

АНАЛИТИКО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ 1`2003

**МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ АВАРИИ
НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**



МЕДИКО- БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Рецензируемый аналитико-информационный бюллетень

Министерство здравоохранения Республики Беларусь

═══════ ◆ ═══════
Издается Белорусским центром медицинских технологий, информатики,
управления и экономики здравоохранения с 1992 г.

═══════ **Главный редактор** ═══════

Н. Н. ПИЛИПЦЕВИЧ

═══════ **Редакционный совет:** ═══════

А.А. Гракович (*зам. главного редактора*)
Ю.Е. Демидчик
В.К. Иванов
Э.К. Капитонова
Е.Ф. Конопля
Н.А. Крысенко
И.В. Малахова (*зам. главного редактора*)
В.В. Мартыновский
Т.В. Мохорт
В.П. Руденко
А.Н. Стожаров
Н.Е. Хейфец (*отв. секретарь*)
В.Е. Шевчук

═══════ **Адрес редакции:** ═══════

220013, Минск, ул.П. Бровки, 1

Лаборатория информационного сопровождения реформ в здравоохранении БЕЛЦМТ

Тел.(017) 231-74-81; e-mail: infomed@it.org.by

© Белорусский центр медицинских технологий, информатики, управления и экономики
здравоохранения Минздрава Республики Беларусь (БЕЛЦМТ), 2003

В номере

Проблемные статьи и обзоры

<i>Мохорт Т.В.</i>	
Проблема сахарного диабета I типа в Беларуси в постчернобыльский период.....	3
<i>Карлович Н.В., Мохорт Т.В., Воронцова Т.В., Янович О.О.</i>	
Влияние радиационного фактора на выраженность диабет-ассоциированной аутоагрессии у лиц молодого возраста с сахарным диабетом I типа	9
<i>Гракович А.А.</i>	
Оценка выживаемости как метод контроля эффективности профилактических программ в пострадавших от катастрофы на ЧАЭС регионах Беларуси	16
<i>Кручинский Н.Г., Тепляков А.И., Прищепова Е.В., Акулич Н.В., Теплякова Д.В.</i>	
Роль цитокинов и молекул клеточной адгезии в патогенезе атеросклероза у пациентов с ишемическими поражениями сердца и мозга при длительном низкоуровневом радиационном воздействии	20
<i>Кручинский Н.Г., Тепляков А.И.</i>	
Длительное экологическое и профессиональное низкоуровневое радиационное воздействие: гемостазиологический дисбаланс, реологические нарушения крови и модификация воспалительных реакций в патогенезе атеросклероза у пострадавшего населения (по данным литературы и собственных исследований)	29
<i>Чегерова Т.И., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В., Чегеров В.Г., Кручинский Н.Г.</i>	
Методика расчета дозовых нагрузок населения с учетом неопределенности исходных данных	38

Нормативные документы

Положение об администрации зон отчуждения и отселения Комитета по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь	45
Об утверждении перечня работников с ненормированным рабочим днем в организациях Комчернобыля	47
О внесении изменений в положение о работе межведомственных экспертных советов по установлению причинной связи заболеваний, приведших к инвалидности или смерти, у лиц, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий и в результате производства и испытаний ядерного оружия (<i>постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 10 февраля 2003 г. N 7</i>)	49
Положение о национальном банке тканей и нуклеиновых кислот лиц, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции	49

Реферативный раздел

1. Общие вопросы радиационной биомедицины	51
2. Медицинские аспекты ядерных аварий	54
3. Клинические аспекты воздействия радиационного излучения на человека	76

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НАСЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Т.И.Чегерова, Л.Г.Дымова, П.В.Севастьянов, В.Г.Чегеров, Н.Г.Кручинский

НИИ экологической и профессиональной патологии, г. Могилев

Одной из основных трудностей, возникающих при расчете дозовых нагрузок населения, является наличие неопределенности исходных данных, обусловленной различными причинами, в том числе и связанными с проведением инструментальных измерений [9, 12, 14, 16]. Учет таких неопределенностей обычно осуществляют, используя теоретико-вероятностный подход. Зачастую это приводит к громоздким процедурам и трудно интерпретируемым результатам.

Так, при анализе изданных в 1998 г. НИКИ радиационной медицины и эндокринологии методических указаний «Определение годовой суммарной эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС» [10, 11], а также первоисточников и материалов (лабораторные журналы регистрации наблюдений) [12—15, 17, 18], на основе которых они были выполнены, возник вопрос о погрешностях рассчитанных величин. При расчете годовой суммарной эквивалентной дозы (ГСЭД) облучения по рекомендуемой схеме в результате получается одно детерминированное число, и нигде не указывается степень достоверности дозы, полученной любым жителем обследуемого населенного пункта.

