

УДК 620.92:338.486.5

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ И МЕСТНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Докт. техн. наук, проф. БОКУН И. А., студ. СЕВЕРИНА С. С.

Белорусский национальный технический университет

Согласно прогнозу Мирового энергетического совета (МИРЭС) относительно вклада биомассы в энергетику будущего наряду с другими возобновляемыми источниками энергии, к 2020 г. объем биомассы в энергетике составит 24 % [1].

Сегодня резкое колебание цен на традиционные энергоносители (газ, мазут) заставляет многие предприятия промышленности, а также коммунальной энергетики реконструировать действующие или строить новые котельные для использования местных видов как возобновляемых (древесные, сельскохозяйственные отходы, кора, щепа, опилки и т. д.), так и ископаемых (торф, уголь, сланцы) топлив.

Старейшей и наиболее развитой технологией получения тепловой и электрической энергии с применением биомассы является ее сжигание. Существует значительный потенциал для совершенствования процессов сжигания биомассы, увеличения КПД топочных устройств и улучшения их экологических характеристик.

Широкое распространение нашли топки с кипящим слоем (КС) для сжигания ископаемых топлив [2, 3]. Такие технологии перспективны не только для сжигания биомассы, но и утилизации отходов производства. Применение этой технологии позволяет обеспечить хорошее выгорание низкокалорийных топлив большой влажности за счет значительной массы слоя нагретого инертного материала. Вследствие низких температур сжигания существенно уменьшаются выбросы оксидов азота (до 200 мг/м³), а благодаря добавкам в кипящий слой известняка эффективно связываются оксиды серы (свыше 80 %), хлориды и фториды, что сокращает их вредные выбросы в атмосферу. Данная технология также предполагает эффективное сжигание высоковлажной биомассы и сточных вод [4, 5]. Приносит положительные результаты сжигание биомассы в циркулирующем кипя-

щем слое. В топках такого типа предусмотрен ступенчатый подвод воздуха, что обеспечивает значительное снижение выбросов в окружающую среду (CO и NO_x).

Ныне активно используется комбинированная выработка тепловой и электрической энергии при сжигании биомассы в котлах с кипящим слоем [6]. Выбор соответствующих технологий должен обеспечивать минимум затрат, связанных с использованием соответствующих видов топлива. Для этой цели применяется модель, задаваемая величинами, характеризующими годовой объем производства энергии каждой известной заранее технологией и стоимостью производства энергии.

Количество энергии, производимой из i -го вида топлива j -й технологией, равно x_{ij} . Тогда задача линейного программирования транспортного типа в общем виде формулируется следующим образом [7]:

$$f = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m C_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

где C_{ij} – себестоимость (затраты), связанная с производством энергии по известной технологии j соответствующего вида топлива i ; x_{ij} – величина поставки соответствующего вида топлива для данной технологии сжигания; a_i – ограничения поставок; b_j – то же потребителей.

Первая группа ограничений (2) указывает на то, что суммарный объем годового производства энергии не должен превышать годовой поставки топлива. Вторая группа ограничений требует, чтобы годовое производство энергии каждой технологией обеспечивало ее потребление (3). Из представленной модели видно, что суммарный объем потребления $\sum_{i=1}^m a_i$ не должен быть меньше или больше суммарного производства энергии каждой технологией $\sum_{j=1}^n b_j$.

Если суммарный годовой объем поставок топлива равен суммарному объему потребления (производства) энергии каждой технологией, то модель называется сбалансированной, или закрытой, $\sum a_i = \sum b_j$ и отличается от приведенной выше модели (2), (3) тем, что все ограничения превращаются в равенства:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = b_{ji}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Экономические и технологические факторы технологии (4), (5) учитывают:

$$a_i = Q_i = B_i Q_{H_i}^p; \quad (6)$$

$$b_j = Q_j = 4,19 N_j, \quad (7)$$

где B_i – запасы i -го вида топлива; N_j – мощность мини-ТЭЦ.

