

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК В РБМК

А.М. Загребаев, Н.В. Овсянникова, А.Э. Речкиман

*Московский инженерно-физический институт (государственный университет),
г. Москва*



Рассматривается возможность оптимизации порядка извлечения негерметичных тепловыделяющих сборок в реакторе при различных критериях и ограничениях. Приводится решение оптимизационных задач при ограничении на величину предельно допустимого выброса и при наличии штрафа.

При работе реактора типа РБМК возможны ситуации, когда одна или несколько тепловыделяющих сборок в процессе эксплуатации становятся негерметичными. Для обнаружения этого факта предназначена система контроля герметичности оболочек твэл (СКГО) [1]. Существующие санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций определяют величину предельно допустимого уровня выброса (ПДВ). Например, в случае достижения годового ПДВ ранее 1-го календарного года АЭС должна быть остановлена [2]. В связи с этим возникает ряд задач, связанных с обнаружением и порядком выгрузки негерметичных ТВС.

Во-первых, если в данный момент времени обнаружено несколько негерметичных ТВС различной энерговыработки, с различной интенсивностью выбросов и суммарный выброс не превышает предельно допустимого уровня, возникает задача об определении очередности выгрузки негерметичных ТВС, чтобы минимально потерять в суммарной энерговыработке и не превысить предельно допустимый уровень.

Во-вторых, если предельно допустимый уровень превышен, но превышение не носит «катастрофического» характера, предлагается приписать «штраф» за нахождение негерметичной ТВС в активной зоне. Величина штрафа при этом пропорциональна выброшенной в окружающую среду активности за время нахождения негерметичной ТВС в активной зоне. Сразу же отметим, что в настоящее время на АЭС могут наложить штрафные санкции только за превышение установленных нормативных выбросов и/или сбросов. Такого превышения, как правило, не достигается даже при наличии в активной зоне реакторов 1–2 негерметичных ТВС. Выгрузка связана обычно с превышением пределов по активности, установленных самой АЭС, которые в несколько раз меньше нормативных. Ущерб от преждевременной выгрузки ТВС можно оценивать либо в натуральном показателе – как потерю энер-

говыворотки, либо в денежном эквиваленте – как потерю стоимости ТВС данной энерговыработки при невозможности ее дожигания. Дело в том, что после выгрузки любой ТВС по негерметичности проводятся «пенальные испытания» (через 3 дня после выгрузки). При не подтверждении факта негерметичности и после осмотра телекамерами ТВС может быть загружена обратно в активную зону через 5–10 дней, т.е. потери, в принципе, это трудозатраты на лишнюю перегрузку и пробоотбор, а также ухудшение нейтронно-физических характеристик реактора при работе с лишним столбом воды в топливном канале. Но возможно повреждение ТВС при перегрузке в бассейн выдержки, неоднозначные результаты пробоотбора и другое – в результате чего ТВС не возвращается в активную зону.

Ниже предлагается несколько постановок и решений оптимизационных задач, основанных как на подходе безусловного непревышения уровня предельно допустимого выброса, так и на подходе наложения штрафных санкций в случае его превышения.

ЗАДАЧА О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ОЧЕРЕДНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ ТВС ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ НА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЙ УРОВЕНЬ ВЫБРОСА АКТИВНОСТИ

Пусть обнаружено, что негерметичными являются N ТВС. При этом каждая ТВС к этому моменту имеет энерговыработку E_{0i} , время работы t_{0i} и интенсивность выброса x_i . Если i -ю ТВС оставить в активной зоне еще на время Δt_i , то энерговыработка составит величину $E(t_{0i} + \Delta t_i)$. Пусть максимальное значение энерговыработки E_m тепловыделяющая сборка достигает в момент времени t_m . При выгрузке ТВС через время Δt_i , потеря энерговыработки i -й ТВС составит величину $\Delta E_i = E_m - E(t_{0i} + \Delta t_i)$. Суммарная потеря энерговыработки при выгрузке всех негерметичных ТВС есть

$S = \sum_{i=1}^N \Delta E_i(\Delta t_i)$. Требуется найти такую очередность выгрузок ТВС, т.е. $\Delta t_1, \dots, \Delta t_N$, чтобы минимизировать суммарную потерю энерговыработки и при этом не нарушить ограничение на величину суммарного выброса активности P .

