

издержек на АТЭЦ, составляющая общестанционные затраты.

Для сопоставления рассмотренных методов проведено расчетное исследование, результаты которого обработаны в виде зависимости от величины противодавления  $p_T$  безразмерных параметров  $\beta_\beta$  и  $\beta_T$ , представляющих собой отношение издержек производства электроэнергии  $S_\beta$  и тепла  $S_T$  к суммарным издержкам производства на АТЭЦ  $S_{\text{АТЭЦ}}$ . Величина  $p_T$  варьировалась от давления в конденсаторе  $p_K$  до давления на входе в турбину  $p_0$ . Эта зависимость представлена на рисунке.

## О вычислении колебательных режимов в ядерных реакторах

В. П. ГОРБУНОВ, А. В. КРЯНЕВ, С. Б. ШИХОВ

Для некоторых типов реакторов существует предельная мощность, выше которой реактор становится линейно неустойчивым.

В области линейной неустойчивости возможны только два случая: 1) мощность реактора, постепенно возрастающая, выходит за предел допустимых мощностей; 2) реактор после определенного промежутка времени, называемого периодом установления, начинает работать в колебательном режиме, находящемся в области допустимых мощностей (предполагается, что в этой области нет устойчивых состояний равновесия).

В настоящей работе дается достаточный критерий существования периодического колебательного режима и приводится алгоритм его вычисления.

Используемый метод применим в том случае, когда линейная неустойчивость реактора обусловлена появлением пары комплексных корней с положительной реальной частью в следующей системе уравнений:

$$T \frac{dW}{dt} \left( \sum_{j=1}^n \Delta k_j - \sum_{i=1}^m \beta_i \right) W + \sum_{i=1}^m \frac{R_i}{\tau_i} W = 0$$

## Динамика парообразования в двухконтурной ядерной энергетической установке при снижении мощности

М. Х. ДОРРИ, М. М. СОЛОВЬЕВ

Работа посвящена выявлению ограничений, которые накладывает парогенератор с многократной принудительной циркуляцией на выбор программы изменения мощности двухконтурной ядерной энергетической установки.

При быстрых изменениях мощности установки в парогенераторе имеют место перерегулирования по паропродуцируемости, связанные с инерционностью сепаратора и запаздываниями в трубопроводах второго контура. Особенно опасны эти перерегулирования в режимах глубокого снижения мощности, при которых возникает угроза временного прекращения генерации пара.

Физика указанного явления связана с недогревом воды второго контура на входе в испаритель при динамических процессах снижения мощности. В результате происходит перераспределение тепла, поступающего из первого контура, при этом часть тепла, необходимая

Сформулированный обобщенный метод объединяет положительные стороны других методов и в то же время в достаточной мере свободен от их недостатков.

На основании обобщенного метода разработана отраслевая методика расчета технико-экономических показателей атомных двухцелевых опреснительных установок.

(№ 312/5090. Поступила в Редакцию 3/X 1968 г. Полный текст 1,1 а. л., 3 рис., 6 библиографических ссылок.)

УДК 621.039.514

$$\left. \begin{aligned} \frac{dR_i}{dt} - \beta_i W &= \frac{R_i}{\tau_i}, \quad i=1, \dots, m; \\ \frac{d\Delta k_j}{dt} &= \sum_{s=1}^n a_{js} \Delta k_s + b_j (W - W_0), \quad j=1, \dots, n. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь  $\Delta k_j$  — коэффициент реактивности;  $A = a_{js}$  — неособая постоянная матрица, т. е.  $\det A \neq 0$ ;  $b_j$  — постоянные; остальные обозначения общепринятые. Система (1) описывает динамику реактора с линейной обратной связью.

Предлагаемый метод обнаружения и расчета периодического колебательного режима может быть обобщен на системы с нелинейной обратной связью.

(№ 313/4866. Статья поступила в Редакцию 12/V 1968 г., аннотация — 26/III 1969 г. Полный текст 0,3 а. л., 3 рис., 2 библиографических ссылки.)

УДК 621.039.566

для генерации требуемого количества пара, расходуется на дополнительный подогрев воды до температуры кипения.

При прочих заданных конструктивных и технологических параметрах установки величина недогрева воды на входе в испаритель и, следовательно, величина перерегулирования по паропродуцируемости определяются скоростью снижения мощности. Исходя из этого, возникает ограничение на величину скорости снижения мощности при выборе программ управления установкой.

При некоторых допущениях получена аналитическая зависимость величины недогрева воды на входе в испаритель от параметров парогенератора и скорости снижения мощности установки.

Справедливость аналитически полученной оценки подтверждена на полной математической модели установки. На модели были исследованы также особенности

динамики парообразования при различных скоростях снижения мощности и параметрах парогенератора. Полученные данные сведены в таблицу (см. полный текст настоящей работы).