Для решения этих проблем нами предложен методический подход, основанный на использовании аппарата нечетко-интервальной математики [3, 6, 20—22].

К достоинствам метода относятся возможность моделирования в тех случаях, когда закон распределения случайных величин неизвестен, а имеются данные только о крайних и наиболее вероятных значениях или же распределения построены на основе субъективных оценок экспертов, и возможность гарантированно учитывать даже те события, вероятность которых крайне незначительна [1, 2, 4, 5, 7, 8, 19, 20]. Все это, на наш взгляд, играет далеко не последнюю роль, поскольку даже единичный «случайный» выброс ГСЭД в будущем может вызвать ухудшение здоровья населения.

Нечетко-интервальная математика является расширением обычной математики для случаев работы с числами, представленными в виде нечетких интервалов (рис. 1). Нечеткий интервал задается основанием (обычный интервал $[X_1, X_4]$) и функцией принадлежности этому интервалу $\mu(X)$, изменяющейся от 0 до 1 и, в сущности, представляющей собой обобщение обычной характеристической функции подмножества. Содержательная интерпретация нечеткого интервала варьирует в зависимости от характера решаемой задачи. В нашем случае X_1 и X_4 - крайние нижнее и верхнее допустимые значения параметра X , а интервал $[X_2, X_3]$ представляет собой область наиболее возможных значений. Функция принадлежности $\mu(X)$ фактически выражает степень реализуемости различных значений X внутри интервала $[X_1, X_4]$. В работе [1] показано, что если внутри интервала возможны лишь качественные оценки типа « X_j более возможно, чем X_i », то функция $\mu(X)$ должна изменяться только линейно.

Обычно, как это представлено на рис. 1, число в нечетко-интервальной форме делят на α -уровни, которые представляют собой четкие интервалы возможных значений при разных значениях функции принадлежности. Выполнение операций над нечетко-интервальными числами сводится к выполнению операций над α -уровнями.

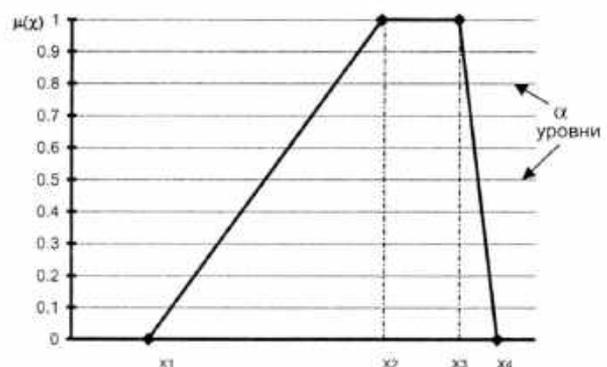


Рис. 1. $\mu(x)$ - функция принадлежности нечеткому интервалу

Очевидно, ГСЭД для каждого населенного пункта (НП) логично описывать неким диапазоном значений, от минимально возможного до максимально возможного, с выделенным диапазоном наиболее возможных значений. Представляется, что такой подход был бы гораздо ближе к действительности, поскольку речь идет о здоровье и продолжительности жизни людей. К тому же при интервальном описании ГСЭД не выпадают из рассмотрения и максимально возможные значения, что позволяет оперативно реагировать на увеличение верхнего порога диапазона возможных значений.

Проиллюстрируем предлагаемую методику расчетом суммарной дозы внутреннего облучения (доза от Cs¹³⁴, Cs¹³⁷, Sr⁹⁰, поступающих в организм человека алиментарным путем с пищей, и доза от трансурановых элементов (Pu²³⁸, Pu²³⁹, Pu²⁴⁰ и Am²⁴¹), поступающих в организм ингаляционным путем).

Как известно, годовая эффективная доза внутреннего облучения рассчитывается по формуле:

$$E_{\text{внутр}} = \sum e_k * AI_k,$$

где e_k - эффективная доза, возникающая в организме человека при поступлении в него по определенному пути единичной активности радионуклида k ;

AI_k - величина годового поступления соответствующим путем k -ого радионуклида в организм человека.