Математически задача ставится следующим образом:
найти

$$\min_{\Delta t_1, \dots, \Delta t_N} \sum_{i=1}^N \Delta E_i(\Delta t_i) \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^N x_i \Delta t_i \leq P, \quad (2)$$

$$0 \leq \Delta t_i \leq t_m - t_{0i}, \quad (3)$$

$$x_i \geq 0. \quad (4)$$

Задача (1)–(4) может быть решена аналитически при следующих предположениях. Пусть мощность топливного канала зависит от времени линейно

$$W(t) = W_m - \alpha_w t, \quad (5)$$

где W_m – средняя мощность свежезагруженной ТВС, α_w – коэффициент.

Тогда зависимость средней энерговыработки от времени

$$E(t) = \int_0^t W(t) dt = W_m \cdot t - \frac{\alpha_w}{2} t^2. \quad (6)$$

В этом случае с учетом выражений (5), (6) оптимизационная задача выглядит следующим образом:

$$\min_{\Delta t_1 \dots \Delta t_N} \sum_{i=1}^N \left\{ E_m - E_{0i} - \frac{W_{0i}^2}{2\alpha_w} + \frac{\alpha_w}{2} \left(\Delta t_i - \frac{W_{0i}}{\alpha_w} \right)^2 \right\}, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \Delta t_i \leq P, \quad (8)$$

где $W_{0i} = W_m - \alpha_w t_{0i}$.

Рассмотрим решение задачи для двух переменных:

$$\min_{\Delta t_1, \Delta t_2} S = \left\{ 2E_m - E_{01} - \frac{W_{01}^2}{2\alpha_w} + \frac{\alpha_w}{2} \left(\Delta t_1 - \frac{W_{01}}{\alpha_w} \right)^2 - E_{02} - \frac{W_{02}^2}{2\alpha_w} + \frac{\alpha_w}{2} \left(\Delta t_2 - \frac{W_{02}}{\alpha_w} \right)^2 \right\} \quad (9)$$

$$x_1 \Delta t_1 + x_2 \Delta t_2 \leq P, \quad (10)$$

где $\frac{W_{01}}{\alpha_w} = t_m - t_{01} = \Delta T_1$ и $\frac{W_{02}}{\alpha_w} = t_m - t_{02} = \Delta T_2$ – соответственно интервалы времени от момента обнаружения негерметичности до момента штатной выгрузки при максимальной энерговыработке E_m . Отсюда вытекают ограничения:

$$0 \leq \Delta t_1 \leq \Delta T_1; \quad (11)$$

$$0 \leq \Delta t_2 \leq \Delta T_2. \quad (12)$$

Оптимизационная задача (9)–(12) имеет простую геометрическую интерпретацию.

Функция $z = S(\Delta t_1, \Delta t_2)$ представляет собой параболоид вращения, ограничение $x_1 \Delta t_1 + x_2 \Delta t_2 \leq P$ – плоскость, параллельную оси z . На рис.1 показана проекция плоскости и горизонтальных сечений параболоида на плоскость $(\Delta t_1, \Delta t_2)$.

Из рис. 1 видно, что оптимальным является точка касания прямой и окружности, если эта точка находится внутри области. В противном случае оптимальное решение лежит на границе области допустимых значений. Для внутренних точек области изменения переменных оптимальное решение находится из соотношений:

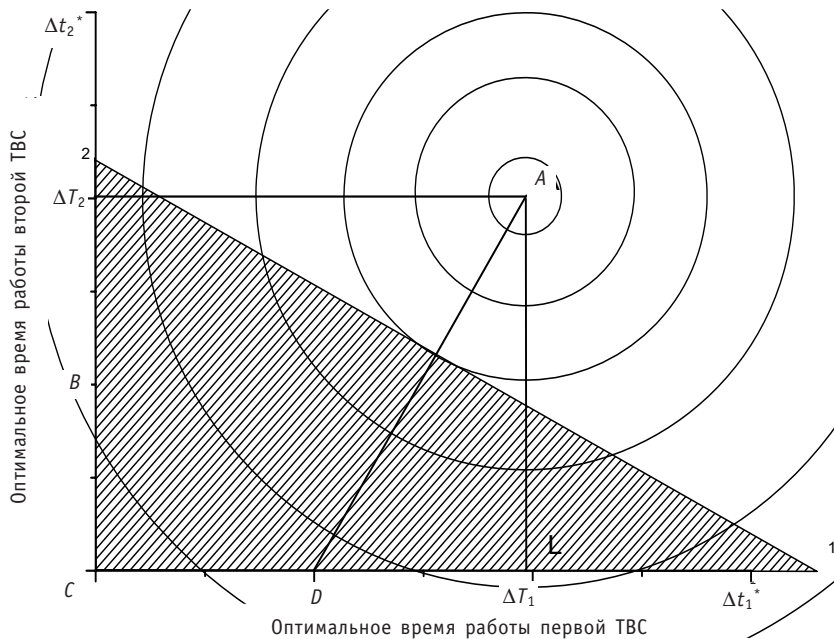


Рис.1. Геометрическая интерпретация задачи оптимизации

$$\frac{\partial S}{\partial \Delta t_1} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial \Delta t_2} = 0. \quad (13)$$

В явном виде это

$$\Delta t_1^* = \frac{\frac{W_{01}}{\alpha_w} - \left(\frac{x_1}{x_2}\right) \cdot \left(\frac{W_{02}}{\alpha_w}\right) + \left(\frac{P}{x_2}\right) \cdot \left(\frac{x_1}{x_2}\right)}{1 + \left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2} \quad (14)$$

$$\Delta t_2^* = \frac{\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{W_{02}}{\alpha_w}\right) - \left(\frac{x_1}{x_2}\right) \frac{W_{01}}{\alpha_w} + \frac{P}{x_2}}{1 + \left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2}. \quad (15)$$

Исключая из выражений (14)–(15) член $\frac{P}{x_2}$, получим уравнение оптимальной траектории:

$$\Delta t_2^* = \left(\frac{x_2}{x_1}\right) \Delta t_1^* + \left(\frac{W_{02}}{\alpha_w}\right) - \left(\frac{W_{01}}{\alpha_w}\right) \cdot \left(\frac{x_2}{x_1}\right); \quad (16)$$

или

$$\Delta t_2^* = \left(\frac{x_2}{x_1}\right) \Delta t_1^* + \Delta T_2 - \Delta T_1 \cdot \left(\frac{x_2}{x_1}\right). \quad (17)$$

Возможные оптимальные траектории представлены на рис. 2.

Характер оптимальных траекторий понимается следующим образом. Если интенсивность выбросов такова, что предельно допустимый уровень выброса не превышает до момента штатной перегрузки обеих ТВС, то оптимальным являет-

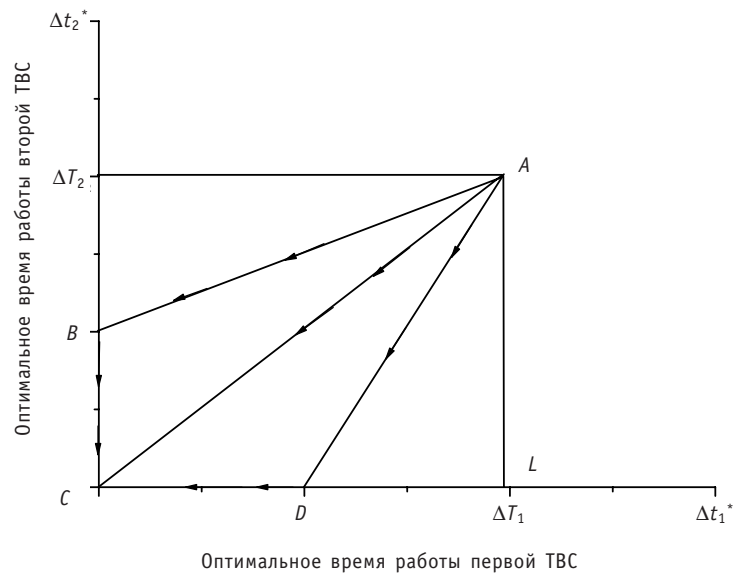


Рис.2. Оптимальные траектории

ся решение $\Delta t_1^* = \Delta T_1$; $\Delta t_2^* = \Delta T_2$ – точка A , т.е. обе ТВС дожигаются до штатной энерговыработки. В противном случае ТВС должны выгружаться ранее (траектории ABC , AC , ADC). Если $\Delta T_2 - \Delta T_1 \cdot \left(\frac{x_2}{x_1}\right) > 0$, то оптимальные точки лежат на траектории ABC .