В результате проведенных исследований установлено, что процессы снижения мощности ядерной парогенераторной установки обязательно сопровождаются перерегулировками по паропроизводительности и, как следствие, провалами давления во втором контуре, величины которых зависят от параметров парогенератора и скорости снижения мощности.

При заданных параметрах парогенератора для уменьшения перерегулирования по паропроизводительности и провалов давления во втором контуре можно

рекомендовать следующее: а) ограничить скорость линейного снижения мощности установки; б) поднять нижнюю границу, до которой проводится снижение мощности, или, что то же самое, иметь некоторый запас пара (например, за счет травления); в) изменить линейный закон снижения мощности, обеспечив быстрое снижение мощности на начальном этапе процесса с дальнейшим более плавным подходом к заданному значению мощности.

(№ 314/5023. Поступила в Редакцию 1/VIII 1968 г., в окончательной редакции — 16/XII 1968 г. Полный текст 0,4 а.л., 3 рис., 1 табл., 4 библиографических ссылки.)

## Радиационная обстановка на кипящем реакторе ВК-50 и в районе его расположения

С. Г. БАКЛАНОВ, В. А. КНЯЗЕВ, Ю. В. ЧЕЧЕТКИН, Е. К. ЯРШИН

УДК 621.039.58

Рассмотрено состояние радиационной обстановки на кипящем реакторе ВК-50 и в районе его расположения, охарактеризовано  $\gamma$ -излучение вблизи технологического оборудования и коммуникаций основного контура, дан анализ загрязненности поверхностей помещений и оборудования, состояния воздушной среды, уровень облучения персонала.

Опыт эксплуатации реактора ВК-50 показывает, что основным излучением, определяющим мощность экспозиционной дозы от поверхностей паро-водяных и паровых коммуникаций, на турбине и конденсаторе при работе реактора, является излучение  $N^{16}$ , а на линии эжекторных газов —  $N^{16}$  и  $N^{13}$ . Наблюдение во времени за интенсивностью  $\gamma$ -излучения показало, что заметного накопления активности в коммуникациях не происходит, а поверхности помещений и оборудования в постоянно и периодически обслуживаемых производственных помещениях имеют загрязнение ниже допустимых уровней\* и обусловлены в основном элементами коррозионного происхождения ( $Zn^{65}$ ,  $Sn^{64}$ ,  $Mn^{56}$  и т. д.).

Случаи появления газовой и аэрозольной радиоактивности в помещениях АЭС были обусловлены в основном нарушением герметизации оборудования в мес-

тах фланцевых соединений и носили эпизодический характер. В этих случаях в пробах газа из помещений обнаруживались компоненты с эффективными периодами полураспада  $\beta$ -излучателей 20—30 мин (40—45%), 3—4 ч (20%), 8—10 ч (20%) и долгоживущей (20%). 96—99% радиоактивных аэрозолей распадались с периодом полураспада 20—30 мин.

Анализ доз облучения персонала АЭС показал, что основной вклад в суммарную дозу около 86% вносит внешнее  $\gamma$ -излучение. Уровни облучения 80% персонала лежат в пределах 0—0,5 *бэр*/год, 15% — в пределах 0,5—1 *бэр*/год. Случаев облучения персонала свыше 5 *бэр*/год не наблюдалось.

Для станций с кипящим реактором и прямой выдачей пара из реактора в турбину очень важным является вопрос газообразных радиоактивных выбросов, так как основной контур АЭС по существу открыт для свободного выхода газов. Вместе с радиолитическими газами радиоактивные газы выбрасываются из контура эжектором турбины через систему выдержки в вытяжную вентиляцию. Важно уметь прогнозировать состав и величину радиоактивных выбросов в случае газовой негерметичности твэлов. Выход атомов благородных газов и галогенов из-под оболочки можно описать коэффициентом утечки.

Величины их относительных концентраций приведены в таблице. Расчетные и экспериментальные величины удовлетворительно согласуются (см. таблицу)

Экспериментальные и расчетные данные по выбросам радиоактивных газов из кипящего реактора

Реактор	Состав смеси газов деления *							
	Xe135	Xe 135m	Xe138	Kr <sup>85m</sup>	Kr87	Kr88	Kr89	Xe133
Carigliano, BWR **)	1,0	—	5,1	0,29	0,55	—	1,22	0,27
ВК-50 (эксперимент)	1,0	0,9—1,5	1,0	0,25	0,4—0,5	0,5—0,6	0,2—0,8	—
ВК-50 (расчет)	1,0	1,6—2,0	0,9—1,3	0,24—0,3	0,46—0,66	0,6—0,8	0,7—1,0	—

\* 56 мкюри/сек=1,0

\*\* Carlo della Rocca. *Nucleonics*, No. 2, 39 (1966).