В реальных условиях объем поставок топлива не равен потребностям производства энергии, вводится фиктивный поставщик или потребитель. Определяется количество теплоты, сообщаемое пару в котле X_{ij} , и себестоимость используемого топлива C_{ij} :

$$X_{ij} = B_{ij} Q_{H_i}^p, \text{ ГДж/год}; \quad (8)$$

$$C_{ij} = 3_{ij} \frac{K_{\text{пр}}}{Q_{H_i}^p \eta_{ij}}, \text{ дол./ГДж}, \quad (9)$$

где B_i – запасы i -го вида топлива j -й технологии, т; $Q_{H_i}^p$ – теплота сгорания i -го вида топлива; 3_{ij} – затраты на топливо с учетом его использования, дол./т; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты на охрану окружающей среды при использовании ископаемых топлив; η_{ij} – КПД производства энергии из i -го вида топлива j -й технологии.

После нахождения C_{ij} составляется матрица затрат с учетом ограничений, затем следует распределить поставки топлива потребителям и составить опорный план. В результате все поставки должны быть полностью израсходованы, а потребитель (производитель) должен получить необходимую энергию. Для выбора оптимальной технологии предположим, что на мини-ТЭЦ мощностью 250 кВт могут быть установлены котлы с кипящим слоем, циркулирующим кипящим слоем (ЦКС), а также ПГУ мини-ТЭЦ. Выбор оптимальной технологии произведем с помощью матрицы затрат. Используем метод минимальной стоимости.

Матрица затрат (табл. 1) состоит из топливных баз, топливоиспользующих технологий и комплексной оценки затрат применения i -го вида топлива j -й топливоиспользующей технологией.

В матрице затрат используются обозначения: a_i – запасы топлива, ГДж/год; P_i – производство энергии, ГДж/год.

Матрица затрат может быть видоизменена в зависимости от рассматриваемой технологии производства энергии и видов топлива. В случае если ΣQ_i не равна ΣQ_j , то необходимо выровнять баланс вводом фиктивного энергоресурса или фиктивной топливоиспользующей технологии с нулевыми затратами.

Таблица 1

Матрица затрат

Топливо	Технология			a_i , ГДж/год
	КС	ЦКС	ПГУ	
Уголь	C_{11}	C_{12}	C_{13}	Q_{j1}
	X_{11}	X_{12}	X_{13}	
Торф	C_{21}	C_{22}	C_{23}	Q_{j2}
	X_{21}	X_{22}	X_{23}	
Сланцы	C_{31}	C_{32}	C_{33}	Q_{j3}
	X_{31}	X_{32}	X_{33}	
П _i , ГДж/год	Q_{j1}	Q_{j2}	Q_{j3}	$\Sigma Z_i = \Sigma P_i$

Что касается опорного плана, то он строится на основе метода минимальной стоимости. В данном случае в каждом столбце и каждой строке просматриваются клетки таблицы с минимальной стоимостью, и затем происходит их заполнение $x_{ij} = \min(C_{ij})$. При этом необходимо соблюдение условия: из рядом расположенных клеток нельзя образовать замкнутый цикл, число занятых клеток должно быть равно $(m + n - 1)$, где n – число столбцов; m – число строк, а остальные клетки должны быть свободными. Опорный план подлежит оптимизации распределительным методом или методом потенциалов.

При оптимизации распределительным методом для каждой свободной клетки строят замкнутый цикл, включающий свободную оптимизируемую клетку и ряд других, которые вместе со свободной образуют цикл. Затраты (стоимости) в нечетных вершинах (клетках) цикла будем обозначать со знаком «плюс», а в четных – со знаком «минус». После чего по каждому циклу подсчитаем алгебраическую сумму затрат (стоимостей)

$$S_{12} = C_{12} - C_{11} + C_{21} - C_{22}, \quad (10)$$

где S_{12} – алгебраическая сумма стоимостей (затрат); C_{11} – стоимость (затраты) использования 1-го ресурса 1-й технологии, записанные в табл. 1 (C_{12} , C_{21} , C_{22} – аналогично).

Если алгебраическая сумма затрат будет отрицательна, то из рассматриваемого цикла выбираем клетку с отрицательным значением и минимальной поставкой, и эту поставку перемещаем в свободную перспективную клетку, соблюдая при этом равенство баланса рассматриваемого цикла.

Для оптимизации матрицы распределения использования топливных ресурсов соответствующей технологией применяется также метод потенциалов. В этом случае каждой строке и каждому столбцу присваивается потенциал u_i или v_j , а затем для определения этих значений потенциалов для каждой занятой клетки составляем уравнение

$$C_{ij} = u_i + v_j, \quad (11)$$

где C_{ij} – стоимость (затраты) использования i -го ресурса j -й технологии;
 u_i – потенциал поставщиков топливных ресурсов; v_j – то же технологий
 использования ресурсов.