Физически это означает следующее. Пусть, например, $\left(\frac{x_2}{x_1}\right) = 1$, тогда $\Delta T_2 > \Delta T_1$, т.е. вторая ТВС более «свежая» и время ее пребывания в активной зоне до выгрузки больше, чем более выгоревшей ТВС ($\Delta t_2^* > \Delta t_1^*$). На участке траектории BC первая ТВС выгружается сразу же, а вторая «дожигается», пока не нарушится ограничение по выбросу активности. Если $\Delta T_2 - \Delta T_1 \cdot \left(\frac{x_2}{x_1}\right) < 0$, то ситуация носит противо-

положный характер (траектория ADC). При $\Delta T_2 - \Delta T_1 \cdot \left(\frac{x_2}{x_1}\right) = 0$ (траектория AC) обе ТВС некоторое время находятся в активной зоне, и отношение оптимальных времен пребывания ТВС в активной зоне есть $\frac{\Delta t_2^*}{\Delta t_1^*} = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}$. Менее выгоревшая ТВС дольше находится в активной зоне. При произвольном соотношении активностей $\frac{x_1}{x_2}$ и значений времен ΔT_1 , ΔT_2 ответ не является очевидным и определяется из соотношений:

при $\Delta T_1 - \left(\frac{x_1}{x_2}\right) \cdot \Delta T_2 + \left(\frac{P}{x_2}\right) \cdot \left(\frac{x_1}{x_2}\right) \leq 0$, $\Delta t_1^* = 0$, $\Delta t_2^* = \frac{P}{x_2}$;

при $\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2 \cdot \Delta T_2 - \left(\frac{x_1}{x_2}\right) \Delta T_1 + \frac{P}{x_2} \leq 0$ $\Delta t_2^* = 0$, $\Delta t_1^* = \frac{P}{x_1}$;

при $\Delta T_1 - \left(\frac{x_1}{x_2}\right) \cdot \Delta T_2 + \left(\frac{P}{x_2}\right) \cdot \left(\frac{x_1}{x_2}\right) > 0$ и $\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2 \cdot \Delta T_2 - \left(\frac{x_1}{x_2}\right) \Delta T_1 + \frac{P}{x_2} > 0$

$$\Delta t_1^* = \frac{\Delta T_1 - \left(\frac{x_1}{x_2}\right) \cdot \Delta T_2 + \left(\frac{P}{x_2}\right) \cdot \left(\frac{x_1}{x_2}\right)}{1 + \left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2}, \quad (18)$$

$$\Delta t_2^* = \frac{\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2 \cdot \Delta T_2 - \left(\frac{x_1}{x_2}\right) \Delta T_1 + \frac{P}{x_2}}{1 + \left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2}. \quad (19)$$

Например, пусть $\Delta T_1 = \frac{t_m}{2}, \Delta T_2 = \frac{t_m}{4}, \frac{P}{x_2} = \frac{t_m}{8}$. Иными словами, первая ТВС отработала всего половину кампании, а вторая – три четверти кампании.

Если $\frac{x_1}{x_2} = 1$, то $\Delta t_1^* = \frac{3}{16}t_m, \Delta t_2^* = 0$ – в активной зоне остается менее выгоревшая ТВС, другая выгружается сразу же при обнаружении негерметичности.

Если $\frac{x_1}{x_2} = 5$, то $\Delta t_1^* = 0, \Delta t_2^* = \frac{t_m}{8}$ – менее выгоревшая ТВС выгружается сразу же, а другая остается в активной зоне, пока не нарушится ограничение.

Наконец, если $\frac{x_1}{x_2} = 3$, то $\Delta t_1^* = \frac{1}{80}t_m, \Delta t_2^* = \frac{7}{80}t_m$ – обе ТВС некоторое время дожигаются в активной зоне.

