

вых сетей планируется проведение исследования процессов теплообмена методом численного моделирования. Предполагается, что полученные результаты исследования позволят также предложить новые конструктивы теплопроводов с «активной» теплоизоляцией.

Список использованных источников

1. Яковлев Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2002. – С.448.
2. Зингер Н.М., Белевич А.И. Развитие теплофикации в России // Электрические станции. – 1999. – № 10. – С. 2–8.
3. Седнин В.А. Теория и практика создания автоматизированных систем управления теплоснабжением. – Минск: Изд-во БНТУ, 2005. – 192 с.
4. Копко В.М. Теплоснабжение / В.М. Копко. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 336 с.
5. Марченко А.В. Разработка технологий использования котлоагрегатов ТЭЦ и их дутьевых вентиляторов для транспорта и утилизации вентиляционных выбросов промышленных предприятий и автомагистралей: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук 05.14.04 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты; 05.14.05 – Промышленная теплоэнергетика / А.В. Марченко. – Ульяновск, 2008. – 175 с.
6. Амерханов, Р.А. Тепловые насосы / Р.А. Амерханов. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 160 с.
7. Тарасевич, Е.И. Численное моделирование теплообмена для двухтрубных тепловых сетей при подземной канальной и бесканальной прокладке / Е.И. Тарасевич. – Фундаментальные исследования. – 2015. – №2 (часть 22) – С. 4880-4885.
8. Бруяко, В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench / В.А. Бруяко, В.Г. Фокин, Е.А. Соядусов и др. / Самара: Самар. Госуд. Техн. Ун-т, 2010. – 271 с.
9. Федорова, Н.Н. Основы работы в ANSYS / Н.Н. Федорова, С.А. Вальгер, М.Н. Данилов, Ю.В. Захарова, Издательство: ДМК Пресс. – 2017. – 210 с.

УДК 621.181

АНАЛИЗ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА БАЗЕ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

В.А. Седнин, А.А. Абрамовский

Белорусский национальный технический университет

Энергетическая целесообразность создания комбинированных энерго-технологических установок (КЭТУ) на базе газоперекачивающих агрегатов (ГПА) компрессорных станций магистрального газопровода была обоснована в работах [1-5]. В ходе исследования были синтезированы несколько

технологических схем КЭТУ. Одним из перспективных вариантов для реализации можно считать КЭТУ в составе ГПА, теплофикационной паросиловой установки (ТПСУ) и абсорбционной холодильной машины (АБХМ) для охлаждения воздуха, подаваемого в компрессор ГТУ (рис. 1).

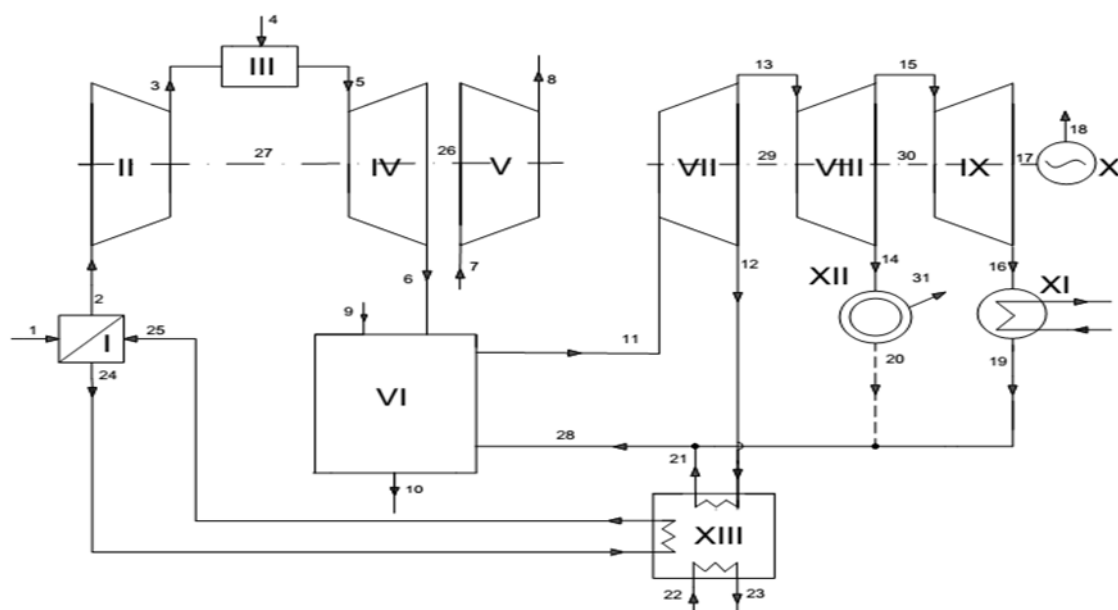


Рисунок 1 – Принципиальная схема комбинированной энерготехнологической установки в составе ГПА и ПСУ: I – теплообменный аппарат; II – компрессор; III – камера сгорания; IV – газовая турбина; V – нагнетатель; VI – котел-утилизатор; VII, VIII, IX – ступени паровой турбины; X – генератор; XI – конденсатор; XII – потребитель тепловой энергии; XIII – абсорбционная холодильная машина; 1, 2, 3 – воздух; 5, 6, 10 – продукты сгорания; 4, 7, 8, 9 – природный газ; 11, 12, 13, 14, 15, 16 – пар; 19, 20, 21, 28 – конденсат; 24, 25 – вода холодного контура АБХМ; 22, 23 – вода из контура обратного водоснабжения компрессорной станции; 17, 26, 27, 29, 30 – механическая энергия; 31 – тепловая энергия; 18 – электрическая энергия

Продукты сгорания после газовой турбины IV поступают в котел-утилизатор VI, где генерируется перегретый пар, для привода паровой турбины. Пар после первой ступени турбины направляется к АБХМ для получения холодной воды, а после второй ступени на технологические нужды энергопотребителя. Холодная вода из АБХМ направляется в теплообменный аппарат для охлаждения воздуха, подаваемого в компрессор газотурбинного двигателя.

