

УДК 621.311.22

Баласанян Г.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТРИГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ ЭКСЭРГОЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Установки тригенерации (комбинированное производство электроэнергии, тепла и холода) с технологической точки зрения являются объединением когенерационной и абсорбционной охлаждающей установок (рис. 1). Это, прежде всего, дает возможность утилизации тепла летом, после окончания отопительного сезона, что продлевает время работы установки на протяжении всего года и обеспечивает скорейшее возвращение инвестиций. Преобразование тепла в холод, который используется в системах кондиционирования, позволяет эксплуатировать установку летом на полную мощность. В регионах с жарким климатом наиболее эффективно центральное кондиционирование, для которого применяются абсорбционные охладители (чиллеры), которые достаточно легко интегрируются с когенерационным оборудованием. Экологическое преимущество чиллеров – использование в качестве хладагента воды, а не вредных хлорфтороуглеводородов [1].

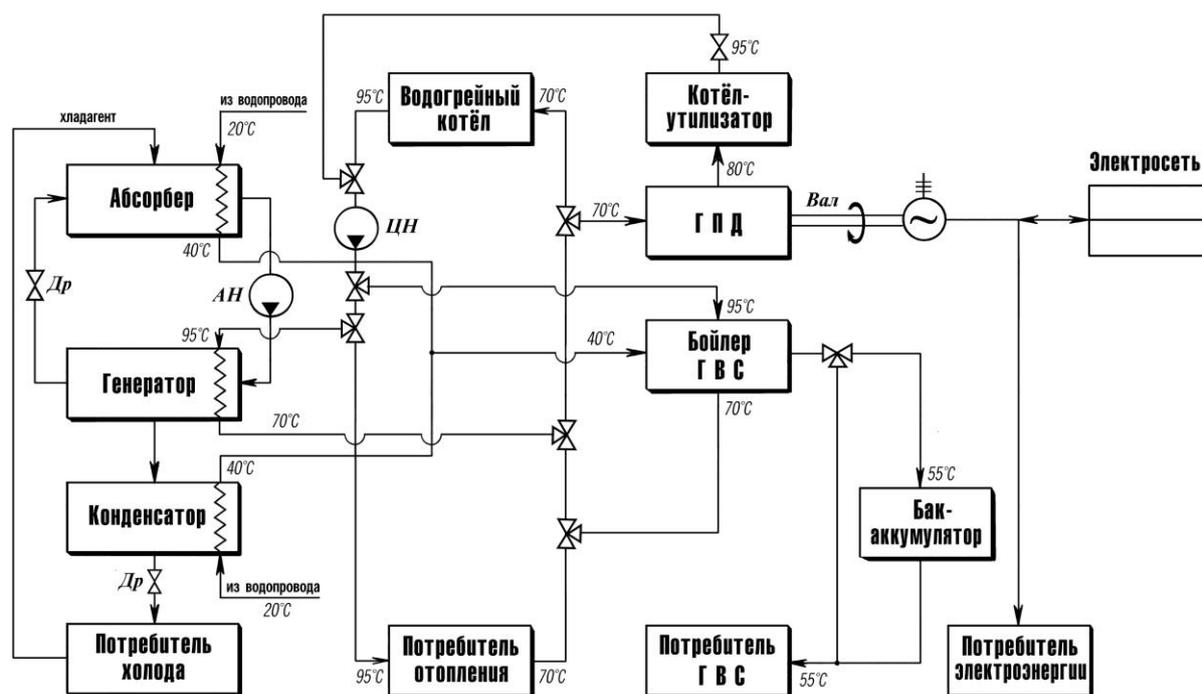


Рисунок 1 – Схема установки тригенерации на базе газопоршневого двигатель-генератора и абсорбционной холодильной установки

Оптимизация параметров приведенной тепловой схемы выполняется с целью минимизации суммарной стоимости продуктов, вырабатываемых системой при граничных условиях, связанных с надежностью, удобством эксплуатации и технологией изготовления системы.

