

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАБОТНИКОВ В РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ЗОНАХ С ЦЕЛЮ МИНИМИЗАЦИИ ОБЛУЧЕНИЯ

А.Н. Сесекин*, О.Л. Ташлыков*, С.Е. Щеклеин*, М.Ю. Куклин,
А.Г. Ченцов***, А.А. Кадников******

** ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»*

*** Уральский турбинный завод*

****Институт математики и механики УрО РАН*

*****ПО «Атомэнергоремонт», г. Мытищи*



Обоснована актуальность решения задачи оптимизации траектории перемещения работников в радиационно опасных зонах. Проведен математический анализ возможности использования и преимущества метода динамического программирования в решении данной задачи. Выполнены оценочные расчеты оптимальной траектории движения и сравнение сокращения облучаемости при различных вариантах входа и выхода в зону контролируемого доступа с исходным.

В последние годы интегральное плановое облучение персонала АЭС неуклонно снижается благодаря комплексу организационных мероприятий, в том числе направленных на улучшение радиационной обстановки и на уменьшение времени пребывания персонала в зоне действия ионизирующих излучений (рис.1). Однако для всех АЭС в мире характерно усложнение решения задачи поддержания облучения персонала на низком уровне в связи со старением оборудования и систем. Кроме того, в ближайшие годы предстоят значительные объемы работ по демонтажу радиоактивного оборудования при снятии АЭС с эксплуатации [1].

Достаточно высокие значения средней по энергоблокам коллективной дозы определяются в основном показателями облучаемости персонала АЭС с реакторами РБМК. Аналогичные показатели АЭС с ВВЭР существенно ниже и не уступают соответствующим показателям, достигнутым странами с развитой атомной энергетикой. И если на АЭС с ВВЭР при хорошей организации радиационной защиты персонала 80-90% коллективной дозы приходится на время ремонта энергоблоков, то на АЭС с РБМК это значение составляет примерно 50% [2]. В настоящее время не существует какого-либо одного мероприятия, способного существенно снизить облучаемость персо-

нала. Поэтому в последние годы пристальное внимание обращено на оптимизацию организации радиационно опасных работ.

Доза, получаемая при техническом обслуживании и ремонте, является суммой трех составляющих:

- дозы, полученной по пути к рабочей площадке и обратно, при перемещении между обслуживаемыми объектами;
- дозы, полученной при выполнении работ;
- дозы, полученной при подготовке к работе и завершении работ (уборке рабочего места, сдаче его и т.д.).

Среди рассмотренных выше составляющих дозы облучения, подлежащих оптимизации, несомненный интерес представляет оптимизация дозовых затрат, получаемых персоналом при перемещении от объекта к объекту, поскольку данный вопрос практически не рассматривался в отечественной и зарубежной практике.

Снижение «транзитных доз», полученных в пути на рабочее место и от рабочего места до выхода из зоны контролируемого доступа, представляет собой важную задачу в общем процессе оптимизации облучения ремонтного персонала. Для сокращения доз, получаемых при перемещении, на ряде зарубежных станций используются подробные карты, которые можно получить при входе в реакторное здание и на различные отметки внутри здания. Это помогает сократить время перемещения работников, которые могут «потеряться» и поэтому получить ненужную дозу во время поиска их рабочего места. В частности, этот случай относится к работе на арматуре малого диаметра, которую часто трудно найти. Эти карты могут быть включены в рабочие процедуры, выдаваемые работникам (например, на АЭС Paluel EDF [3] рабочая процедура содержит фотографии участка, где показано расположение клапана и указаны оцененные или измеренные значения мощности дозы).

Однако по имеющимся данным на предприятиях атомной энергетики и промышленности не используется оптимизация пути перемещения работников с целью сокращения доз, получаемых при перемещении.