AI_k может быть определено по содержанию радионуклидов в рационе питания:

$$AI_k = \sum C_{k,n} * M_n,$$

где $C_{k,n}$ - среднегодовая концентрация k -ого радионуклида в продукте питания n ;

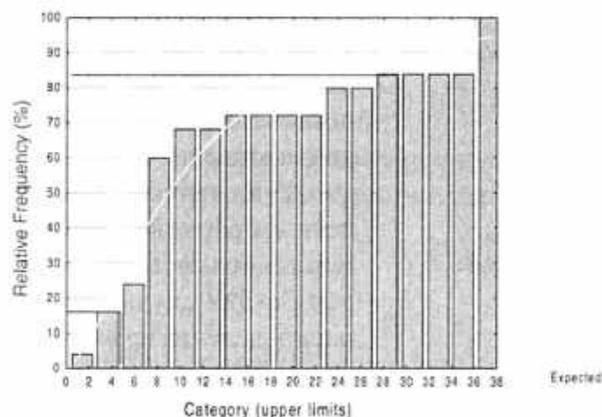


Рис. 3. Гистограмма накопленных частот содержания Cs-137 в молоке и его функция принадлежности нечеткому интервалу

M_n - среднегодовое потребление n -ого продукта питания по данным Госкомстата.

Оценка дозы внутреннего облучения $E_{\text{внутр}}$ в предлагаемом подходе проводилась на основании данных по среднегодовому потреблению продуктов питания (рекомендованных Госкомстатом) и реального распределения нуклидов в соответствующих продуктах питания по каждому конкретному населенному пункту. Эти распределения не всегда подчиняются нормальному закону (рис. 2), поэтому, если при расчете доз оперировать только средними величинами, результат будет сильно искажен. Это еще раз подтверждает логичность выбора предлагаемого нами метода описания исходных параметров.

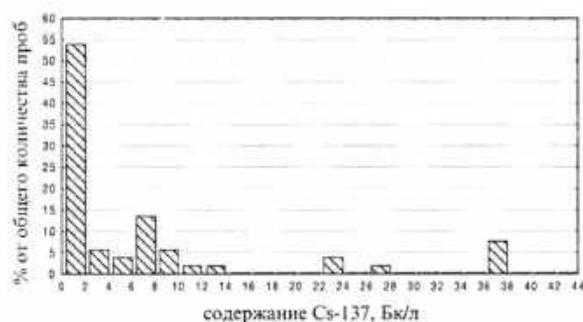
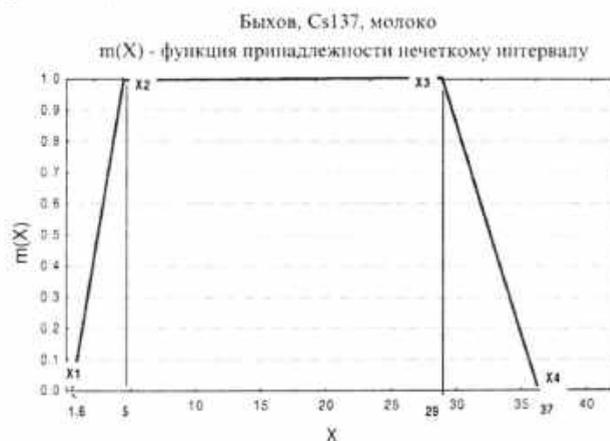


Рис. 2. Частотное распределение содержания цезия в молоке, г.Быхов

При обработке данных по выбранным НП поступали следующим образом. Вначале проводилась статистическая обработка данных о содержании Cs¹³⁷ и Sr⁹⁰ в каждом продукте, строились графики частотного распределения и кумюлята. Затем по этим графикам строилась функция принадлежности содержания Cs¹³⁷ или Sr⁹⁰ в данном продукте нечеткому интервалу (рис.3, 4).



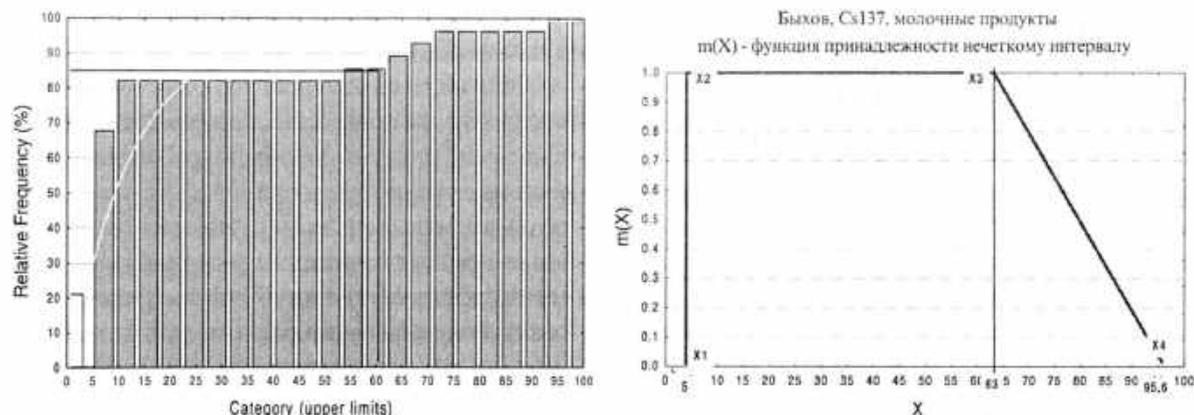


Рис. 4. Гистограмма накопленных частот содержания Cs-137 в молочных продуктах и его функция принадлежности нечеткому интервалу