Эксэргоекономический метод, положенный в основу анализа и оптимизации представленной схемы, объединяет эксэргетический и экономический анализ, который

является мощным инструментом для понимания взаимосвязи между термодинамикой и экономикой и позволяет проанализировать режим работы энергопреобразующей системы с точки зрения стоимости [2].

Суть метода заключается в разбивке системы на отдельные энергопреобразующие компоненты, для каждого из которых можно записать уравнение баланса стоимости, которое показывает, что сумма стоимостей, связанных со всем процессом транспорта эксэргии, равна сумме стоимостей всех видов эксэргии плюс соответствующая стоимость капитальных затрат и расходов на обслуживание [3]:

$$\sum_e C_{e,k} + C_{w,k} = C_{q,k} + \sum_i C_{i,k} + Z_k, \quad (1)$$

где $C_{e,k}$, $C_{i,k}$ – соответственно входная и выходная стоимости потоков эксэргии в k -м компоненте; $C_{w,k}$ – стоимость потока эксэргии, связанная с затратой работы в компоненте; $C_{q,k}$ – стоимость потока эксэргии, связанная с выводом тепла из компонента; Z_k – стоимость капитальных затрат и расходов на обслуживание k -го компонента.

Для каждого компонента системы вводится понятие «топливо» (любое уменьшение эксэргии потока между входом и выходом) и «продукта» (любое увеличение эксэргии потока между входом и выходом), а также вспомогательные уравнения стоимости, характеризующие взаимосвязь между компонентами.

Балансы стоимости для всех компонентов и вспомогательные уравнения стоимости образуют систему линейных уравнений, в результате решения которой определяется стоимость каждого материального и энергетического потока в системе.

Для удобства составления уравнений исходная система тригенерации (рис. 1) преобразована в схему (рис. 2), в которой представлены только те компоненты, в которых происходит преобразование энергии, каждый поток пронумерован и его индекс используется в уравнениях стоимости.

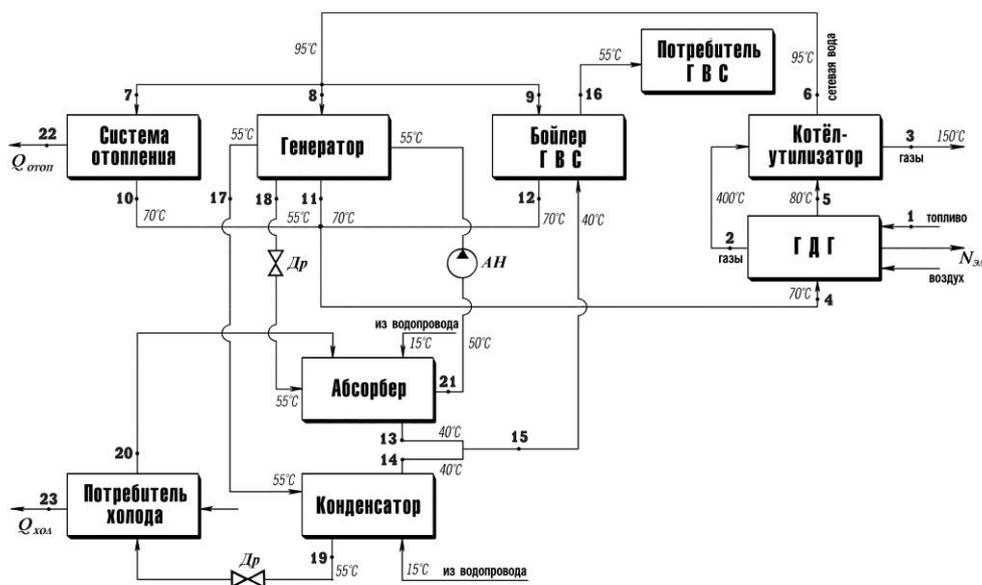


Рисунок 2 – Схема потоков эксэргии установки тригенерации

Система включает следующие уравнения:

– уравнение баланса стоимости газопоршневого двигателя-генератора (ГДГ):

$$C_1 = C_2 + (C_5 - C_4) + N_{эл} \cdot C_w, \quad (2)$$

где C_w – стоимость одного кВтч электроэнергии, грн/кВтч; $N_{эл}$ – электрическая мощность двигатель-генератора, кВт.

