

*Кротов Евгений Валерьевич*

студент

*Лебедев Владимир Владимирович*

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса»

г. Москва

**КОМБИНАТОРНЫЙ АНАЛИЗ СРАВНИТЕЛЬНОЙ  
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНЕЧНЫХ НАБОРОВ  
ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ  
МЕРОПРИЯТИЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕДВИЖИМОСТИ**

*Аннотация:* в данной статье предлагается расчет эффективности энергосберегающих мероприятий по методу комбинаторики вариантов после вывода критерия эффективности. Конечно, стоимость и материалы постоянно меняются, но тот критерий, который приведен в этой статье – уникален. Приведенные примеры реальны, но это не значит, что при малейших изменениях работу предстоит переделать снова. Примеры приведены для демонстрации работоспособности метода.

*Ключевые слова:* энергоэффективность, комбинаторика, теплоустойчивость, экономия, теплообмен, энергосберегающие мероприятия, теплообменник, жилищно-коммунальный комплекс, актуальность, коэффициент.

*1. Вступление.*

Энергосбережение. Это слово очень актуально в последнее время, хотя бы только потому, что наше государство, последнее время, активно занимается этим вопросом. Вопрос энергоэффективности это вопрос средств. Если верить оценкам экспертов, в России расход энергии на долю жилого сектора в 3–4 раза превышает расход энергии в странах с схожим климатом. Если переводить об экономии, то, при условии внедрения достаточного количества средств, ежегодная

экономия может достигать 50 миллионов тонн нефтяного эквивалента. А экономный расход энергии достигается лишь путем внедрения новых технологий, которые позволяют терять меньше энергии, во время ее использования.



Рис. 1

Впервые о «энергетической защите» задумались в 2003, когда ввели закон о тепловой защите зданий, но тогда из-за недостаточного экономического стимулирования, инвесторы продолжали вкладываться в низкоэффективные дома, только потому что на этом можно сэкономить. Следующим этапом было внедрение в 2009 году закона «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», согласно которому все здания, вводимые в эксплуатацию, а также в процессе эксплуатации, должны соответствовать требованиям по энергоэффективности и иметь приборы учета энергоресурсов. В законе определен комплекс мер по реализации возможности экономии за счет энергоэффективных товаров и услуг. Вводится запрет на производство и продажу ламп накаливания в 100 Вт и более, с 2013 года – ламп в 75 Вт, с 2014 года – ламп в 25 Вт. Должны проводиться энергообследования специальными организациями с целью составления мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности. Закон предусматривает долгосрочные методы тарифного регулирования, при котором у компаний

коммунального комплекса возникает стимул сокращать затраты на энергоресурсы, повышать энергоэффективность в их использовании. Полученная экономия сохраняется у компании и может быть потрачена на любые цели.

В данной статье было решено провести расчет и рассмотреть создание комплекса мер по энергосбережению в жилых домах с целью выявления максимальной эффективности от приведенных энергосберегающих технологий.

Цель данной статьи – создание практического руководства для компаний, занимающихся вопросами энергосбережения.

## 2. Основная часть.

Для оценки эффективности предлагаемых мероприятий предлагается применить следующий критерий:

$$K_v = \frac{\Delta C_v}{\Delta E_v}, \text{ где}$$

$\Delta C_v$  – затраты на реализацию варианта;

$\Delta E_v$  – экономический эффект от реализации варианта.

Т. е. рубль затрат на рубль эффекта.

*2.1. Примеры применения предложенного критерия для оценки сравнительной эффективности отдельных мероприятий по повышению энергетической эффективности жилых объектов.*

*1. Эффективность мероприятий по устройству энергосберегающего освещения.*

Для примера приведем расчет освещения по этой методике.

За основу критерия возьмем разницу затрачиваемой энергии повсеместно используемой лампочки накаливания с лампами энергосберегающими и светодиодными.

