

Влияние уплотнения на некоторые тепловые и физические характеристики цилиндрического быстрого реактора

В. В. Хромов, С. Б. Шихов, А. М. Кузьмин, А. Н. Шмелев

Рассматривается один из возможных способов повышения коэффициента воспроизводства быстрого реактора большой мощности с жидкометаллическим теплоносителем. При этом способе изменяется отношение высоты активной зоны к ее диаметру.

Уплотнением реактора будем называть условный процесс уменьшения высоты и соответствующего увеличения диаметра активной зоны (при постоянном объеме), который характеризуется коэффициентом уплотнения $\beta = \frac{H}{D}$, где H — высота; D — диаметр активной зоны.

Для анализа влияния уплотнения на тепловые и физические характеристики реакторов была проведена большая серия расчетов для различных значений уплотнения в широком диапазоне мощностей и энергонапряженностей активной зоны. Расчеты выполнялись на электронно-вычислительной машине по комплексной программе, позволяющей получить согласованный тепловой и физический расчет заданного типа ядерного реактора. Нейтронно-физические расчеты быстрых реакторов проводились по одногрупповой эффективной методике [1] с использованием 18-групповой системы констант.

Для учета различного влияния бокового и торцовых экранов на тепловые и физические характеристики использовался метод условного разделения переменных [2].

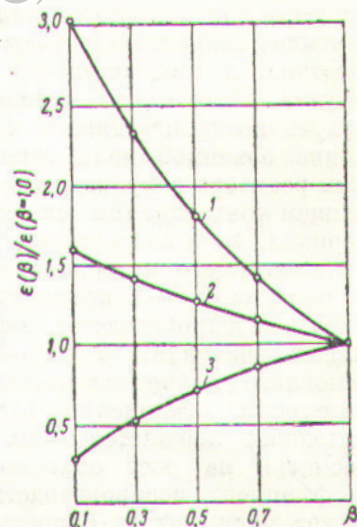
Тепловые характеристики уплотненных реакторов

Объемные доли различных компонентов активной зоны энергетического реактора при выбранных параметрах теплоносителя и режимах работы твэлов зависят от мощности, удельной энергонапряженности и уплотнения реактора. Коэффициент воспроизводства активной зоны быстрого реактора с заданной мощностью и энергонапряженностью можно повысить, увеличивая объемную долю горючего, содержащего воспроизводящий материал.

Действительно, если мощность, объем активной зоны и подогрев теплоносителя в реакторе остаются постоянными при различных

уплотнениях, то при увеличении уплотнения для подогрева теплоносителя до прежней температуры необходимо уменьшить объемную долю теплоносителя в активной зоне. Однако уменьшение объемной доли теплоносителя приводит к увеличению объемной доли горючего и материалов оболочки твэлов и сопровождается увеличением их диаметра. Если до уплотнения реактора величина диаметра твэла была такой, что на оболочке или в центре твэла

Рис. 1. Зависимость объемных долей горючего, теплоносителя и оболочки твэлов (отнесенных к ϵ_r , $\epsilon_{об}$ и $\epsilon_{т.н.}$ при $\beta = 1,0$) от β (кривые 1, 2 и 3 соответственно).



достигалась предельно допустимая температура, то после уплотнения при сохранении прежнего диаметра твэла объем горючего возрастет, а максимальная температура твэла понизится за счет уменьшения количества тепла, приходящегося на единицу объема горючего. Благодаря этому при большем уплотнении можно выбрать большее значение диаметра твэла, не изменяя мощности и объема активной зоны, или увеличить энергонапряженность активной зоны при прежнем значении диаметра твэла. Следует отметить, что в случае, когда фактором, ограничивающим диаметр твэла, является температура его центра, уплотнение активной зоны сильнее сказывается на возрастании диаметра твэла, чем в случае, когда ограничивающим фактором является тем-

пература оболочки. Итак, с уменьшением отношения высоты активной зоны к ее диаметру при постоянных значениях мощности, объема активной зоны и температуры нагрева теплоносителя в реакторе объемные доли горючего и материалов оболочек увеличиваются, а объемная доля теплоносителя падает. На рис. 1 представлены зависимости объемной доли теплоносителя $\epsilon_{т.н.}$, горючего ϵ_r и оболочки твэла $\epsilon_{об}$ от коэффициента уплотнения β .

