

Абдуханова Н.Г., Зиннурова Г.И., Хайруллин Д.Ф.

**Применение метода многокритериальных взвешенных оценок при выборе инновационных теплоизоляционных материалов**

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет  
(Россия, Казань)*

doi: 10.18411/sr-10-06-2019-10

idsp: sciencerussia-10-06-2019-10

**Аннотация**

**Объект исследования.** Инновационные строительные материалы для утепления наружных стен.

**Предмет исследования.** Без внедрения инновационных инструментов в развитие отрасли невозможно эффективно решать задачи повышения энергоэффективности строительных продуктов, качественного улучшения среды обитания, значительного повышения уровня производительности труда, автоматизации и роботизации производства. Инновации в строительстве сегодня – вопрос выживания. Таким образом, предметом исследования является эффективность внедрения инновационных строительных материалов и технологий, понижающих стоимость строительства.

**Цели.** Комплексный расчет, получение экспертных оценок и сравнение весовых коэффициентов и взвешенных оценок для каждого критерия выбора объекта.

**Методы.** Метод многокритериальных взвешенных оценок.

**Результаты.** Расчет показал, что наилучшими теплоизоляционными и стоимостными характеристиками в монолитном домостроении обладает утеплитель из пен полиуретана.

**Ключевые слова:** инновации, теплоизоляция, утеплитель, строительные материалы

При использовании множества методов в расчетах возникают две главные задачи: как получить оценки по каждому критерию в отдельности и в совокупности, то есть как агрегировать все полученные оценки в общую полезность альтернативы. В стандартном методе принятия решения роли трех участников – ЛПР, экспертов и консультантов – определены следующим образом. Консультанты (иногда совместно с ЛПР) разрабатывают перечень критериев в совокупности с анализом и изучением уровня качества по каждому критерию, выбирая способ построения шкалы измерений. В большинстве случаев применяются балльные шкалы (от 1 до 10 или от 0 до 1). Далее в дело вступают эксперты, которые выступают в роли «измерительных приборов». Они начисляют баллы (оценивают) каждый вариант по шкале из критериев. Если экспертов несколько, то их оценки суммируются и сводятся к единому результату.

При получении оценок каждой из альтернатив по каждому из критериев осуществляется переход к получению общей ценности альтернативы. Такой переход возможен с помощью формулы, объединяющей оценки по различным критериям в общую оценку полезности альтернативы. Существует различное множество подобных вспомогательных формул. Выбор той или иной из них осуществляется консультантом. На данном этапе иногда (при многочисленных альтернативах и критериях) применяется персональный компьютер, который на основании определенных введенных данных (вида формулы расчета, оценок альтернатив по критериям) вычисляет общие оценки альтернатив.

### Прямые методы

Сущность применения данных методов заключается в том, что зависимость общей полезности альтернативы от оценок по различным критериям известна заранее. В таком случае используют такой вид зависимости, при котором назначаются численные показатели важности критериев (т.е. их удельный вес), умножаемые на оценки по каждому виду критерия. Такой метод носит название метод **взвешенной суммы оценок критериев**. Из прямых методов также можно привести в пример метод **дерева решений**. После просмотра всех вариантов выбора устанавливают альтернативные способы решения. Для каждого альтернативного варианта в первую очередь подсчитываются вероятности осуществления, после чего которые умножаются на сто ценность в деньгах.

**Примерный алгоритм многокритериальной оценки альтернатив заключается в следующем:**

- определить критерии оценки вариантов;
- грейдировать критерий по важности;
- избрать лишь важные критерии;
- определить значимость баллами, соответствующей относительной важности критериев;
- ранжировать коэффициенты ( $\omega_i$ ) по важности из условия:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \quad (1)$$

где  $\omega_i$  – вес  $i$ -го критерия, назначаемый ЛПР;

- произвести предварительное разделение альтернатив по качеству;
- вычислить функции полезности  $U$  для каждого из критериев выбора:

$$U = \sum_{i=1}^N \left( \frac{x_i - x_i^*}{x_i^*} \right)^2 \quad (2)$$

- определить полезность каждой из альтернатив по следующей формуле:

$$U = \sum_{i=1}^N \omega_i \cdot U_i \quad (3)$$

### Методы порогов несравнимости

Подобные методы применяются в случаях необходимости сравнения двух различных альтернатив, одна из которых считается лучше другой (к примеру, один из вариантов считается лучшим благодаря более высокой оценке по большинству критериев). В соответствии с вышеуказанным условием, альтернативы подразделяются на сравнимые и несравнимые. Судя по названию, можно сказать, что сравнимость заключается в наличии каких-либо признаков, дающих основание для сравнения (один вариант лучше другого, либо они эквиваленты). Изменяя отношения сравнимости, получают разное число пар сравниваемых альтернатив. Данные методы впервые были предложены профессором Б. Руа во Франции. Суть методов заключается в том, что решается оптимизационная задача с одним первым  $m$  критерием, исключая все оставшиеся критерии. После чего решается задача с одним вторым критерием и т.д. На последнем этапе решения выявляются экстремальные уровни, достижимые по каждому критерию в отдельности. Для каждого критерия, начиная с первого, определяется не нарушаемый порог. Условие нерушимости порога считают ограничением, затем включают ограничения по порогу второго критерия и т.д.

### Методы компенсации

Метод компенсации базируется на том, что оценочные результаты одной альтернативы или варианта уравниваются (компенсируются) оценочным результатам другой альтернативы. Данный метод считается наиболее простым и удобным в использовании благодаря тому, что определяются преимущества и недостатки каждого из вариантов. После чего попарно вычеркиваются либо преимущества, либо недостатки и анализируется то, что осталось.

### Аксиоматические методы

При использовании в расчетах аксиоматических методов осуществляют определение ряда признаков, которым должна соответствовать зависимость общей полезности альтернативы от оценок по отдельным критериям. Данные характеристики изучаются путем проверки информации, полученной от ЛПР. На заключительном этапе осуществляется анализ информации и делают вывод о той или иной форме зависимости.

### Человеко-машинные методы

Такие методы применяют в том случае, когда модель проблемы известна не полностью, а лишь частично. Человек с помощью компьютеризации определяет необходимые соотношения между критериями.

Благодаря вышеперечисленным пяти группам методов, упрощено и усовершенствовано большинство известных на сегодняшний день методов принятия управленческих решений. Однако в нашем случае наиболее подходящим для расчетов является метод многокритериальных взвешенных оценок, о котором и пойдет дальше речь.

### Метод многокритериальных взвешенных оценок

Остановимся подробнее на методе многокритериальных взвешенных оценок. Данный метод в большинстве случаев применяется для выбора оптимального варианта в случаях, когда выбор производится на основе качественных критериев. Кроме того, метод многокритериальных взвешенных оценок используется и для упрощения расчетов в случае использования количественных критериев.

Количественные критерии дают оценку в количественных показателях, о чем говорит и само название (например, площадь магазина – 120 кв. м).

Качественные критерии дают оценку в параметрах качества (например, престижность места, где возведен объект, можно оценить как «высокой престижности» или «низкой престижности»).

#### Алгоритм метода

- 1) формулирование критериев выбора;
- 2) определение веса критериев;
- 3) выбор шкалы оценки;
- 4) ранжирование оценок вариантов по выбранным критериям;
- 5) расчет взвешенной оценки для каждого варианта по каждому критерию;
- 6) расчет итоговой взвешенной оценки по каждому варианту;
- 7) выбор наилучшего варианта.

При расчете с использованием положительных критериев выбирается вариант с максимальной итоговой взвешенной оценкой, а при применении отрицательных критериев – с минимальной.

#### Преимущества метода многокритериальных взвешенных оценок:

- 1) простота расчета по сравнению с другими методами;
- 2) возможность использования метода для расчетов при сложности получения количественных критериев оценки вариантов, либо их отсутствии;
- 3) результатом может являться выбор самого оптимального варианта, но в то же время и ранжирование по степени привлекательности всех исследуемых вариантов (т.е. существует возможность выбора нескольких лучших вариантов с определенной градацией, вплоть до исключения одного из худших).

К недостаткам метода многокритериальных взвешенных оценок можно отнести невысокую точность данного метода, что связано с субъективностью экспертных оценок, которые применяются как при выборе критериев и распределении их веса, так и при оценке по качественным критериям.

Произведем расчет эффективности инновационного материала методом многокритериальных взвешенных оценок (табл. 1 – 3). Для сравнения выбраны следующие виды теплоизоляционных материалов: синтетический каучук, базальтовая вата, фибролитовые плиты, пеностекло, теплолен, пенополиуретан.

Критериями оценки служат данные анализа проведенного компанией «МОБИЛ СТРОЙ XXI», а именно стоимость 1 кв.м стены в рублях (цены на 2019 год), а также толщина стены.

Таблица 1.

Матрица весовых оценок

Наименование тепло- изоляционного материала	Критерий выбора объекта		
	Толщина стены	Стоимость 1 кв.м	Сумма баллов $\sum_{i=1}^m r_i$
Синтетический каучук	5	1	6
Базальтовая вата	5	2	7
Фибролитовые плиты	3	3	6
Пеностекло	4	3	7
Теплолен	4	4	8
Пенополиуретан	4	5	9
Суммарная оценка $r_i$	25	18	43

Экспертные оценки были проверены на пропорциональность доли стоимости конструктивных элементов в стоимости всего строительства.

Значения весовых коэффициентов для каждого критерия выбора объект вычисляется по формуле:

$$\sigma_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^m r_i}, \quad (4)$$

Получим, что весовой коэффициент толщины стены  $\sigma_1 = 0,58$ , весовой коэффициент стоимости 1 кв.м стены  $\sigma_2 = 0,42$ . Весовые коэффициенты для каждого критерия выбора объекта представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Весовые коэффициенты для каждого критерия выбора объекта

Критерий отбора	Вес критерия	Оценка критерия по 10 бальной шкале					
		Синтетический каучук	Базальтовая вата	Фибролитовые плиты	Пеностекло	Теплолен	Пенополиуретан
Толщина	0,58	8	8	4	6	6	6
Стоимость 1 кв.м	0,42	2	5	6	6	7	8
Итого	1,00	10,00	13,00	10,00	12,00	13,00	14,00

Расчет взвешенной оценки для каждого варианта по каждому критерию выполняется по формуле:

$$K_{ij\text{взвеш}} = K_{ij} \cdot \sigma_i, \quad (5)$$

Расчет итоговой взвешенной оценки по каждому варианту вычисляется по формуле 6 и результаты представлены в табл. 3:

$$K_{ij\text{итог}} = \sum_{j=1}^N K_{ij\text{взвеш}}, \quad (6)$$

Таблица 3.

*Результат итоговой взвешенной оценки по каждому материалу*

Материал	Синтетический каучук	Базальтовая вата	Фибролитовые плиты	Пеностекло	Теплолен	Пенополиуретан
Толщина	4,65	4,65	2,33	3,49	3,49	3,49
Стоимость 1 кв.м	0,84	2,09	2,51	2,51	2,93	3,35
Итого	5,49	6,74	4,84	6,00	6,42	6,84

Экспертные оценки были проверены на пропорциональность доли стоимости конструктивных элементов в стоимости всего строительства. Посчитаны весовые коэффициенты и взвешенные оценки для каждого критерия выбора объекта. На основании выполненных расчетов можно сделать вывод, что наилучшими теплоизоляционными и стоимостными характеристиками при использовании в монолитном домостроении обладает утеплитель из пенополиуретана.

Таким образом, внедрение инновационных инструментов в строительную отрасль позволяет повысить энергоэффективность строительных продуктов, качественно улучшить среду обитания, значительно повысить уровень производительности труда, автоматизацию и роботизацию производства.

\*\*\*

1. Методы многокритериальной оценки. [Электронный ресурс]. URL: [https://studme.org/31899/menedzhment/metody\\_mnogokriterialnoy\\_otsenki](https://studme.org/31899/menedzhment/metody_mnogokriterialnoy_otsenki) (дата обращения 12.04.2019).
2. Математические методы и алгоритмы решения задач бизнес-информатики. [Электронный ресурс]. URL: <https://bijournal.hse.ru/data/2013/10/11/1281327437/5.pdf> (дата обращения 12.04.2019).