Таблица 1

№	Сравнительные характеристики ламп	ед.	Светодиодная LED-лампа	Флуоресцентная лампа	Лампа накаливания
1	Необходимость обслуживания и замены ламп		нет	часто	очень часто
2	Влияние погоды и температуры окружающей среды		нет	да	иногда

3	Содержание ртути и других опасных элементов		нет	да	нет
4	Продолжительность работы одной лампы	часов	60 000	6 000	1 000
5	Потребление электроэнергии одной лампой, эквивалентной лампе накаливания 100 Вт	Ватт	10	15	100
6	Средняя стоимость одной лампы	руб.	900	230	19
7	В течение 60 000 часов будет использовано следующее кол-во электроэнергии	КВт*час	600	900	6000
8	Стоимость использованной электроэнергии при цене 4.7 руб. за КВт*час	руб.	2 820	4 230	28 200
9	Требуемое кол-во ламп для освещения помещения в течение 60 000 часов	шт.	1	10	60
10	Расходы по покупке ламп необходимых для освещения помещения в течение 60 000 часов	руб.	900	2 300	1140
11	Общая сумма расходов по покупке ламп и стоимости потребляемой электроэнергии в течение 60 000 ч.	руб.	3 720	6 530	29 340

Ссылаясь на данные таблицы 1, при выборе ламп мы определяем количество необходимых их замен за установленный срок (60000 часов) эксплуатации объекта, и, учитывая их стоимость, стоимость за каждой замены (10 руб.) и стоимость доставки ламп на объект (300 руб.) определим затраты на установку ламп по формуле:

$$\Delta C_{вл} = N \cdot (C + C_v) + C_d, \text{ где}$$

$N$  – количество замен в течение установленного срока (60000 часов);

$C$  – стоимость одной лампы, руб.;

$C_y$  – стоимость установки одной лампы, руб.;

$C_d$  – стоимость доставки ламп на объект, руб.

Для примера по указанной формуле вычислены затраты на установку энергосберегающих и светодиодных ламп:

$$\Delta C_{vЛэ} = ((230*10)+(10*10))+300 = 2700 \text{ руб.}$$

$$\Delta C_{vЛс} = ((900*1)+(10*1))+300 = 1210 \text{ руб.}$$

Эти числа и являются суммой затрат за монтаж ламп в одном месте за максимальное эксплуатационное время лампы. Знаменателем является разница между затраченной энергии лампочкой накаливания и энергии, выбранной нами лампы:

$$Лэ = 28200 - 4\ 230 = 23970$$

$$Лс = 28200 - 2\ 820 = 25380$$

Отсюда получаем:

$$K_э \frac{6\ 530}{23970} = 0.27$$

$$K_с \frac{3\ 720}{25380} = 0.14$$

По такой же схеме производим расчет таких мероприятий как:

1. Теплоизоляция.
2. Установка доводчиков дверей.
3. Установка термостата.
4. Установка экранов батарей.
5. Установка энергосберегающих окон.

Просчитываем данные к одному сроку службы (20 лет) и лучшие варианты заносим в таблицу.

Таблица 2

Список мероприятий	Цена	Эффект	Коэффициент
Светодиодные лампы	11160	76140	0.14
Теплоизоляция пенополиуретаном	6885000	9500000	0,72
Доводчики дверей	3000	10980	0,27
Экраны батарей	800	12000	0,06

Энергосберегающие окна	72000	194000	0,37
Термостат	4000	109800	0,03

3. Комбинаторный анализ сравнительной эффективности совместной реализации различных наборов рассматриваемых вариантов.

3.1. Основы методики комбинаторного анализа.

Соединение различных мероприятий количеством  $k$  для реализации, выбранных из ограниченного набора мероприятий числом  $m$  с точки зрения комбинаторного анализа представляет собой сочетание из  $m$  элементов по  $k$ .

Общее число сочетаний, отличающихся друг от друга составом, т. е. без повторов ( $m \leq k$ ), определяют по формуле:

$$C_m^k = \frac{m!}{k!(m-k)!}$$

В рассматриваемом нами случае общее количество вариантов  $m = 6$ . Число вариантов реализации различных сочетаний при различных  $k = 1...m$  представлено в следующей таблице 3.

Таблица 3

№ п/п	Число мероприятий в рассматриваемом варианте реализации, $k$	Количество различных вариантов реализации, $C_m^k$
1	1	6
2	2	15
3	3	20
4	4	15
5	5	6
6	6	1
7	Общая сумма:	63

Имеются векторы показателей  $C(m)$  и  $\Xi(m)$ , в первом из которых соединены значения затрат на реализацию каждого отдельного варианта из предлагаемого набора мероприятий, см. таблицу 2, а во втором векторе содержатся соответствующие значения достигаемых эффектов.

