

# МЕТОД РАСЧЕТА «ПРИВЕДЕННОЙ» СЕБЕСТОИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

МИХАЙЛОВ Т.С., СИНЕЛЬНИКОВ А.М., АО «Научно-технический центр Единой энергетической системы (Московское отделение)»

Существующий метод расчета «простой» себестоимости производства 1 кВт·ч электрической энергии, используемый для оценки экономической эффективности инвестиционных проектов по созданию объектов распределенной генерации, приводит к некорректным результатам. С целью повышения прозрачности финансово-экономических расчетов и их более полного понимания среди широкого круга специалистов авторы статьи предлагают альтернативный подход к расчету себестоимости, основанный на методе дисконтированных денежных потоков, – метод расчета «приведенной» себестоимости.

В настоящее время в маркетинговых целях для демонстрации эффективности строительства объекта собственной генерации используется показатель себестоимости вырабатываемой им электрической энергии. Расчет такой себестоимости выполняется, как правило, путем суммирования капитальных и эксплуатационных затрат за весь срок службы основного генерирующего оборудования. Далее, в связи с тем, что общие суммарные затраты на энергоцентр отражают процесс одновременной выработки электрической и тепловой энергии, они уменьшаются на величину расходов, которые были бы понесены на приобретение отпущенных энергоцентром объемов тепловой энергии из

внешней сети или на их выработку на собственной котельной. Оставшиеся после вычитания затраты делятся на объем полезного отпуска электрической энергии от энергоцентра за весь рассматриваемый период и в результате принимаются как себестоимость производства 1 кВт·ч. В рамках данной статьи для такого подхода предлагается использовать термин – метод «простой» себестоимости.

Формула расчета «простой» себестоимости электрической энергии, выработанной энергоцентром, представлена на рис. 1.

Использование метода «простой» себестоимости для оценки экономической эффективности инвестицион-

ных проектов по созданию объектов распределенной генерации приводит к некорректным результатам, так как данный метод не позволяет учесть три следующих важных аспекта:

- изменение цен (инфляции) как на внешние ресурсы (электрическая и тепловая энергии из внешних источников), так и на ресурсы, напрямую формирующие затраты на энергоцентр (газ, техническое обслуживание, ремонты и т.д.);
- стоимость денег во времени. Некорректно складывать затраты, относящиеся к разным годам, и делить полученную сумму на объем выработки энергоцентра. Сто рублей, потраченные

$$\begin{array}{c}
 \text{Себестоимость} \\
 \text{электроэнергии,} \\
 \text{руб./кВт·ч} \\
 \hline
 = \\
 \hline
 \begin{array}{ccc}
 \text{Капитальные} & + & \text{Операционные} \\
 \text{затраты,} & & \text{затраты,} \\
 \text{руб.} & & \text{руб.} \\
 \hline
 \text{Затраты на выработку тепла} \\
 \text{на котельной или на покупку извне,} \\
 \text{руб.} \\
 \hline
 \text{Объем выработанной электроэнергии за весь срок службы энергоцентра,} \\
 \text{кВт·ч}
 \end{array}
 \end{array}$$

Рис. 1. Формула расчета «простой» себестоимости электрической энергии, выработанной энергоцентром

сегодня или через несколько лет, имеют разную ценность;

■ непостоянство объемов выработки энергии энергоцентром по годам. Количество и продолжительность различных видов ТО и ремонтов в каждый конкретный год влияет наработку энергоцентра в моточасах и приводит к существенным различиям в объемах вырабатываемых энергий.

Предлагаемый авторами подход, основанный на методе дисконтированных денежных потоков, позволяет корректно учесть вышеперечисленные аспекты. Метод дисконтирования уже давно является основополагающим и широко используется в мировой практике при оценке инвестиционной привлекательности проектов.

Суть метода дисконтирования – в приведении разновременных денежных потоков в сопоставимый вид, к одному моменту времени, что и называется учетом стоимости денег во времени. Дополнительно стоит отметить, что данный метод основывается на расчете, как правило, ежегодных денежных потоков, что позволяет применять различные прогнозы изменения цен на отдельные ресурсы (электрическую и тепловую энергии, природный газ и т.д.).

