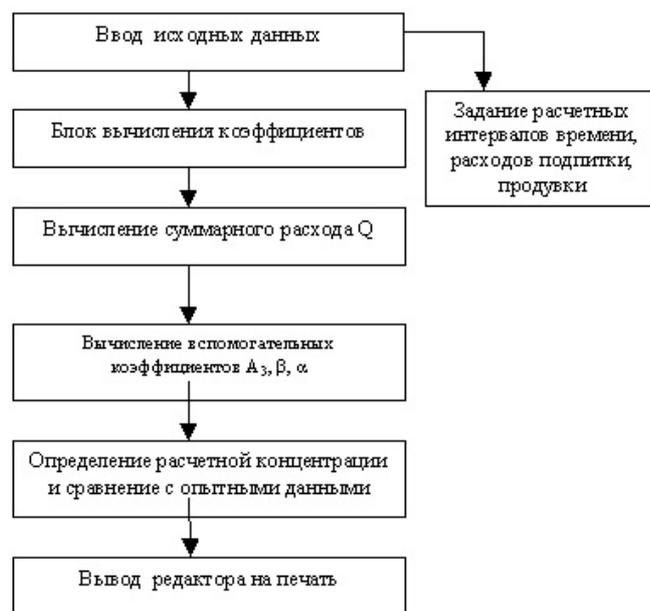


Рис. 3. Блок-схема алгоритма имитационной математической модели.

$$\left\{ \begin{aligned} C_c \times \sum Q_{цн}^{66} - (\sum Q_{цн}^{66} - Q_{ку}^{66} - Q_i^{66}) \times C_{66} &= \\ = V_{66} \times \frac{dC_{66}}{d\tau}; \\ Q_{no}^r \times C_{no} - (Q_n^r - Q_r^{ky} - Q_r^n) \times C_r &= V_r \times \frac{dC_r}{d\tau}; \\ \sum Q_{цн} \times C_c - Q_n^{66} + Q_r \times C_r + Q_{подп} \times C_{vx} - \\ - C_{no} \times (Q_{пр} + Q_{нг} + Q_{no}^{ky} + Q_{но}^{\phi} + \\ + \sum Q_{цн} - Q_n^{66} + Q_{no}^{\phi}) &= V_{no} \times \frac{dC_{no}}{d\tau}; \\ (\sum Q_{цн} - Q_n^{66}) \times C_{no} + (Q_n^{66} - Q_{ку}^{66} - Q_i^{66}) \times \\ \times C_{66} &= \sum Q_{цн} \times C_c. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Для удобства нахождения интегралов дифференциальных уравнений, при нахождении выражений для неизвестных значений концентраций примесей C_{66} , C_{no} , и C_r . на основе системы (5) введем вспомогательные коэффициенты, с учетом которых уравнения системы примут следующий вид:

$$C_{66}^n = A_4 - \alpha_4 \times C_{no}^n,$$

$$C_{66}^k = A_1 - (A_1 - C_{66}^n) \times \exp\left\{-\frac{\Delta\tau}{\beta_1}\right\},$$

$$C_{\text{по}}^{\text{к}} = A_3 - (A_3 - C_{\text{по}}^{\text{н}}) \times \exp\left\{-\frac{\Delta\tau}{\beta_3}\right\},$$

$$C_{\text{г}}^{\text{к}} = (C_{\text{по}}^{\text{н}} + n \times \Delta\tau) \times \exp\{-k \times \Delta\tau\},$$

где $k = 1 \setminus \beta_2$.

Воспользовавшись формулой

$$C_{\text{по}}^{\text{к}} = A_3 - (A_3 - C_{\text{по}}^{\text{н}}) \times \exp\left\{-\frac{\Delta\tau}{\beta_3}\right\},$$

установим, как изменялась концентрация примесей в течение 2002 года в пруде-охладителе при соответствующих расходах (подпитки-продувки). Для этого в качестве рассматриваемых интервалов времени $\Delta\tau_i$ примем интервалы равные одному месяцу, т.е. $\tau_i = 1$ месяц.

Проведенные расчеты показали, что высокое значение концентрации меди в воде пруда-охладителя обусловлено только расходной и приходной частью водяного баланса пруда.

Выводы

Математическая модель определения концентрации меди в воде пруда – охладителя на ос-

нове дифференциальных уравнений хорошо описывает процесс изменения концентрации примесей в течение месяца и года и может быть использована для определения оптимальных значений параметров при обеспечении требований солевого режима водоема-охладителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет по результатам продувки водоема-охладителя Запорожской АЭС с 1.08.1997 по 24.02.1998 г. Энергодар.- 1998.- С. 25-27.
2. Отчет по результатам химического контроля воды пруда-охладителя в районе расположения сооружений продувки за период 1999-2001 г.г. Энергодар.- 2001.- С. 80.
3. Дополнительные материалы по анализу безопасности блока № 5. Запорожская АЭС.- 1997.- С. 104.
4. Пискун Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления.- М.- 1972.- С. 19.
5. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації.- Л.- 2003.- С. 75-83.

Получено 19.09.2004 г.