Так как число уравнений (11) алгебраической суммы стоимостей (затрат) равно $(m + n - 1)$, а число неизвестных $(m + n)$, одному из потенциалов присваиваем любое значение и определяем все остальные потенциалы. После этого проверяем на оптимальность свободные ячейки по правилу

$$S_{ij} = C_{ij} - (u_i + v_j) \geq 0. \quad (12)$$

Если ячейка отрицательна для задачи минимизации целевой функции, то необходимо произвести перераспределение потоков, для чего используется описанный ранее распределительный метод.

Для выбора оптимальной технологии рассмотрим пример.

Пример. Мини-ТЭЦ электрической мощностью 250 кВт, работающая на древесных отходах и гранулах, оборудована котлом с кипящим слоем тепловой мощностью 4–5 МВт и давлением пара 1,3 МПа, паровой противо-давленческой турбиной ТРБ мощностью 250 кВт с параметрами пара 1,3/0,15 МПа. Производительность котла определяем с учетом параметров пара турбины: $p = 1,3/0,15$ МПа; $t = 225$ °C

По диаграмме $i-s$ находим энтальпию пара и определяем его удельный расход: $i_1 = 2850$ кДж/кг; $i_2 = 2710$ кДж/кг; $i'_2 = 2850$ кДж/кг.

Удельный расход пара на турбину

$$d = \frac{3600}{i_1 - i_2} = \frac{3600}{2850 - 2710} = 25,71 \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч)}.$$

Общий расход пара на турбину

$$D = dN = 25,71 \cdot 250 = 6427,5 \approx 6430 \text{ кг/ч}.$$

Так как турбина противо-давленческая, весь пар направляется на производство, откуда он возвращается в котел в виде воды при температуре 60–65 °C. Следовательно, количество теплоты, сообщаемое пару в котле:

$$Q_{\text{ка}} = D(i_1 - i_2) = 6430 \cdot (2850 - 272) = 16576500 \text{ кДж/кг} = 16,6 \text{ ГДж/ч}.$$

При КПД котла с кипящим слоем 88 % расход теплоты на производство электроэнергии на мини-ТЭЦ составит

$$Q_3 = D(i_1 - i_2) = 6430 \cdot (2850 - 2710) = 0,9 \text{ ГДж/ч}.$$

Отпуск теплоты на производство

$$Q_q = Q_{\text{ка}} - Q_3 = 16,6 - 0,9 = 15,7 \text{ ГДж/ч}.$$

Капитальные вложения в мини-ТЭЦ. Удельные капитальные вложения в мини-ТЭЦ, работающей на местных видах топлива, составляют в среднем 1000 дол./кВт. Общие капиталовложения

$$K_{\text{ТЭЦ}} = K_{\text{уд}} N = 1000 \cdot 250 = 250000 \text{ дол.}$$

Эксплуатационные расходы. Для обслуживания мини-ТЭЦ мощностью 250 кВт потребуется шесть человек, годовой заработок рабочего составляет 2400 дол./год.

Годовые затраты на производство энергии на мини-ТЭЦ

$$S_{\Sigma} = S_{\text{т}} + S_{\text{зп}} + S_{\text{ам}} + S_{\text{тр}} + S_{\text{пр}}, \quad (13)$$

где $S_{\text{т}}$ – затраты на топливо; $S_{\text{зп}}$ – то же на заработную плату; $S_{\text{ам}}$ – то же на амортизационные отчисления; $S_{\text{тр}}$ – то же на текущий ремонт; $S_{\text{пр}}$ – прочие затраты.

Амортизационные отчисления при норме амортизации 7 % составят

$$S_{\text{ам}} = a_{\text{ам}} K_{\text{ТЭЦ}} = 0,07 \cdot 250000 = 17500 \text{ дол./год.}$$

Затраты на текущий ремонт

$$S_{\text{тр}} = 0,2 S_{\text{ам}} = 0,2 \cdot 17500 = 3500 \text{ дол./год.}$$

Затраты на заработную плату

$$S_{\text{зп}} = n \Phi_{\text{зп}} = 6 \cdot 2400 = 14400 \text{ дол./год.}$$

Прочие затраты

$$S_{\text{пр}} = 0,3 \cdot (S_{\text{зп}} + S_{\text{ам}} + S_{\text{тр}}) = 0,3 \cdot (14400 + 17500 + 3500) = 10620 \text{ дол./год.}$$

Рассмотрим различные виды топлива:

а) топливно-древесные отходы.