Если при выполнении ремонтных работ выбор пути с минимальной дозой облучения во время перемещения не представляет сложности, т.к. количество обслуживаемых объектов ограничено одним-двумя, то при техническом обслуживании оборудования и систем минимизации облучения путем оптимизации перемещения в зоне контролируемого доступа требует использования специальных программ. Оптимизации траектории движения работников дает возможность минимизировать их облучение при перемещениях в рабочей зоне в помещении, на загрязненной территории.

Представленная задача аналогична известной в математике задаче коммивояжера [4], в которой торговец, начиная с некоторого города, хочет посетить каждый из $(n-1)$ других городов один и только один раз. В каком порядке должен он посещать города, чтобы минимизировать суммарное пройденное расстояние (начальный и конечный города фиксированы)? Под «расстоянием» можно подразумевать время, издержки или другой измеритель (например, в данной работе – это доза облучения).

Задача сочетает простоту постановки и трудность решения вычислительного характера. В последние годы было предложено много методов решения задачи. Одни из них неэффективны, другие не гарантируют оптимального решения, некоторые требуют принятия интуитивных решений, а это затрудняет программирование для ЭВМ.

Среди методов такого типа наиболее эффективными (в вычислительном отношении) оказались основанные на идеях динамического программирования, поскольку гарантируют оптимальность, обеспечивают удобство программирования решения, а также являются универсальными, т.е. приспособлены для задач различного типа.

Замечание. Известно много обобщений задачи коммивояжера, связанных с ре-

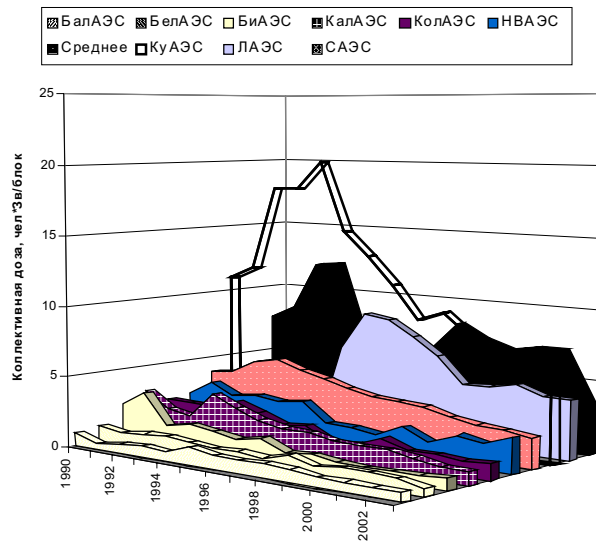


Рис.1. Коллективные дозы облучения, отнесенные на один блок АЭС России

шениями многочисленных практических задач (см. [4]–[6] и библиографию к ним). В частности, полезно отметить так называемую задачу коммивояжера «с выбором» [7]–[9], где рассмотрены вопросы о посещении кластеров в пространстве городов. В этом направлении можно отметить работу [10] и большую серию последующих публикаций [11]...[12], посвященных решению дискретно-непрерывной маршрутной задачи последовательного обхода множеств. Дальнейшим продвижением в решении таких задач, осложненных ограничениями в виде условий предшествования, является статья [13].

В Уральском государственном техническом университете – УПИ кафедрами «Прикладная математика» и «Атомная энергетика» разработана расчетная программа, позволяющая определять оптимальную траекторию перемещения работника в радиационных полях, при движении по которой его облучение будет минимальным.

Для решения задачи коммивояжера воспользуемся методом динамического программирования. Заметим, что данный метод может рассматриваться как метод качественного исследования задачи коммивояжера. Считаем, что у нас зафиксирован начальный объект (нулевой город) и конечный объект с номером N . Полагаем, что $N > 2$. Матрицу C с элементами c_{ij} будем называть матрицей издержек. Здесь элемент c_{ij} , находящийся на пересечении i -й строки и j -го столбца характеризует издержки (полученную дозу облучения) на перемещение от i -го до j -го объекта.