При решении задачи методами нечетко-интервальной математики часто, как и в нашем случае, возникает проблема аппроксимации частотных распределений параметров нечеткими интервалами. При этом возможны различные подходы к аппроксимации, например, выбор исходных нечетких интервалов, охватывающих все возможные значения соответствующего входного параметра (рис. 5, способ №1), или нечетких интервалов, которые по возможности точно аппроксимируют соответствующее распределение входного параметра в области наиболее возможных значений параметра (рис.5, способ №2).

В первом случае нечеткий интервал получается следующим образом: интервал крайних значений охватывает практически все исходное частотное распределение (для нормального распределения этот интервал будет равен

$[M(x)-3\sigma, M(x)+3\sigma]$, где $M(x)$ - математическое ожидание, а σ - среднее квадратичное отклонение), а интервал наиболее возможных значений выбирается в зависимости от вида частотного распределения (для нормального распределения он обычно принимается равным $[M(x)-\sigma, M(x)+\sigma]$). В этом случае выходной интервал получается весьма широким, что не всегда удобно.

Во втором случае площадь исходного нечеткого интервала задавалась равной площади исходного распределения случайной величины (нормированного на 1). Для нормального распределения это примерно соответствует нечетким интервалам $[M(x)-2,5\sigma, M(x)-0,25\sigma]$, $[M(x)+0,25\sigma, M(x)+2,5\sigma]$. При таком задании исходного нечеткого интервала нечеткие интервалы выходных параметров значительно уже, чем в случае первого способа аппроксимации

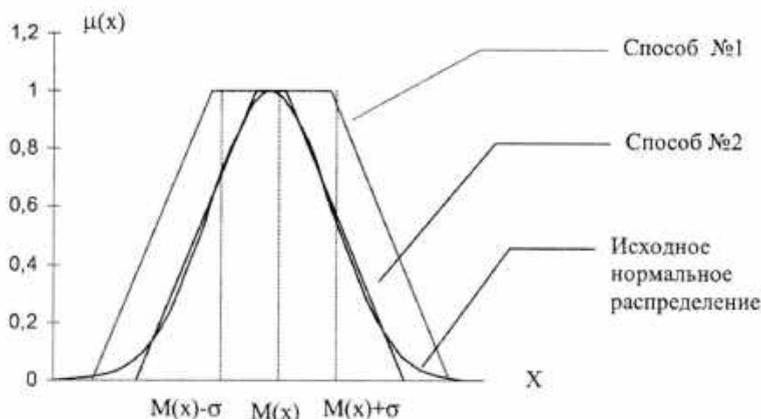


Рис. 5. Различные способы нечетко-интервальной аппроксимации исходных частотных распределений

исходных частотных распределений, что удобно в тех случаях, когда нет необходимости знать крайние значения выходного параметра, а достаточно определить только его наиболее возможные значения.

Существуют определенные правила построения исходного нечеткого интервала и для случая, когда распределение не является нормальным. При нормальном законе распределения исходной величины порядка 64% значений по-

падает в диапазон $[M(x)-\sigma, M(x)+\sigma]$. Поэтому допустим, что и для нашего распределения диапазон наиболее возможных значений ($X_2 - X_3$) будет содержать 64% наблюдаемой величины. А точки X_1 и X_4 являются соответственно минимальным и максимальным значением наблюдаемой величины. Для графического определения граничных точек наиболее вероятного диапазона строится кумулятивная кривая.

На рис. 3, 4 показаны результаты применения изложенной методики трансформации частотных распределений в функции принадлежности для данных по городу Быхову. Аналогичные операции были проведены для всех выбранных населенных пунктов.

После расчета интервала возможных значений часто встает вопрос об оценке полученных результатов, например, сравнение их с какими-то критическими значениями, которые в свою очередь могут быть заданы как в точечной, так и в интервальной форме. Методика сравнения интервалов с заданной вероятностью, разработанная на основе вероятностного подхода к распределению случайных величин, описана ранее [8, 9]. В случае сравнения интервала с числом задача упрощается.

Рассмотрим для примера интервал $IA(a_1, a_2)$ и число X (рис. 6).

