

Петрущенко В. А., к.т.н., главный инженер ЗАО “Невэнергопром”
Васькин В.В., главный конструктор ЗАО “Невэнергопром”

К определению технико-экономических показателей мини-ТЭЦ

Введение

Для проектируемых мини-ТЭЦ при определении привычных показателей экономической эффективности, таких как прибыль и срок окупаемости, необходимо иметь в виду ряд обстоятельств, обсуждаемых в настоящей статье. Под мини-ТЭЦ здесь понимается вновь вводимое в работу оборудование, производящее электроэнергию и теплоту в виде потока горячей воды (пара).

На практике применяются три типа электрогенерирующего оборудования: паровые турбоустановки (противодавленческие или конденсационные турбины, в том числе с отборами пара), газотурбинные установки с паровой или водяной утилизацией теплоты отходящих газов, генераторные установки на базе двигателей внутреннего сгорания (газопоршневые, газо-дизельные, дизельные) с утилизацией теплоты систем двигателя и выхлопных газов.

Обычно электрогенераторы мини-ТЭЦ работают в параллель с энергосистемой. Производимая на мини-ТЭЦ электроэнергия, как правило, потребляется предприятием, при котором создана мини-ТЭЦ. Излишки или вся производимая электроэнергия могут выдаваться в сеть с ее оплатой или применением взаимозачета во взаимоотношениях предприятия с энергосистемой.

Создание мини-ТЭЦ “в чистом поле”

1. Рассмотрим вариант создания мини-ТЭЦ “в чистом поле”, владельцем которой является частная энергетическая компания, производящая тепловую и электрическую энергию на продажу внешним потребителям. В этом случае при определении себестоимости производимых теплоты и электроэнергии требуется разделение затрат топлива, эксплуатационных и прочих затрат, амортизационных отчислений между этими продуктами. Необходимость определения се-

бестоимости электроэнергии и теплоты по отдельности связана с тем, что тарифы на продажу электроэнергии $T_э$ и теплоты $T_т$ в настоящее время утверждает Региональная энергетическая комиссия (РЭК). Можно ожидать, что при утверждении тарифов РЭК будет допускать различную рентабельность производства теплоты и электроэнергии, что должно определить и способ экономически выгодного разделения затрат. Ниже приводятся способы разделения затрат топлива, которые используются на практике при выполнении предпроектных проработок вариантов строительства мини-ТЭЦ.

Для мини-ТЭЦ на базе противодавленческих паровых турбин широко распространен метод разделения топлива, следующий из уравнения энергетического баланса, примененного к работе котельной до строительства мини-ТЭЦ и к котельной, работающей совместно с мини-ТЭЦ:

$$B\eta_{\text{кот}} Q_p^H = Q_{\text{кот}}, \quad (B + \Delta B)\eta_{\text{кот}} Q_p^H = Q_{\text{кот}} + N_э,$$

где B – расход топлива в единицу времени в котельной до строительства мини-ТЭЦ, ΔB – дополнительный расход топлива в котельной при работе паровых турбин, $\eta_{\text{кот}}$ – к.п.д. котельной по преобразованию теплоты сгорания топлива в теплоту, $Q_{\text{кот}}$ – тепловая нагрузка теплоисточника, Q_p^H – низшая теплота сгорания топлива, $N_э$ – электрическая мощность мини-ТЭЦ. В приведенных уравнениях считается, что $\eta_{\text{кот}}$ одинаков до и после ввода в работу паровых турбин. Это связано с тем, что к.п.д. котельной слабо зависит от нагрузки котлов вблизи номинальных значений, тем более при небольшом ее изменении (изменение нагрузки котлов составляет несколько процентов, $\Delta B/B = N_э/Q_{\text{кот}}$). Из приведенных уравнений дополнительный расход топлива при вводе в работу мини-ТЭЦ равен

$$\Delta B = \frac{BN_э}{Q_{\text{кот}}} = \frac{N_э}{\eta_{\text{кот}} Q_p^H}.$$

Удельный расход топлива на выработку электроэнергии определится

$$b_э = \frac{\Delta B}{N_э} = \frac{1}{\eta_{кот} Q_p^H}. \quad \text{Для условного топлива } Q_p^H = 7000 \text{ ккал/кг. у.т.} = 8.141$$

кВт·час/кг.у.т. и к.п.д. котельной $\eta_{кот} = 0.85$, удельный расход топлива на выработку электроэнергии равен $b_э = 145$ г.у.т./кВт·час, на выработку теплоты -

$$b_T = \frac{B}{Q_{кот}} = \frac{1}{\eta_{кот} Q_p^H} = 168 \text{ кг.у.т./Гкал.} \quad \text{То есть, расход топлива распределяется про-}$$

порционально произведенным количествам электроэнергии и теплоты, различие в качестве этих видов энергии не учитывается.