Цена топлива – 7 дол./т, $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 8000 \text{ кДж/кг.}$

Расход топлива на ТЭЦ

$$B_{\text{ТЭЦ}} = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{ка}}} = \frac{16575600}{8000 \cdot 0,88} = 2354,5 \text{ кг/ч} = 2,3 \text{ т/ч.}$$

Затраты на топливо

$$S_{\text{т}} = B_{\text{ТЭЦ}} \Pi_{\text{т}} h = 2,3 \cdot 7 \cdot 4000 = 64400 \text{ дол./год,}$$

где $h = 4000$ – число часов работы ТЭЦ.

Суммарные затраты

$$S_{\Sigma} = 64400 + 14400 + 17500 + 3500 + 10620 = 110420 \text{ дол./год.}$$

Расход условного топлива

$$b_{\text{у}} = \frac{0,123}{\eta_{\text{с}}} = \frac{0,123}{0,7} = 0,176 \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч).}$$

Расход натурального топлива

$$b_3 = b_y \frac{Q_{\text{н}}^{\text{p}}}{Q_{\text{н}}^{\text{p}}} = 0,176 \cdot \frac{29300}{8000} = 0,645 \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч}).$$

Расход топлива на производство электроэнергии

$$B_3 = b_3 N = 0,645 \cdot 250 = 161,3 \text{ кг/ч}.$$

Затраты на производство электроэнергии

$$S_3 = S_{\Sigma} \frac{B_3}{B_{\text{ТЭЦ}}} = 110420 \cdot \frac{161,3}{2354,5} = 7564,5 \text{ дол./год}.$$

Себестоимость электроэнергии составит

$$\bar{S}_3 = \frac{S_3}{Nh} = \frac{7564,3}{250 \cdot 4000} = 0,0075 \text{ дол.}/(\text{кВт} \cdot \text{ч}).$$

Расход топлива на производство теплоты

$$B_q = B_{\text{ТЭЦ}} - B_3 = 2354,5 - 161,3 = 2193,2 \text{ кг/ч}.$$

Затраты на производство теплоты на мини-ТЭЦ

$$S_q = S_{\Sigma} \frac{B_q}{B_{\text{ТЭЦ}}} = 110420 \cdot \frac{2193,2}{2354,5} = 102855,4 \text{ дол./год}.$$

Себестоимость теплоты

$$\bar{S}_q = \frac{S_q}{(Q_{\text{ка}} - Q_3)h} = \frac{102855,4}{(16,6 - 0,9) \cdot 4000} = 1,64 \text{ дол./ГДж};$$

б) топливно-древесные гранулы.

Цена топлива – 18 дол./т, $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 18500 \text{ кДж/кг}$.

Расход топлива на ТЭЦ

$$B_{\text{ТЭЦ}} = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_{\text{н}}^{\text{p}} \eta_{\text{ка}}} = \frac{16576500}{18500 \cdot 0,88} = 1018,2 \text{ кг/ч} = 1 \text{ т/ч}.$$

Затраты на топливо

$$S_{\text{т}} = B_{\text{ТЭЦ}} \Pi_{\text{т}} h = 1 \cdot 18 \cdot 4000 = 72000 \text{ дол./год}.$$

Суммарные затраты на мини-ТЭЦ

$$S_{\Sigma} = 72000 + 14400 + 17500 + 3500 + 10620 = 118020 \text{ дол./год}.$$

Расход условного топлива

$$b_y = \frac{0,123}{\eta_3} = \frac{0,123}{0,7} = 0,176 \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч}).$$

Расход натурального топлива

$$b_3 = b_y \frac{Q_{\text{нy}}^p}{Q_{\text{н}}^p} = 0,176 \cdot \frac{29300}{18500} = 0,278 \text{ кг/(\кВт}\cdot\text{ч)}.$$

Расход топлива на производство электроэнергии

$$B_3 = b_3 N = 0,278 \cdot 250 = 69,5 \text{ кг/ч.}$$

Затраты на производство электроэнергии

$$S_3 = S_{\Sigma} \frac{B_3}{B_{\text{ТЭЦ}}} = 118020 \cdot \frac{69,5}{1018,2} = 8056 \text{ дол./год.}$$

