

Алгоритм оценки социально-экономических последствий аварий на АЭС с ВВЭР

ТРИФОНОВ А.Г., ОРЛОВСКАЯ В.И.

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ – СОСНЫ НАН БЕЛАРУСИ
Г.МИНСК, БЕЛАРУСЬ**

Цель исследования

Данная работа посвящена вопросу разработки алгоритма оценки социально-экономических последствий аварий в пределах санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения Белорусской АЭС.



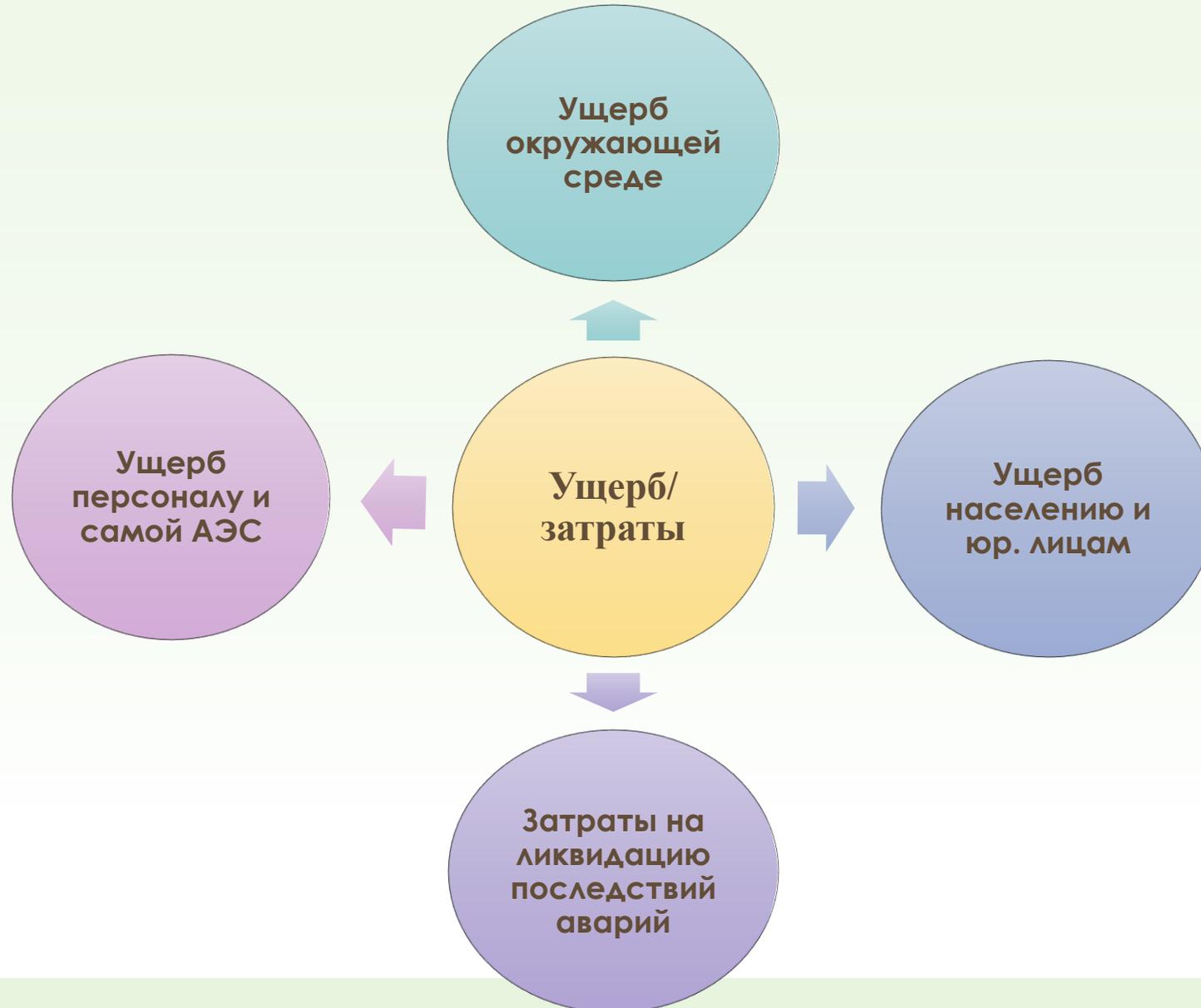
Оценка социально-экономических последствий аварий на АЭС

Оценка последствий аварий включает анализ возможных воздействий на людей, имущество и /или окружающую среду в экономических показателях.

