

Выход газовых продуктов деления из твэлов негерметичной конструкции

ГРЯЗЕВ В. М., КОНЯШОВ В. В., ПОЛЯКОВ В. Н., ЧЕЧЕТКИН Ю. В.

УДК 621.039.548

Использование твэлов с выпуском газовых продуктов деления из-под оболочки позволяет уменьшить объем газовой полости, что приводит к экономии нейтронов в активной зоне, повышению удельного тепловыделения, улучшению гидравлических характеристик активной зоны. Кроме того, выпуск газов из твэлов и понижение давления в них должны увеличить продолжительность бездефектной работы и, следовательно, уменьшить загрязнение контура радиоактивными продуктами деления.

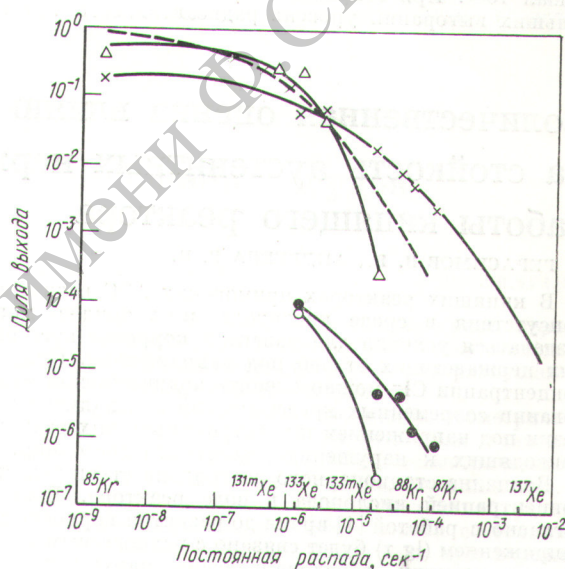
Для изучения работоспособности таких твэлов и определения доли выхода газовых продуктов деления (ГПД) в реакторе БОР-60 проводились испытания двух пакетов по 37 твэлов со специальными узлами негерметичности. Условия облучения твэлов были аналогичны штатным.

Радиоактивность ГПД в газовых полостях установки измерялась ежедневно на газовых спектрометрических петлях, оснащенных датчиками с кристаллами NaI(Tl). Средняя погрешность относительных измерений $\sim 10\%$, абсолютного определения радиоактивности $\sim 25\%$.

Уровень радиоактивности ^{133}Xe и ^{135}Xe в газовой полости реактора до установления пакета твэлов с узлами негерметичности составлял $4 \cdot 10^{-6}$ и $2,7 \cdot 10^{-6}$ кюри/л соответственно. При достижении выгорания в исследуемом пакете $\sim 0,8-1,1\%$ наблюдалось быстрое возрастание удельных активностей ^{133}Xe и ^{135}Xe в газовых полостях. В дальнейшем при увеличении выгорания до $3,7\%$ радиоактивность ГПД повысилась еще в 2-4 раза и достигла $(1-2) \cdot 10^{-5}$ и $(1-10) \cdot 10^{-5}$ кюри/л для ^{133}Xe и ^{135}Xe соответственно. Уровень радиоактивности короткоживущих ГПД (^{85}Kr , ^{88}Kr , ^{87}Kr) не увеличился по сравнению с наблюдаемым в случае полностью герметичной активной зоны.

Изменения радиоактивности ГПД характеризуются наличием стационарных уровней $(0,8-1) \cdot 10^{-3}$ и $(0,8-2) \cdot 10^{-5}$ для ^{133}Xe и ^{135}Xe с выбросами. Соотношение удельных активностей изотопов ^{133}Xe и ^{135}Xe изменяется от 50-80 при стационарном уровне до 10 в момент выброса.

Как показали дальнейшие измерения, изменение радиоактивности связано с поведением пакета твэлов негерметичной конструкции, а не с повреждениями штатных твэлов. Об этом свидетельствует малая величина радиоактивности одного выброса (< 3 кюри по ^{133}Xe , а для дефектного твэла 40 кюри), значительно больший выброс ^{133}Xe , чем ^{135}Xe (среднее соотношение 5, а для дефектного твэла 3) и низкий уровень радиоактивности в стационарном режиме.



Доли выхода ГПД из негерметичных и дефектных твэлов:

○ и ● — пакет твэлов негерметичной конструкции, стационарный уровень и максимальный выброс газов соответственно; × — дефектный твэл; — — — пакет твэлов негерметичной конструкции, расчет [1]; △ — твэл с узлом типа «колокол» [2]

Используя экспериментальные результаты, рассчитали доли выхода ГПД из пакетов твэлов негерметичной конструкции в стационарный период и в момент выбросов (рисунок). Эти доли выхода значительно ниже определенных экспериментально для дефектных твэлов, а также ниже расчетных [1] и экспериментальных значений для негерметичных твэлов с узлом типа «колокол» [2].

Сопоставляя уровни радиоактивности в газовой полости реактора при работе установки с негерметичными и дефектными твэлами, можно заключить, что допустима значительно большая доля выхода ГПД из твэлов негерметичной конструкции. При надежном удержании твердых продуктов деления и с учетом, что доля выхода ^{137}Xe даже из дефектных твэлов составляет $\sim 10^{-5}$, можно уменьшить время задержки ГПД под оболочкой.

