

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

© 2022 **Родионов Дмитрий Григорьевич**

доктор экономических наук, профессор Высшей инженерно-экономической школы  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),  
Россия, Санкт-Петербург  
E-mail: dmitry.rodionov@spbstu.ru

© 2022 **Алексеев Владимир Алексеевич**

аспирант Высшей инженерно-экономической школы  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),  
Россия, Санкт-Петербург  
E-mail: alexvalex94@gmail.com

© 2022 **Терентьева Дарья Андреевна**

магистрант  
Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ),  
Россия, Санкт-Петербург  
E-mail: dulybina@mail.ru

© 2022 **Конников Евгений Александрович**

кандидат экономических наук, доцент Высшей инженерно-экономической школы  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),  
Россия, Санкт-Петербург  
E-mail: konnikov.evgeniy@gmail.com

Одной из наиболее эффективных и распространённых направлений генерации энергии является атомная энергетика. При этом потенциальный ущерб окружающей среде от атомной электростанции значительно менее явный, чем от использования углеводородных источников энергии. Вследствие этого данным потенциальным ущербом значительно пренебрегают, что в свою очередь может привести к значительным экологическим последствиям в долгосрочном периоде. Ранее, в рамках статьи «Механизмы воздействия атомной электростанции на окружающую среду с учётом фактора времени» была сформирована система индикаторов воздействия АЭС на окружающую среду. В рамках данного исследования предложенная система индикаторов агрегируется в комплексный математический инструментарий, основанный на принципах нечеткой логики.

**Ключевые слова:** атомная электростанция, АЭС, атомная энергетика, экология, окружающая среда, устойчивое развитие, нечетка логика, выбросы.

Укрупненный алгоритм проведения оценки экономического показателя с помощью теории нечетких множеств представлен на рисунке 1.

Сущность данного алгоритма заключается в последовательном движении исследователя от терм-множества лингвистической переменной к фактическому значению исследуемого показателя, который в результате оценки также приобретает лингвистическое значение. В первую очередь, необходимо рассмотреть показатели степени влияния АЭС на окружающую среду в рамках нечетко-множественной моде-

ли. Вышеуказанные показатели представлены в таблице 1.

Сформированная модель имеет 2 лингвистические переменные: степень влияния АЭС на окружающую среду и уровень каждого рассматриваемого частного показателя (всего 15 показателей). Терм-множество каждой лингвистической переменной состоит из 5 подмножеств. В таблице 2, представлены терм-множества для лингвистических переменных.

Первое терм-множество относится к лингвистической переменной, характеризующей

степень влияния АЭС на окружающую среду, в то время как второе терм-множество относится к лингвистической переменной, характеризующей частные показатели [1].



Рис. 1. Общий алгоритм построения нечетко-множественной модели оценки

Таблица 1. Показатели степени влияния АЭС на окружающую среду

| Ключевой показатель                     | Комплексные показатели I уровня        | Частные показатели  |
|---|--|---|
| Степень влияния АЭС на окружающую среду | После истечения срока эксплуатации АЭС | Вероятность нарушения процесса хранения и захоронения РАО |
|   |  | Воздействие на литосферу                                  |
|   |  | Воздействие на грунтовые воды                             |
|   | Во время эксплуатации АЭС              | Тепловое загрязнение                                      |
|   |  | Образование радиоактивных отходов                         |
|   |  | Сбросы радиоактивных веществ в водные объекты             |
|   |  | Выбросы радионуклидов в атмосферу                         |
|   |  | Химическое загрязнение водных объектов                    |
|   | Во время строительства АЭС             | Выбросы химических элементов в атмосферу                  |
|   |  | Увеличение влажности                                      |
|   |  | Выбросы в атмосферу                                       |
|   |  | Запыление воздуха   |
|   |  | Шумовое загрязнение                                       |
|   |  | Изменение ландшафтного облика площадки строительства      |
|   | Изменение растительного покрова        |   |

Таблица 2. Терм-множества лингвистических переменных

| Лингвистическая переменная СВ <sub>1</sub> – степень влияния АЭС на окружающую среду | Терм-множество   |
|--|--|
|  | γ – уровень допустимости влияния АЭС на окружающую среду   |
| СВ <sub>1</sub>  | Незначительный уровень или полное отсутствие влияния АЭС на окружающую среду (Крайне допустимый) |