Себестоимость электроэнергии

$$\overline{S_3} = \frac{S_3}{Nh} = \frac{8056}{250 \cdot 4000} = 0,008 \text{ дол./(\кВт}\cdot\text{ч)}.$$

Расход топлива на производство теплоты

$$B_q = B_{\text{ТЭЦ}} - B_3 = 1018,2 - 69,5 = 948,7 \text{ кг/ч.}$$

Затраты на производство теплоты

$$S_q = S_{\Sigma} \frac{B_q}{B_{\text{ТЭЦ}}} = 118020 \cdot \frac{948,7}{1018,2} = 109964 \text{ дол./год.}$$

Себестоимость теплоты

$$\overline{S_q} = \frac{S_q}{(Q_{\text{ка}} - Q_3)h} = \frac{109964}{(16,6 - 0,9) \cdot 4000} = 1,75 \text{ дол./ГДж;}$$

в) сжигание древесных отходов в циркулирующем кипящем слое.

Цена топлива – 7 дол./т, $Q_{\text{н}}^p = 8000$ кДж/кг, КПД котла ЦКС (циркулирующий кипящий слой) – 90 %; норма амортизации – 8 %.

Удельные капиталовложения в мини-ТЭЦ с ЦКС – 1150 дол./кВт.

Общие капиталовложения

$$K_{\text{мТЭЦ}} = K_{\text{уд}} N = 1150 \cdot 250 = 287500 \text{ дол.}$$

Часовой расход топлива

$$B_{\text{ЦКС}} = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_{\text{н}}^p \eta_{\text{ЦКС}}} = \frac{16576500}{8000 \cdot 0,9} = 2302,3 \text{ кг/ч} = 2,3 \text{ т/ч.}$$

Затраты на топливо

$$S_{\text{т}} = B_{\text{ЦКС}} \Pi_{\text{т}} h = 2,3 \cdot 7 \cdot 4000 = 64400 \text{ дол./год.}$$

Амортизационные отчисления

$$S_{\text{ам}} = a_{\text{ам}} K_{\text{мТЭЦ}} = 0,08 \cdot 287500 = 23000 \text{ дол./год.}$$

Затраты на текущий ремонт

$$S_{\text{тр}} = 0,2S_{\text{ам}} = 0,2 \cdot 23000 = 4600 \text{ дол./год.}$$

Прочие затраты

$$S_{\text{пр}} = 0,3(S_{\text{зп}} + S_{\text{ам}} + S_{\text{тр}}) = 0,3 \cdot (14400 + 23000 + 4600) = 12600 \text{ дол./год.}$$

Суммарные затраты

$$S_{\Sigma} = 64400 + 14400 + 23000 + 4600 + 12600 = 119000 \text{ дол./год.}$$

Себестоимость производства общей теплоты на котельной мини-ТЭЦ

$$\overline{S}_q = \frac{S_{\Sigma}}{Q_{\text{ка}} h} = \frac{119000}{16,6 \cdot 4000} = 1,8 \text{ дол./ГДж};$$

г) мини-ТЭЦ ПГУ на древесных отходах.

Цена топлива – 7 дол./т; КПД ПГУ мини-ТЭЦ – 50 %; удельные капиталовложения – 1000 дол./кВт.

Общие капиталовложения

$$K_{\text{ПГУ-мТЭЦ}} = K_{\text{уд}} N = 1000 \cdot 250 = 250000 \text{ дол.}$$

Часовой расход топлива на ПГУ мини-ТЭЦ

$$B_{\text{ЦКС}} = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_{\text{н}}^p \eta_{\text{ПГУ-мТЭЦ}}} = \frac{16576500}{8000 \cdot 0,5} = 4144 \text{ кг/ч} = 4 \text{ т/ч.}$$

Затраты на топливо

$$S_{\text{т}} = B_{\text{ЦКС}} \Pi_{\text{т}} h = 4 \cdot 7 \cdot 4000 = 112000 \text{ дол./год.}$$

Амортизационные отчисления

$$S_{\text{ам}} = a_{\text{ам}} K_{\text{мТЭЦ}} = 0,07 \cdot 250000 = 17500 \text{ дол./год.}$$

Затраты на текущий ремонт

$$S_{\text{тр}} = 0,2S_{\text{ам}} = 0,2 \cdot 17500 = 3500 \text{ дол./год.}$$

Прочие затраты

$$S_{\text{пр}} = 0,3(S_{\text{зп}} + S_{\text{ам}} + S_{\text{тр}}) = 0,3 \cdot (14400 + 17500 + 3500) = 10620 \text{ дол./год.}$$