Влияние уплотнения на коэффициент воспроизводства и критическую загрузку реактора

Известно, что реакторы, у которых диаметр активной зоны примерно равен ее высоте, имеют наименьшую критическую загрузку [3]. Чем сильнее форма активной зоны отличается от формы правильного цилиндра ($D = H$), тем больше концентрация основного делящегося изотопа, а следовательно, и критическая загрузка. Если в разбавителе горючего присутствует воспроизводящий материал, то увеличение объемной доли горючего при уплотнении реактора сопровождается не только увеличением концентрации основного делящегося материала, но и возрастанием концентрации воспроизводящего материала, что при значениях β порядка 0,5—1 приводит к росту коэффициента воспроизводства активной зоны. При малых значениях β (0,1—0,3) концентрация основного делящегося изотопа даже при незначительном отклонении этого параметра от исходного изменяется очень сильно. При этом, несмотря на рост объемной доли горючего, коэффициент воспроизводства активной зоны может уменьшаться с ростом уплотнения, так как основной делящийся материал начинает вытесняться воспроизводящим; в результате этого концентрация последнего падает. Что касается коэффициента воспроизводства экрана, то с увеличением уплотнения коэффициент воспроизводства бокового экрана (при постоянном составе экрана) уменьшается за счет уменьшения утечки нейтронов в боковой экран. Коэффициент воспроизводства торцового экрана увеличивается вследствие возрастания утечки нейтронов в торцовый экран и увеличения объемной доли воспроизводящего материала. Последняя увеличивается за счет возрастания объемной доли горючего в активной зоне, так как при расчетах реакторов рассматривалась такая их конструкция, при которой обеспечивается одинаковое проходное сечение

теплоносителя в активной зоне и торцовом экране. Общий коэффициент воспроизводства (к. в.), равный сумме коэффициентов воспроизводства активной зоны и экранов, при уменьшении β от 1,0 до 0,1 возрастает, поскольку в целом по реактору концентрация воспроизводящего материала в рассматриваемом диапазоне изменения уплотнения увеличивается.

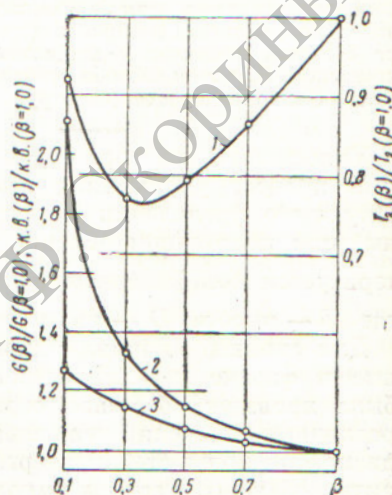


Рис. 2. Зависимость времени удвоения, критической массы и коэффициента воспроизводства (отнесенных к T_2 , G и к. в. при $\beta = 1,0$) от β (кривые 1, 2 и 3 соответственно).

Длина кампании активной зоны при постоянной глубине выгорания горючего возрастает с увеличением уплотнения, так как увеличивается объем горючего и уменьшается неравномерность его выгорания по высоте активной зоны. На рис. 2 представлены зависимости критической массы и коэффициента воспроизводства от уплотнения реактора.

Влияние уплотнения реактора на время удвоения

Возрастание коэффициента воспроизводства и длины кампании с ростом уплотнения, с одной стороны, и увеличением критической массы — с другой, приводит к тому, что при определенном значении уплотнения активной зоны время удвоения T_2 будет минимальным. Под временем удвоения подразумевается время, в течение которого система одновременно работающих реакторов заданной мощности и объема вырабатывает делящийся материал, необходимый для обеспечения топливного цикла такой же системы. Следует отметить, что наибольший эффект в уменьшении времени удвоения при уплотнении реактора достигается тогда, когда разбавителем горючего является чистый воспроизводящий материал (например, U^{238}).