|  |  |
|--|--|
| CB <sub>2</sub>  | Низкий уровень влияния АЭС на окружающую среду (Допустимый)              |
| CB <sub>3</sub>  | Средний<br>уровень влияния АЭС на окружающую среду (Условно-допустимый)  |
| CB <sub>4</sub>  | Высокий<br>уровень влияния АЭС на окружающую среду (Недопустимый)        |
| CB <sub>5</sub>  | Предельный уровень влияния АЭС на окружающую среду (Крайне недопустимый) |
| <b>Лингвистическая переменная ЧП<sub>i</sub> – уровень значения показателя X<sub>i</sub></b> | Терм-множество   |
| γ – значение частного показателя   |  |
| ЧП <sub>1</sub>  | Очень низкий уровень частного показателя X <sub>i</sub>                  |
| ЧП <sub>2</sub>  | Низкий уровень частного показателя X <sub>i</sub>                        |
| ЧП <sub>3</sub>  | Средний уровень частного показателя X <sub>i</sub>                       |
| ЧП <sub>4</sub>  | Высокий уровень частного показателя X <sub>i</sub>                       |
| ЧП <sub>5</sub>  | Очень высокий уровень частного показателя X <sub>i</sub>                 |

Каждому из показателей присвоен свой уровень значимости  $r_i$ . В соответствии с иерархией системы, было установлено, что комплексные показатели  $i$  уровня имеют одинаковую значимость, так как каждый из них характеризует различные временные этапы существования АЭС, которые расположены в хронологическом порядке и не могут рассматриваться в отрыве от остальных. Распределение удельных весов частных показателей было осуществлено в соответствии с законом Фишберна [2]. Ниже представлена формула расчета значимости каждого показателя из ранжированного ряда:

$$r_i = \frac{2 * (N - i + 1)}{(N + 1) * N} \quad (1)$$

Где:

1. N – количество показателей в ранжированном ряду;
2. i – порядковый номер показателя в ранжированном ряду.

Авторы предлагают ранжировать показатели влияния АЭС на окружающую среду на этапе строительства следующим образом:

1. Выбросы в атмосферу
2. Запыление воздуха
3. Шумовое загрязнение
4. Изменение ландшафтного облика строительной площадки
5. Изменение растительного покрова

Данное ранжирование распределено таким образом, что наименьший удельный вес будут иметь показатели, которые определяются экспертным методом и не могут быть зафиксированы в виде общепринятого количественного норматива (п. 4 и п. 5). Экспертный метод имеет

ряд негативных характеристик, таких как субъективность мнения эксперта, неточность и другие. Однако данный метод является альтернативой, когда невозможно по-другому оценить влияние на окружающую среду или любой другой объект. Именно по этой причине пункты 4 и 5 будут иметь меньший удельный вес в сравнении с другими показателями. По аналогичной причине были распределены пункты 1 и 2: данные показатели проще измерить и их точность будет высока. Поскольку ключевой проблемой современной экологии является изменчивость климата, на которую напрямую влияют выбросы в атмосферу различных химических веществ, данный показатель расположен на 1 месте. Третью позицию занимает шумовое загрязнение, которое может быть измерено количественно, однако данный показатель будет менее точным, нежели первые два. Это связано с тем, что на данном этапе развития атомной энергетики и строительства не принято постоянно фиксировать шумовое загрязнение. Изменение растительного покрова оказывает наименьшее влияние на экосистему локальной местности в сравнении с изменением ландшафта, поэтому данный показатель находится на последней позиции в ранжированном списке и будет иметь наименьший удельный вес.

Авторы предлагают ранжировать показатели влияния АЭС на окружающую среду на этапе эксплуатации следующим образом:

1. Тепловое загрязнение,
2. Образование радиоактивных отходов,
3. Сбросы радиоактивных веществ в водные объекты,
4. Выбросы радионуклидов в атмосферу,
5. Химическое загрязнение водных объектов,

6. Выбросы химических элементов в атмосферу,

7. Увеличение выброса влаги в атмосферу.

В основе ранжирования лежит методика определения каждого частного показателя и количество затрат компании Росэнергоатом на охрану окружающей среды.

Первое место занимает тепловое загрязнение, так как его воздействие очень значительно в сравнении с другими показателями, даже при нормальной эксплуатации атомной электростанции, что связано с технологией получения энергии. Остальные показатели при нормальной эксплуатации не должны превышать установленные нормативы, которые отсутствуют для такого понятия как «тепловое загрязнение» несмотря на то, что его можно количественно измерить.

Поскольку радиационное загрязнение — самое опасное для окружающей среды и человека, которое в обязательном порядке фиксируется количественно, показатели «Образование радиоактивных отходов», «Сбросы радиоактивных веществ в водные объекты» и «Выбросы радионуклидов в атмосферу» занимают второе, третье и четвертое места в ранжированном списке соответственно. Поскольку радиоактивные отходы представляют собой наибольшую опасность для окружающей среды: из-за очень долгого периода полураспада и их химических свойств РАО не могут быть утилизированы, однако подлежат обязательному контролю и фиксируются количественно, данный показатель занимает второе место в ранжированном списке. Так как в 2018 году затраты на сбор и очистку вод у Росэнергоатом составили 1167 млн. рублей, а на охрану атмосферного воздуха всего 288 млн. рублей, среди одинаковой категории опасности (радиационное загрязнение) частный показатель «Сбросы радиоактивных веществ в водные объекты» будет располагаться выше, то есть иметь больший удельный вес и занимать третье место в ранжированном списке.