– уравнение баланса стоимости котла-утилизатора:

$$C_2 - C_3 = C_6 - C_5; \quad (3)$$

– уравнение баланса стоимости бойлера горячего водоснабжения (ГВС):

$$C_{16} - C_{15} = C_9 - C_{12}; \quad (4)$$

– уравнение баланса стоимости системы отопления:

$$C_{22} = C_7 - C_{10}; \quad (5)$$

– уравнение баланса стоимости генератора чиллера:

$$C_8 - C_{11} = C_{17} + C_{18} - C_{21}; \quad (6)$$

– уравнение баланса стоимости конденсатора чиллера:

$$C_{14} = C_{17} - C_{19}; \quad (7)$$

– уравнение баланса стоимости абсорбера чиллера:

$$C_{13} = C_{20} + C_{18} - C_{21}; \quad (8)$$

– уравнение баланса стоимости системы потребления холода:

$$C_{20} - C_{19} = C_{23}, \quad (9)$$

где C_k , $k = \overline{1, 23}$ – стоимости соответствующих потоков, грн/ч;

– дополнительные уравнения стоимости:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_7 = C_8, \\ C_8 = C_9, \\ C_6 = C_7 + C_8 + C_9, \\ C_4 = C_{10} + C_{11} + C_{12}, \\ C_w = \frac{C_2}{E_2}, \\ \frac{C_2}{E_2} = \frac{C_3}{E_3}, \\ \frac{C_5 - C_4}{E_5 - E_4} = C_w, \\ \frac{C_{17}}{E_{17}} = \frac{C_{19}}{E_{19}}, \\ \frac{C_9}{E_9} = \frac{C_{12}}{E_{12}}, \\ \frac{C_7}{E_7} = \frac{C_{10}}{E_{10}}, \\ C_{15} = C_{13} + C_{14}, \\ \frac{C_8}{E_8} = \frac{C_{11}}{E_{11}}, \\ \frac{C_{21}}{d_{17} \cdot E_{21}} = \frac{C_{20}}{E_{20}}, \\ \frac{C_{20}}{E_{20}} - \frac{C_{18}}{E_{18}}, \\ \frac{C_{18} - C_{21} \cdot (1 - d_{18})}{E_{18} - E_{21} \cdot (1 - d_{18})} = \frac{C_{17} - C_{21} \cdot (1 - d_{17})}{E_{17} - E_{21} \cdot (1 - d_{17})}, \end{array} \right.$$

где E_m , $m = \overline{2, 21}$ – соответствующие потоки эксэргии, кВт, d_{17}, d_{18} – массовые доли растворов, поступающих соответственно в конденсатор и абсорбер chillera.

Используя математический редактор Mathcad решается полученная квадратная система 23 линейных уравнений, что позволяет определить величины потоков стоимостей C_j , $j = \overline{2, 23}$ и C_w .

Решение системы с помощью внутренней функции Find представляет результат в виде матрицы-столбца, в которой значения переменных x_k , $k = \overline{1, 23}$ соответствуют стоимостям потоков эксэргии C_j , $j = \overline{2, 23}$ и C_w в грн/ч.

Результаты расчета эксэргии потоков, стоимости потоков эксэргии, других технологических параметров в каждой точке тепловой схемы энергопреобразующей системы сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчета параметров тепловой схемы