При рассмотрении конкретных вариантов реализации в виде сочетаний из  $m$  элементов по  $k$ , см. таблицу 3, применяем критерий эффективности в виде:

$$K\mathcal{E}_{mi}^k = \frac{\sum \mathcal{E}_{\alpha_j}}{\sum C_{\alpha_j}}, \text{ где}$$

$i$  – порядковый номер сочетания (из  $m$  по  $k$ ), см. таблицу 3, причем  $i = 1 \dots C_m^k$ ;

$\alpha_j$  – номер варианта мероприятия, согласно таблице 2 ( $\alpha_j \in [1 \dots m]$ ), включенного в рассматриваемое сочетание (общее количество включаемых вариантов в отдельное сочетание равно  $k$  ( $j = 1 \dots k$ )).

Критерием для выбора наиболее предпочтительного варианта при таком представлении критерия будет его наибольшее по сравнению с другими вариантами значение.

### 3.2. Применение предложенной методики к анализу полученных данных.

Расчеты производились на вычислительной машине с использованием программы MathCad 15 professional.

Далее производим комбинаторный расчет полученных результатов по общим формулам. Все данные заносим в таблицу.

Таблица 4

Номер варианта	Комбинация вариантов	Коэффициент	Сумма затрат	Сумма эффекта
1.1	1 и 2	0,72	6896160	9576140
1.2	1 и 3	0,16	14160	87120
1.3	1 и 4	0,13	11960	88140
1.4	1 и 5	0,30	83160	270140
1.5	1 и 6	0,08	15160	185940
1.6	2 и 3	0,72	6888000	9510980
1.7	2 и 4	0,72	6885800	9512000
1.8	2 и 5	0,71	6957000	9694000
1.9	2 и 6	0,71	6889000	9609800
1.10	3 и 4	0,16	3800	22980
1.11	3 и 5	0,36	75000	204980
1.12	3 и 6	0,05	7000	120780
1.13	4 и 5	0,36	75800	206000
1.14	4 и 6	0,03	4800	121000

1.15	5 и 6	0,25	76000	303800
2.1	1 + 2 и 3	0,71	6899160	9587120
2.2	1 + 2 и 4	0,72	6896960	9588140
2.3	1 + 2 и 5	0,71	6968160	9770140
2.4	1 + 2 и 6	0,71	6900160	9685940
2.5	1+3 и 4	0,15	14960	99120
2.6	1 + 3 и 5	0,30	86160	281120
2.7	1 + 3 и 6	0,09	18160	196920
2.8	1 + 4 и 5	0,29	83960	282140
2.9	1 + 4 и 6	0,08	15960	197940
2.10	1 + 5 и 6	0,22	87160	379940
2.11	2 + 3 и 4	0,72	6888800	9522980
2.12	2 + 3 и 5	0,71	6960000	9704980
2.13	2 + 3 и 6	0,71	6892000	9620780
2.14	2 + 4 и 5	0,71	6957800	9706000
2.15	2 + 4 и 6	0,71	6889800	9621800
2.16	2 + 5 и 6	0,71	6961000	9803800
2.17	3 + 4 и 5	0,34	75800	216980
2.18	3 + 4 и 6	0,05	7800	132780
2.19	3 + 5 и 6	0,25	79000	314780
2.20	4 + 5 и 6	0,24	76800	315800
3.1	1 + 2 + 3 и 4	0,72	6899960	9599120
3.2	1 + 2 + 3 и 5	0,71	6971160	9781120
3.3	1 + 2 + 3 и 6	0,72	6903160	9696920
3.4	1 + 2 + 4 и 5	0,71	6968960	9782140
3.5	1 + 2 + 4 и 6	0,71	6900960	9697940
3.6	1 + 2 + 5 и 6	0,70	6961630	9886000
3.7	1 + 3 + 4 и 5	0,29	86960	293120
3.8	1 + 3 + 4 и 6	0,09	18960	20892
3.9	1 + 3 + 5 и 6	0,23	90160	390920
3.10	1 + 4 + 5 и 6	0,22	87960	391940
3.11	2 + 3 + 4 и 5	0,71	6960800	9716980
3.12	2 + 3 + 4 и 6	0,71	6892800	9632780
3.13	2 + 4 + 5 и 6	0,70	69640200	9815800
3.14	3 + 4 + 5 и 6	0,24	79800	326780
4.1	1 + 2 + 3 + 4 и 5	0,71	6971960	9793120
4.2	1 + 2 + 3 + 4 и 6	0,71	6903960	9610100
4.3	1 + 3 + 4 + 5 и 6	0,29	90960	304100
5.1	1 + 2 + 3 + 4 + 5 и 6	0,71	6975960	9804100



По расчетам составляем таблицу лучших вариантов.