Если разбавитель горючего присутствует в реакторе в форме двуокиси или карбида, то уплотнение реактора наряду с возрастанием концентрации U^{238} приводит к значительному возрастанию концентрации таких элементов как кислород и углерод, что смягчает спектр нейтронов и уменьшает положительный эффект уплотнения.

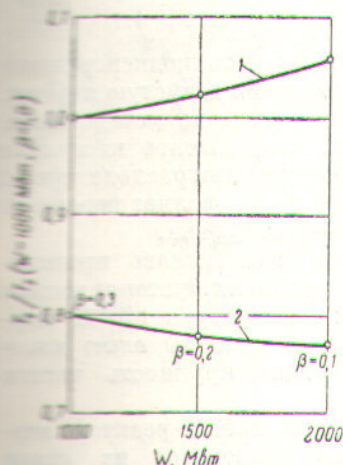


Рис. 3. Зависимости оптимальных по теплонапряженности (кривая 1) и оптимальных по теплонапряженности и уплотнению (кривая 2) периодов удвоения T_2 (отнесенных к оптимальному по теплонапряженности T_2 для реактора мощностью 1000 Мвт при $\beta = 1,0$) от мощности реактора.

Исследовалось влияние уплотнения на время удвоения для реакторов различной мощности. Сначала, что с возрастанием мощности реактора увеличивается положительный эффект воздействия уплотнения на T_2 , т. е. оптимальное по уплотнению время удвоения уменьшается с увеличением мощности реактора. Объясняется это тем, что при переходе к большей мощности возрастает роль увеличения коэффициента воспроизводства при уплотнении, так как при одном и том же значении уплотнения с уве-

личением мощности коэффициент воспроизводства уменьшается. На рис. 3 показана зависимость оптимальных по теплонапряженности и уплотнению периодов удвоения от мощности реактора в относительных единицах. Для сравнения на этом же рисунке построена зависимость оптимальных по теплонапряженности периодов удвоения от мощности реактора при $\beta = 1,0$.

Таким образом, переход к оптимальному при данной мощности уплотнению является простым и эффективным средством снижения времени удвоения быстрых реакторов большой мощности. Следует отметить, что реакторы с большим значением уплотнения кроме высокого коэффициента воспроизводства обладают меньшим по сравнению со слабоуплотненными реакторами гидравлическим сопротивлением для теплоносителя [4]. С технологической точки зрения предпочтительнее реакторы с большим уплотнением и большим диаметром твэла.

В заключение авторы выражают благодарность А. И. Лейпунскому, О. Д. Казачковскому, Ж. Н. Юровой за полезные замечания при обсуждении настоящей работы.

Поступила в Редакцию 4/XI 1963 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Новожилов, С. Б. Шихов. «Атомная энергия», 8, 209 (1960).
2. Г. И. Марчук. Численные методы расчета ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1958, стр. 158.
3. В. Левенштейн, Д. Окрент. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958». Избр. докл. иностр. ученых. Т. 3. М., Атомиздат, 1959, стр. 261.
4. Б. В. Петуни. Теплоэнергетика ядерных установок. М., Госатомиздат, 1960.

УДК 66.061.4:661.879:620.193.52

Влияние интенсивности массообмена на некоторые показатели процесса автоклавного выщелачивания уранового сырья

Б. В. Невский, И. П. Смирнов, С. А. Пирковский

В статье описаны результаты опытов по выяснению влияния плотности пульпы, конструкции и режима работы перемешивающих устройств, обуславливающих интенсивное протекание массообмена, на скорость окисления сульфидной серы и растворение минералов урана при выщелачивании урановой руды в автоклаве мощностью 0,5 МВт. На пульпе оптимальной плотности

опробованы перемешивающие устройства четырех типов. Выбрана мешалка, обеспечивающая лучшие показатели процесса.

При выщелачивании урановой руды в оптимальных условиях за 2 ч удалось окислить до 80% сульфидной серы и перевести в раствор 70—74% урана, что является весьма высоким показателем для руд данного типа.