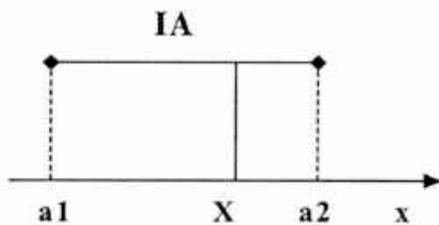


Рис. 6. Пример рассмотрения интервала

Определим, с какой вероятностью P интервал IA больше точки X . Очевидно, что если $X < a_1$, то вероятность того, что $IA > X$, равна единице, т.е. $P(IA > X) = 1$.

Если $X > a_2$, то $P(IA > X) = 0$.

Если $a_1 < X < a_2$, то искомая вероятность будет определяться вероятностью попадания числа A в интервал (X, a_2) :

$$P(A > X) = \frac{a_2 - X}{a_2 - a_1}$$

Сравнение полученной величины с заданной заранее вероятностью для сравнения числа с интервалом позволяет получить однозначный ответ («ложь» или «истина»).

Сравнение нечеткого интервала с числом осуществляется по α -уровням (рис. 7), на каждом из которых имеем четкие интервалы, которые сравниваем с заданным числом рассмотренным выше способом. Полученные при этом на каждом уровне вероятности умножаются на соответствующие веса-соизмерители и суммируются.

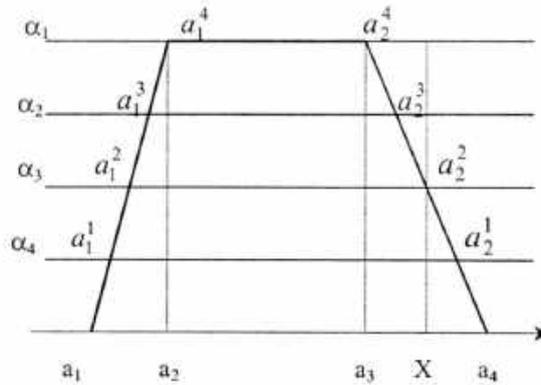


Рис. 7. Пример сравнения нечеткого интервала

В качестве весов-соизмерителей выступают

$$x_i = \frac{i}{n}$$

ет величина $\sum_{i=1}^n x_i$, где i - номер уровня, n -

число уровней. На вышеприведенном рисунке этот интервал разбит на 4 α -уровня.

Таким образом, мы имеем интервал $NIA^1(a_1^1, a_2^1)$ на первом уровне, $NIA^2(a_1^2, a_2^2)$ - на втором, $NIA^3(a_1^3, a_2^3)$ - на третьем и $NIA^4(a_1^4, a_2^4)$ - на четвертом. Исходя из этого, правило сравнения нечетких интервалов можно выразить следующей формулой:

$$P(IA > X) = \sum_{i=1}^n P(NIA^i > X) \cdot x_i$$

Для поддержки расчетов с использованием рассмотренных элементов нечетко-интервальной арифметики разработано специальное программное обеспечение, реализованное на языке Builder C++ с использованием техники объектно-ориентированного программирования. Разработанные классы «четкий интервал» и «нечеткий интервал» позволяют после задания параметров исходных нечетких интервалов (например, в случае трапециевидальных интервалов путем задания опорных точек X_1, X_2, X_3, X_4) в дальнейшем оперировать с ними, как с обыч-

ными четкими параметрами, в соответствии с правилами обычной математики. Например, пусть имеются два нечетких интервала $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$ и $B = \{B_1, B_2, B_3, B_4\}$, которые требуется сложить. Ясно, что результатом будет также некоторый нечеткий интервал C , параметры которого $\{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ находятся по специальным правилам интервальной математики, требующим

(особенно для деления интервалов) довольно громоздких вычислений. Разработанное программное обеспечение расширяя, в сущности, возможности C++, позволяет представить при разработке имитационной модели математические операции с нечеткими интервалами в привычной форме $C=A+B$, $C=A/B$ и т.д.

На рис. 8 показано окно разработанного программного обеспечения, реализующего расчет интервала дозы облучения, вероятности превышения предельно допустимой дозы, вероятности попадания заданного значения ($X_{кат}$) в рассчитанный интервал.

