

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЗОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ОБЛУЧЕНИЯ РЕМОНТНОГО ПЕРСОНАЛА

О.Л. Ташлыков*, С.Е. Щеклеин*, Н.И. Маркелов**

** ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»,
г. Екатеринбург*

*** Концерн «Росэнергоатом», г. Москва*



В статье показана роль этапа планирования в цикле оптимизации ремонтных работ, способы прогноза доз облучения персонала. Показаны проблемы моделирования доз, связанные с определением значений мощности дозы в различных точках рабочей зоны и времени работы в соответствующих радиационных полях. Приведены расчетные данные распределения полей мощности дозы от поверхностных и линейных источников.

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. 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. В настоящее время не существует какого-либо одного мероприятия, способного существенно снизить облучаемость персонала. Поэтому в последние годы пристальное внимание обращено на оптимизацию организации радиационно опасных работ. При должном применении оптимальная организация радиационно опасных работ может привести как к снижению количества персонала, необходимого для выполнения работ и сокращению времени работы, следовательно, к снижению общей стоимости комплекса работ, так и к снижению доз облучения в соответствии с принципом ALARA*.

Весь цикл оптимизации работ можно разбить на следующие этапы (рис.1): планирования, подготовки, выполнения работ, анализа выполненных работ и об-

* ALARA (сокращение "As Low As Reasonably Achievable" – «настолько низко насколько разумно достижимо») – этот термин является квинтэссенцией положения МКРЗ о том, что «для любого отдельного источника в рамках данной практической деятельности значения индивидуальных доз, число облученных лиц и возможность подвергнуться облучениям, которые необязательно случаются, должны поддерживаться на столь низких уровнях, какие только могут быть разумно достигнуты с учетом экономических и социальных факторов».

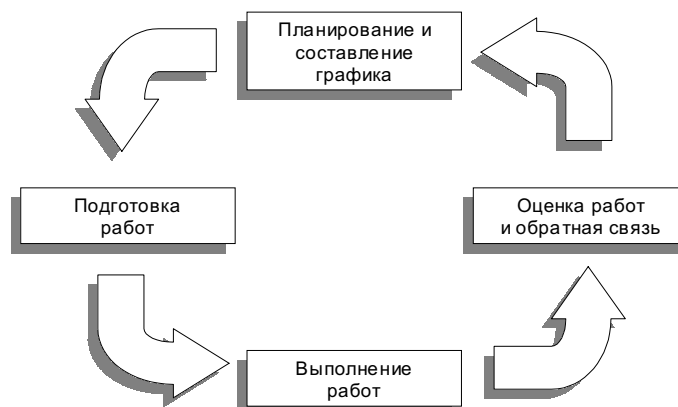


Рис.1. Схема оптимизации организации ремонтных работ

ратной связи [5]. При этом важное значение имеет замкнутость всех этапов цикла работ, т.е. последний этап одновременно является и первым для следующего цикла, т.к. без анализа выполненных работ, учета предложений работников по совершенствованию работ и устранению ошибок невозможно оптимизировать как весь комплекс работ, так и дозозатраты. Процесс оптимизации – это бесконечный процесс, который может только приближать совершенство выполнения работ к какому-либо пределу.

На этапе планирования должен быть разработан «Предварительный план ALARA», включающий индивидуальные и коллективные дозы, связанные с работой, а также приемлемые уровни измерения и контрольные индивидуальные уровни доз, на основе которых работник может быть отстранен от работы, а также контрольные коллективные уровни, которые могут быть сигналом к необходимости изменения рабочей процедуры. Так, на Курской АЭС одним из организационных мероприятий, направленных на снижение коллективной дозы, является запрет входа в зону контролируемого доступа (ЗКД) при достижении работником дозы облучения в 90% от контрольного уровня [3].

При планировании обязательным требованием является прогноз либо пооперационных доз, либо доз, связанных с различными вариантами защиты, т.е. необходимо знать, где, когда и во время каких операций формируются дозы облучения. В настоящее время общей проблемой является нехватка данных по финансовым затратам и дозам по отдельным операциям при техническом обслуживании и ремонте систем и оборудования АЭС. Несовершенство системы планирования и процедур прогнозирования дозовых затрат показывает сравнение количества работников, для которых запрашивалось разрешение Эксплуатирующей организации на превышение контрольного уровня (КУ) в 2000-2001 гг., с реальным количеством работников, получивших дозу, превышающую КУ (рис. 2).