Для мини-ТЭЦ на базе ГТУ и ГПА с утилизацией теплоты при коэффициенте использования теплоты топлива $\eta_{ит} = 0.85$ (обычно $\eta_{ит} = 0.8-0.9$) удельный расход топлива на выработку электроэнергии назначается по аналогии

$$b_э = \frac{B_э}{N_э} = \frac{1}{\eta_{ит} Q_p^H} = 145 \text{ г.у.т./кВт·час,} \quad \text{удельный расход топлива на выработку теп-}$$

лоты определится из уравнения энергетического баланса $b_T = \frac{B_T}{Q_T} = \frac{1}{\eta_{ит} Q_p^H} = 168$

кг.у.т./Гкал.

Общий годовой расход топлива на мини-ТЭЦ, работающей в режиме полной когенерации, равен $B_{год} = b_э \mathcal{E}_э + b_T \mathcal{E}_T$.

Приведенный способ разделения топлива соответствуют так называемому “физическому методу”. Очевидно, что общий расход топлива на мини-ТЭЦ не зависит от способа разделения топлива между теплотой и электроэнергией. Остальные затраты могут разделяться также пропорционально произведенным количествам разных видов энергии. При сформировавшихся рыночных ценах на теплоту и электроэнергию общая прибыль мини-ТЭЦ от продажи энергоносителей также не зависит от способа определения себестоимости теплоты и электроэнергии.

В случае отсутствия утилизации теплоты принимается $\eta_{ит}=\eta_э$ ($\eta_э$ – электрический к.п.д. установки, обычно $\eta_э=0.2-0.35$ для ГТУ и $\eta_э=0.35-0.42$ для ГПА). Следует иметь в виду, что электрический к.п.д. установки $\eta_э$ зависит от ряда параметров энергетического цикла и от величины ее нагрузки. Общий расход топлива на мини-ТЭЦ равен $B=N_э/Q_p^H\eta_э$. При частичной утилизации теплоты, обычно имеющей место в межтопительный период, общий расход топлива установки определяется точно так же. Разделение затрат топлива между электроэнергией и теплотой в этом случае зависит от вкусовых предпочтений исполнителя. Один из вариантов, соответствующий “физическому методу”, состоит в том, что удельные затраты топлива по-прежнему определяются по соотношению $b_э=\frac{B_э}{N_э}=\frac{1}{\eta_{ит}Q_p^H}=145$ г.у.т./кВт·час при расчетном значении коэф-

фициента использования теплоты сгорания топлива $\eta_{итр}=0.85$, тогда неиспользованная теплота топлива относится на процесс производства теплоты, и расход топлива на производство теплоты равен $B_T=B-b_эN_э=\frac{N_э}{Q_p^H}\left(\frac{1}{\eta_э}-\frac{1}{\eta_{итр}}\right)$, $b_T=B_T/Q_T$,

где Q_T – мощность полезно используемого потребителями теплового потока. В альтернативных вариантах можно делить общий расход топлива в любой другой пропорции, включая случаи, когда сохраняется значение $b_T=\frac{B_T}{Q_T}=\frac{1}{\eta_{ит}Q_p^H}=168$ кг.у.т./Гкал и неиспользованная теплота сгорания топлива

относится на производство электроэнергии, либо относить все затраты топлива на производство электроэнергии, считая утилизируемую теплоту бесплатной. Возможно также применение способа разделения затрат топлива по методике ОРГРЭС, используемого для ТЭЦ ОАО “РАО ЕЭС” с 1995 года.

В соответствии с Федеральным Законом №35 от 26.03.2003 “Об электроэнергетике” в дальнейшем в результате реформирования ОАО “РАО ЕЭС” цены на производимую электроэнергию будут определяться рыночными меха-

низмами. Можно предположить, что со временем цены на теплоту также будут определяться спросом и предложением в конкретном месте.

Годовая чистая прибыль на мини-ТЭЦ за счет производства электроэнергии и теплоты определится как разность выручки V от их продажи и себестоимости C их производства на мини-ТЭЦ с налоговыми отчислениями H . Простой срок окупаемости капитальных затрат K на строительство мини-ТЭЦ в этом случае равен

$$Z_{\text{ок}} = \frac{K}{V - C - H}.$$

Годовая выручка от продажи произведенных на мини-ТЭЦ электроэнергии $\mathcal{E}_э$ и теплоты $\mathcal{E}_т$ по тарифам $T_э$, $T_т$ равна: $V = T_э\mathcal{E}_э + T_т\mathcal{E}_т$.