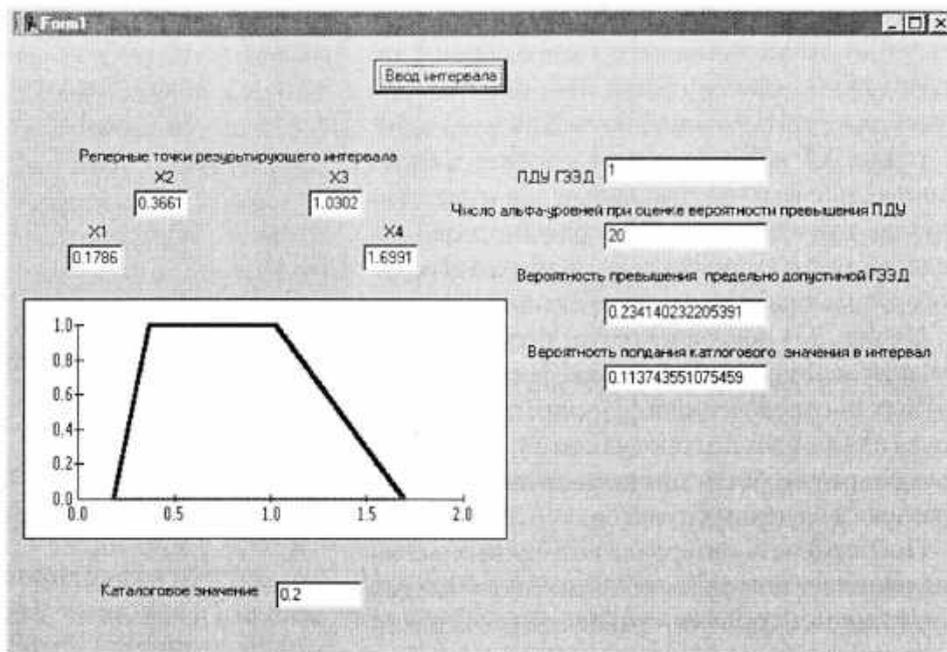


Рис. 8. Окно разработанного программного обеспечения.

Рассчитанные по вышеизложенной методике результаты были сравнены с предельно допустимым значением эффективной дозы облучения для населения, которая в соответствии с Нормами радиационной безопасности (НРБ-2000) составляет 1 мЗв.

В таблице приведены данные о возможности попадания величины $X_{кат}$ [7] в рассчитанный нечеткий интервал. Как видно, для 7 населенных пунктов из 16 выбранных нами возможность того, что каталоговое значение ГЭД внутреннего облучения $X_{кат}$ попадает в расчетный интервал, равна 0.

Таблица

Возможность попадания ГЭД внутреннего облучения в рассчитанный интервал значений в выбранных населенных пунктах

Район	Сельсовет	Название НП	Доза внутреннего облучения мЗв (по каталогу)	$E_{инт}$ x_1, x_2, x_3, x_4 ; мЗв	Возможность попадания $X_{кат}$ в рассчитанный нечеткий интервал	Вероятность превышения предельно допустимой дозы 1 мЗв
Быховский	районное подч.	Быхов	0,1	0,0321, 0,0429, 0,2468, 0,7723	1	0
Быховский	Глухский	Глухи	0,2	0,1009, 0,1580, 0,5232, 0,7519	1	0
Костюковичский	Забычанский	Забычанье	0,3	0,0484, 0,0843, 0,2798, 0,4386	0,8733	0
Краснопольский	районное подч.	Краснополье	0,1	0,0559, 0,0701, 0,2494, 0,4206	1	0
Могилевский	Вендорожский	Гуслище	0,1	0,2055, 0,2253, 0,6117, 0,7792	0	0
Славгородский	Свенский	Свенск	0,4	0,2275, 0,3088, 0,8407, 1,0688	1	0,002
Чаусский	районное подч.	Чаусы	0,1	0,0555, 0,0731, 0,2416, 0,4223	1	0
Чериковский	Вепринский	Головчицы	0,3	0,3594, 0,3900, 1,3561, 3,2711	0	0,58
Чериковский	Вепринский	Гронов	0,1	0,3178, 0,3787, 0,9943, 1,1220	0	0,05
Чериковский	Вепринский	Майский	0,2	0,1429, 0,3560, 1,0396, 1,4411	0,2680	0,18
Чериковский	Веремейский	Веремейки	0,1	0,1496, 0,3441, 1,1613, 1,2444	0	0,21
Чериковский	Езерский	Долгое	0,1	0,1787, 0,3661, 1,0302, 1,6991	0	0,23
Чериковский	Езерский	Езеры	0,1	0,0963, 0,2718, 0,8998, 1,1693	0,0212	0,023
Чериковский	Езерский	Лобча	0,1	0,2467, 0,3191, 1,0803, 1,1637	0	0,131
Чериковский	Речицкий	Речица	0,3	0,0482, 0,0914, 0,3559, 0,3946	1	0
Чериковский	Сормовский	Лобановка	0,1	0,2506, 0,3097, 1,1852, 1,8657	0	0,35

Результаты также проиллюстрированы на рис. 9 и 10. Из приведенной таблицы и рисунков следует, что возможность соответствия каталогового значения ГЭД внутреннего облучения расчетному в большинстве случаев равна нулю или очень невелика, т.е. можно говорить, что реальная ГЭД внутреннего облучения совпадет со значением из каталога примерно в 30% случаев. Такой результат вряд ли может считаться приемлемым для принятия управленческих решений.