Через P обозначим множество всех перестановок чисел из $\overline{1, N-1}$. Элементы P являются взаимно однозначными отображениями $\overline{1, N-1}$ на $\overline{1, N-1}$. Для обозначения элементов P используем буквы $\alpha, \beta, \gamma, \dots$; при этом для $\eta \in P$ имеем

$$\eta: \overline{1, N-1} \rightarrow \overline{1, N-1}.$$

Каждой перестановке $i \in P$ мы ставим в соответствие число

$$\pi(i) = c_{0, i(1)} + \sum_{j=1}^{N-2} c_{i(j), i(j+1)} + c_{i(N-1), N}, \quad (1)$$

которое равно дозе облучения, полученной при обходе объектов в последовательности i . Из (1) видно, что к перестановкам мы относимся, как к функциям. Поскольку P – конечное множество, следовательно, задача

$$\pi(i) \rightarrow \min, i \in P \quad (2)$$

непрерывно имеет решение. Введем в этой связи значение V

$$V = \min_{i \in P} \pi(i) \quad (3)$$

задачи (2) и непустое множество

$$S = \{\alpha \in P \mid \pi(\alpha) = V\} \quad (4)$$

всех ее решений. Под решениями задачи (2) будем понимать нахождение V из (3) и какого-то элемента $\alpha \in S$.

Данную задачу (2) мы включаем в множество (подобных) задач, которые будем именовать укороченными.

Через $\overline{Fin(1, N-1)}$ обозначим семейство всех непустых подмножеств множества $\overline{1, N-1}$ (разумеется, все множества $K \in \overline{Fin(1, N-1)}$ конечны).

Если $K \in \overline{Fin(1, N-1)}$, то через $|K|$ обозначим количество элементов (мощность) множества K , $|K| \in \overline{1, N-1}$; элементы данного множества K можно занумеровать без повторений числами из $\overline{1, |K|}$. В этой связи, для всякого $K \in \overline{Fin(1, N-1)}$ введем множество $(bi)[K]$ всех биективных отображений [14].

$$B: \overline{1, \text{mod } K} \rightarrow K, \quad (5)$$

под которыми понимаем взаимно однозначные отображения из $\overline{1, |K|}$ на K , т.е. нумерации элементов K без повторений. Заметим, что биекции (5) – аналоги перестановок из множества P более того, $P = (bi)[\overline{1, N-1}]$. В виде $(bi)[K]$, $K \in \overline{Fin(1, N-1)}$ мы всякий раз имеем непустое конечное множество. Условимся полагать, что $|\emptyset| = 0$ (\emptyset принято рассматривать как конечное). Полагаем, что $M = \overline{Fin(1, N-1)} \cup \{\emptyset\}$ (семейство всех подмножеств $\overline{1, N-1}$). Пусть

$$M_s = \{K \in \overline{Fin(1, N-1)} : s = |K|\} \forall s \in \overline{1, N-1}. \quad (6)$$

Пары (m, K) , где $m \in \overline{0, N-1}$ и $K \in \overline{Fin(1, N-1)}$ называем позициями.

Множество всех таких позиций можно разделить на слои, соответствующие разбиению $(M_s)_{s \in \overline{0, N-1}}$ семейства $\overline{Fin(1, N-1)}$ всех подмножеств $\overline{1, N-1}$. Именно полагаем

$$D_1 = \{m : m \in \overline{1, N-1}\}, \quad (7)$$

$$D_s = \{(m, K) \in \overline{1, N-1} \times M_s : m \notin K\} \forall s \in \overline{1, N-1}, \quad (8)$$

$$D_N = \{(0, \overline{1, N-1})\}. \quad (9)$$

Здесь в (7)–(9) используется следующее соглашение: если x – какой-либо объект (число, упорядоченная пара, множество и т.д.), то $\{x\}$ есть по определению одноэлементное множество, содержащее x .