№ точки	Наименование потока	Массовый расход, кг/с	Температура, К	Эксергия потока, кВт	Стоимость единицы эксергии, грн/кВтч	Стоимость потока, грн/ч
1	Топливо (природный газ)	0.054	288	2282.7	0.026	60.35
	Воздух	1.35	288	0	0	0
2	Продукты сгорания после ГДГ	1.41	673	196.74	0.056	11.02
3	Продукты сгорания до ГДГ	1.41	423	29.42	0.056	1.65
4	Сетевая вода перед ГДГ	11.78	343	227.05	0.058	13.25
5	Сетевая вода после ГДГ	11.78	353	308.39	0.058	17.81
6	Сетевая вода после КУ	11.78	368	465.94	0.058	27.18
7	Сетевая вода на отопление	3.93	368	155.31	0.058	9.06
8	Сетевая вода на генератор чиллера	3.93	368	155.31	0.058	9.06
9	Сетевая вода на ГВС	3.93	368	155.31	0.058	9.06
10	Сетевая вода после системы отопления	3.93	343	75.68	0.05	4.42
11	Сетевая вода на генератор чиллера	3.93	343	75.68	0.058	4.42
12	Сетевая вода после ГВС	3.93	343	75.68	0.058	4.42
13	Сетевая вода на ГВС после абсорбера чиллера	3.78	313	15.08	-0.0056	-0.085
14	Сетевая вода на ГВС конденсатора чиллера	3.93	313	15.66	0.09	1.43
15	Сетевая вода на ГВС (смешение после абсорбера и чиллера)	7.71	313	30.74	0.044	1.35
16	Вода на ГВС	7.71	325.7	75.11	0.080	5.99
	Электрическая мощность, кВт	-	-	800	0.056	44.8
17	Пар в конденсатор чиллера	0.174	328	51.86	0.029	1.49
18	Раствор в абсорбер чиллера	1.562	328	16.76	0.212	3.55
19	Конденсат перед испарителем чиллера	0.174	328	1.86	0.028	0.053
20	Пар после испарителя чиллера	0.174	278	-15.28	0.212	-3.24
21	Раствор из адсорбера чиллера	1.74	323	18.62	0.0212	0.394
22	Отопительная нагрузка, Гкал/ч	0.353			0.0113	4.64
23	Холодильная нагрузка, Гкал/ч	0.343			-0.0083	-3.3
	Нагрузка ГВС, Гкал/ч	1.045				
	Сумма нагрузок отопления и ГВС, Гкал/ч	1.4				

Для рассмотренной системы «продуктом» являются: электроэнергия (номинальная электрическая мощность $N_{эл} = 800$ кВт), вода на ГВС (тепловая мощность $Q_{ГВС} = 1.046$ Гкал/ч), отопительная нагрузка (тепловая мощность $Q_{отопл} = 0.353$ Гкал/ч) и нагрузка по охлаждению ($Q_{охл} = 0.343$ Гкал/ч).

Соответственно себестоимость 1 кВтч каждого вида энергии составила: для электроэнергии – 0.056 грн/кВтч, для ГВС – 0.080 грн/кВтч, для системы отопления – 0.011 грн/кВтч и системы охлаждения – (- 0.008) (знак «-» характеризует направление потока тепла в системе охлаждения) грн/кВтч.

Низкий уровень себестоимости каждого вида «продукта» подтверждает высокую эффективность технологии комбинированного производства электроэнергии, тепла и холода в одной установке, что особенно актуально для Одесского региона в летний период для объектов курортного и гостиничного хозяйства.

Приведенная методика оценки эффективности энергопреобразующей системы, основанная на эксергоэкономическом анализе, рассматривает не только термодинамическую неэффективность, но и инвестиционные затраты, связанные с мероприятиями по устранению этой неэффективности.

Однако расчеты, приведенные в работе, не учитывают капитальные затраты на оборудование и эксплуатационные издержки системы, поэтому полная технико-экономическая оптимизация требует разработки математической модели, связывающей указанные затраты и технологические параметры, а полученные результаты по стоимости эксергии различных потоков – необходимые и наиболее важные данные для такой оптимизации.

Литература

1. Быков А.В. Холодильные машины. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 423 с.
2. Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. / Thermal Design and Optimization. – New York: J. Wiley, 1996.
3. Джорж Тсатсаронис. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы. – Одесса: ООО «Студия «Негоциант», 2002. – 152 с.

УДК 621.311.22

Баласанян Г.А.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ТРИГЕНЕРАЦІЇ НА ОСНОВІ ЕКСЕРГОЕКОНОМІЧНИХ МЕТОДІВ

Запропоновано методику оптимізації техніко-економічних параметрів теплових схем установок тригенерації на основі ексергоекономічного аналізу, поставлено і вирішено задачу оптимізації параметрів теплової схеми установки тригенерації.