

К ВОПРОСУ О ПРОДЛЕНИИ РЕСУРСА ГРАФИТОВОЙ КЛАДКИ РЕАКТОРА РБМК

С.С. Ломакин, НТЦ ЯРБ

Первые отечественные атомные станции с реакторами РБМК находятся в эксплуатации более 20 лет. В связи с близким исчерпанием проектного срока службы ряда реакторов этого типа вопрос об их остаточном ресурсе приобретает актуальность при оценке возможности продления срока службы реактора и его важнейшего компонента – графитовой кладки.

Оценка ресурса графитовой кладки основывается на информации об исходных свойствах графита, изменении этих свойств под нейтронным облучением при нормальных условиях эксплуатации.

На практике оценка влияния нейтронного излучения на ресурс графитовой кладки проводится по величине набранного графитовым блоком флюенса нейтронов F с энергией $E > 0,18$ МэВ и сравнения этой величины с критической величиной флюенса $F_{кр}$, полученной по результатам испытания облученных образцов графита.

Оценка проводится по состоянию “базовой ячейки”, т.е. по уровню плотности потока и флюенса $F_{баз}$ нейтронов “базовой ячейки” с технологическим каналом (ТК) средней мощности. При мощности реактора 3200 МВт(т) и коэффициенте использования установленной мощности 0,7 среднегодовой прирост энерговыработки ТК составляет 500 МВт-сут, что соответствует годовому приросту флюенса $4,35 \cdot 10^{20}$ н/см² для внутренней поверхности графитового блока. Критическое значение флюенса достигается примерно через 50 лет эксплуатации реактора.

В соответствии с принятым консервативным подходом к оценке уровня безопасности в процессе эксплуатации реактора и его важнейших компонентов рекомендуется использовать максимальные значения соответствующих параметров.

Ниже приводится экспертная оценка ресурса графитовой кладки при консервативном подходе в сравнении с подходом по “базовой ячейке”.

Используется связь между максимальной энерговыработкой Q (МВт-сут) и средней мощностью технологического канала в виде:

$$Q = wt K_r K_z, \quad (1)$$

где w - средняя мощность технологического канала;
 t - время работы на номинальной мощности;
 K_z - коэффициент неравномерности по высоте ТК, усредненный за время t ;
 K_r - коэффициент неравномерности по радиусу реактора, усредненный за время t .

При предлагаемом подходе флюенс нейтронов F_{max} максимального по энерговыработке участка ТК и соответствующего графитового блока будет отличаться от $F_{баз}$ следующим образом:

$$F_{max} = F_{баз} K_v + \delta_F, \quad (2)$$

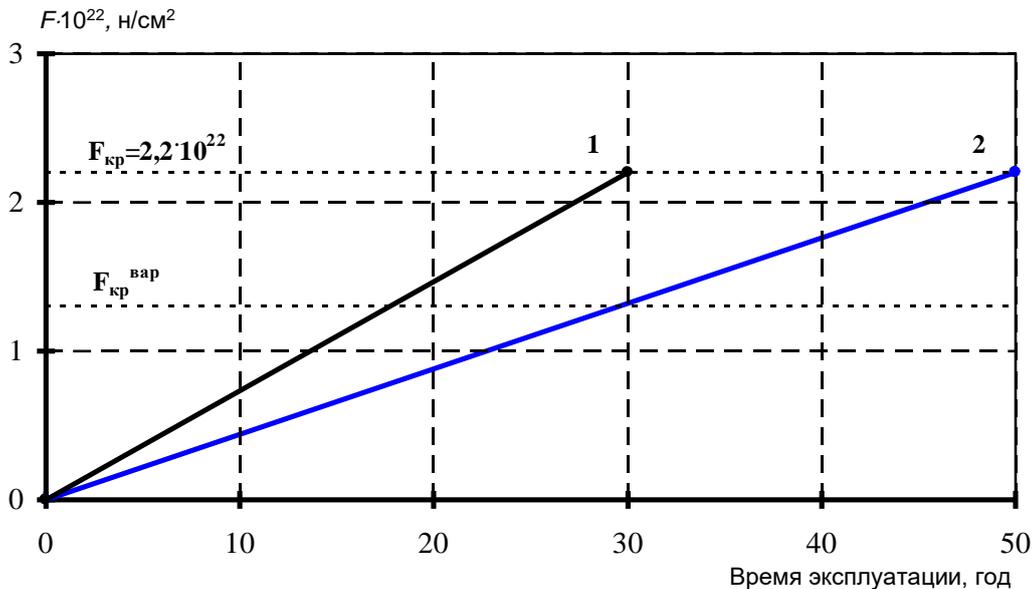
где K_v - коэффициент неравномерности по объему ($K_v = K_r K_z$);
 δ_F - плюсовая погрешность определения флюенса.