Отметим одно простое свойство, связанное с (7)–(9): если $s \in \overline{1, N-1}$, $K \in M_s$ и $k \in K$, то

$$(k, K \setminus \{k\}) \in D_{s-1}. \quad (10)$$

Введем теперь нужные для последующего построения функции Беллмана «укороченные» задачи. Они будут состоять в наиболее экономном осуществлении последовательного обхода объектов из множеств $K, K \in \overline{1, N-1}$. Для наших целей существенны экстремумы таких задач. В этой связи полагаем, что на D_1 построена функция

$$V_1 : D_1 \rightarrow R,$$

которая задается равенством

$$V_1(m, N) = c_{m, N}. \quad (11)$$

Функции $V_s(m, K, N)$, где $s \in \overline{2, N}$, $(m, K) \in D_s$ строятся с помощью уравнения Беллмана

$$V_s(m, K, N) = \min_{k \in K} (c_{m, k} + V_{s-1}(k, K \setminus \{k\}, N)). \quad (12)$$

Обратимся теперь к построению маршрута при построенных слоях функции Беллмана V_1, V_2, \dots, V_N .

Далее, применяя стандартную логику метода динамического программирования, можем построить оптимальную пару «маршрут – трасса». Мы ограничимся описанием двух первых шагов построения упомянутой оптимальной пары. Итак, мы выбираем (см. (12)) $i_1 \in \overline{1, N-1}$, для которого

$$V_N(0, \overline{1, N-1}, N) = c_{0, i_1} + V_{N-1}(i_1, \overline{1, N-1} \setminus \{i_1\}, N). \quad (13)$$

Далее перемещаемся к объекту i_1 , для которого известно значение $V_{N-1}(i_1, \overline{1, N-1} \setminus \{i_1\}, N) \in [0, \infty[$. Воспользовавшись уравнением Беллмана (12), имеем

$$V_{N-1}(i_1, \overline{1, N-1} \setminus \{i_1\}, N) = \min_{k \in \overline{1, N-1} \setminus \{i_1\}} (c_{i_1, k} + V_{N-2}(k, \overline{1, N-1} \setminus \{i_1, k\}, N)).$$

Выбираем $i_2 \in \overline{1, N-1} \setminus \{i_1\}$, для которых

$$V_{N-1}(i_1, \overline{1, N-1} \setminus \{i_1\}, N) = c_{i_1, i_2} + V_{N-2}(i_2, \overline{1, N-1} \setminus \{i_1, i_2\}, N).$$

Дальнейшее построение очевидно.

Применение метода динамического программирования для оптимизации траектории движения работника. Объекты ТООР, рассматриваемые в данной расчетной схеме, могут располагаться в различных помещениях (боксах) и на различных высотных отметках. Путь между объектами в расчетной схеме выражается в виде эффективной дозы облучения E_{a-b} , получаемой в процессе движения между обслуживаемыми объектами $a-b$:

$$E_{a-b} = \sum P_i \cdot k \cdot t_i,$$

где P_i – радиационный параметр i -й зоны (мощность дозы, мощность воздушной кермы и т.д.), k – коэффициент перехода от радиационного параметра P_i к эффективной дозе, t_i – время, за которое работник пересечет i -ю зону с радиационным параметром P_i

$$t_i = \frac{S_i}{v_i},$$

где S_i – ширина i -й зоны, м; v_i – скорость движения работника в i -й зоне, м/с.

Для оценки эффективности оптимизации пути перемещения персонала при техническом обслуживании были просчитаны несколько реальных вариантов движения работников в зоне контролируемого доступа. Для решения подобных задач специально разработано программное обеспечение на языке программирования DELPHI.

Рассмотрим один из примеров. Возможные пути перемещения персонала при техническом обслуживании приведены на рис. 2, а в табл. 1 – дозовые затраты (мкЗв) при перемещении на участках между отдельными объектами (значение « ∞ » в матрице означает отсутствие возможного прохода).

Оптимальные пути перемещения при заданных возможных вариантах входа и выхода работника в зону контролируемого доступа, найденные с использованием описанных выше методов расчета, представлены в табл. 2.