Для внешнего облучения моделирование доз можно провести с использованием уравнений:

$$S = \sum_{i=1}^n H_i \cdot t_i \cdot N_i,$$

где S – интегральная (коллективная) доза, H_i , t_i и N_i – соответственно мощность дозы, время выполнения операции и количество персонала, занятого в i -ой операции. Несмотря на простоту этого уравнения, определение его параметров представляет значительную трудность (например, снятие картограммы мощности доз в помещениях, определение времени выполнения отдельных операций, которое



Рис. 2. Прогнозируемое и реальное число работников АЭС, получивших в 2000-2001 гг. дозу более 20 мЗв

связано с квалификацией и опытом персонала). Кроме того, важное значение имеет разбивка работ на отдельные фрагменты с учетом возможностей дозиметрической системы.

Традиционная индивидуальная дозиметрия не может представить данные для оптимизации исследований, т.к. невозможно установить дозозатраты по отдельным операциям. Для этих целей необходима электронная дозиметрия в масштабе реального времени, и в настоящее время на АЭС России внедряются электронные прямопоказывающие дозиметры (например, ДКГ-АТ2503, ДКГ-АТ2503А), позволяющие производить измерения индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$ и мощности эквивалентной дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне от 50 кэВ до 1,5 МэВ, ведение "дозового журнала" – автоматической записи в энергонезависимую память до 800 значений дозы, накопленной за выбранный интервал времени (от 1 до 255 мин).

Для осуществления принципа ALARA необходимо знать величины доз для каждого варианта выполнения работ. При этом как для количественных, так и качественных методов оптимизации основным требованием является прогноз либо пооперационных доз, либо доз, связанных с различными вариантами радиационной защиты.

Для прогнозирования доз можно использовать два источника:

- данные по дозам облучения из накопленного опыта;
- моделирование радиационной обстановки.

Первый источник прогнозирования доз позволяет оценить мощность дозы излучения в различных точках помещения на основании опыта проведения аналогичных работ в предыдущие ремонтные кампании. Для эффективной реализации данного опыта требуется внедрение автоматизированной системы индивидуального дозиметрического контроля, позволяющей не только учитывать индивидуальные дозы облучения персонала, но и вести автоматизированный учет дозозатрат по основным видам работ для их дальнейшего планирования (управления). Кроме того, требуется разработка компьютерных изометрических схем оборудования для их использования в качестве постоянно обновляемых картограмм радиационной обстановки. Такие картограммы должны выдаваться в качестве приложения к дозиметрическому наряду.

Однако данный источник прогнозирования доз не всегда может учесть различные изменения в радиационной обстановке, связанные с отклонениями в работе

энергоблока (нарушение водно-химического режима, наличие негерметичных твэлов и т.д.), накоплением радиоактивных отложений на поверхности оборудования и трубопроводов и т.д. Поэтому весьма важна оценка радиационной обстановки с помощью математического моделирования с учетом вышеперечисленных факторов.

При планировании дозовых затрат (ДЗ) персонала важно знать дозовую емкость отдельных ремонтных операций g_i [1]. Это представляет собой трудоемкую задачу, поскольку согласно определению

$$g_i = \sum_{\xi j} \dot{H}_{\xi j} t_{\xi j},$$

где $\dot{H}_{\xi j}$ – мощность дозы на рабочем месте ξ -го работника при выполнении i -й операции; t – время работы этого работника. При выполнении какой-либо работы работник перемещается в пределах так называемой рабочей зоны, в пределах которой мощность дозы может изменяться. Задача упрощается, если имеется картограмма распределения изодозных линий в помещении, где планируется проведение работ (рис. 3). Мощность дозы между соседними изодозными линиями может быть принята постоянной. В этом случае каждый из работающих, перемещаясь по помещению, находится в поле с мощностью дозы \dot{H}_j в течение времени t_j , с. Зная пооперационные трудозатраты, на плане помещения, в рабочей зоне можно отметить места нахождения работника возле ремонтируемого оборудования. Таким образом, будет определено время t_j пребывания работника в каждой зоне с мощностью дозы \dot{H}_j . Тогда индивидуальная доза, которую получит работник,

будет составлять $\sum_j \dot{H}_j t_j$. Следовательно, при планировании работ необходимо знать распределение мощности дозы по рабочей площадке (расположение изодозных линий). Получить картограмму радиационных полей можно на основании измерений мощности дозы в различных точках (весьма трудоемко и дозозатратно) или расчетным путем по основным источникам излучения в помещении.