ЗАДАЧА ВЫБОРА ТВС ДЛЯ ВЫГРУЗКИ ПО НЕГЕРМЕТИЧНОСТИ С УЧЕТОМ ШТРАФА

Предположим, что по данным системы КГО подозревается в негерметичности типа «газовой неплотности» несколько ТВС. Пусть стоимость ТВС с энерговыработкой E определяется по соотношению [3]:

$$C = C_e \left(1 - \frac{3}{2} \frac{E}{E_m} + \frac{1}{2} \left(\frac{E}{E_m} \right)^2 \right).$$

Если на самом деле ТВС герметична, но выгружается в момент времени t_0 (время отсчитывается от момента загрузки данной ТВС в реактор), то ущерб от преждевременной выгрузки можно выразить следующим образом:

$$S_1 = C_e \beta_i \left(1 - \frac{3}{2} \frac{E_i(t_0)}{E_m} + \frac{1}{2} \left(\frac{E_i(t_0)}{E_m} \right)^2 \right), \quad (20)$$

где E_m – энерговыработка ТВС, выгружаемой по плану перегрузок; $E_i(t_0)$ – энерговыработка i -й ТВС, выгружаемой по подозрению в негерметичности в момент времени t_0 ; C_e – коэффициент, переводящий потерю энерговыработки в денежный эквивалент (при этом выброса активности в атмосферу нет); β_i – вероятность невозврата i -й ТВС в активную зону для дожигания, вследствие технологических причин, например, механических повреждений.

Если же ТВС негерметична, но остается в активной зоне в течение времени Δt_i до момента перегрузки, то ущерб за счет штрафа от превышения естественного фона будет выражаться соотношением:

$$S_2 = C_f \int_0^{\Delta t_i} x(\tau) d\tau, \quad (21)$$

где $x(\tau)$ – величина превышения активности над фоновым значением x_f , при котором ТВС считается герметичной; C_f – коэффициент, переводящий превышение активности над естественным фоном в денежный эквивалент.

Пусть α_i – вероятность того, что данная i -я ТВС негерметична в момент времени t_0 . Тогда средний ущерб от принятия ошибочного решения по i -й ТВС есть

$$S_i = (1 - \alpha_i) S_1 + \alpha_i \cdot S_2 = (1 - \alpha_i) \beta_i C_e \left(1 - \frac{3}{2} \frac{E_i}{E_m} + \frac{1}{2} \left(\frac{E_i}{E_m} \right)^2 \right) + \alpha_i \cdot C_f \int_0^{\Delta t_i} x_i(\tau) d\tau. \quad (22)$$

Понятно, что вероятность того, что ТВС является негерметичной, может зависеть от нескольких факторов, например, от количества перегрузок данной ТВС, от нарушений ограничений по величине линейной нагрузки, мощности, расхода теплоносителя, от месторасположения ТВС в активной зоне, от амплитуды и частоты высотных колебаний энерговыделения и т.д. Предположим, что для каждой ТВС известна вероятность выхода по негерметичности и рассмотрим вариант, когда она не зависит от энерговыработки [4]. Если считать, что активность i -й ТВС не

нарастает во времени (иначе она была бы легко обнаружена), то $\int_0^{\Delta t_i} x_i(\tau) d\tau = x_i \Delta t_i$,

где Δt_i – время до штатной перегрузки данной ТВС.

Тогда средняя потеря в случае неверного решения «о судьбе» ТВС есть

$$S_i = (1 - \alpha_i) \beta_i C_e \left(1 - \frac{3 E_i}{2 E_m} + \frac{1}{2} \left(\frac{E_i}{E_m} \right)^2 \right) + \alpha_i \Delta t_i \cdot C_f x_i. \quad (23)$$

Из выражения (4) видно, что потери при ошибочном решении зависят как от величины активности, так и от конкретного значения энерговыработки данной ТВС.

Поэтому, если на негерметичность данного вида подозревается несколько сборок, то в первую очередь должна выгружаться ТВС с меньшим значением S_i .

ЗАДАЧА О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ВЫГРУЗКИ НЕГЕРМЕТИЧНОЙ ТВС С УЧЕТОМ ШТРАФА

Совершенствование аппаратных и программных средств КГО повышают вероятность обнаружения негерметичной ТВС [5]. При этом возникает другая задача оптимизации, связанная с временем извлечения негерметичной ТВС.