Далее по ранжированному списку идет категория показателей химического загрязнения, а именно «Химическое загрязнение водных объектов» и «Выбросы химических элементов в атмосферу». Это связано с тем, что химическое загрязнение менее опасно, нежели радиационное, оно обязательно фиксируется количественно, но наносит больший ущерб окружающей среде, чем повышенная влажность. Больший удельный вес будет иметь показатель «Химическое загрязне-

ние водных объектов», что связано с вышеупомянутой системой затрат Росэнергоатом на сбор и очистку вод в сравнении с охраной атмосферного воздуха.

Наименее значимым показателем, который можно определить количественно, будет «Увеличение выброса влаги в атмосферу». Данный показатель оказывает меньшее воздействие, нежели химическое загрязнение, поскольку нормативно не регулируется.

Автор предлагает ранжировать показатели влияния АЭС на окружающую среду на этапе истечения срока эксплуатации следующим образом:

1. Вероятность нарушения процесса хранения и захоронения радиоактивных отходов
2. Воздействие на литосферу
3. Воздействие на грунтовые воды

Наибольший удельный вес будет иметь показатель «Вероятность нарушения процесса хранения и захоронения», так как он определяется статистически (расчетным методом), а остальные два определяются экспертным методом, имеющим ряд негативных характеристик, таких как: субъективность мнения эксперта, неточность и другие.

Воздействие на литосферу и грунтовые воды определяются экспертным методом, однако воздействие на почвы и грунт будет большим, нежели на подземные воды. Это связано с тем, что процессы глубокого геологического захоронения приводят к механическому повреждению грунта и почв на всех стадиях данной деятельности, в то время как нарушение грунтовых вод и их загрязнение происходит лишь на тех уровнях, где непосредственно находятся подземные воды.

Каждый из временных этапов имеет удельный вес 33,33%, так как распределение равномерное, что было указано выше. Ниже представлен расчет удельных показателей внутри каждого временного этапа в соответствии с подходом Фишберна и вышеописанной структуры ранжирования. Расчеты удельных весов частных показателей для этапа строительства АЭС:

$$1. \quad r_1 = \frac{2 \cdot (5 - 1 + 1)}{(5 + 1) \cdot 5} \Rightarrow r_1 = 33,33\%$$

$$2. \quad r_2 = \frac{2 \cdot (5 - 2 + 1)}{(5 + 1) \cdot 5} \Rightarrow r_2 = 26,67\%$$

$$3. \quad r_3 = \frac{2*(5-3+1)}{(5+1)*5} \Rightarrow r_3 = 20\%$$

$$4. \quad r_4 = \frac{2*(5-4+1)}{(5+1)*5} \Rightarrow r_4 = 13,33\%$$

$$5. \quad r_5 = \frac{2*(5-5+1)}{(5+1)*5} \Rightarrow r_5 = 6,67\%$$

Расчеты удельных весов частных показателей для этапа эксплуатации АЭС:

$$1. \quad r_1 = \frac{2*(7-1+1)}{(7+1)*7} \Rightarrow r_1 = 25\%$$

$$2. \quad r_2 = \frac{2*(7-2+1)}{(7+1)*7} \Rightarrow r_2 = 21,43\%$$

$$3. \quad r_2 = \frac{2*(5-2+1)}{(5+1)*5} \Rightarrow r_3 = 17,86\%$$

$$4. \quad r_4 = \frac{2*(7-4+1)}{(7+1)*7} \Rightarrow r_4 = 14,29\%$$

$$5. \quad r_5 = \frac{2*(7-5+1)}{(7+1)*7} \Rightarrow r_5 = 10,71\%$$

$$6. \quad r_6 = \frac{2*(7-6+1)}{(7+1)*7} \Rightarrow r_6 = 7,14\%$$

$$7. \quad r_7 = \frac{2*(7-7+1)}{(7+1)*7} \Rightarrow r_7 = 3,57\%$$

Расчеты удельных весов частных показателей для этапа по истечении срока эксплуатации АЭС:

$$1. \quad r_1 = \frac{2*(3-1+1)}{(3+1)*3} \Rightarrow r_1 = 50\%$$

$$2. \quad r_2 = \frac{2*(3-2+1)}{(3+1)*3} \Rightarrow r_2 = 33,33\%$$

$$3. \quad r_3 = \frac{2*(3-3+1)}{(3+1)*3} \Rightarrow r_3 = 16,67\%$$

Результаты всех расчетов сведены в комплексную логическую распределения удельных весов между показателями, схему, представленную на рисунке 2.

Следующим этапом построения нечетко-множественной модели является формирование классификатора степени влияния АЭС на окружающую среду. Авторы используют стандартный пятиуровневый 01-классификатор, разработанный Недосекиным А. О. В классификаторе в качестве носителя лингвистической переменной выступает отрезок вещественной оси [0; 1] (01-носитель). Данный отрезок универсален, так как любой отрезок вещественной оси может быть сведен к отрезку [0; 1]. Для описания вида подмножеств терм-множества введена система из пяти функций принадлежности, характеризующих степень принадлежности отрезка значений 01-носителя заданному подмножеству [3].

Графически совокупность функций принадлежности терма будет выглядеть так, как представлено на рисунке 3. На графике изображены трапециевидные функции принадлежности, где по оси ординат обозначены значения функций принадлежности (от 0 до 1), а по оси абсцисс представлены термы. При этом верхнее основание трапеции соответствует абсолютной уверенности эксперта в правильности своей классификации, а нижнее основание характеризует уверенность в том, что никакие другие значения интервала (0; 1) не попадают в выбранное нечеткое подмножество. Боковые грани трапеций отражают колебание суждения эксперта (группы экспертов) о принадлежности конкретного отрезка на 01-носителе к тому или иному терму. Создание системы нечетких подмножеств предполагает введение набора узловых точек, которые являются абсциссами середин верхних оснований трапеций классификатора. В данном случае имеем 5 узловых точек: {0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9} [4].

В таблицах 3, 4 и 5 представлена система классификаторов показателей оценки уровня влияния АЭС на окружающую среду для трех этапов: строительство, эксплуатация и по истечении срока эксплуатации.

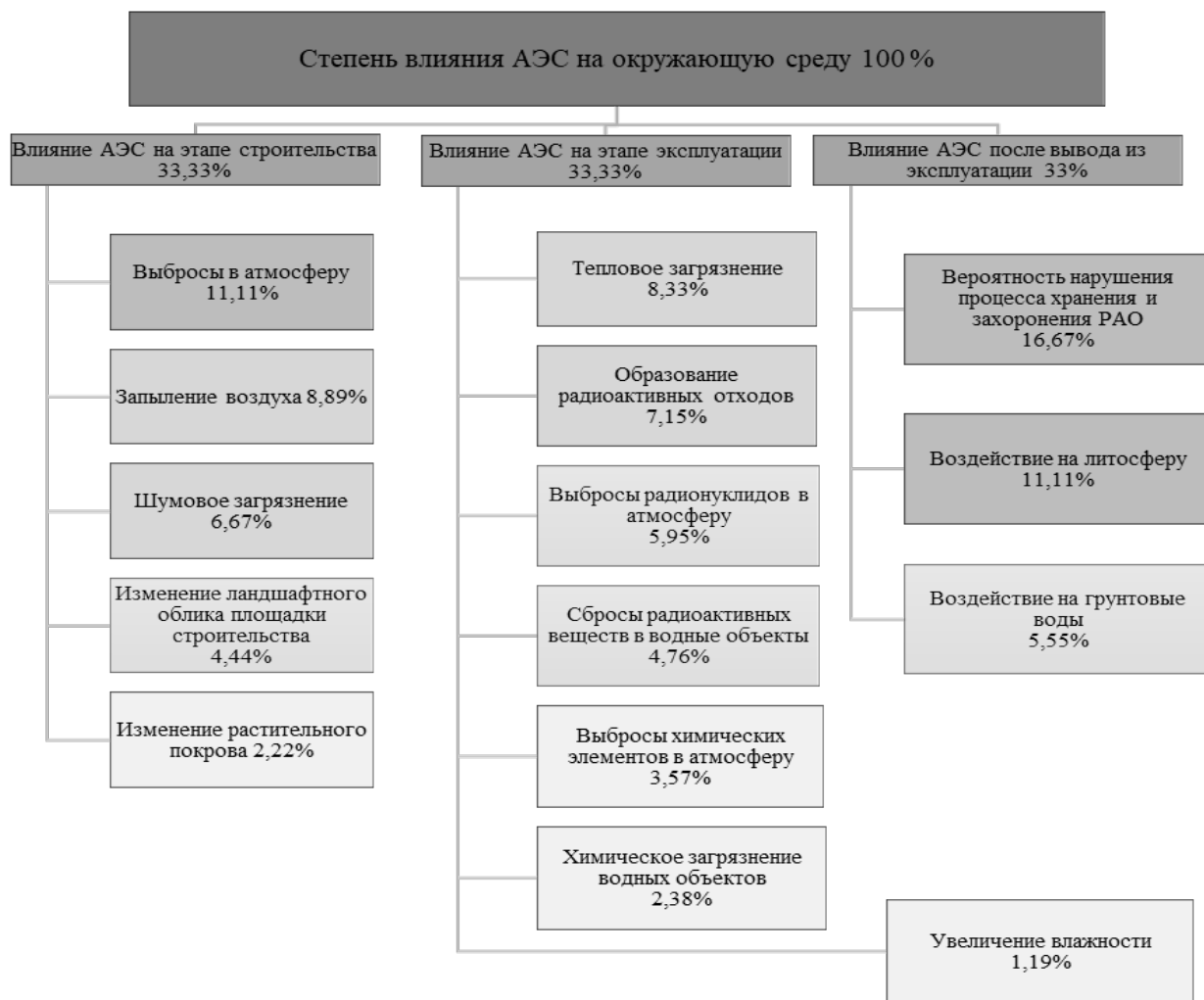


Рис. 2. Комплексная логическая схема распределения удельных весов между показателями

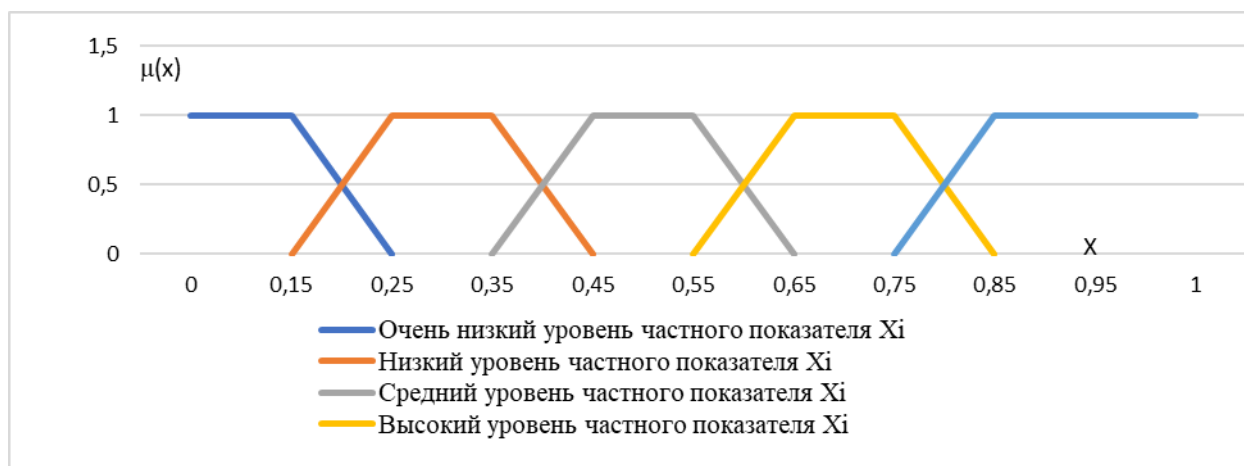


Рис. 3. Пятиуровневый 01-классификатор частного показателя

Таблица 3. Система нечетко-множественных классификаторов показателей влияния АЭС на окружающую среду на этапе строительства

| Обозначение показателя | Т-числа {у} для значений лингвистической переменной |                                    |                                     |                                     |   |
|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
|                        | Очень низкий уровень частного показателя            | Низкий уровень частного показателя | Средний уровень частного показателя | Высокий уровень частного показателя | Очень высокий уровень частного показателя |
| ЧП <sub>11</sub>       | (0; 0; 496; 549)                                    | (496; 549; 602; 655)               | (602; 655; 708; 761)                | (708; 761; 814; 867)                | (814; 867; +∞; +∞)                        |
| ЧП <sub>12</sub>       | (0; 0; 5; 12)                                       | (5; 12; 19; 26)                    | (19; 26; 33; 40)                    | (33; 40; 47; 54)                    | (47; 54; +∞; +∞)                          |
| ЧП <sub>13</sub>       | (0; 0; 10; 24)                                      | (10; 24; 38; 52)                   | (38; 52; 66; 80)                    | (66; 80; 94; 110)                   | (94; 110; +∞; +∞)                         |
| ЧП <sub>14</sub>       | (1; 1; 2; 3)  | (2; 3; 4; 5)                       | (4; 5; 6; 7)                        | (6; 7; 8; 10)                       | (8; 10; 10; 10)                           |
| ЧП <sub>15</sub>       | (1; 1; 2; 3)  | (2; 3; 4; 5)                       | (4; 5; 6; 7)                        | (6; 7; 8; 10)                       | (8; 10; 10; 10)                           |

ЧП<sub>1</sub> мин = 496 мг/м<sup>3</sup>; ЧП<sub>1</sub> макс = 867 мг/м<sup>3</sup>

ЧП<sub>4</sub> мин = 1 балл; ЧП<sub>4</sub> макс = 10 баллов

ЧП<sub>2</sub> мин = 5 мг/м<sup>3</sup>; ЧП<sub>2</sub> макс = 54 мг/м<sup>3</sup>

ЧП<sub>5</sub> мин = 1 балл; ЧП<sub>5</sub> макс = 10 баллов

ЧП<sub>3</sub> мин = 10 дБ; ЧП<sub>3</sub> макс = 110 дБ

Таблица 4. Система нечетко-множественных классификаторов показателей влияния АЭС на окружающую среду на этапе эксплуатации

| Обозначение показателя | Т-числа {у} для значений лингвистической переменной |                                    |                                     |                                     |   |
|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
|                        | Очень низкий уровень частного показателя            | Низкий уровень частного показателя | Средний уровень частного показателя | Высокий уровень частного показателя | Очень высокий уровень частного показателя |
| ЧП <sub>21</sub>       | (0; 0; 1; 3)  | (1; 3; 5; 7)                       | (5; 7; 9; 11)                       | (9; 11; 13; 15)                     | (13; 15; +∞; +∞)                          |
| ЧП <sub>22</sub>       | (0; 0; 2406; 2647)                                  | (2406; 2647; 2888; 3129)           | (2888; 3129; 3370; 3611)            | (3370; 3611; 3852; 4091)            | (3852; 4091; +∞; +∞)                      |
| ЧП <sub>23</sub>       | (0; 0; 29; 50)                                      | (29; 50; 71; 92)                   | (71; 92; 113; 134)                  | (113; 134; 155; 177)                | (155; 177; +∞; +∞)                        |
| ЧП <sub>24</sub>       | (0; 0; 310; 335)                                    | (310; 335; 360; 385)               | (360; 385; 410; 435)                | (410; 435; 460; 485)                | (460; 485; +∞; +∞)                        |
| ЧП <sub>25</sub>       | (0; 0; 535; 1005)                                   | (535; 1005; 1475; 1945)            | (1475; 1945; 2415; 2885)            | (2415; 2885; 3355; 3825)            | (3355; 3825; +∞; +∞)                      |
| ЧП <sub>26</sub>       | (0; 0; 18; 28)                                      | (18; 28; 38; 48)                   | (38; 48; 58; 68)                    | (58; 68; 78; 88)                    | (78; 88; +∞; +∞)                          |
| ЧП <sub>27</sub>       | (0; 0; 1; 5)  | (1; 5; 9; 13)                      | (9; 13; 17; 21)                     | (17; 21; 25; 29)                    | (25; 29; 100; 100)                        |

ЧП<sub>1</sub> мин = 1 °C; ЧП<sub>1</sub> макс = 15 °C

ЧП<sub>5</sub> мин = 535 т/год; ЧП<sub>5</sub> макс = 3825 т/год

ЧП<sub>2</sub> мин = 2406 т/год; ЧП<sub>2</sub> макс = 4091 т/год

ЧП<sub>6</sub> мин = 18 т/год; ЧП<sub>6</sub> макс = 88 т/год

ЧП<sub>3</sub> мин = 29 т/год; ЧП<sub>3</sub> макс = 177 т/год

ЧП<sub>7</sub> мин = 1%; ЧП<sub>7</sub> макс = 29%

ЧП<sub>4</sub> мин = 310 т/год; ЧП<sub>4</sub> макс = 485 т/год

Таблица 5. Система нечетко-множественных классификаторов показателей влияния АЭС на окружающую среду на этапе по истечении срока эксплуатации

| Обозначение показателя | Т-числа {у} для значений лингвистической переменной |                                    |                                     |                                     |   |
|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
|                        | Очень низкий уровень частного показателя            | Низкий уровень частного показателя | Средний уровень частного показателя | Высокий уровень частного показателя | Очень высокий уровень частного показателя |
| ЧП <sub>31</sub>       | (0; 0; 4; 8)  | (4; 8; 12; 16)                     | (12; 16; 20; 24)                    | (20; 24; 28; 30)                    | (28; 30; 100; 100)                        |

|                  |              |              |              |               |                 |
|------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|
| ЧП <sub>32</sub> | (1; 1; 2; 3) | (2; 3; 4; 5) | (4; 5; 6; 7) | (6; 7; 8; 10) | (8; 10; 10; 10) |
| ЧП <sub>33</sub> | (1; 1; 2; 3) | (2; 3; 4; 5) | (4; 5; 6; 7) | (6; 7; 8; 10) | (8; 10; 10; 10) |

ЧП<sub>1</sub> мин = 4%; ЧП<sub>1</sub> макс = 30%  
 ЧП<sub>2</sub> мин = 1 балл; ЧП<sub>2</sub> макс = 10 баллов  
 ЧП<sub>3</sub> мин = 1 балл; ЧП<sub>3</sub> макс = 10 баллов

Построение данных классификаторов позволяет определить границы для каждого частного показателя, благодаря которым можно классифицировать данный показатель как «очень высокий», «высокий», «средний», «низкий» и «очень низкий» [4].

После определения границ значений для частных показателей, необходимо построить аналогичный классификатор для интегрального показателя, который характеризует степень влияния АЭС на окружающую среду. Для этого необходимо определить его минимальное и максимальное значение, а затем сделать равномерное распределение.

По результатам расчета каждого из частных показателей, проводится распознавание их значений по критерию  $\lambda_{ij} \in [0; 1]$ . Данный показатель соотносит значения частных показателей со значениями 01- носителя:

$$\lambda_{ij} = 1 + \frac{X_i - a_3^*}{a_4^* - a_3^*} \quad (2)$$

Где  $a_3^*$  и  $a_4^*$  – Т-числа  $i$ -го подмножества терм-множества.

По результатам распознавания значений частных показателей, рассчитывается интегральный показатель:

$$CB = \sum_1^{n=15} p_j \times r_i \times \lambda_{ij} \quad (3)$$

Где  $p_j$  – узловые точки 01-носителя:

$$p_j = 0,9 - 0,2 \times (j - 1) \quad (4)$$

Где  $j$  – номер подмножеств базового терм множества  $\xi$ .

Полученный интегральный показатель лингвистически интерпретируется, аналогичен частным показателям. Расчеты показателя  $\lambda_{ij}$  для нижней границы интегрального показателя  $\lambda_{ij}$  для верхней границы интегрального показателя приведены ниже в таблице 6 и таблице 7 соответственно. Расчеты показателя  $p_j$  для всех частных показателей будут равны 0,9, так как при расчете максимальной границы интегрального показателя  $j$  будет равен 1:

$$p_j = 0,9 - 0,2 \times (1 - 1)$$

$$p_j = 0,9$$

Расчеты показателя  $p_j$  для всех частных показателей будут равны 0,1, так как при расчете минимальной границы интегрального показателя  $j$  будет равен 5:

$$p_j = 0,9 - 0,2 \times (5 - 1)$$

$$p_j = 0,1$$

Далее в таблице 6 представлен расчет показателя  $\lambda_{ij}$ .

Таблица 6. Расчет показателя  $\lambda_{ij}$  для нижней границы интегрального показателя

| № | Строительство   | № | Эксплуатация  | № | После эксплуатации                                    |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $\lambda_1 = 1 - \frac{496 - 496}{549 - 496}$ $\lambda_1 = 1$ | 1 | $\lambda_1 = 1 - \frac{1 - 1}{3 - 1}$ $\lambda_1 = 1$             | 1 | $\lambda_1 = 1 - \frac{4 - 4}{8 - 4}$ $\lambda_1 = 1$ |
| 2 | $\lambda_2 = 1 - \frac{5 - 5}{12 - 5}$ $\lambda_2 = 1$        | 2 | $\lambda_2 = 1 - \frac{2406 - 2406}{2647 - 2406}$ $\lambda_2 = 1$ |   |   |



|   |   |   |  |   |   |
|---|---|---|--|---|---|
| 3 | $\lambda_3 = 1 - \frac{10 - 10}{24 - 10}$ $\lambda_3 = 1$ | 3 | $\lambda_3 = 1 - \frac{29 - 29}{50 - 29}$ $\lambda_3 = 1$      | 2 | $\lambda_2 = 1 - \frac{2 - 2}{3 - 2}$ $\lambda_2 = 1$ |
|   |   | 4 | $\lambda_4 = 1 - \frac{310 - 310}{335 - 310}$ $\lambda_4 = 1$  |   |   |
| 4 | $\lambda_4 = 1 - \frac{2 - 2}{3 - 2}$ $\lambda_4 = 1$     | 5 | $\lambda_5 = 1 - \frac{535 - 535}{1005 - 535}$ $\lambda_5 = 1$ | 3 | $\lambda_2 = 1 - \frac{2 - 2}{3 - 2}$ $\lambda_2 = 1$ |
|   |   | 6 | $\lambda_6 = 1 - \frac{18 - 18}{28 - 18}$ $\lambda_6 = 1$      |   |   |
| 5 | $\lambda_5 = 1 - \frac{2 - 2}{3 - 2}$ $\lambda_5 = 1$     | 7 | $\lambda_7 = 1 - \frac{1 - 1}{5 - 1}$ $\lambda_7 = 1$          |   |   |

Нижняя граница интегрального показателя СВ по результатам расчетов составила 9,99%. Для расчета верхней границы интегрального показателя необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$\lambda_{ij} = 1 + \frac{X_i - a_2^*}{a_2^* - a_1^*} \tag{5}$$

Где  $a_2^*$  и  $a_1^*$  – Т-числа  $i$ -го подмножества терм-множества.