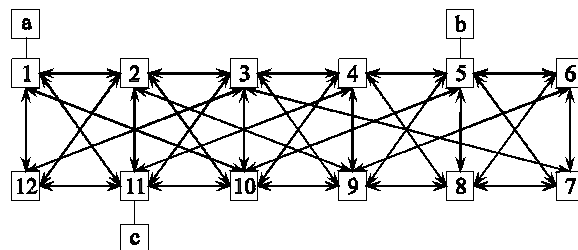


Рис. 2. Схема возможных путей перемещения между объектами ТОиР: 1...12 – объекты ТОиР; а, b, с – возможные точки входа и выхода

Таблица 1

Данные для расчета оптимального пути перемещения между объектами ТОиР

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	∞	8,2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	23	5,6	7,5
2	8,2	∞	11	∞	∞	∞	∞	∞	22	13,2	9,8	11
3	∞	11	∞	23	∞	∞	17,5	∞	17,5	22	11,5	31
4	∞	∞	23	∞	7,8	∞	∞	21,5	11	13,2	24	∞
5	∞	∞	∞	7,8	∞	11	19	7,8	16,5	19,8	∞	∞
6	∞	∞	∞	∞	11	∞	19	20	27,5	∞	∞	∞
7	∞	∞	17,5	∞	19	19	∞	21	∞	∞	∞	∞
8	∞	∞	∞	21,5	7,8	20	21	∞	15	∞	∞	∞
9	∞	22	17,5	11	16,5	27,5	∞	15	∞	13	∞	∞
10	23	13,2	22	13,2	19,8	∞	∞	∞	13	∞	10	∞
11	5,6	9,8	11,5	24	∞	∞	∞	∞	∞	10	∞	22
12	7,5	11	31	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	22	∞

На рис.3 приведены результаты сравнения доз, получаемых при перемещении по исходному варианту маршрута и найденным оптимальным маршрутам при заданных вариантах входа и выхода в зону контролируемого доступа.

Как следует из приведенных данных, оптимизация пути перемещения персонала позволяет сократить «транзитную» дозу облучения на 16–21% (рис. 3).

Достоверные данные по дозам, получаемым при перемещении между объектами технического обслуживания, в литературе отсутствуют. В ряде работ даются приближенные оценки, составляющие 2–5%. Исходя из этих оценок, при годовой коллективной дозе 4,42 чел·Зв/блок (среднее значение для энергоблока с РБМК-1000) можно

Таблица 2

Оптимальные пути перемещения

Вариант	Вход	Выход	Путь	Доза, мкЗв
1 (исходный)	а	а	1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 11 → 12 → 1	168,5
2	б	б	5 → 8 → 9 → 4 → 10 → 11 → 1 → 12 → 2 → 3 → 7 → 6 → 5	139,6
3	а	б	1 → 12 → 2 → 3 → 11 → 10 → 4 → 9 → 8 → 7 → 6 → 5	142,9
4	с	а	11 → 10 → 4 → 9 → 8 → 5 → 6 → 7 → 3 → 2 → 12 → 1	134
5	с	б	11 → 1 → 12 → 2 → 3 → 7 → 6 → 8 → 9 → 10 → 4 → 5	140,6

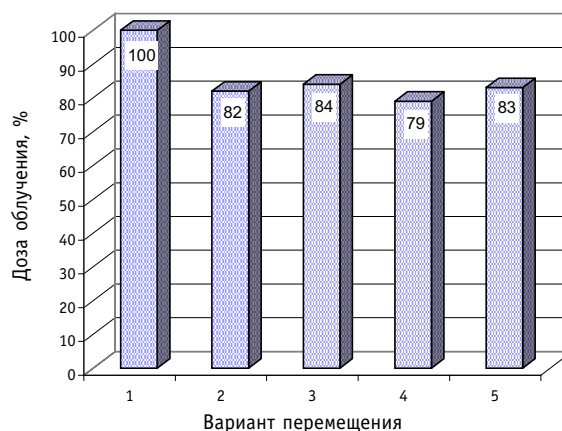


Рис. 3. Облучаемость персонала при перемещении по различным вариантам траекторий (вариант №1 – исходный)

оценить роль оптимизации пути перемещения в снижении облучаемости персонала при техническом обслуживании величиной 14,14 – 139,23 чел-мЗв на один энергоблок в год.

