

Экономическая оценка управленческих решений с целью снижения мощности эквивалентных доз

Л.И. Хорзова, С.И. Голубева, О.С.Власова

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Аннотация: В современных зданиях, построенных из минерального сырья, существенно изменяется роль различных компонентов естественных источников ионизирующего излучения, формирующих уровень облучения людей.

В статье рассмотрена стоимостная оценка замены строительного материала с повышенной эффективной удельной активностью (Аэфф) на альтернативный с более низкой Аэфф. Установлено, что денежный эквивалент с учетом радиационной безопасности зависит в основном от разности удельных активностей ЕРН в строительных материалах и численности проживающего населения. С уменьшением разности Аэфф уменьшается стоимость замены (руб/т) материалов и возрастает денежный эквивалент.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, эффективная удельная активность, денежный эквивалент, коллективные эффективные эквивалентные дозы.

Накопленная в последние годы информация изменила существовавшее представление о неизменности уровня облучения, обусловленного природными источниками излучения, и невозможности влияния на него [1-3].

Существует реальная возможность снижения суммарного уровня облучения населения. Эти возможности возрастают, если рассматривать опасность для населения земного шара в целом, а для населения отдельного региона или отдельной группы людей. Практически все известные случаи высоких индивидуальных доз, обусловленных природными источниками, реализуются в ситуациях, зависящих от деятельности людей [4].

Среди всех природных источников ионизирующего излучения ведущее место занимают компоненты радиационного фона помещений. Компоненты радиационного фона помещений существенным образом зависят от деятельности людей (выбор строительных материалов, их производство, конструкции, вентиляция помещений и пр.) [5-7].

Любое ограничение облучения населения может распространяться только на те источники радиации, для которых возможно влияние человека

на создаваемую ими дозу облучения (принцип контролируемости облучения).

Под контролируемостью подразумевается управление влиянием с учетом разумной стоимости защитных мероприятий. Необходимость учета стоимости защитных мероприятий при обоснованном управлении целесообразности этих работ является основополагающим принципом радиационной защиты. Учет стоимости и управление снижением мощности дозы в помещении должны ограничиваться разумными пределами.

Важнейшим параметром, придающим количественный характер оценкам, является значение максимально оправданных затрат, необходимых для снижения коллективной дозы на 1 чел.Зв.

Известно [2], что форма и размеры помещения, толщина стен и перекрытий почти не влияют на мощность дозы в помещении. Значение средней дозы облучения населения (или коллективной дозы) зависит от средневзвешенной эффективной удельной активности ЕРН в строительных материалах, используемых в жилищном строительстве. Поэтому изменить ее можно только влиянием на номенклатуру используемых строительных материалов, например, используя материалы только 1 класса в строительстве, или используя специальные отделочные материалы с очень низкими эффективными удельными активностями и высокой плотностью.

Выявление конкретных причин, обуславливающих повышенный радиационный фон, изучение возможных реальных способов снижения этих доз является чрезвычайно важной проблемой [8,9].

Замена строительного материала с повышенной эффективной удельной активностью ($A_{эфф}$) на альтернативный с более низкой $A_{эфф}$ является целесообразной, если уменьшение ущерба здоровью населения ($-\Delta y$) в результате такой замены будет больше или равно стоимости этой замены (ΔX) [4,9], т.е.:

$$-\Delta y \leq \Delta x \quad (1)$$

Из всех возможных вариантов замены должен осуществиться тот, при котором разница (положительная) между пользой (уменьшением ущерба здоровью людей) и вредом (увеличением стоимости строительных материалов) будет максимальной. В тех случаях, когда для любого альтернативного материала это условие не выполняется, необходимо для снижения мощности дозы в помещении использовать специальные отделочные материалы.

Увеличение стоимости материалов может быть подсчитано по формуле:

$$\Delta X = M(X_i - X_o), \quad (2)$$

где M – масса материала, нуждающегося в замене, т; X_o – стоимость одной тонны заменяемого материала, руб/т; X_i – стоимость одной тонны альтернативного материала (включая стоимость его производства и транспортные расходы), руб/т.

Уменьшение ущерба для здоровья людей при замене стройматериала составляет:

$$\Delta y = \alpha(S_o - S_i), \quad (3)$$

где α – денежный эквивалент 1 чел. Зв, руб/(чел.Зв), максимально оправданные затраты на снижение дозы облучения населения на 1 чел.Зв; S_o и S_i – ожидаемые коллективные эквивалентные дозы (чел. Зв), обусловленные использованием исходного и альтернативного материалов соответственно.

Коллективные дозы можно оценить по формуле:

$$S_i = H_i N t \quad (4)$$

где H_i – годовая эквивалентная доза облучения людей в помещениях, построенных из данного строительного материала, Зв/год; t – ожидаемый срок эксплуатации здания, лет; N – число проживающих людей (по статистике коммунального департамента), чел.

Величина H_i зависит от мощности дозы гамма-излучения в помещении и от объемной активности дочерних продуктов изотопов радона, находящихся в воздухе помещений. При использовании строительных материалов с повышенной $A_{эфф}$ ЕРН увеличивается как мощность поглощенной дозы (МПД), так и объемная активность дочерних продуктов изотопов радона.