Суммарные затраты

$$S_{\Sigma} = 112000 + 14400 + 17500 + 3500 + 10620 = 158020 \text{ дол./год.}$$

Себестоимость производства общей теплоты на котельной мини-ТЭЦ

$$\overline{S}_q = \frac{S_{\Sigma}}{Q_{\text{ка}} h} = \frac{158020}{16,6 \cdot 4000} = 2,4 \text{ дол./ГДж};$$

д) ПГУ мини-ТЭЦ на древесных гранулах.

Удельные капвложения – 1000 дол./кВт; цена топлива – 26 дол./т; теплота сгорания $Q_H^p = 18500$ кДж/кг; КПД ПГУ мини-ТЭЦ – 70 %.

Общие капиталовложения

$$K_{\text{ПГУ-мТЭЦ}} = K_{\text{уд}} N = 1000 \cdot 250 = 250000 \text{ дол.}$$

Часовой расход топлива на ПГУ мини-ТЭЦ

$$B_{\text{ЦКС}} = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_H^p \eta_{\text{ПГУ-мТЭЦ}}} = \frac{16576500}{18500 \cdot 0,7} = 1792 \text{ кг/ч} = 1,2 \text{ т/ч.}$$

Затраты на топливо

$$S_T = B_{\text{ЦКС}} \Pi_T h = 1,2 \cdot 26 \cdot 4000 = 126580 \text{ дол./год.}$$

Амортизационные отчисления

$$S_{\text{ам}} = a_{\text{ам}} K_{\text{мТЭЦ}} = 0,07 \cdot 250000 = 17500 \text{ дол./год.}$$

Затраты на текущий ремонт

$$S_{\text{тр}} = 0,2 S_{\text{ам}} = 0,2 \cdot 17500 = 3500 \text{ дол./год.}$$

Прочие затраты

$$S_{\text{пр}} = 0,3(S_{\text{зп}} + S_{\text{ам}} + S_{\text{тр}}) = 0,3 \cdot (14400 + 17500 + 3500) = 10620 \text{ дол./год.}$$

Суммарные затраты

$$S_{\Sigma} = 126580 + 14400 + 17500 + 3500 + 10620 = 172600 \text{ дол./год.}$$

Себестоимость производства общей теплоты на котельной мини-ТЭЦ

$$\overline{S}_q = \frac{S_{\Sigma}}{Q_{\text{ка}} h} = \frac{172600}{16,6 \cdot 4000} = 2,6 \text{ дол./ГДж.}$$

Для выбора оптимальной технологии применим метод линейного программирования. Введем фиктивного потребителя и составим матрицу затрат (табл. 2).

Таблица 2

Матрица затрат после оптимизации

Вид биомассы	Потенциал	Технологии				Запасы, ГДж/год
		КС	ЦКС	ПГУ	Фиктивный потребитель	
		$v_1 = 0,7$	$v_2 = 0,8$	$v_3 = 1,4$	$v_4 = -1,61$	
Древесные отходы	$u_1 = 1$	1,7	1,81	2,4	0,61	150000
		20080	64960	64960	0	
Древесные гранулы	$u_2 = 1,61$	2,31	1,75	2,6		50000
		44880			5120	
Производство энергии, ГДж/год		64960	64960	64960	5120	200000

Проверим план на оптимальность. Для этого каждой строке и каждому столбцу присваиваем потенциалы u и v соответственно:

$$1,7 = u_1 + v_1; \quad 1,81 = u_1 + v_2; \quad 2,43 = u_1 + v_3;$$

$$2,31 = u_2 + v_1; \quad 1,75 = u_2 + v_2; \quad 2,6 = u_2 + v_3;$$

$$0,61 = u_1 + v_4; \quad 0 = u_2 + v_4.$$

Присваиваем u_1 значение 1, тогда: $v_1 = 0,7$; $v_2 = 0,81$; $v_3 = 1,4$; $v_4 = -1,61$.

В результате расчетов получаем, что в кипящем слое целесообразно сжигать 69 % древесных гранул и 31 % древесных отходов.