Недостатки и поверхностный характер метода «простой» себестоимости по сравнению с методом дисконтирования на практике приводят к принятию ошибочных решений о реализации проекта распределенной генерации, которые оборачиваются реальными убытками для участников проекта. Наиболее часто встречаются две ситуации:

■ вводится в эксплуатацию энергоцентр с «простой» себестоимостью производства электроэнергии более низкой, чем цена на электроэнергию из внешней сети. Однако со временем потребитель видит, что его фактические затраты, связанные с энергоснабжением от объекта распределенной генерации, оказываются выше, чем расходы, которые бы он понес, продолжив приобретать электрическую и тепловую энергию из внешних источников. В данном случае расчет на основе метода дисконтирования показал бы, что суммарные дисконтированные затраты по варианту с энергоцентром будут выше, чем по базовому варианту энергоснабжения от внешних сетей, и потребитель избежал бы инвестиционной ошибки;

■ выбирается неоптимальный состав оборудования объекта распределенной генерации, что снижает экономический эффект. Данное неоптимальное решение имеет те же причины, что были описаны в предыдущем пункте, только сравниваются не вариант энергоснабжения от внешних сетей и вариант с энергоцентром, а два альтернативных варианта энергоцентра с различным составом оборудования. Сравнение по суммарным затратам или по «простой» себестоимости говорит о предпочтительности энергоцентра на базе одного состава оборудования, а сопоставление по суммарным дисконтированным затратам свидетельствует о большей эффективности другого состава оборудования. Принятие решения о составе оборудования объекта распределенной генерации на основе метода «простой» себестоимости приведет как минимум к упущенной выгоде, а как максимум – к реальным убыткам по сравнению с энергоснабжением от внешних сетей.

С целью демонстрации недостатков метода «простой» себестоимости далее предлагается рассмотреть пример № 1, в котором производится оценка эффективности проекта по созданию собственного энергоцентра мощностью 2 МВт как на основе метода «простой» себестоимости, так и с помощью дисконтирования. Себестоимость, как правило, рассчитывается как отношение затрат на выпуск продукции к объему производства данной продукции за один и тот же промежуток времени. Следовательно, если в каждом из рассматриваемых вариантов объемы производства одинаковые, то их можно сравнивать по суммарным затратам за одинаковые промежутки времени. Наиболее экономически эффективным признается вариант с наименьшими затратами. В примере № 1 для ответа на вопрос, является ли создание энергоцентра экономически эффективным, сравниваются затраты по двум вариантам:

■ без энергоцентра: с сохранением текущей схемы энергоснабжения, которая предполагает покупку электроэнергии из внешней сети и производство тепловой энергии на собственной котельной;

■ с энергоцентром: основная часть электрической и тепловой энергии вырабатывается на энергоцентре, а недостающие объемы электрической энергии покупаются из внешней сети, а тепловой – вырабатываются на собственной котельной.

## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ

Ведущий рубрики



### Илюшин Павел Владимирович

Заместитель генерального директора АО «Техническая инспекция ЕЭС», к.т.н., руководитель подкомитета С6 «Системы распределения электроэнергетики и распределенная генерация» РНК СИГРЭ, руководитель подкомитета ПК-5 «Распределенная генерация (включая ВИЭ)» ТК 016 «Электроэнергетика» Росстандарта

Горизонт расчетов принимается равным 11 годам. В таблицах 1 и 2 представлены расчеты суммарных и дисконтированных суммарных затрат по вариантам «без энергоцентра» и «с энергоцентром».<sup>1</sup>

Результаты расчетов демонстрируют, что суммарные затраты за 11 лет по варианту «без энергоцентра» (987,1 млн. руб.) больше, чем по варианту «с энергоцентром» (893,2 млн. руб.). Аналогично, «простая» себестоимость электроэнергии от энергоцентра (4,77 руб./кВт·ч<sup>2</sup>) будет ниже средневзвешенной цены из внешней сети (5,27 руб./кВт·ч). Однако

<sup>1</sup>Числа во всех таблицах представлены с округлением, поэтому при выполнении арифметических действий результаты могут не совпадать.

<sup>2</sup> Суммарные затраты по варианту «с энергоцентром» (893,2 млн. руб.) минус затраты на тепловую энергию по варианту «без энергоцентра» (190,8 млн. руб.) разделить на выработку электроэнергии (147,4 млн. кВт·ч).

Таблица 1. Расчет затрат на энергоснабжение по варианту «без энергоцентра», млн. руб.