Разработанная программа предлагается в качестве базовой для решения важнейшей задачи по оптимизации облучаемости персонала при проведении масштабных работ по модернизации, демонтажу радиоактивного оборудования при снятии энергоблоков АЭС с эксплуатации. Основной формулировкой этой задачи является определение оптимальной последовательности демонтажа радиоактивного оборудования и трубопроводов с целью минимизации облучения персонала.

ВЫВОДЫ

Снижение доз, получаемых при перемещении в зоне контролируемого доступа между обслуживаемыми объектами, представляет собой значимую составляющую общей задачи снижения облучаемости ремонтного (а также эксплуатационного) персонала и может быть достигнуто оптимизацией траектории движения работников.

1. Если количество обслуживаемых объектов ограничено одним-двумя, то выбор оптимальной траектории перемещения не представляет сложности. При обслуживании большего количества единиц оборудования оптимизация перемещения требует использования специальных программ.

2. Реализация алгоритма с использованием наиболее эффективных (в вычислительном отношении) методов, основанных на идеях динамического программирования, гарантирует оптимальность, обеспечивает удобство программирования решения, универсальность, т.е. приспособленность для задач различного типа.

3. Как следует из результатов расчета по разработанной программе, оптимизация траектории движения персонала позволяет сократить дозу облучения при перемещении на 16–21%.

Литература

1. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Маркелов Н.И. Математическое моделирование дозовых полей при планировании облучения ремонтного персонала // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2004. – №1. – С.39-44.
2. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Планирование дозовых затрат ремонтного персонала с помощью компьютерного моделирования // Сборник трудов седьмой научно-технической конференции, посвященной 40-летию работы Белоярской АЭС. – Т. 3. – Заречный, 2004. – С. 172-179.

3. Управление работами в атомной энергетике. Агентство по ядерной энергии. МАГАТЭ. – Вена, Австрия, 1998. – 169 с.
4. Меламед И.И., Сергеев С.И., Сигал И.Х. Задача коммивояжера. Вопросы теории//Автоматика и телемеханика. – 1989. – № 9. – С. 3-34.
5. Меламед И.И., Сергеев С.И., Сигал И.Х. Задача коммивояжера. Точные алгоритмы//Автоматика и телемеханика – 1989. – № 10. – С. 3-29.
6. Меламед И.И., Сергеев С.И., Сигал И.Х. Задача коммивояжера. Приближенные алгоритмы//Автоматика и телемеханика. – 1989. – № 11. – С. 3-26.
7. Henry-Labordere A.L. The record-balancing problem: a dynamic programming solution of a generalized traveling salesman problems//R.I.R.O. – 1969. – V. 3. – № 2. – P. 43-49.
8. Laporte G., Nobert Y. Generalized traveling salesman problems through n-sets of nodes: an integer programming approach//INFOR. – 1983. – V. 21. – № 1. – P. 61-75.
9. Лейтен А.К. Некоторые модификации задачи коммивояжера/Труды ВЦ Тартусского ун-та. – 1973. – Вып. 28. – С. 44-58.
10. Коротаева Л.Н., Сесекин А.Н., Ченцов А.Г. Об одной модификации метода динамического программирования в задаче последовательного сближения//Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1989. – Т. 29. – № 8. – С. 1107-1113.
11. Chentsov A.G., Korotaeva L.N. The dynamic programming method in the generalized traveling salesman problem//Mathematical and computer modelling. – 1997. – V. 25. – № 1. – P. 93-105.
12. Chentsov A.A., Chentsov A.G. Dynamic programming method in the generalized traveling salesman problem: the influence of inexact calculations//Mathematical and computer modelling. – 2001. – V. 33. – P. 801-819.
13. Ченцов А.А., Ченцов А.Г., Ченцов П.А. Об одном обобщении задачи курьера//Алгоритмы и программные средства параллельных вычислений. Российская академия наук, Уральское отделение, Институт математики и механики. – Екатеринбург, 2004. – Вып. 8. – С. 178-235.
14. Александрян Р.А., Мирзаханян Э.А. Общая топология. – М.: Высшая школа, 1979. – 336 с.