Таблица 5

Количество вариантов	Комбинация вариантов	Коэффициент	Затраты	Эффект
1	6	0,03	4000	109800
2	4 и 6	0,03	4430	94200
3	1+4 и 6	0,08	8430	204000
4	1+3+4 и 6	0,05	15960	197940
5	1+3+4+5 и 6	0,29	86960	293120
6	1+2+3+4+5 и 6	0,71	6975960	9804100

На основании таблицы составляем схему.

Для больше наглядности изменим направленность эффективности. Так как для наличия рентабельности мероприятия, коэффициент всегда будет меньше единицы, мы из единицы вычитаем результат расчетов и в итоге получаем результат, где лучший коэффициент стремится к единице.

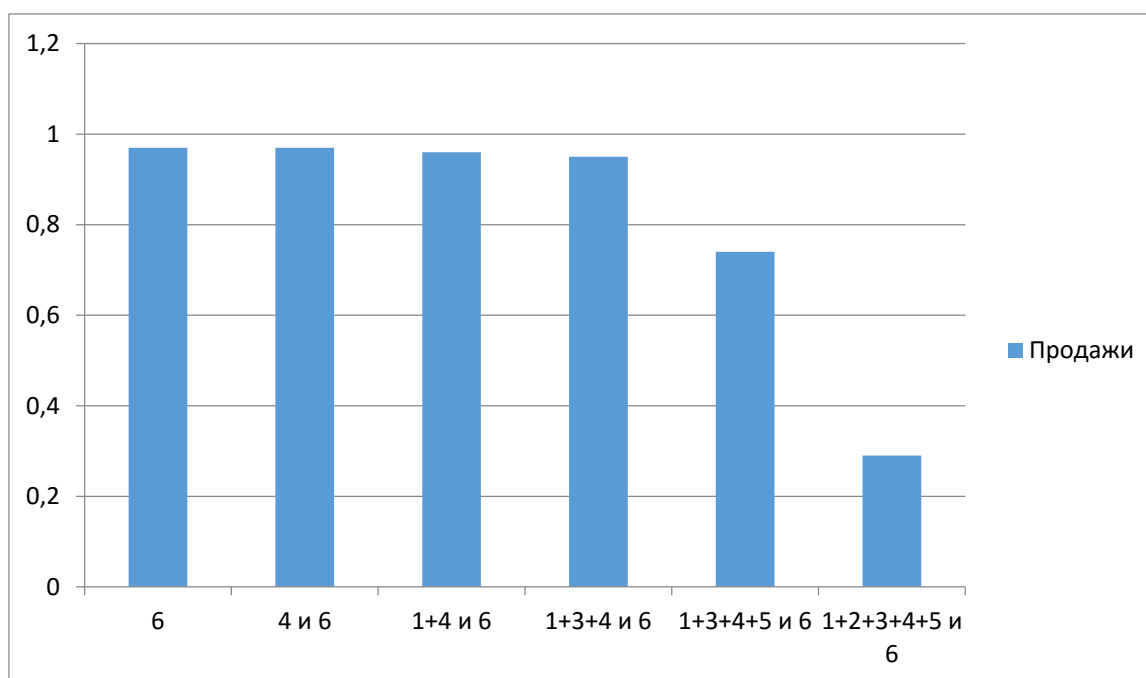


Рис. 2

*Вывод.*

Из приведенных примеров видно, что такой способ расчета максимально выгодных вариантов модернизации жилых площадей – работает. Это позволяет

управляющим компаниям или жильцам через программу расчета вводить лишь затраты и эффект, а получать наглядный материал.

Помимо представленных вариантов, стоит сделать вывод. Технологии постоянно развиваются, а это значит, что скоро, материалы про технические составляющие станут не актуальными, но сам метод работает. Именно для этого и приведены примеры. Поэтому как бы технологии не развивались и как бы не менялись значения эффективности и затрат – работоспособность метода останется неизменной.

### *Список литературы*

1. Российская газета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rg.ru/>
2. Холл М. Комбинаторика. – 1970.
3. Виленкин Н.Я. Популярная комбинаторика. – 1975.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aenergy.ru/led-lampa>
5. Комков В.А. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве / В.А. Комков, Н.С. Тимахова. – 2010.
6. Германович В. Альтернативные источники энергии и энергосбережение / В. Германович, А. Турилин. – 2014.
7. Примак Л.В. Энергосбережение в ЖКХ / Л.В. Примак, Н.Л. Чернышев. – 2011.