Предположим, что в момент времени $t = t_0$ было обнаружено, что данная ТВС негерметична. При этом ТВС к этому времени имеет энерговыработку E_0 ; если ее перегрузить немедленно, то за счет недожигания ущерб будет составлять величину $S_1(1)$, (при $\beta = 1$, поскольку повторное использование данной ТВС невозможно):

$$S_1 = C_e \left(1 - \frac{3 E_i(t_0)}{2 E_m} + \frac{1}{2} \left(\frac{E_i(t_0)}{E_m} \right)^2 \right). \quad (24)$$

Если же оставить данную ТВС в активной зоне на время Δt , то потери в энерговыработке уменьшатся за счет дополнительного выжигания топлива в течение времени Δt , но возрастут потери за счет штрафа за превышение активности над естественным фоном:

$$S_2 = C_f \int_0^{\Delta t} x(\tau) d\tau. \quad (25)$$

Таким образом, существуют две противоположных тенденции, следовательно, может существовать такой интервал времени Δt после обнаружения негерметичной ТВС, через который и следует проводить ее замену. Математически задача сводится к поиску такого значения Δt , чтобы функция потерь S принимала минимальное значение:

$$\min_{\Delta t} (S_1 + S_2) = \min_{\Delta t} \left\{ C_e \left(1 - \frac{3 E_i(t_0 + \Delta t)}{2 E_m} + \frac{1}{2} \left(\frac{E_i(t_0 + \Delta t)}{E_m} \right)^2 \right) + C_f \int_0^{\Delta t} x(\tau) d\tau \right\}. \quad (26)$$

Легко получить явный вид минимизируемой функции при следующих предположениях: мощность ТВС от времени зависит линейно $W(t) = W_0 - \alpha_w \cdot t$ и превыше-

ние сигнала над фоном описывается также линейной функцией $x(t) = x_0 + b \cdot t$. В этом случае $E_i(t_0 + \Delta t) = W(t_0) \cdot \Delta t$ и минимизируемая функция примет вид:

$$S_i = C_e \left(1 - \frac{3W_i \cdot \Delta t}{2E_m} + \frac{1}{2} \left(\frac{W_i \cdot \Delta t}{E_m} \right)^2 \right) + C_f \left[x_0 \cdot \Delta t + \frac{b(\Delta t)^2}{2} \right].$$

Минимум функции находится из условия

$$\frac{dS}{d(\Delta t)} = 0,$$

оптимальное значение Δt есть

$$\Delta t_{opt} = \frac{\frac{3W_i}{2E_m} - p \cdot x_0}{\left(\frac{W_i}{E_m} \right)^2 + p \cdot b}, \quad (27)$$

где $p = \frac{C_f}{C_e}$ – относительная величина стоимости штрафа за превышение фона.

Смысл этого выражения очевиден: интервал времени до выгрузки негерметичной ТВС тем больше, чем более свежая ТВС подозревается в негерметичности и тем меньше, чем больше интенсивность выбрасываемой активности.

Задача может быть поставлена и следующим образом: определить такую область принятия решений о выгрузке ТВС, при которой ущерб не превышал бы заданной величины $S_i \leq C_0$ (см. рис. 3). В этом случае имеется свобода в выборе момента выгрузки негерметичной ТВС, что может быть полезно, исходя из технологических соображений.

Таким образом, представленные выше постановки оптимизационных задач дают возможность либо минимизировать потери при принятии решения о выгрузке негерметичной ТВС, либо оценить их при другом решении, отличном от оптимального.

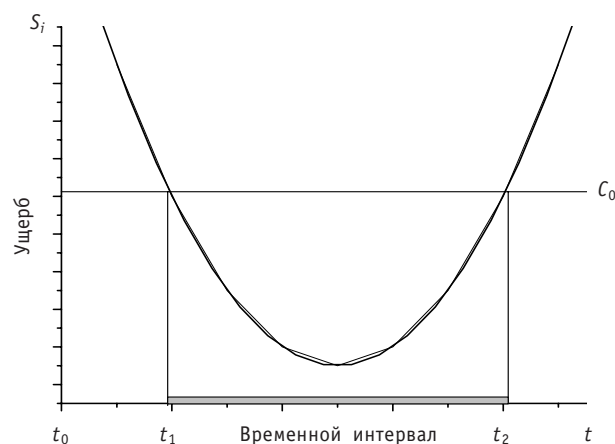


Рис.3. Зависимость ущерба от времени нахождения негерметичной ТВС в активной зоне