Ущерб от аварий на АЭС состоит из финансовых потерь эксплуатирующей организации, которые включают в себя расходы на:

- ликвидацию последствий аварий;**
- социально-экономические потери, связанные с травмированием и гибелью людей;**
- потери от вреда, нанесенного окружающей среде;**
- косвенный ущерб и потери государства от выбытия трудовых ресурсов;**
- недовыработку продукции из-за временного простоя или досрочного вывода аварийного блока из эксплуатации.**

Рассматриваемые виды ущерба от аварий на АЭС



Рассматриваемые виды ущерба от аварий на АЭС

Ущерб персоналу и самой АЭС:

- радиационный вред для здоровья персонала;
- ущерб АЭС без вывода блока из эксплуатации;
- ущерб АЭС при выводе блока из эксплуатации;
- ущерб от недовыработки электроэнергии (ущерб от останова и перерыва в эксплуатации станции);
- затраты на дезактивацию оборудования и помещений АЭС;
- затраты на обращение с радиоактивными отходами.

Ущерб третьим лицам:

- радиационный вред для здоровья населения;
- ущерб имуществу населения;
- ущерб имуществу юридических лиц;
- потери сельскохозяйственного производства.

Затраты на ликвидацию последствий аварий за пределами промплощадки АЭС:

- затраты на отселение;
- затраты на реабилитацию загрязненных территорий;
- затраты на обращение с радиоактивными отходами.

Ущерб окружающей среде.

Оценка экономических последствий аварий на объекте

Ущерб от причинения вреда здоровью персонала АЭС оценивается по формуле:

$$G_{hs} = E_s \cdot L_y$$

Ущерб от причинения вреда здоровью населения, который может проявиться в виде стохастических эффектов (радиогенный рак и наследственные заболевания) оценивается по формуле:

$$G_{hps} = k \cdot E_p$$

В случае получения за короткий срок некоторой частью населения доз облучения, которые приводят к появлению детерминированных эффектов, ущерб рассчитывается по формуле:

$$G_{hpd} = k_d \cdot N$$

Оценка экономических последствий аварий на объекте

Ущерб имуществу населения (физическим лицам) определяется по формуле:

$$G_p = K \cdot N \cdot M$$

Ущерб, наносимый юридическим лицам, может быть оценен по следующей формуле:

$$G = P \cdot t \cdot N + K_1 \cdot N \cdot m + K_2 \cdot N \cdot M$$

Оценка экономического ущерба от вывода земель из сельскохозяйственного оборота производится по формуле:

$$G_{ag} = (C \cdot S \cdot t) / T_{rec}$$

Ущерб окружающей среде (лесам и природным ландшафтам) проводится по формуле:

$$G_{env} = \sum C_i \cdot W_i$$

Оценка экономических последствий аварий на объекте

Прямой экономический ущерб АЭС в результате аварии (затраты на проведение ремонтно-восстановительных работ) определяется по формуле:

$$G_{ppp} = \sum C_i + \alpha$$

Оценка прямого экономического ущерба АЭС от аварии, приводящей к выводу блока из эксплуатации выполняется по формуле:

$$G_{ppp} = Z_{пв} [1 - (1/(1+e)^t)] + Z_{ав}$$

Затраты на дезактивацию помещений и территорий оцениваются по формуле:

$$G_{dec} = \sum C_{i_{обс}} \cdot S_{i_{обс}} + \sum C_{i_{дез}} \cdot S_{i_{дез}}$$

Затраты на обращение с радиоактивными отходами рассчитывается как сумма затрат по различным видам работ:

$$G_{waste} = \sum C_i \cdot V_i$$

Оценка экономических последствий аварий на объекте

Затраты на защитные мероприятия и ликвидацию последствий аварий за пределами территории АЭС в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения могут включать:

- отселение жителей из загрязненных районов и их обустройство на новом месте;
- затраты на дезактивацию зданий и территорий;
- затраты на сельскохозяйственные защитные меры;
- затраты на организацию безопасного проживания на территориях с загрязнением ниже уровня отселения.

Экономический ущерб при этом оценивается как сумма затрат по различным видам работ.

Определение показателей степени риска для персонала и населения

При определении показателей степени риска (социальные последствия) для персонала и населения применяются следующие понятия:

- возможное количество погибших (детерминированные эффекты);
- возможное количество пострадавших (стохастические эффекты);
- индивидуальный риск для персонала/населения;
- коллективный риск.

Показатель риска используется в нескольких модификациях:

- превышение пожизненного риска (R_{el});
- пожизненный риск смерти от облучения (R_{dl}).

$$R_{el}(e, D) = \int_e^{\infty} [\mu(e, a, D) \cdot H(e, a, D) - \mu_0(a) \cdot H(e, a)] da$$

$$R_{dl}(e, D) = \int_e^{\infty} (\mu(e, a, D) - \mu_0(a)) \cdot H(e, a, D) da$$

Определение показателей степени риска для персонала и населения

Оценить вероятностный ущерб здоровью от полученной дозы можно используя концепцию радиационного риска, согласно которой индивидуальный риск от облучения рассматривается как вклад полученной дозы в вероятность реализации всех типов рака на протяжении всей жизни человека.