Годовая себестоимость теплоты и электроэнергии, произведенных на мини-ТЭЦ, определяются годовыми затратами топлива $V_{\text{год}}$ при цене топлива $C_т$, затратами на эксплуатацию $C_э$, ремонты $C_р$, заработную плату персонала $C_{\text{зп}}$, прочие затраты $C_{\text{пр}}$, величиной амортизационных отчислений $A = n_a K$ с годовой нормой средних амортизационных отчислений n_a , определяемой исходя из норм амортизации различных групп основных средств, составляющих мини-ТЭЦ (см. Постановление Правительства РФ от 1 января 2002 г. №1 "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы" с учетом Изменений и дополнений, утвержденных постановлением Правительства РФ от 9 июля 2003 г. №415):

$$C = C_т V_{\text{год}} + C_э + C_р + C_{\text{зп}} + C_{\text{пр}} + A. \quad (1)$$

Годовые затраты топлива $V_{\text{год}}$ с теплотворной способностью Q_p^H на мини-ТЭЦ связаны с годовой выработкой электроэнергии $\mathcal{E}_э$ с помощью среднегодового электрического к.п.д. когенерационной установки $\eta_{\text{эср}}$: $V_{\text{год}} = \mathcal{E}_э / Q_p^H \eta_{\text{эср}}$.

Главными составляющими налоговых отчислений при определении прибыли обычно являются налог на прибыль и налог на имущество с нормами $p_{\text{п}}$ и $p_{\text{и}}$ соответственно:

$$H = p_n(V - C) + p_n K. \quad (2)$$

Приведенный выше срок окупаемости предполагает использование амортизационных отчислений для воспроизводства мини-ТЭЦ после завершения ее срока службы. В случае использования амортизационных отчислений для других целей срок окупаемости будет равен

$$z_{ок}^A = \frac{K}{V - C - H - A}.$$

С точки зрения рыночной экономики тарифы на энергоносители, производимые на мини-ТЭЦ, должны определяться исходя из капитальных затрат на присоединение к существующим в этом же месте альтернативным источникам энергоснабжения (или создание новых) K_a и соответствующих тарифов T_{Na} , $T_{Эa}$, T_{Ta} , например, в виде сети энергосистемы и котельной, или тепловой сети. Следует отметить, что новое присоединение к электрическим и тепловым сетям (строительство котельной) требует капитальных затрат K_a , соизмеримых с затратами на строительство мини-ТЭЦ, а тарифы, по которым альтернативные источники будут отпускать электроэнергию и теплоту, превышают на десятки процентов их себестоимость на мини-ТЭЦ.

Получим соотношение для срока окупаемости при использовании затратных характеристик альтернативного энергоисточника.

Фактически величина срока окупаемости $z_{ок}$ представляет собой период времени, в течение которого суммарные затраты при строительстве мини-ТЭЦ и в альтернативном варианте энергоснабжения от электрической сети и существующей внешней тепловой сети (создаваемой котельной) будут равны.

Равенство затрат за время z с учетом налоговых отчислений в обоих вариантах дает

$$K + (C + H)z = K_a + (T_a + H_a)z,$$

откуда следует

$$z_{\text{ок}} = \frac{K - K_a}{T_a + H_a - C - H} = \frac{K}{T_a + \frac{K_a}{z_{\text{ок}}} + H_a - C - H}.$$

Очевидно, что если время службы мини-ТЭЦ $z > z_{\text{ок}}$, то строительство мини-ТЭЦ – более выгодное мероприятие в сравнении с альтернативным вариантом присоединения к электрической сети и тепловой сети (создаваемой котельной) и наоборот.

Капитальные затраты, связанные с альтернативным вариантом энергоснабжения предприятия, равны $K_a = K_{\text{аз}} + K_{\text{ат}}$ (например, плата за присоединение к электрической сети, на прокладку кабеля и строительство распределительного устройства - $K_{\text{аз}}$, стоимость котельной или стоимость присоединения к существующим тепловым сетям, стоимость тепловой сети - $K_{\text{ат}}$). Годовые затраты на покупку электроэнергии и теплоты в альтернативном варианте энергоснабжения складываются из ежемесячной оплаты заявленной электрической мощности величиной $N_{\text{пи}}$, годовых значений израсходованных электроэнергии $\mathcal{E}_э$ и теплоты $\mathcal{E}_т$ по тарифам $T_{\text{На}}$, $T_{\text{Эа}}$, $T_{\text{Та}}$ соответственно: $T_a = \sum_{i=1}^{12} T_{\text{На}} N_{\text{пи}} + T_{\text{Эа}} \mathcal{E}_э + T_{\text{Та}} \mathcal{E}_т$.