Определение мощности дозы в конкретных точках помещения, где предполагается нахождение работника, может быть проведено на основании принципа суперпозиции радиационных полей, создаваемых источниками различной формы (точечными, линейными, цилиндрическими и т.д.) с использованием классических формул. Исходными данными для расчета являются прогнозируемые характеристики радиоактивного загрязнения оборудования, трубопроводов и поверхностей стен и пола помещения. На рис. 4 в качестве примера приведены результаты рас-

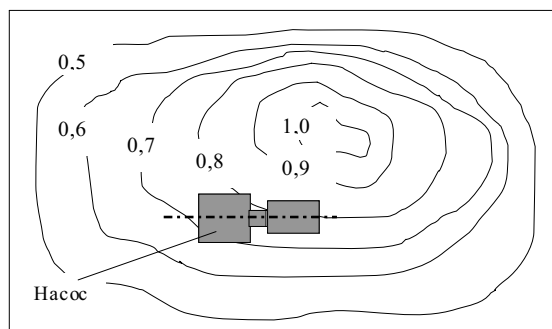


Рис.3. Пример распределения мощности дозы γ -излучения в расчетной плоскости (схема изодозных линий)

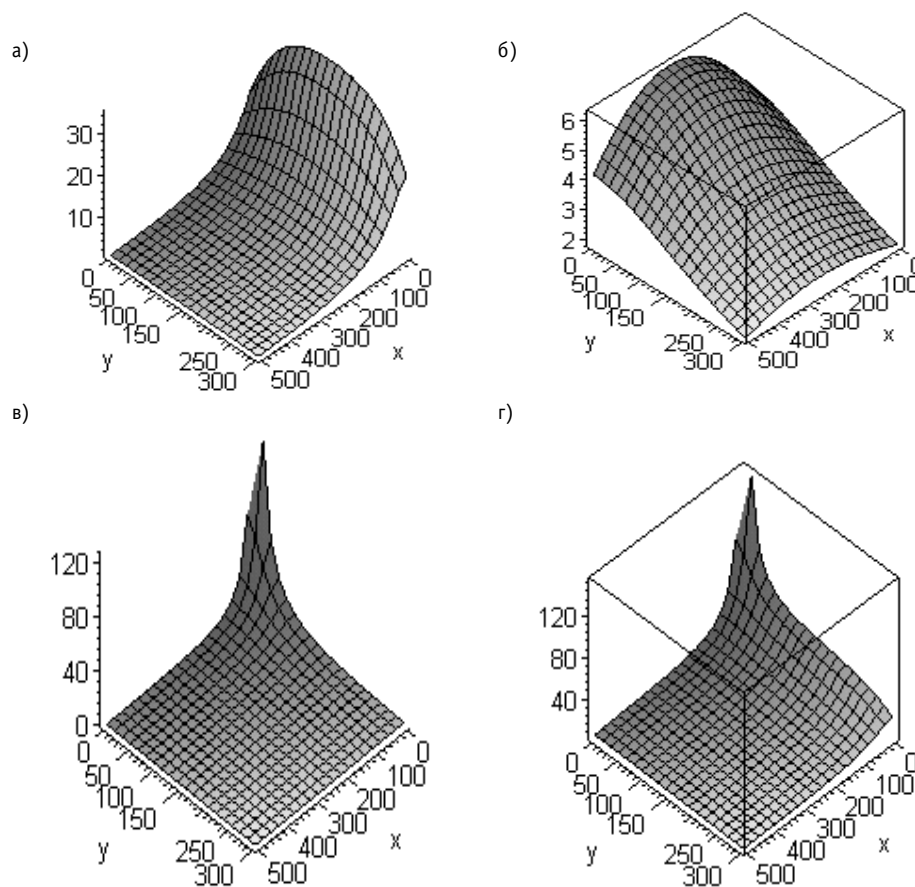


Рис.4. Поле мощности дозы излучения: *а* – от трубы, расположенной в плоскости *YZ* параллельно оси *Y*; *б* – от трубы, расположенной в плоскости *XZ* параллельно оси *X*; *в* – от трубы, расположенной вдоль оси *Z* (*X*=0, *Y*=0); *г* – от трех трубопроводов, расположенных в плоскостях *XZ*, *YZ*, вдоль оси *Z* (*X*=0, *Y*=0), определенное по принципу суперпозиции

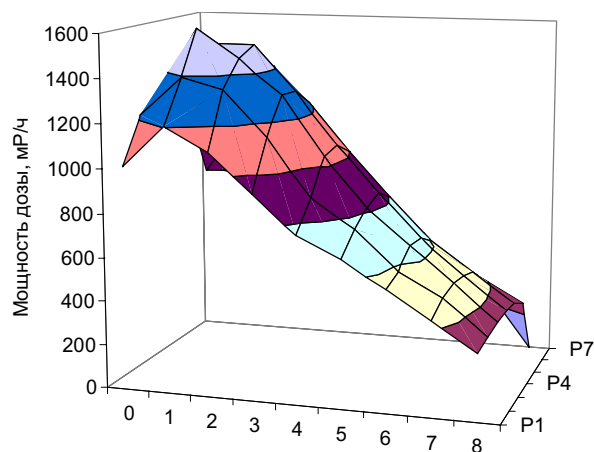


Рис.5. Поле мощности дозы γ -излучения от радиационно загрязненных поверхностей стен и пола помещения

чета полей мощности дозы γ -излучения от трубопроводов с радиоактивной средой, расположенных в трех направлениях, как для каждого трубопровода в отдельности, так и для всех трех. На рис. 5 представлен объемный график распределения мощности дозы γ -излучения от радиационно загрязненных поверхностей стен и пола помещения. Расчеты выполнены для горизонтальной плоскости, расположенной на высоте 1 м от пола.