На рис. 9 показано значение дозы внутреннего облучения ($X_{кат}$), рассчитанной по официально принятой методике [10, 11, 15]. Очевидно, что для некоторых населенных пунктов это значение находится вне диапазона вероятных доз внутреннего облучения. На этом же рисунке область значений, превышающих предельно допустимую дозу облучения, заштрихована.

На наш взгляд, вероятность превышения рассчитанного дозового интервала предельно допустимых значений доз облучения (ПДД) удобнее использовать для принятия управлен-

ческих решений, направленных на защиту прав населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, чем просто интервал доз. Например, если вероятность превышения ПДД в каком-то НП равна 0, то меры защиты населения можно не применять. Если вероятность превышения ПДД не больше 0,5, то необходимо применять минимальные меры защиты населения. При вероятности превышения ПДД, равной 1, для жителей этого населенного пункта необходимо применять защитные меры в большем объеме (рис. 10).

Таким образом, разработанная методика количественной оценки статистической достоверности данных радиологических обследований на основе нечетко-интервальной математики позволяет оценивать достоверность данных обследований. Методика позволяет осуществлять расчет интервалов возможных значений ГСЭД на основе данных по измерениям основных продуктов питания, имеющихся в областных ЦГЭ, и получать достоверную картину по ГЭД внутреннего облучения от продуктов, поступающих в организм алиментарным путем. Можно также разработать программное обеспечение для расчета ГЭД внешнего облучения, учитывающее реальную картину распределения плотностей загрязнения по конкретному НП и его окрестностям, и для расчета ГЭД внутреннего облучения от трансураниевых элементов, поступающих в организм с вдыхаемым воздухом.

Все это в комплексе позволит оценить ГСЭД, получаемую населением, как диапазон возможных значений, т.е. вести речь не о среднем значении и соответственно об ошибке среднего, а об интервале возможных значений ГСЭД, ко-

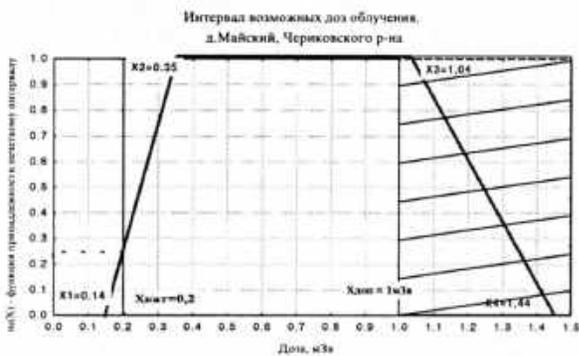
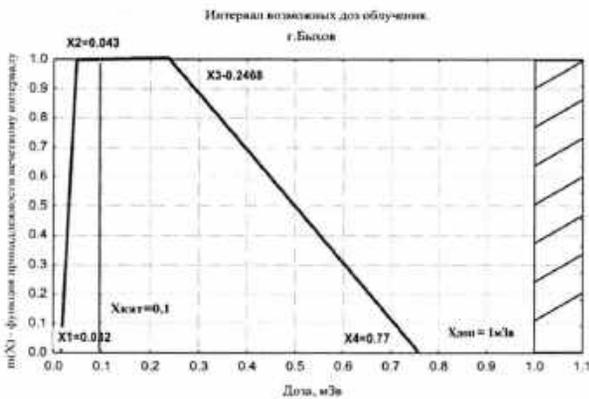
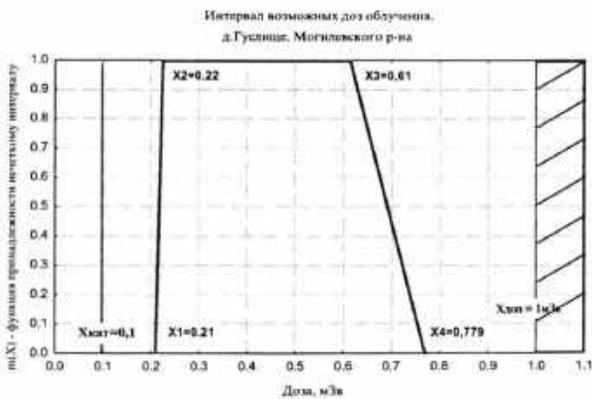


Рис. 9. Расчет значений дозы внутреннего облучения с применением стандартного математического подхода



а



б

Рис. 10. Расчет значений дозы внутреннего облучения с применением предлагаемого математического подхода