Показатель / Периоды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Итого
Покупка электрической энергии из внешней сети	-	71,9	74,3	74,6	76,3	78,2	80,0	81,9	83,9	86,0	89,1	796,3
Затраты на тепловую энергию	-	16,4	17,1	17,8	18,4	18,9	19,4	20,0	20,5	21,0	21,4	190,8
<b>Суммарные затраты</b>	-	<b>88,3</b>	<b>91,3</b>	<b>92,3</b>	<b>94,7</b>	<b>97,1</b>	<b>99,5</b>	<b>101,9</b>	<b>104,4</b>	<b>107,0</b>	<b>110,6</b>	<b>987,1</b>
Коэффициент дисконтирования	1,00	1,15	1,32	1,52	1,75	2,01	2,31	2,66	3,06	3,52	4,05	-
<b>Дисконтированные суммарные затраты</b>	-	<b>76,8</b>	<b>69,1</b>	<b>60,7</b>	<b>54,1</b>	<b>48,3</b>	<b>43,0</b>	<b>38,3</b>	<b>34,1</b>	<b>30,4</b>	<b>27,3</b>	<b>482,2</b>

Таблица 2. Расчет затрат на энергоснабжение по варианту «с энергоцентром», млн. руб.

Показатель / Периоды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Итого
Капитальные затраты	158,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	158,3
Налог на имущество	-	2,3	2,2	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	17,9
Топливо	-	43,7	45,4	47,3	48,6	50,4	51,5	53,2	53,9	55,9	56,9	506,8
ТО и ремонты	-	2,7	9,2	5,1	11,6	4,1	12,9	4,4	24,8	3,3	11,3	89,4
Затраты на персонал	-	5,9	6,2	6,4	6,6	6,9	7,1	7,3	7,6	7,7	7,9	69,7
Покупка электрической энергии из внешней сети	-	3,5	5,2	3,9	6,0	4,1	5,8	4,2	8,0	4,2	6,2	51,1
<b>Суммарные затраты</b>	<b>158,3</b>	<b>58,1</b>	<b>68,1</b>	<b>64,8</b>	<b>74,8</b>	<b>67,3</b>	<b>79,1</b>	<b>70,7</b>	<b>95,8</b>	<b>72,5</b>	<b>83,6</b>	<b>893,2</b>
Коэффициент дисконтирования	1,00	1,15	1,32	1,52	1,75	2,01	2,31	2,66	3,06	3,52	4,05	-
<b>Дисконтированные суммарные затраты</b>	<b>158,3</b>	<b>50,5</b>	<b>51,5</b>	<b>42,6</b>	<b>42,8</b>	<b>33,5</b>	<b>34,2</b>	<b>26,6</b>	<b>31,3</b>	<b>20,6</b>	<b>20,7</b>	<b>512,6</b>

Таблица 3. Приведение доходов от энергоцентра к концу проекта

Показатель / Периоды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Итого
Разница в суммарных затратах по вариантам «без энергоцентра» и «с энергоцентром»	-158,3	30,2	23,2	27,6	19,8	29,8	20,4	31,2	8,6	34,4	27,0	252,2
Коэффициент приведения к последнему году	-	3,52	3,06	2,66	2,31	2,01	1,75	1,52	1,32	1,15	1,00	-
<b>Доходы, приведенные к последнему году</b>	-	<b>106,3</b>	<b>71,0</b>	<b>73,4</b>	<b>45,9</b>	<b>59,8</b>	<b>35,6</b>	<b>47,4</b>	<b>11,4</b>	<b>39,6</b>	<b>27,0</b>	<b>517,4</b>

если посмотреть на дисконтированные суммарные затраты, то ситуация будет обратной: дисконтированные суммарные затраты по варианту «без энергоцентра» (482,2 млн. руб.) меньше, чем по варианту «с энергоцентром» (512,6 млн. руб.). Таким образом, если основываться на методе «простой» себестоимости, то получается, что строительство энергоцентра выгодно. В действительности это не так.

Понятие стоимости денег во времени и суть метода дисконтирования можно объяснить, продолжив расчеты по текущему примеру с энергоцентром на 2 МВт. Если вычесть из ежегодных суммарных затрат варианта «без энергоцентра» расходы по варианту «с энергоцентром», получится обычный для инвестиционного проекта денежный поток, когда вначале происходит отток денежных средств (капитальные вложения), а в последующие годы – их приток (в виде экономии на энергообеспечении), который должен обеспечить возврат капитальных вложений с определенной доходностью. В примере требования по доходности зафиксированы в ставке дисконтирования, которая составляет 15 %. Чтобы понять, обеспечивает ли денежный поток (полученный как разность суммарных затрат по вариантам) необходимую доходность, можно сравнить

его с суммой, которая накопится на депозите за аналогичный период. В основе расчетов по условному депозиту лежит формула сложных процентов, которая выглядит так:

$$d \times (1+r)^n,$$

где:  $d$  – начальная сумма вложенных средств,  $0 < r < 1$  – годовая процентная ставка,  $n$  – срок вклада в годах.