С погрешностью не более 10 % можно принять мощность поглощенной дозы в современных каменных зданиях $D_{пом}$, нГр/ч:

$$D_{пом} = 0,76 D_{макс} = 0,79 A_{эфф} \quad (5)$$

Коэффициент перехода от поглощенной дозы D к эквивалентной дозе H_i равен 0,72 Зв/Гр [10]. В промышленно развитых странах принято, что 80% времени население проводит в помещениях, 15% - в дороге и 5% - на открытой местности (в садах, парках и др.). Поэтому годовая эквивалентная доза γ - излучения (мкЗв/год) для населения, проживающего в современных каменных зданиях:

$$H_i = 4,74 A_{эфф} \quad (6)$$

где $A_{эфф} = \frac{\sum m_i A_{эфф}}{\sum m_i}$ - средняя эффективная удельная активность ЕРН;

m_i - годовое количество i -го строительного материала, используемого в регионе.

С учетом формул (2) и (4) получим:

$$(x_i - x_0) \geq \frac{\alpha}{m} t \cdot (H_0 - H_i), \quad (7)$$

где m - масса строительного материала, приходящегося на одного жителя, т/чел.

С учетом значений $t = 100$ лет, $m = 100$ т, $\alpha = 29000$ руб/(чел. Зв) получим формулу для расчета увеличения стоимости при замене материала:

$$(x_i - x_0) \geq 0,0095 [(A_{эфф})_0 - (A_{эфф})_i] \quad (8)$$

В таблицу 1 сведены данные по Волгоградской области.

Таблица № 1

Усредненное значение денежного эквивалента при использовании основных видов строительных материалов по г. Волгограду

Строительный материал	Население (N), тыс. чел.	$(A_{эфф})_0 - (A_{эфф})_i$, Бк/кг	Стоимость замены, руб/т	Годовая эффективная эквивалентная доза, мкЗв/год	Денежный эквивалент	
					руб/(чел.Зв)	млн.руб/(чел.Зв)
Керамический кирпич	96	89	24,7	565	43384	4164,9
Силикатный кирпич	258	12	3,2	608	5423	1399,1
Панели	301	43	11,9	1987	5974	1798,2
Глина	96	40	11,0	189	58319	559,9
Бетон	21	50	14,5	1768	7772	163,2

Из таблицы видно, что денежный эквивалент с учетом радиационной безопасности зависит в основном от разности удельных активностей ЕРН в строительных материалах и численности проживающего населения. С уменьшением разности $A_{эфф}$ уменьшается стоимость замены (руб/т) материалов и возрастает денежный эквивалент.

Аналогичные расчеты могут быть выполнены по затратам при дополнительном нагреве (обжиге) при обработке материала и, как следствие, для уменьшения годовой эффективной эквивалентной дозы населения. При реализации такой обработки будет снижена коллективная доза.

Литература

1. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989. 120 с.
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1994. Adaptive responses to radiation in cells and organisms. Document A/AC 82/R542, approved 11 March 1994.
3. Еремеева Т.Н. Радон и продукты его распада в воздухе помещений детских дошкольных учреждений г. Серпухова // Медицина труда и промышленная экология. 1996. №9. С. 14-17.
4. Кеирим-Маркус И.Б. Новые сведения о действии на людей малых доз ионизирующего излучения - кризис господствующей концепции регламентации облучения // Атомная энергия. 1995. Т.79. №4. С. 279-285.
5. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1995. 494 с.
6. Khorzova L.I., Tekushin D.V., Bykadorova O.A. Regularities of the formation of indoor radiation doses caused to people by external exposure // International Conference "IOP Conference Science: Earth and Environmental Science". 2019. v.272.
7. Khorzova L.I., Sidel'nikova O.P., Sidiyakin P.A. Radiation-related hygienic assessment of construction materials in urbanized complexes of the Volgograd region // Spatium. 2016. v.1. №36. pp. 46-54.
8. Хорзова Л.И., Быкадорова О.А. Снижение эксхалации дочерних продуктов радона из строительных материалов в воздух жилых помещений // Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4787/.
9. Krisiuk E.M., Karpov V.I. Cost-benefit analysis applied to building materials with comparatively high natural radionuclides concentration // Health Physics. 1980. №39. pp. 578-580.
10. O'Brien K., Sanna R. The distribution of absorbed dose-rates in humans from exposure to environmental gamma rays // Health Physics. 1976. Vol. 30. pp. 71-78.

References

1. Krisyuk E.M. Radiatsionnyy fon pomeshcheniy [Indoor background radiation]. M.: Energoatomizdat, 1989. 120 p.
-



2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1994. Adaptive Responses to Radiation in Cells and Organisms. Document A/AC 82/R542, approved 11 March 1994.
3. Yeremeyeva T.N. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 1996. №9. pp. 14-17.
4. Keirim-Markus I.B. Atomnaya energiya. 1995. v.79. №4. pp. 279-285.
5. Mashkovich V.P., Kudryavtseva A.V. Zashchita ot ioniziruyushchikh izlucheny [Protection against ionizing radiation]. M.: Energoatomizdat, 1995. 494 p.
6. Khorzova L.I., Tekushin D.V., Bykadorova O.A. Proc. International Conference “IOP Conference Science: Earth and Environmental Science”. 2019, v.272.
7. Khorzova L.I., Sidel'nikova O.P., Sidyakin P.A. Spatium. 2016. v.1. №36. pp. 46-54.
8. Khorzova L.I., Bykadorova O.A. Inzhenernyy vestnik Dona, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4787/.
9. Krixiuk E.M., Karpov V.I. Health Physics. 1980. №39. pp. 578-580.
10. O'Brien K., Sanna R. Health Physics. 1976. v.30. pp. 71-78.