Согласно данной модели, радиационно-обусловленный риск (избыточный относительный риск) при остром кратковременном облучении представляется следующим образом:

$$ERR(D, g, s) = a \cdot D \cdot \exp(b \cdot (g - 25))$$

Избыточный абсолютный риск рассчитывается по формуле:

$$EAR(D, g, t, s) = a_s(g) D (1 + 0,79 D) \exp(-b_s(g) (u - 25))$$

Избыточный абсолютный риск имеет размерность чел./год на 100 тыс. человек и зависит не только от возраста на момент облучения g , но и от времени t , прошедшего после облучения

Алгоритм оценки социально-экономических последствий аварий на АЭС с ВВЭР

В результате анализа необходимой информации, для оценки социально-экономических последствий аварий на АЭС с ВВЭР был сформулирован итоговый алгоритм оценки последствий.

1. Определяем класс аварийной ситуации: проектная или запроектная.
2. Для проектной или запроектной аварии определяем режим аварийной ситуации согласно ПООБ.
3. Для выбранного режима определяем пути выхода радиоактивных веществ в помещения станции или в окружающую среду.
4. Определяем состав и физико-химические формы радионуклидов.
5. При условии выбросов радиоактивных веществ в атмосферу, определяем погодные условия.
6. Рассчитываем пространственное распределение радионуклидов с учетом осаждения на различных поверхностях (по модели конвективно-диффузионного переноса, которая разработана и реализована в среде разработки компьютерных программ COMSOL 3.5a.).
7. Составляем карту концентраций выпавших радионуклидов.
8. Определяем площади радиоактивного загрязнения, площади загрязненных земель сельскохозяйственного назначения, площади загрязненных лесов и природных ландшафтов, количество проживающего населения на данных площадях, количество юридических лиц, которые занимаются производственной деятельностью на пострадавших территориях.
9. Определяем преимущественные пути поступления радионуклидов в организм человека.
10. По составу радионуклидов, их концентрации с учетом путей поступления рассчитываем возможные дозы внешнего и внутреннего облучения.
11. Рассчитываем показатели степени риска (социальные последствия).
12. Определяем экономические показатели, необходимые для проведения расчетов экономических последствий (денежный эквивалент потери одного человеко-года жизни населения, денежный эквивалент потери человеческой жизни, коэффициент стоимостной доли полных потерь имущества населения, норматив стоимости земли, используемой в сельскохозяйственном производстве и т.д.).
13. Рассчитываем экономические последствия аварий на АЭС с ВВЭР.

Результаты

Доза облучения		Величина дозы облучения, мЗв				
		Зона 1 (~190-270м)	Зона 2 (~270-370м)	Зона 3 (~370-490м)	Зона 4 (~490-660м)	Зона 5 (~660-900м)
Эффективная доза от ингаляции, мЗв	Sr ⁹⁰	8,45·10 ⁻²	7,3·10 ⁻²	5,84·10 ⁻²	4,38·10 ⁻²	2,92·10 ⁻²
	Cs ¹³⁷	7,08·10 ⁻¹	5,9·10 ⁻¹	4,72·10 ⁻¹	3,54·10 ⁻¹	2,36·10 ⁻¹
	I ¹³¹	2,12	1,77	1,41	1,06	0,71
	I ¹³³	2,89·10 ⁻²	2,41·10 ⁻²	1,93·10 ⁻²	1,45·10 ⁻²	0,97·10 ⁻²
Суммарная эффективная доза от ингаляции, мЗв		2,94	2,45	1,96	1,47	0,99
Доза от внешнего облучения, мЗв		0,24	0,22	0,21	0,18	0,12
Общая эффективная доза, мЗв		3,18	2,67	2,17	1,65	1,11

Радионуклид	Значение параметра	Зона 1 (40 м)	Зона 2 (40-60 м)	Зона 3 (60-90 м)	Зона 4 (90-105 м)	Зона 5 (105-165 м)
Sr-90	Эффективная доза от ингаляции, мЗв	1,28	1,07	0,85	0,64	0,43
Cs-137	Эффективная доза от ингаляции, мЗв	13,3	11	8,84	6,63	4,42
I-131	Эффективная доза от ингаляции, мЗв	21,3	17,8	14,2	10,7	7,1
I-133	Эффективная доза от ингаляции, мЗв	8,12	6,77	5,41	4,06	2,71
Суммарная эффективная доза от ингаляции, мЗв		44,0	36,6	29,3	22,03	14,66
Доза от внешнего облучения, мЗв		0,56	0,48	0,44	0,28	0,16
Общая эффективная доза, мЗв		44,56	37,08	29,74	22,31	14,82

Результаты

Максимальные значения общей эффективной дозы составят:

- при проектной аварии 3,18 мЗв;
- при запроектной аварии 44,56 мЗв.

Индивидуальный риск смерти (отдаленные эффекты), 1/год:

- при проектной аварии $2,3 \cdot 10^{-4}$;
- при запроектной аварии $1,7 \cdot 10^{-3}$.

Коллективный риск – ожидаемое количество пострадавших среди персонала в результате аварии составляет $7 \cdot 10^{-8}$ чел./год.

**Спасибо за
внимание!**