Если положить 158,3 млн. руб. на условный банковский депозит (а не инвестировать их в энергоцентр), то к концу 11 года на депозите накопится сумма в 640,6 млн. руб.  $[158,3 \times (1 + 15\%)^{10}]$ . Аналогичные расчеты следует выполнить с ежегодно получаемыми доходами от энергоцентра, то есть на доход, полученный в конце второго года, необходимо начислять проценты по условному депозиту в течение оставшихся 9 лет, а на доход, полученный в конце третьего года, в течение оставшихся 8 лет и т.д. Расчет итоговой суммы, которая аккумулируется на депозите к концу 11 года, осуществляется путем сложения ежегодных денежных потоков, умноженных на коэффициент приведения к последнему году. Данный коэффициент является частью формулы сложных процентов и рассчитывается так:  $(1+r)^n$

Полный расчет приведенных к концу проекта доходов от энергоцентра с целью их сравнения с суммой в

640,6 млн. руб., сформированной на депозите из первоначального вклада в 158,3 млн. руб., представлен в таблице 3.

В результате, если получаемые каждый год доходы от энергоцентра переводить на депозит, то накопится сумма в 517,4 млн. руб., что значительно меньше суммы в 640,6 млн. руб., которая аккумулируется на депозите за 11 лет, если внести 158,3 млн. руб. в первый год. При умножении каждого денежного потока за определенный год на соответствующий коэффициент, полученный по формуле сложных процентов, денежные потоки, относящиеся к разным периодам времени, приводятся к одному моменту времени, а именно к концу проекта. Дисконтирование – это обратный процесс, то есть приведение разновременных денежных потоков к началу проекта. Следовательно, при дисконтировании денежные потоки не умножаются, а делятся на коэффициент, полученный по формуле сложных процентов.

На практике показатели эффективности, рассчитываемые на основе метода дисконтирования (NPV, IRR, DPB и т.д.), к сожалению, используют далеко не всегда. С целью повышения прозрачности финансово-экономических расчетов и их более полного понимания широким кругом специ-

Таблица 4. Расчет затрат на энергоцентр

Показатель / Периоды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Итого
Потребление электроэнергии от ЭЦ, млн кВт·ч	-	72,1	68,7	71,3	67,0	71,3	67,9	72,3	63,4	72,3	68,7	694,9
Потребление тепловой энергии от ЭЦ, тыс. Гкал	-	42,8	40,4	41,9	39,9	41,9	42,5	43,4	35,9	43,4	40,4	412,4
<b>Суммарные затраты на ЭЦ, млн руб.</b>	<b>562,4</b>	<b>170,0</b>	<b>195,1</b>	<b>187,4</b>	<b>209,2</b>	<b>190,9</b>	<b>217,7</b>	<b>195,4</b>	<b>278,3</b>	<b>202,4</b>	<b>230,0</b>	<b>2638,8</b>
Коэффициент дисконтирования	1,00	1,15	1,32	1,52	1,75	2,01	2,31	2,66	3,06	3,52	4,05	-
<b>Дисконтированные суммарные затраты, млн руб.</b>	<b>562,4</b>	<b>147,8</b>	<b>147,5</b>	<b>123,2</b>	<b>119,6</b>	<b>94,9</b>	<b>94,1</b>	<b>73,4</b>	<b>91,0</b>	<b>57,5</b>	<b>56,8</b>	<b>1568,5</b>

Таблица 5. Расчет «приведенной» себестоимости электроэнергии от энергоцентра

Показатель / Периоды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Итого
Затраты на электроэнергию, млн руб.	-	229,5	225,7	235,4	226,3	246,6	240,5	262,4	235,8	275,5	271,0	2448,8
Потребление электроэнергии от ЭЦ, млн кВт·ч	-	72,1	68,7	71,3	67,0	71,3	67,9	72,3	63,4	72,3	68,7	694,9
<b>Себестоимость электроэнергии, руб./кВт·ч</b>	<b>2,96</b>	<b>3,18</b>	<b>3,29</b>	<b>3,30</b>	<b>3,38</b>	<b>3,46</b>	<b>3,54</b>	<b>3,63</b>	<b>3,72</b>	<b>3,81</b>	<b>3,95</b>	-
Рост тарифов на электроэнергию	-	7,6 %	3,2 %	0,5 %	2,3 %	2,4 %	2,4 %	2,4 %	2,5 %	2,4 %	3,6 %	-
Затраты на тепловую энергию, млн руб.	-	67,8	66,7	71,9	70,7	76,6	79,7	83,7	71,0	87,9	83,6	759,7
Потребление тепловой энергии от ЭЦ, тыс. Гкал	-	42,8	40,4	41,9	39,9	41,9	42,5	43,4	35,9	43,4	40,4	412,4
Тариф на тепловую энергию, руб./Гкал	1486	1584	1652	1715	1773	1826	1878	1928	1978	2026	2071	-
Рост тарифов на тепловую энергию	-	6,6 %	4,3 %	3,8 %	3,4 %	3,0 %	2,8 %	2,7 %	2,6 %	2,4 %	2,2 %	-
<b>Суммарные затраты, млн руб.</b>	<b>-</b>	<b>297,3</b>	<b>292,5</b>	<b>307,3</b>	<b>297,0</b>	<b>323,2</b>	<b>320,3</b>	<b>346,1</b>	<b>306,8</b>	<b>363,4</b>	<b>354,6</b>	<b>3208,4</b>
Коэффициент дисконтирования	1,00	1,15	1,32	1,52	1,75	2,01	2,31	2,66	3,06	3,52	4,05	-
<b>Дисконтированные суммарные затраты, млн руб.</b>	<b>-</b>	<b>258,5</b>	<b>221,2</b>	<b>202,1</b>	<b>169,8</b>	<b>160,7</b>	<b>138,5</b>	<b>130,1</b>	<b>100,3</b>	<b>103,3</b>	<b>87,7</b>	<b>1572,1</b>