2. Мини-ТЭЦ отпускает теплоту и электроэнергию предприятию, которому она принадлежит. В этом случае отсутствует прямой акт продажи электроэнергии и теплоты, но имеет место продажа продукции, производимой предприятием, в себестоимость которой входят затраты на энергоносители. Определение срока окупаемости мини-ТЭЦ, как части предприятия, можно произвести, сделав ряд допущений. Предположим, что цена на продукцию производимую предприятием, после строительства на нем мини-ТЭЦ такая же, как и у конкурентов. Пусть отличия в себестоимости продукции состоят только в разных затратах на теплоту и электроэнергию. В связи с более низкими затратами на мини-ТЭЦ на их производство имеется большая прибыль при реализации продукции, производимой на рассматриваемом предприятии. Поэтому, несмотря на то, что нет прямого акта продажи энергоносителей, при определении

чистой прибыли от производства электроэнергии и теплоты необходимо так же, как и в ранее рассмотренном варианте, учитывать налог на прибыль, входящий в цену продукции предприятия. Увеличение прибыли на предприятии определится как разность годовых затрат на энергоносители у конкурентов T_k , их себестоимости C и налоговых отчислений H на мини-ТЭЦ. Фактически T_k – годовая затратная составляющая на электроэнергию и теплоту в цене на продукцию конкурентов при равных ее объемах. Ее величина равна сумме затрат на производство энергоносителей, рентабельности, характерной для выпускаемой продукции и налогов на эти составляющие у конкурентов. В этом состоит существенное отличие от ранее рассмотренного варианта, когда выручка определялась альтернативным вариантом энергоисточника в том же месте, где расположено рассматриваемое предприятие. С учетом замены T_a на T_k действительны все приведенные выше соотношения.

Следовательно, величина прибыли от производства энергоносителей и срок окупаемости мини-ТЭЦ зависят от статуса мини-ТЭЦ (самостоятельный энергоисточник или энергетическое подразделение предприятия), задач, которые она решает, способа формирования цен на энергоносители, цен на продукцию предприятия. В связи с этим прибыль и срок окупаемости капиталовложений в строительство мини-ТЭЦ носят условный, иллюстративный характер, их роль сводится к ориентации инвесторов и предпринимателей относительно вариантов энергообеспечения различных объектов.

Создание мини-ТЭЦ при существующей котельной, обеспечивающей теплотой предприятие и внешнюю тепловую сеть

В этом случае получили распространение два варианта определения экономичности мини-ТЭЦ: как самостоятельного объекта и как модернизированного энергоисточника, в состав которого она вошла.

1. Рассмотрим мини-ТЭЦ как отдельный объект, пристроенный к котельной, который отпускает теплоту $\mathcal{E}_{тп}$ и электроэнергию $\mathcal{E}_{эл}$ предприятию, которому она принадлежит, а также - в тепловые и электрические сети $\mathcal{E}_{тс}$, $\mathcal{E}_{эс}$ по

тарифам $T_{\text{этэц}}$, $T_{\text{ттэц}}$, которые утверждаются РЭК (в будущем определяются рыночными механизмами), исходя из себестоимости и назначенной рентабельности производства энергоносителей.

Срок окупаемости мини-ТЭЦ равен

$$Z_{\text{ок}} = \frac{K}{V + T_{\text{к}} - C - H},$$

где V – выручка от продажи в сети электроэнергии и теплоты $V = T_{\text{этэц}} \mathcal{E}_{\text{эс}} + T_{\text{ттэц}} \mathcal{E}_{\text{тс}}$, $T_{\text{к}}$ – затратная составляющая на электроэнергию и теплоту в цене на продукцию конкурентов при равных ее объемах, $T_{\text{к}} = (\sum_{i=1}^{12} T_{\text{нк}} N_{\text{пи}} + T_{\text{эк}} \mathcal{E}_{\text{эп}} + T_{\text{тк}} \mathcal{E}_{\text{тп}})(1 + r_{\text{п}}) + H_{\text{к}}$, где $r_{\text{п}}$ – рентабельность выпускаемой продукции, $H_{\text{к}}$ – соответствующие налоговые отчисления.