Поступила в редакцию 13.03.2006

Different control criterions are often used for security system's reliability improvement. Nowadays this feature isn't taken into account in analysis of reactor facility's security system as a result of absence of appropriate mathematic reliability model.

In this paper shown, that taking into account mentioned above features allows to obtain more precise values of reliability index rather than in a case of assumption that different control criterions protection channels are independent.

УДК 621.039.56

Using of Dynamic Programming Method for Optimization Trajectory Workers' Movement at Emission of Rays Threat Zone with the Purpose of Minimization Radiation Processing \A.N. Seseikin, O.L. Tashlykov, S.E. Sheklein, M.J. Kuklin, A.G. Chentsov, A.A. Kadnikov; – Obninsk, 2006. – 8 pages, 3 illustrations, 2 tables. – References, 14 titles.

Relevance of solving of optimization's problem of trajectory workers' movement at emission of rays threat zone is substantiated.

Mathematical analysis of opportunity to use of dynamic programming method in solving of given problem was made and advantages of these method were considered.

Evaluation calculations of optimal movement's trajectory were made. shortening irradiations in different variants of in and out zone of controlled access with initial was compared.

УДК 621.039.516.4

Some Specific Features in Neutron Physics of VVER-Type Reactors under Operation Regime of Accelerated Weapon-Grade Plutonium Denaturing \Yu.N. Volkov, V.I. Naumov; – Obninsk, 2006. – 8 pages, 3 tables. – References, 9 titles.

The paper presents the results obtained in neutron-physical computations, which simulate main properties of VVER-type reactor cores partially loaded with weapon-grade plutonium for its accelerated denaturing. Effective fraction of delayed neutrons was used as a criterion that limits the number of plutonium fuel assemblies inserted in the reactor core. Isotopic composition of plutonium was used as a criterion that limits plutonium burn-up. The following aspects are discussed in the paper: potential ways towards increasing a throughput of VVER-type reactors on weapon-grade plutonium denaturing and neutron-physical features of VVER-type reactor cores under operation regime of accelerated weapon-grade plutonium denaturing.

УДК 621.039.534.6

Influence of the Isotopical Composition of Coolant, Based on Lead from Thorium-Ores, on Void Reactivity Effect in BREST-type Reactor \V.S. Okunev; – Obninsk, 2006. – 10 pages, 4 illustrations, 1 table. – References, 11 titles.

The lead cooled fast reactors are one of few concepts of the new-generation (Generation-IV) power nuclear reactors. The ideals of natural safety are attainable for the lead cooled reactors (for example, BREST). In this type power reactor is proposed to use natural lead with 1,4% ^{204}Pb – 23,6% ^{206}Pb – 22,6% ^{207}Pb – 52,4 % ^{208}Pb – isotopical composition.

The BREST-concept has potential reserves for further increase of inherent safety level. (If this to be needed.) It is weighly for the high-power reactors. Lead with high concentration of ^{208}Pb -isotope utulization is one of such reserve. The isotopes dressing of lead are costly. But, it is known that ^{208}Pb is product of radio-active decay of the ^{232}Th . The half-live of ^{232}Th is $1,4 \cdot 10^{10}$ years. Therefore, approximately 20% of thorium was transmuted into ^{208}Pb . The thorogeneous lead can be used as a coolant of the fast reactors.

Choise of the preferables deposits of lead and optimisation of the isotopical composition of lead (as the coolant of the fast reactors) are interesting for future large-scale nuclear power engineering, based on safe reactors.

УДК 621.039.51

Investigation of the Point Model of the Xenon Oscillations \N.O. Ryabov, A.A. Semenov; – Obninsk, 2006. – 8 pages, 6 illustrations, 1 table. – References, 6 titles.