алистов авторы разработали методику для расчета «приведенной» себестоимости электроэнергии от энергоцентра на основе метода дисконтирования. Приведение себестоимости к текущему моменту времени (началу проекта) позволяет сравнивать ее с текущими ценами на электрическую энергию на основе корректного подхода, соответствующего общепринятой методологии в оценке инвестиционной привлекательности проектов. Расчет себестоимости электроэнергии данным способом предполагает нахождение такой ставки на электроэнергию в ценах текущего периода, при индексации которой в соответствии с официальным прогнозом изменения тарифов на электроэнергию и умножении на соответствующие объемы вырабатываемой энергоцентром электроэнергии за весь период проекта, формируется такой дисконтированный денежный поток, который равен суммарным дисконтированным затратам на строительство и эксплуатацию энергоцентра.

Расчет «приведенной» себестоимости будет продемонстрирован на примере № 2, который предполагает строительство энергоцентра на 10 МВт. В таблице 4 представлен расчет суммарных дисконтированных затрат на строительство (первый год) и эксплуатацию (следующие 10 лет) энергоцентра за весь период проекта, составляющий 11 лет.

В таблице 5 производится расчет «приведенной» себестоимости электроэнергии от энергоцентра.

По результатам расчетов при «приведенной» себестоимости электроэнергии, равной 2,96 руб./кВт·ч, сумма дисконтированных затрат за 11 лет составляет 1572,1 млн. руб., что является наиболее близким значением к реальным дисконтированным затратам на энергоцентр в 1568,5 млн. руб. ввиду минимальной положительной разницы между ними.

Важно отметить, что при расчете моделируемых дисконтированных затрат учитываются расходы на тепловую энергию в объемах полезного отпуска от энергоцентра, которые понес бы потребитель, приобретающий данные объемы тепловой энергии из внешней сети по установленному тарифу или вырабатывая на собственной котельной по соответствующей себестоимости. В таблице 5 расходы на тепловую энергию рассчитываются на основе внешнего тарифа в 1486 руб./Гкал в первый год. Текущая средневзвешенная цена приобретения электрической энергии для потребителя в примере № 2 составляет 3,57 руб./кВт·ч. Таким образом, скидка от цены на электроэнергию из внешней сети составляет 17 %.

Оценка экономической эффективности любых инвестиционных проектов невозможна без таких показателей, как NPV, IRR, DPB и т.д. Негативные

последствия, к которым может привести игнорирование данных показателей и лежащего в их основе метода дисконтирования, были рассмотрены в статье. Однако сложность интерпретации показателей инвестиционной привлекательности среди широкого круга специалистов подтолкнула авторов к разработке методики, которая позволила бы продемонстрировать экономический эффект от внедрения объекта распределенной генерации в виде одного простого и понятного всем показателя. В результате авторы разработали методику «приведенной» себестоимости, которая объединяет в себе как простоту и понятность метода «простой» себестоимости, так и методологическую корректность принципа дисконтирования. Дисконтирование денежных потоков – единственно верный метод расчета показателей экономической эффективности инвестиционных проектов, оно позволяет избежать некорректных решений, принимаемых по результатам расчетов методом «простой» себестоимости.

Метод «приведенной» себестоимости широко применяется авторами в рамках работ по оценке эффективности создания объектов распределенной генерации («основные технические и инвестиционные решения»), являющихся одним из направлений деятельности АО «Научно-технический центр Единой энергетической системы (Московское отделение)».