Литература

1. Носков А.А., Шамашов А.Ф. Об определении коэффициентов планирования дозовых затрат персонала АЭС // Радиационная безопасность и защита АЭС. – М.: Энергоиздат, 1982. – С. 80-82.
2. Практическая реализация методологии ALARA на АЭС. Методическое пособие. – М.: Росэнергоатом, 1999. – 186 с.
3. Радиация под контролем // Вестник концерна «Росэнергоатом». – 2003. – № 3. – С. 18-20.
4. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Оптимизация ремонтных работ на АЭС с учетом дозовых затрат персонала/Экология. Экономика. Безопасность и подготовка кадров для атомной энергетики: Сб. научн. тр. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2001. – С. 54-55.
5. Ташлыков О.Л. Ремонт оборудования атомных станций: Учеб. пособие для вузов / Под ред. С.Е.Щеклеина. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. – 320 с.

Поступила в редакцию 16.10.2003

УДК 621.039.56

Mathematical Simulation of Dose Fields in the Planning of Repair Stuff Irradiation \O.L. Tashlykov, S.Ye. Sheklein, N.I. Markelov; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 6 pages, 5 illustrations. – References, 5 titles.

The article shows a role of scheduling stage in optimizing cycle of repairing works, and methods to forecast radiation doses of the stuff. The dose imitation problems related with dose rate determination in the different points of working space and time in the corresponding radiation fields was shown. Design data for distribution of dose ratio fields from surface and line sources is listed.

УДК 621.039.56

Radiation Factor in the Problem of APR Use Ratio Improvement \S.Ye. Sheklein, O.L. Tashlykov, N.I. Markelov; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 9 pages, 6 illustrations. – References, 6 titles.

The analysis of power use ratio is carried out for atomic power plants (APP) at Russia and abroad. APP under repair stoppage dependence on staff irradiation is shown. The problem of dose expenditures reduction for APP staff because of switching to radiation standards requirement NRB-99 of stuff irradiation reduction as much as 2,5 times was formulated. The repair personnel irradiation analysis was carried out for Russian APP.

Repair work optimization problems have been considered at the following stages: scheduling, work preparation, execution, work assessment and back-coupling. Key problems in the efficiency improvements of repair services for APP systems and equipment, which connected with repair personnel irradiation reduction was covered.

УДК 539.16.04: 502.3

Dose Analysis for the Population of Radioactive Contaminated Territories with the Use of Multilevel Adaptive Dose Models \V.I. Didenko, B.I. Yatsalo, G.Y. Bruk, V.Yu. Golikov; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 3 illustrations, 1 table. – References, 9 titles.

The structure of external and internal doses to the population of the most radioactive contaminated districts of Bryansk region is considered. Model assessments of effective doses for 2003, 2010 and 2030 as well as the contribution of external/internal doses into total dose have been carried out. A brief description of multilevel adaptive dose models realised within stand-alone computer system DoseApplication and PRANA GIS-DSS are presented.

УДК 574: 621.039

The Estimate of Ecological Risk for Ground Ecosystems in Case of Nuclear Power Plant Failures \D.Y. Kremlenkov, M.Y. Kremlenkov; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 8 pages, 3 tables. – References, 8 titles.

The estimate of probabilistic damage to forest- and agro-ecosystems from Caesium-137 and Strontium-90 emergency pollution in case of nuclear power plant failures is carried out. This estimate is based on radio-ecological risk conception, which involves application of radioactive substances distribution models in atmosphere, as well as calculation of absorbent radiation dose in critical ecosystem groups.

It is shown a radio-ecological damage defined in ecosystem's destruction aria and dependence of such damage on the scale of radionuclid emergency pollution, weather conditions and radio-stability of critical groups of plant communities. On the assumption of dose diapason from MELD to ELD, ecological risk defined in probable ecosystem's destruction aria is estimated: for Caesium-137 pollution about 2% of coniferous forest and from 4 to 9% of deciduous forest; for Strontium-90 pollution from 2 to 4% of agricultural crop.