В дальнейшем при работе реактора с двумя пакетами негерметичной конструкции (выгорание 5-8%)

и дефектными твэлами стационарный уровень радиоактивности ^{133}Xe составлял $\sim 1 \cdot 10^{-2}$ кюри/л или ~ 20 кюри в газовых полостях. Если предположить, что такая радиоактивность вызвана только твэлами негерметичной конструкции, то наибольшая ожидаемая величина радиоактивности при полной загрузке БОР-60 этими пакетами составит ~ 2000 кюри. Такие уровни радиоактивности реально существовали на БОР-60 и не вызывали осложнений при эксплуатации.

Выход твердых продуктов деления из твэлов негерметичной конструкции по измерениям радиоактивности в контуре может быть надежно оценен только до выгорания горючего в них 2,7%. Удельная активность ^{137}Cs , ^{131}I и ^{95}Nb в натрии была меньше $1 \cdot 10^{-7}$; $4 \cdot 10^{-7}$ и $2 \cdot 10^{-6}$ кюри/кг натрия соответственно. Расчеты показывают, что в этот период выход твердых продуктов деления из твэлов негерметичной конструкции не превышал 10^{-5} . При сохранении такого выхода в случае больших выгораний уровень радиоактивности натрия

вого теплоносителя реактора БОР при полной загрузке негерметичными твэлами будет значительно ниже реально существовавших.

Таким образом, загрузка активной зоны реактора БОР-60 пакетами негерметичной конструкции не приведет к недопустимому повышению уровня радиоактивности натриевого теплоносителя и газовых полостей. При условии удержания твердых продуктов деления под оболочкой допустимо уменьшение времени задержки ГПД и увеличение доли их выхода из твэлов негерметичной конструкции.

Поступило в Редакцию 1/VI 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лейпунский А. И. и др. Препринт ФЭИ-187, Обнинск, 1969.
2. Keilholtz G., Battle G. «Nucl. Safety», 1968, v. 9, N 6, p. 494.

Количественная оценка влияния концентрации хлоридов на стойкость аустенитных нержавеющей сталей в условиях работы кипящего реактора

ГЕРАСИМОВ В. В., АНДРЕЕВА Г. В.

УДК 621.039.53

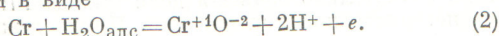
В кипящих реакторах приморских АЭС вследствие присутствия в среде кислорода и хлоридов могут создаваться условия для развития коррозии аустенитных нержавеющей сталей под напряжением. Опасные концентрации Cl^- можно оценить количественно на основании современных представлений о механизме коррозии под напряжением и электрохимических реакций, приводящих к нарушению пассивного состояния.

Величина стационарного потенциала стали задается концентрацией кислорода в воде реактора. Поэтому согласно с работой [1] время до развития коррозии под напряжением ($\lg \tau$) будет связано с равновесным потенциалом реакции, обуславливающим нарушение пассивного состояния стали в растворах хлоридов ($\Phi_{\text{п. р}}$ — потенциал пробоя стали — потенциал выхода из пассивного состояния), следующей зависимостью:

$$\lg \tau = K + \frac{\beta_n F}{RT} \Phi_{\text{п. р.}} \quad (1)$$

В этой реакции Cl^- взаимодействует с пассивирующим слоем, который образовался на аустенитной нержавеющей стали в связи с присутствием в ней хрома.

Отсюда необходимо определить состав и термодинамические характеристики пассивирующего слоя. В реакции пассивации хрома принимает участие вода [2]. Это обстоятельство, а также зависимость потенциала пассивации ($\Phi_{\text{пл}}$ — фляде-потенциала) от величины рН ($\frac{\Delta \Phi_{\text{пл}}}{\Delta \text{pH}} = -0,118$) [3] позволяют записать реакцию пассивации в виде



Отсюда

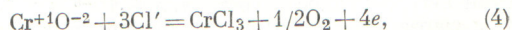
$$\begin{aligned} \Phi_{\text{пл}} &= \frac{Z_{\text{Cr}^{+1}\text{O}^{-2}}}{F} - \frac{Z_{\text{H}_2\text{O}_{\text{адс}}}}{F} - 0,118 \text{pH} = \\ &= 0,043 - 0,118 \text{pH}, \end{aligned} \quad (3)$$

где F — число Фарадея; Z — термодинамические потенциалы, причем $Z_{\text{H}_2\text{O}_{\text{адс}}} = -42,4$ ккал/моль [4];

$$Z_{\text{Cr}^{+1}\text{O}^{-2}} = \frac{Z_{\text{Cr}_2\text{O}_3}}{6} = 41,4 \text{ ккал/г экв. металла} [5].$$

Величины фляде-потенциала хрома для рН = 0 и рН = 7 рассчитаны по уравнению (3) и составляют соответственно 0,043 и -0,78 в, что удовлетворительно согласуется с экспериментально найденными значениями 0,05 и -0,7 в [6, 7].

Реакция, ответственная за нарушение пассивного состояния, может быть написана в виде



и потенциал этой реакции

$$\Phi_{\text{п. р.}} = \Phi^0 + \frac{RT}{4nF} \lg C_{\text{O}_2} - \frac{RT}{4nF} 3 \lg C_{\text{Cl}^-}. \quad (5)$$

Как следует из приведенных ниже данных, величины, рассчитанные по уравнению (5) и определенные экспериментально, удовлетворительно согласуются:

	Расчет	Эксперимент
$\Phi_{\text{пл}}^0$, вэв *	0,16	0,25—0,35
$\Delta \Phi_{\text{пл}} / \Delta \lg C_{\text{Cl}^-}$	-0,075	-0,04 ÷ -0,15
$\Delta \Phi_{\text{пл}} / \Delta C_{\text{O}_2}$	0,008	0,015

* Стандартный электродный потенциал реакции, выраженный в вольтах, по нормальному водородному электроду.