торый по своей сути содержит информацию о наиболее возможных и о граничных (крайних) значениях величины. Рассчитываемое значение вероятности превышения ПДД может быть

использовано для принятия административных и управленческих решений, направленных на защиту прав населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем - искусство и наука. - М: Мир, 1978. - 418 с.
2. *Yager R.* A foundation for a theory of possibility // J. Cybernetics. - 1980. - Vol. 10. - №1-3. - P.177-209.
3. *Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х.* Методы интервального анализа. - Новосибирск: Наука, 1986. - 223 с.
4. *Севастьянов П.В., Туманов Н.В.* Многокритериальная идентификация и оптимизация технологических процессов. - Мн.: Навука і тэхніка, 1990. - 224 с.
5. *Севастьянов П., Севастьянов Д.* Оценка финансовых параметров и риска инвестиций с позиций теории нечетких множеств // Надежные программы. - 1997. - №1. - С.10-18.
6. *Севастьянов П.В., Вальковский В.И.* Методика нечетко-интервального имитационного моделирования технико-экономических систем - Могилев: ММИ, 1999. - 12 с.
7. *Севастьянов П., Севастьянов Д.* Методическое и программное обеспечение финансово-экономического анализа в условиях неопределенности исходных данных // Первый Белорусский Форум «Информационно-аналитические системы в финансовой деятельности»: Тез. докладов. - Минск, 1997. - С.50-55.
8. *Гришевич М., Севастьянов П., Степанов Д.* Оптимизационно-логистическая задача максимизации дохода дистрибутора в условиях нестатистической неопределенности // Риск. - 1997. - №3-4. - С.113-115.
9. *Буглова Е.Е., Головнева А.Л., Кенигсберг Я.Э.* Прогнозирование стохастических эффектов облучения населения Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. - 1999. - №1. - С.3-8.
10. Определение годовой суммарной эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС: Методические указания / НИКИРМ и ЭМЗ РБ. - Минск, 1998. - 69 с.
11. *Мишенико В.Ф., Дроздович В.В., Третьякевич С.С.* Определение годовой суммарной эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС: Пояснительная записка к методическим указаниям / НИКИРМ и ЭМЗ РБ. - Минск, 1998. - 16 с.
12. Номограммы для экспресс-оценки доз облучения населения от радионуклидов аварийного выброса Чернобыльской АЭС / Вычислительный центр РАН. - Москва, 1995. - 26 с.
13. Ретроспективная оценка доз внешнего и внутреннего облучения населения Республики Беларусь на начальном этапе аварии на ЧАЭС: Отчет о НИР №Б-92-2 / Институт биофизики; Руководитель работы *К.И.Гордеев*. - М., 1993. - 68 с.
14. Методологические принципы ретроспективной оценки значений индивидуальных доз облучения щитовидной железы инкорпорированными радиоизотопами йода для жителей Белоруссии, подвергшихся радиационному воздействию в связи с аварией на ЧАЭС: Отчет о НИР №67-1-17/89 / Институт биофизики; Руководитель работы *К.И.Гордеев*. - М., 1989. - 70 с.
15. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах. - Минск: Белгидромет, 1990. - 22 с.
16. Методические указания по отнесению населенных пунктов и объектов к зонам радиоактивного загрязнения / Институт радиобиологии НАН Беларуси, Госкомгидромет РБ, МЧС РБ. - Минск, 1998. - 12 с.
17. Инструкция по организации и ведению радиационного мониторинга реперной сети на территории Республики Беларусь / Центр радиационного контроля и мониторинга природной среды. - Минск, 1993. - 13 с.
18. Основные положения обследования, оценки радиационной обстановки и построение карт загрязнения радионуклидами территории Республики Беларусь. - Минск, 1993. - 8 с.
19. *Чегерова Т.И.* Разработка методики обработки и агрегирования данных массовых медицинских обследований населения, пострадавшего от Чернобыльской катастрофы, на основе синтеза методов математической статистики и теории нечетких множеств: Дис. ... к-та технических наук: 05.26.02. - Могилев, 1999. - 144 с.
20. *Севастьянов П.В., Вейберг А.В.* Моделирование и оптимизация работы энергоагрегатов при интервальной неопределенности // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). - Минск: БГПА, 1998. - №3. - С.66-70.
21. *Севастьянов П.В., Вейберг А.В.* Оптимизация технико-экономических параметров работы энергоагрегатов при нечетких исходных данных // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). - Минск: БГПА, 2000. - №1. - С.62-70.
22. Общая теория статистики / Под ред. *А.А.Сидорова, О.Э.Басицкой*. - М: «Финансы и статистика», 1994. - 296 с.