Для параметрической оптимизации была разработана математическая модель макроуровня [5]. В продолжение исследования вышеуказанная математическая модель была применена для получения регрессионных зависимостей. Численный эксперимент проводился с применением математического аппарата регрессионного анализа теории планирования эксперимента [6...8]. При этом рассматривается зависимость критерия оптимизации (от-

клика) от величины управляемых параметров (факторов), модель объекта исследования в общем виде:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (1)$$

где y – критерий оптимизации; x_1, x_2, \dots, x_k – факторы, которые варьируются при проведении эксперимента.

В качестве критериев оптимизации принимались электрическая мощность и КПД КЭТУ, в качестве факторов – температура воздуха, подаваемого в компрессор двигателя, степень сжатия в компрессоре двигателя и расход пара на технологию.

Общий вид зависимостей

$$N_{18} = f(t_2, \beta_k, G_{14}); \quad (2)$$

$$\eta_{\text{КЭТУ}} = f(t_2, \beta_k, G_{14}), \quad (3)$$

где N_{18} – электрическая мощность ПСУ, кВт; t_2 – температура воздуха, подаваемого в компрессор двигателя, °C; β_k – степень сжатия в компрессоре двигателя; G_{14} – технологический расход пара, кг/с.

В результате обработки полученных данных, с учетом исключения статистически незначимых коэффициентов зависимости (2) и (3) приняли вид

$$y(N_{18}) = 1,78 \cdot 10^4 + 0,60 \cdot 10^3 x_1 - 1,06 \cdot 10^3 x_2 - 0,69 \cdot 10^3 x_3 - 6,2 x_1 x_2 + 23,6 x_1^2 + 75 x_2^2 + 6,8 x_3^2.$$

$$y(\eta_{\text{КЭТУ}}) = 37,2 + 0,271 x_1 - 0,480 x_2 - 0,320 x_3 + 0,0211 x_1^2 + 0,0441 x_2^2 + 0,0130 x_3^2.$$

Оценка адекватности полученной регрессии показала, что полученная зависимость пригодна для использования с доверительной вероятностью не менее 95 %.

Переход к именованным величинам позволил уравнения (2) и (3) представить в виде:

$$N_{18} = 5,03 \cdot 10^4 + 75 t_2 - 3,29 \cdot 10^3 \beta_k - 369 G_{14} - 0,75 t_2 \beta_k + 0,37 t_2^2 + 75 \beta_k^2 + 1,69 G_{14}^2.$$

$$\eta = 55 + 3,01 \cdot 10^{-2} t_2 - 1,81 \beta_k - 20,1 \cdot 10^{-2} G_{14} + 3,25 \cdot 10^{-4} t_2^2 + 4,51 \cdot 10^{-2} \beta_k^2 + 3,01 \cdot 10^{-3} G_{14}^2.$$

Оптимальные значения управляемых параметров для максимальной электрической мощности $N_{13}^{\text{max}} = 20,3$ МВт в исследованной области составили

$$t_2 = 23 \text{ } ^\circ\text{C}, \beta_k = 14, G_{14} = 4 \text{ кг/с, при этом } \eta_{\text{КЭТУ}} = 38,4\%.$$

Список использованных источников

1. Несенчук А.П. Влияние теплоутилизационного «хвоста» компрессорной станции на эффективность работы газотурбинного привода с изобарным подводом теплоты и регенеративным теплоиспользованием / А.П. Несенчук [и др.] // Известия вузов. Энергетика. – 2013. – № 4. – С.37-46.
2. Несенчук А.П. Энергоснабжение предприятия мясоперерабатывающей отрасли за счет утилизационной теплоты ВЭР компрессорной станции магистрального газопровода / А.П. Несенчук, А.А. Абразовский // Известия вузов. Энергетика. – 2013. – № 6. – С.32-36.
3. Абразовский А.А. Влияние технологических параметров магистрального газопровода на показатели работы компрессорной станции / А.А. Абразовский // Известия вузов. Энергетика. – 2014. – № 3. – С.27-32.
4. Абразовский А.А. Влияние утилизационной нагрузки привода компрессорной станции на параметры работы ГТУ / А.А. Абразовский // Известия вузов. Энергетика. – 2014. – № 4. – С.24-29.
5. Седнин В.А. Применение паросиловой установки для повышения энергоэффективности работы газоперекачивающего агрегата компрессорной станции магистрального газопровода / В.А. Седнин, А.А. Абразовский // Энергия и менеджмент. – 2016. – №2. – С.16–19.
6. Нинул А.С. Оптимизация целевых функций: Аналитика. Численные методы. Планирование эксперимента / А.С. Нинул – М.: Издательство физико-математической литературы, 2009. – 336 с.
7. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / В.Б. Тихомиров – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.
8. Шестаков В.Н. Планирование эксперимента в оптимизационных задачах технической мелиорации грунтов: учеб. пособие / В.Н. Шестаков. – Омск: СибАДИ, 2007. – 95 с.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЯ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ РАСТВОРОВ ПО ЭