

# ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Зотов Р.С.<sup>\*</sup>, Цапенко М.В.<sup>\*\*</sup>

*<sup>\*</sup>Россия, Самарский государственный технический университет*

*<sup>\*\*</sup>Россия, Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва*

**Аннотация:** В статье рассчитаны и проанализированы оценки эффективности мероприятий по энергосбережению на основе экспертного метода многокритериального оценивания – метода анализа иерархий Томаса Саати. Определено какие из анализируемых энергосберегающих мероприятий позволяют повысить энергетическую эффективность предприятия.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, метод анализа иерархий Томаса Саати, мероприятия по энергосбережению.

На протяжении последних лет проблема повышения энергетической эффективности в бытовой и производственной сферах остается крайне актуальной. Эффективная экономия энергоресурсов – одна из важнейших задач любого промышленного предприятия. Тарифы на энергетические ресурсы повышаются и, как следствие, растёт потребность в реализации энергосберегающих мероприятий.

Высокая стоимость ресурсов при их нерациональном использовании повышает себестоимость продукции и делает производство менее конкурентоспособным по сравнению с более энергоэффективным бизнесом.

Именно поэтому очень важно оценивать эффективность мероприятий по энергосбережению на предприятии, последовательно снижая потребление энергии.

Мероприятия по энергосбережению на предприятии – это комплекс действий, снижающий избыточный расход энергоресурсов. Для того чтобы уменьшить издержки предприятия без снижения объёмов производства, необходимо:

1. Провести энергетический аудит точек потребления ресурсов.
2. Выявить проблемные области с избыточным потреблением.
3. Устранить и оптимизировать потребление энергоресурсов.

Такие мероприятия должны привести к снижению потребления энергетических ресурсов при сохранении текущего объёма производства, либо к увеличению объёмов производства при сохранении текущего потребления энергоресурсов, в зависимости от целевых установок.

В промышленности существует множество различных способов сбережения энергии. К основным мероприятиям по энергосбережению, на которые нужно обратить внимание, относятся [1]:

1. Мероприятия по сбережению электрической энергии.
2. Мероприятия по энергосбережению в сфере тепло- и водоснабжения.
3. Мероприятия по сбережению газа.

Для оценки эффективности мероприятий по энергосбережению был выбран экспертный метод многокритериального оценивания – метод анализа иерархий (далее по тексту – МАИ), разработанный Томасом Саати [2]. Результатом применения этого метода является определение наиболее преимущественного варианта, а так же конструктивное обоснование такого выбора с распределением всех вариантов по степени значимости.

МАИ подразумевает декомпозицию проблемы на все более простые составляющие части и дальнейшую обработку последовательности суждений экспертов, формализованных в парных сравнениях альтернатив.

Также сильной стороной метода является возможность определения качества работы экспертов на основе показателя согласованности оценок – индекса и отношения согласованности.

МАИ проводится по следующей схеме:

1. Определение цели исследования.
2. Построение иерархии рассматриваемой задачи оценивания.
3. Проведение экспертного оценивания на основе парного сравнения компонентов иерархии.
4. Математическая обработка полученных суждений.
5. Оценка качества экспертных суждений.
6. Синтез глобальных приоритетов.

## 7. Содержательный анализ полученных результатов.

Реализуем эти этапы МАИ – построим иерархию задачи оценки мероприятий по энергосбережению. Эта иерархия будет состоять из трех уровней – первым уровнем, соответственно, является поставленная цель. На втором уровне иерархии определим критерии оценки эффективности мероприятий по энергосбережению, всего их будет четыре:

1. Экономическая эффективность использования топливно-энергетических ресурсов на всех стадиях производства энергии, распределения и потребления (экономическая эффективность – К1).

2. Соответствие мероприятий требованиям Федерального закона №261-ФЗ от 23 ноября 2009 года «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [3] (соответствие ФЗ №261 – К2).

3. Годовая экономия энергетических ресурсов в стоимостном выражении (годовая экономия – К3).

4. Срок окупаемости мероприятий (срок окупаемости – К4).

На третьем уровне иерархии будут находиться непосредственно оцениваемые объекты, то есть конкретные мероприятия по энергосбережению:

1. Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные источники света (М1).

2. Утепление наружных стен и крыши здания (М2).

3. Установка приборов учета холодной воды (М3).

4. Ремонт и режимная наладка котла (М4).

5. Оптимизация использования дорожно-транспортных средств (М5).

6. Реконструкция системы уличного освещения с установкой счетчиков электрической энергии (М6).

Соответствующая иерархия представлена на рисунке 1.

*Далее реализуем процедуру парных сравнений для определения важности критериев второго уровня относительно общей цели исследования, и*

математическую обработку полученных суждений. Эти результаты представлены в таблице 1.

Оценки качества экспертных суждений: индекс согласованности (ИС) – 17%, отношение согласованности (ОС) – 19%. На рисунке 2 показаны нормированные оценки значимости критериев.

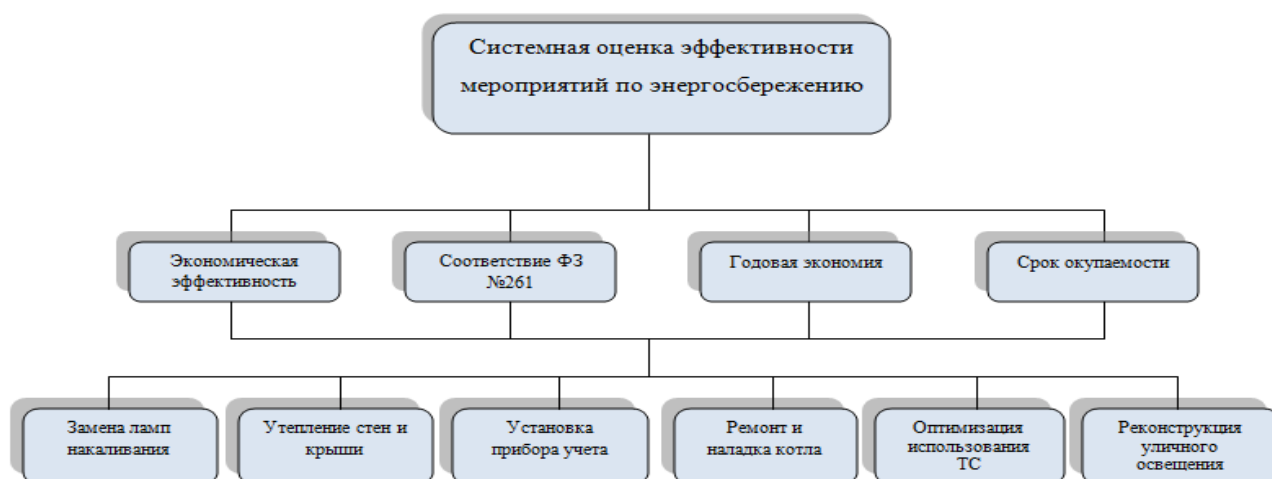


Рисунок 1 – Иерархия системной оценки эффективности мероприятий по энергосбережению

Таблица 1 – Оценки значимости критериев и результаты расчётов

Критерии	К1	К2	К3	К4	Среднее геометрическое	Нормированные оценки	Расчет $\lambda_{\max}$
<i>1</i>					<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<b>К1</b>	1	1/7	1/4	1/6	0,28	0,08	1,44
<b>К2</b>	7	1	3	2	1,57	0,45	0,89
<b>К3</b>	4	1/3	1	1/2	0,64	0,18	1,15
<b>К4</b>	6	1/2	2	1	1,00	0,29	1,05
$\Sigma$	18,00	1,98	6,25	3,67	3,48	1,00	$\lambda_{\max} = 4,53$

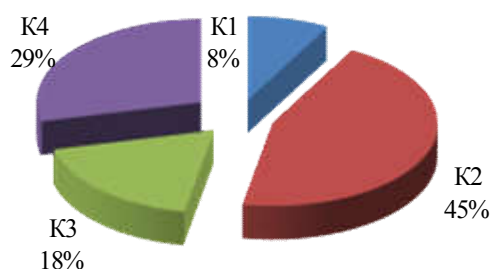


Рисунок 2 – Оценки значимости критериев

Как видно из данных, представленных на рисунке 2, наиболее значимым является второй критерий – соответствие ФЗ №261 (К2), его доля важности в процентном соотношении всех критериев составляет 45%. Наименее значимым критерием оценки эффективности мероприятий по энергосбережению оказался

первый критерий – экономическая эффективность (К1).

На рисунке 3 представлены результаты оценивания значимости шести энергосберегающих мероприятий по первому критерию. Процедура оценивания и расчётная схема аналогичны ранее проведённой оценке для критериев – таблица 1.

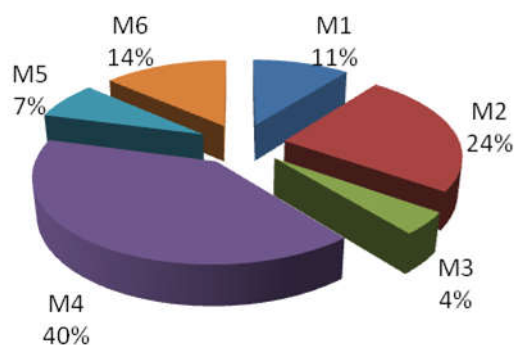


Рисунок 3 – Оценка мероприятий по энергосбережению относительно первого критерия

Оценки качества экспертных сужений: индекс согласованности (ИС) – 21%, отношение согласованности (ОС) – 17%.

По данным, представленным на диаграмме рисунка 3, можно сделать вывод о том, что самым эффективным мероприятием по энергосбережению относительно критерия К1 является мероприятие М4 – ремонт и наладка котла. Значимость этого мероприятия составляет 40%.

Самыми неэффективными мероприятиями оказались мероприятие М3 – установка прибора учета и М5 – оптимизация использования дорожно-транспортных средств. Их оценки значимости составляют всего 4% и 7%, соответственно. Таким образом, самым экономически выгодным является четвертое мероприятие.

На рисунке 4 представлены результаты оценивания значимости шести энергосберегающих мероприятий по второму критерию.

Оценки качества экспертных сужений: индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС) – 0%, что является идеальным вариантом с точки зрения качества экспертных суждений.

Из данных, представленных на рисунке 4, видно, что преобладающими мероприятиями по энергосбережению относительно критерия К2 являются

сразу 4 мероприятия:

- мероприятие М3 – установка прибора учета;
- мероприятие М4 – ремонт и наладка котла;
- мероприятие М5 – оптимизация использования дорожно-транспортных средств;
- мероприятие М6 – реконструкция уличного освещения.

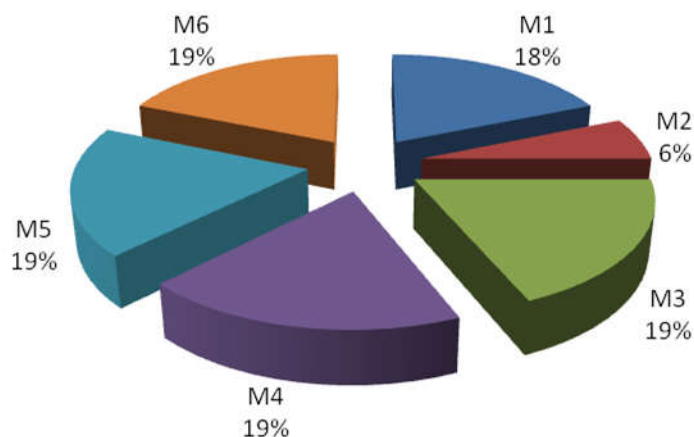


Рисунок 4 – Оценка мероприятий по энергосбережению относительно второго критерия

Их доля значимости в процентном соотношении составляет по 19% на каждое мероприятие. Мероприятие М1 – замена ламп накаливания – находится на втором месте и его доля составляет 18%, а вот значимость мероприятия М2 – утепление стен и крыши – составила всего 6%.

На рисунке 5 представлены результаты оценивания значимости шести энергосберегающих мероприятий по третьему критерию.

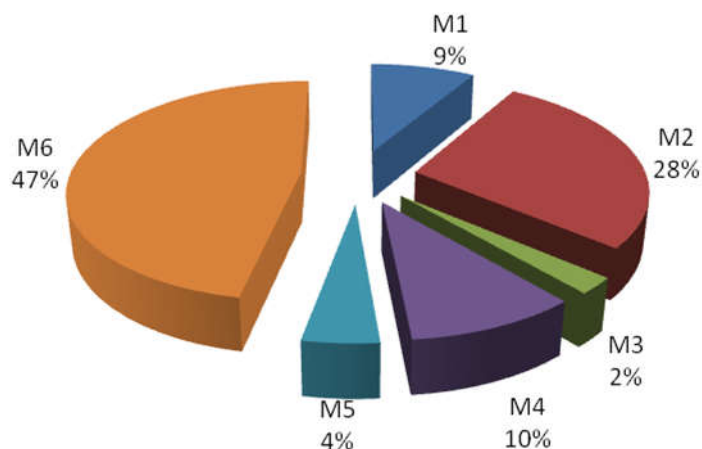


Рисунок 5 – Оценка мероприятий по энергосбережению относительно третьего критерия

Оценки качества экспертных сужений: индекс согласованности (ИС) – 10%, отношение согласованности (ОС) – 8%.

Из данных, представленных на рисунке 5, видно, что самым эффективным мероприятием по энергосбережению относительно критерия К3 является мероприятие М6 – реконструкция уличного освещения. Его доля значимости в процентном соотношении всех критериев составляет 47%. Самым неэффективным мероприятием относительно критерия К3 оказалось мероприятие М3 – установка прибора учета. Его доля в процентном соотношении составила всего лишь 2%.

На рисунке 6 представлены результаты оценивания значимости шести энергосберегающих мероприятий по четвёртому критерию.

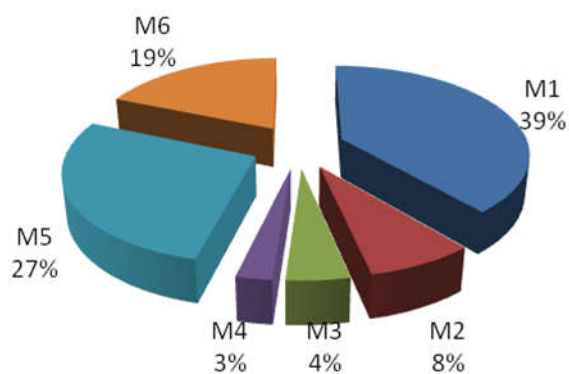


Рисунок 6 – Оценка мероприятий по энергосбережению относительно четвёртого критерия

Оценки качества экспертных сужений: индекс согласованности (ИС) – 5%, отношение согласованности (ОС) – 4%.

Как видно из данных, представленных на рисунке 6, одним из самых эффективных мероприятий по энергосбережению относительно критерия К4 является мероприятие М1 – замена ламп накаливания (39%). Самым неэффективным мероприятием является мероприятие М4 – ремонт и наладка котла (3%).

Таким образом, в ходе реализации процедуры МАИ были получены оценки значимости четырёх критериев и локальные значения важности шести мероприятий по каждому из критериев.

Для нахождения глобальных оценок значимости мероприятий реализуем

процедуру их синтеза, основанную на алгоритме свёртки локальных критериев методом аддитивного набора взвешенных сумм, где в качестве весовых коэффициентов выступают значения значимости критериев – таблица 2.

Таблица 2 – Синтез глобальных приоритетов

	К1	К2	К3	К4	Глобальные приоритеты
1	2	3	4	5	6
<b>M1</b>	0,11	0,19	0,09	0,39	0,22
<b>M2</b>	0,24	0,06	0,28	0,08	0,12
<b>M3</b>	0,04	0,19	0,02	0,05	0,11
<b>M4</b>	0,40	0,19	0,10	0,03	0,14
<b>M5</b>	0,07	0,19	0,05	0,28	0,18
<b>M6</b>	0,14	0,19	0,47	0,19	0,23
$\Sigma$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

На диаграмме рисунка 7 представлены значения обобщённых оценок значимости.

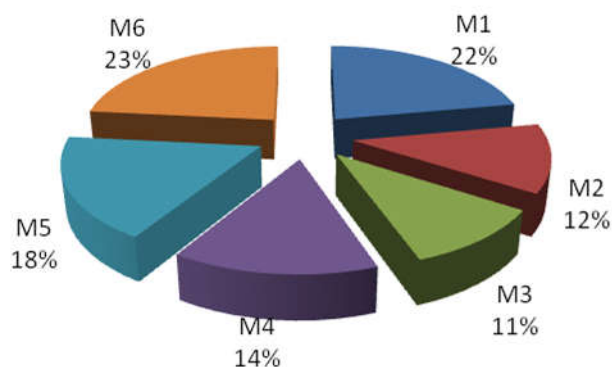


Рисунок 7 – Обобщённые оценки значимости мероприятий по энергосбережению

Как видно из данных, представленных на рисунке 7, по результатам проведённого анализа самыми эффективными мероприятиями по энергосбережению являются мероприятия M6 – реконструкция уличного освещения и M1 – замена ламп накаливания. Их обобщённая оценка значимости в процентном соотношении составляет 23% и 22%, соответственно.

Менее эффективными мероприятиями будут мероприятия M5 – оптимизация использования дорожно-транспортных средств (18%) и M4 – ремонт и наладка котла (14%).

Самыми неэффективными мероприятиями по результатам проведённого анализа являются мероприятия M2 – утепление стен и крыши (12%) и M3 – установка приборов учета (11%).



Таким образом, основываясь на результатах проведенного анализа, можно сделать вывод о том, что метод анализа иерархий является конструктивным способом оценивания эффективности мероприятий по энергосбережению. Полученные результаты позволяют провести ранжировку значимости энергосберегающих мероприятий и следовательно определить приоритетность их реализации.

### **Список литературы:**

1. Цапенко М.В., Хуснутдинова Ф.Н. Методы оценки эффективности энергосберегающих мероприятий // Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности: Сборник статей Международной научно-практической конференции (МНПК «ЛЭРЭП-8-2014»). – Москва, Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева, 19 – 20 ноября 2014 года. (с. 138-142).
2. Саати, Томас Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
3. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // СПС КонсультантПлюс.

### **EXPERT ESTIMATION OF EFFICIENCY OF ENERGY-SAVING MEASURES**

R.S. Zotov\*, M.V. Tsapenko\*\*

\*Russia, Samara State Technical University

\*\*Russia, Samara National Research University

**Annotation:** a detailed analysis of the assessment of the effectiveness of energy saving measures with a phased analysis of the hierarchy analysis method was carried out. It is shown which of the considered measures on energy saving will allow to significantly increase the energy efficiency of the enterprise.

**Keywords:** energy efficiency, the method of analyzing hierarchies, energy saving measures.

#### **References:**

1. Tsapenko M.V., Khusnutdinova F.N. Methods of assessing the effectiveness of energy-saving measures // Logistics and economics of resource saving and energy saving in industry: Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference (MNPК "LEREP-8-2014"). - Moscow, the Russian University of Chemical Technology named after DI Mendeleev, November 19 - 20, 2014. (p. 138-142).
2. Saati, T. Decision-making. Analytic hierarchy process. – М.: Radio and communication, 1993. – 278 P.
3. The Federal Law of 23.11.2009 № 261-FZ «On Energy Saving and on Increasing Energy Efficiency and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation» // Legal Reference System Konsul'tantPlyus.