В Республике Беларусь в лесозаготовительном производстве ресурсы древесного сырья, пригодного для получения энергии, в настоящее время оцениваются в 6,5 млн м³ в год, в том числе дрова – 4,5 млн м³, отходы лесозаготовок – 1,2 млн м³, древесина, получаемая от рубок ухода за молодым лесом, – около 0,5 млн м³, отходы лесозаготовок, образующиеся на лесных складах, – 0,3 млн м³ [8]. В будущем эти ресурсы будут возрастать, так как увеличиваются размеры лесопользования.

Рассматривая технико-экономическую оценку технологий сжигания местных ископаемых топлив, важно отметить, что основными видами ископаемых топлив в Республике Беларусь являются торф, бурые угли, горючие сланцы. Ежегодно добывается 10 млн т торфа, который используется в сельском хозяйстве, для производства торфяных, торфоугольных и торфолингиновых брикетов. Заторфованность территории Беларуси составляет около 12 % с запасами торфа 5,7 млрд т. Теплотехнические характеристики торфа зависят от структурного состава, влажности, способа добычи. При влажности 60 % теплота сгорания составляет 6,28 МДж/кг, при влажности ближе к нулю – 19,5 МДж/кг.

Беларусь обладает запасами бурых углей, равными 1,38 млрд т, которые характеризуются повышенным содержанием золы (20–40 %) и влаги (20–55 %), имеют теплоту сгорания в пределах 6–26 МДж/кг. В недрах Беларуси сосредоточено 11 млрд т горючих сланцев с зольностью 61–82 % и теплотой сгорания 4,19–6,7 МДж/кг.

В настоящее время наблюдается непрерывный рост децентрализованного энергоснабжения, а именно увеличение количества малых энергетических установок до 3–5 МВт, которые находят применение при электро- и теплоснабжении индивидуальных домов, производственных помещений, офисов, автономных и удаленных объектов.

ВЫВОДЫ

1. Проведен технико-экономический анализ выбора оптимальной технологии использования биомассы и местных ископаемых топлив для производства тепловой и электрической энергии с использованием матрицы затрат и метода минимальной стоимости.

2. Рассмотрен принцип выбора оптимальной технологии использования биомассы и местных ископаемых топлив. Оптимизация может быть проведена распределительным методом или методом потенциалов.

3. Результаты расчетов дают основание утверждать, что в кипящем слое целесообразно сжигать 69 % древесных гранул и 31 % древесных отходов. Также в кипящем слое целесообразно сжигать 54 % торфа, 46 % сланцев. ПГУ может полностью работать на торфе.

4. С учетом переориентации на децентрализованное энергоснабжение и увеличение количества малых энергетических установок до 3–5 МВт отмечены варианты наиболее эффективных технологий сжигания биомассы и местных ископаемых топлив.

ЛИТЕРАТУРА

1. В о л ь ф б е р г, Д. Б. Основные тенденции в развитии энергетики мира / Д. Б. Вольфберг // Теплоэнергетика. – 1995. – № 9. – С. 5–12.
2. Ж е л е з н а я, Т. А. Современное состояние и перспективы развития технологий газификации биомассы с целью выработки энергии / Т. А. Железная, Г. Г. Гелетуха, Н. М. Жовмир // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 6. – С. 61–67.
3. Р о х м а н, Б. Б. О некоторых особенностях технологии термической переработки углей в циркулирующем кипящем слое / Б. Б. Рохман // Теплоэнергетика. – 2007. – № 6. – С. 38–43.
4. П р и м е н е н и е технологии кипящего слоя для сжигания биомассы, отходов производства и стоков// <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/3447.html>
5. Т е р м и ч е с к и е методы обезвреживания промышленных отходов / Г. П. Беспамятных [и др.]. – Л.: Химия, 1969. – 109 с.
6. Б о к у н, И. А. Технология сжигания биомассы / И. А. Бокун, М. В. Шпилевская // Энергоэффективность. – 2008. – № 9. – С. 6–7.
7. К у з н е ц о в, Ю. Н. Математическое программирование / Ю. Н. Кузнецов, В. Ч. Кузубов, А. Б. Волощенко. – М.: Высш. шк., 1980. – 300 с.
8. М а т в е й к о, А. П. Собственные древесные ресурсы в топливно-энергетическом балансе Беларуси: состояние и перспективы / А. П. Матвейко // Лесная промышленность Беларуси. – 2005. – № 5. – С. 21–22.

Представлена кафедрой
экономики и организации энергетики

Поступила 02.12.2009