Для демонстрации количественного (относительно $F_{баз}$) эффекта предлагаемого подхода принимаем усредненные за время t реальные значения K_r и K_z (по данным эксплуатации), которые дают $K_v = 1,35$. Таким образом, при подходе по “базовой ячейке” имеет место существенная недооценка значения флюенса нейтронов по сравнению с подходом, ориентированным на ячейку и участок ТК с максимальной энерговыработкой.

При оценке работоспособности и ресурса графитовой кладки здесь применяется критерий $F < F_{кр}$ и $F_{кр} = 2,2 \cdot 10^{22}$ н/см² [1] для графита марки ГР-280.

Графитовые блоки с ТК максимальной и весьма близкой к ней энерговыработкой за 30 лет эксплуатации реактора набирают флюенс нейтронов, соответствующий критериальной величине.

На рисунке приведены полученные данные и данные оценки по “базовой ячейке”, для которой ресурс работоспособности графитовой кладки по критерию неперевышения флюенсом величины $F_{кр}$ составляет примерно 50 лет.



Зависимость флюенса нейтронов F от времени эксплуатации t реактора:
 1 – для ячейки с F_{max} ; 2 – для “базовой ячейки”;
 $F_{кр}^{вар}$ – критический флюенс нейтронов с учетом вариации свойств графита

Оценки, приведенные выше, основываются на использовании усредненных свойств графита марки ГР-280. В силу особенностей технологии изготовления графита они имеют значительный разброс, что даже при одинаковых условиях эксплуатации по температуре и флюенсу нейтронов приводит к вариации скорости деградации графита и неравномерному изменению состояния кладки.

На практике [1] имеет место вариация плотности и прочностных свойств графита, а также вариация степени совершенствования кристаллической структуры (степени графитации), от которой зависит формоизменение графитовых блоков.

В [2] отмечено, что недографитация при уменьшенной на 300°C технологической температуре приводит к снижению $F_{кр}$ в 2 раза, при этом скорость усадки и вторичного распухания графита при облучении увеличивается также в 2 раза.

На рисунке приведена оцененная консервативная величина критического флюенса $F_{кр}^{вар}$ с учетом вариации прочностных свойств графита, недографитизации, погрешности определения флюенса. Как видно из рисунка, появление отдельных графитовых блоков с дефектами можно ожидать между 15 и 20 годами эксплуатации реактора, что подтверждается наблюдениями при эксплуатации реакторов РБМК.

При дальнейшей эксплуатации (до 30 лет) количество дефектов будет увеличиваться, как и степень формоизменения. На этой стадии развития дефектов и роста их числа критерием работоспособности блока служит критическая величина формоизменения, кладки в целом – количество дефектных графитовых блоков и степень искривления колонн.

Проведенная прогнозная оценка состояния графитовой кладки реактора РБМК позволяет сделать следующие выводы:

- учет при эксплуатации неоднородности энерговыработки ТК и максимальных величин флюенса нейтронов в блоках графитовой кладки приводит к подтверждению проектного срока службы кладки (30 лет), при этом возможность продления срока службы кладки даже на небольшую величину потребует ужесточения контроля за искривлением колонн;
- имеющаяся вариация свойств графита марки ГР-280, таких, как прочностные характеристики, степень графитизации, их отклонения ниже средних величин, приводит к уменьшению критического флюенса нейтронов в блоках и, как следствие, к возможности появления дефектов в кладке после 15-20 лет эксплуатации реактора.

Литература

1. Виргильев Ю.С., Балдин В.Д. Влияние вариации свойств на работоспособность реакторного графита ГР-280 – Атомная энергия, 2000, т. 88, вып. 2, с. 119-125.
2. Платонов П.А. и др. Влияние степени совершенства графита на изменение его свойств при облучении – Атомная энергия, 1979, т. 46, вып. 4, с. 248-254.