Далее в таблице 7 представлен расчет показателя  $\lambda_{ij}$ .

Таблица 7. Расчет показателя  $\lambda_{ij}$  для верхней границы интегрального показателя.

| № | Строительство   | № | Эксплуатация  | № | После эксплуатации  |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $\lambda_1 = 1 - \frac{867 - 867}{867 - 814}$ $\lambda_1 = 1$ | 1 | $\lambda_1 = 1 - \frac{15 - 15}{15 - 13}$ $\lambda_1 = 1$         | 1 | $\lambda_1 = 1 - \frac{30 - 30}{30 - 28}$ $\lambda_1 = 1$ |
| 2 | $\lambda_2 = 1 - \frac{54 - 54}{54 - 47}$ $\lambda_2 = 1$     | 2 | $\lambda_2 = 1 - \frac{4091 - 4091}{4091 - 3852}$ $\lambda_2 = 1$ |   |   |

|   |   |   |  |   |   |
|---|---|---|--|---|---|
| 3 | $\lambda_3 = 1 - \frac{110 - 110}{110 - 94}$<br>$\lambda_3 = 1$ | 3 | $\lambda_3 = 1 - \frac{177 - 177}{177 - 155}$<br>$\lambda_3 = 1$     | 2 | $\lambda_2 = 1 - \frac{10 - 10}{10 - 8}$<br>$\lambda_2 = 1$ |
|   |   | 4 | $\lambda_4 = 1 - \frac{485 - 485}{485 - 460}$<br>$\lambda_4 = 1$     |   |   |
| 4 | $\lambda_4 = 1 - \frac{10 - 10}{10 - 8}$<br>$\lambda_4 = 1$     | 5 | $\lambda_5 = 1 - \frac{3825 - 3825}{3825 - 3355}$<br>$\lambda_5 = 1$ | 3 | $\lambda_3 = 1 - \frac{10 - 10}{10 - 8}$<br>$\lambda_3 = 1$ |
|   |   | 6 | $\lambda_6 = 1 - \frac{88 - 88}{88 - 78}$<br>$\lambda_6 = 1$         |   |   |
| 5 | $\lambda_5 = 1 - \frac{10 - 10}{10 - 8}$<br>$\lambda_5 = 1$     | 7 | $\lambda_7 = 1 - \frac{29 - 29}{29 - 25}$<br>$\lambda_7 = 1$         |   |   |

Верхняя граница показателя СВ по результатам расчетов составила 89,99%. Далее необходимо построить нечетко-множественный классификатор интегрального показателя — степень влияния АЭС на окружающую среду. Классификатор представлен в таблице 8.

Таблица 8. Нечетко-множественный классификатор интегрального показателя

| Обозначение показателя | Т-числа {y} для значений лингвистической переменной |                               |                                       |                                 |  |
|------------------------|---|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--|
|                        | Крайне допустимый уровень показателя                | Допустимый уровень показателя | Условно-допустимый уровень показателя | Недопустимый уровень показателя | Крайне недопустимый уровень показателя |
| СВ                     | (0; 0; 9,99; 21,41)                                 | (9,99; 21,41; 32,83; 44,25)   | (32,83; 44,25; 55,65; 67,07)          | (55,65; 67,07; 78,49; 89,9)     | (78,49; 89,9; 100; 100)                |

Благодаря данному классификатору можно охарактеризовать уровень комплексного влияния АЭС на окружающую среду.

#### Библиографический список

1. Орлов А. Теория нечетких множеств — часть теории вероятностей // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. No 92.
2. Анализ подходов к выбору весовых коэффициентов критериев методом парного сравнения критериев // Вестник евразийской науки. 2017. 9 с., No 6 (43).
3. Многокритериальный выбор альтернатив на основе пересечения нечетких множеств // SITU. 2016. No 1–2.
4. Нечеткая логика в экономике — формирование нового направления // Идеи и идеалы. 2019. 11 с., No 1–1.
5. Конников, Е. А. Нечетко-множественный подход к анализу инвестиционного климата нефтегазовых рынков АТР / Е. А. Конников, О. А. Конникова, А. Д. Шматко // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. — 2018. — Т. 2. — С. 422–425.
6. Вознесенская, Д. Д. Эволюция энергетики с замещением традиционных источников энергии, рассчитанная методом нечеткой логики / Д. Д. Вознесенская, И. А. Лопырев, О. В. Новикова, Е. А. Конников // Экономические науки. — 2021. — № 200. — С. 48–56. — DOI 10.14451/1.200.48.