Литература

1. Доллежалъ Н.А., Емельянов И.Я. Канальный ядерный энергетический реактор. – М.: Атомиздат, 1980. – 208 с.
2. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)/СанПин 2.6.1.24-03. Минздрав России. – М., 2003.
3. Краюшкин А.В., Новиков В.Г., Федосов А.М. Экономический эффект от использования уран-эрибиевого топлива в РБМК/Материалы научно-практического семинара «Опыт эксплуатации, совершенствование и повышение эксплуатационной надежности ядерного топлива РБМК. Состояние и перспективы» (г. Электросталь, 23-25 апреля 2003 г.). – С. 31-37.
4. Аден В.Г., Петров А.А., Купалов-Ярополк А.И. и др. Повышение эффективности использования топлива в РБМК-1000//Атомная энергия. – 2007. – Т. 103. – Вып. 1. – С. 50-57.
5. Жемчугов В.П. и др. Методическое обеспечение аппаратуры контроля герметичности оболочек (АКГО) твэл РБМК//ВАНТ. Сер.: Техническая физика и автоматизация. – 2005. – Вып. 59. – Ч. 2. – С. 18-25.

Поступила в редакцию 6.05.2008

УДК 621.039.51

The Hardware-Software Complex for Measurements of Neutron-Physical Characteristics During First Criticality and Power Start-up of the Kalinin NPP Third Unit \ V. Lititsky, B. Kutin, V. Parshutin; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 6 pages, 4 illustrations.

This article describes the complex of hardware and software instruments for measurements of neutron-physical characteristics during first criticality, power start-up and operation of the Kalinin NPP third unit.

УДК 621.039.54

System of Numerical Benchmarks for VVER Neutronics \ I.R. Suslov; Editorial board of journal «Izvestia vusshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 10 pages, 1 table. – References – 18 titles.

A system of computational neutronic benchmarks has been developed over the last four years. This system is intended to complement the Atomic Energy Research (AER) benchmarks. This paper presents a summary of the development and a brief description of the benchmarks. The set is primarily comprised of interrelated benchmarks that share situation descriptions and data. The system covers the VVER 440 and VVER 1000 reactors extensively, and in a few cases the newer VVER 640 reactor design. Benchmarks within the system address the static, dynamic (with and without feedback), fuel depletion and fuel loading optimization, and normal as well as accident situations.

УДК 621.039.5

Optimization Tasks of Non-Hermetic Fuel Assemblies Extraction in RBMK Nuclear Reactor \ A.M. Zagrebayev, N.V. Ovsyannikova, A.E. Rechkiman; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 9 pages, 3 illustrations. – References – 5 titles.

The possibility of optimization of non-hermetic fuel assemblies schedule in a nuclear reactor at different criteria and restrictions is considered. The solution of optimization tasks with maximum permissible emission limit and under penalty is given.

УДК 621.039.51

Model of VVER -1000 Reactor for Training Course \ V.I. Belozarov, V.V. Sergeev, A.A. Kazantsev, A.N. Pozdnyakov, M.Yu. Kanyshv; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 8 pages, 3 illustrations. – References – 3 titles.

Because of absence of professors in the locations of NPP some of functions of training and maintenance of qualification can be performed by means of computer training courses.

The developed didactic model of reactor VVER -1000 enables one to perform the comparative analysis of transient operation mode and for some emergency processes also in dependence both from an initial condition (the period of campaign, position of control rods, power level, previous history of power and so on), and from composition of core itself. Based upon of transient completely non-equilibrium thermal-hydraulic code from 6 conservation equations and neutron-physical model the model of reactor VVER -1000 is developed for a training course.

The scope of simulation was chosen as optimum for the given task. Unlike a program of creating the models for NPP simulator, the model was performed with higher accuracy, but with smaller volume of the main equipment, than in full-scale simulators, that essentially improves understanding of physics.

УДК 321.039.531: 620.193

Inside Cladding Corrosion of Stainless Steel in Reactor Conditions \ E. Kinev; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 7 pages, 5 illustrations. – References – 2 titles.

Fuel cladding corrosion of annealed 0.08C 16Cr15Ni3MoNb stainless steel, .08C16Cr15Ni3MoNb cold-worked (CW), 0.06C16Cr15Ni3MoNb CWsteel, 0.06C16Cr15Ni2Mo2MnTiVB CWsteel, and