Себестоимость C произведенных продуктов и налоги H на мини-ТЭЦ для предприятия и на продажу ($\mathcal{E}_{\text{эс}} + \mathcal{E}_{\text{тс}} + \mathcal{E}_{\text{эп}} + \mathcal{E}_{\text{тп}}$) определяются по аналогии с (1), (2), исходя из соответствующих затрат топлива и других компонентов себестоимости.

При определении величины теплоты, производимой мини-ТЭЦ и котельной возникают проблема ее разделения между ними. Очевидно, что при сохранении тепловой нагрузки теплоисточника тепловая нагрузка котельной формально уменьшается на величину тепловой мощности мини-ТЭЦ. Однако такое разделение является условным, так как между котельной и мини-ТЭЦ существуют связи материальных потоков и для нормального функционирования энергоисточника необходима работа оборудования и котельной и мини-ТЭЦ. Например, для мини-ТЭЦ на базе ГТУ или ГПА с утилизацией теплоты оборудование котельной обеспечивает подпитку утилизационных контуров. В случае использования паровых турбин на мини-ТЭЦ ее зависимость от котельной еще значительнее: пар, поступающий в турбины, вырабатывают паровые котлы котельной. Поэтому необходимо определить и в себестоимости теплоты, вырабатываемой на мини-ТЭЦ, и в выручке от продажи этой теплоты доли котельной

и мини-ТЭЦ. Однозначно выполнить такое разделение затруднительно, любой метод деления будет носить условный характер. В практике часто встречаются два предельных подхода: на ГТУ-ТЭЦ и ГПА-ТЭЦ вся теплота, производимая в утилизационных теплообменниках, относится на мини-ТЭЦ как по затратам, так и по выручке, на мини-ТЭЦ с паровыми турбинами напротив, вся теплота, производимая в пароводяных теплообменниках мини-ТЭЦ, относится к котельной. В соответствии с принятым способом разделения используются соотношения, приведенные выше.

2. Более ясным и бесспорным кажется рассмотрение характеристик модернизированного энергоисточника, состоящего из котельной и мини-ТЭЦ. В этом случае определяются выручка от продажи электроэнергии и теплоты, произведенных в котельной и на мини-ТЭЦ, во внешние сети, рыночная стоимость производства электроэнергии и теплоты, используемых предприятиями конкурентами, и соответствующие затраты на мини-ТЭЦ. При этом в основных фондах энергоисточника учитываются, как остаточную стоимость котельной, так и капитальные затраты на строительство мини-ТЭЦ. Однако в этом случае возникает проблема разделения общей прибыли энергоисточника между мини-ТЭЦ и котельной. Если всю прибыль энергоисточника использовать на окупаемость мини-ТЭЦ, то это означает, что прибыль от тепла, произведенного в котельной, используется для окупаемости мини-ТЭЦ. В условиях, когда мини-ТЭЦ и котельная принадлежат одному хозяину, и уже окупившей себя котельной такое использование средств является естественным, но может показаться несправедливым инвестору. О проблеме разделения теплоты, произведенной в оборудовании мини-ТЭЦ и соответствующей прибыли, между мини-ТЭЦ и котельной говорилось выше. Вероятно, разделение все-таки необходимо производить, так как оно связано с сутью произошедших изменений. Снижение роли котельных в выработке теплоты и ухудшение показателей выработанной ею теплоты является неизбежным и компенсируется модернизацией энергетического комплекса

в целом и повышением срока службы котельной в связи с более щадящим режимом ее работы.

Выводы

Приведенные выше соображения, возникающие при определении прибыли мини-ТЭЦ, сроков ее окупаемости, показывают, что необходима определенность в целом ряде вопросов, являющаяся вкусовой, не имеющей нормативного характера. Поэтому в настоящее время при выполнении технико-экономических расчетов требуется согласование с Заказчиком всех условий, для которых производится определение технико-экономических показателей, в частности, таких привычных, как прибыль и срок окупаемости.

Следует отметить, что учет реальной динамики денежных потоков с дисконтированием для выбранной схемы финансирования изменит значения сроков окупаемости, но и в этом случае потребуются принятие конкретных решений для вопросов, затронутых выше.

Опубликована в научно-техническом журнале “Новости теплоснабжения” №6, 2004 г., с.25-28. В опубликованном тексте допущено много опечаток в формулах при наборе, поэтому лучше работать с настоящим текстом.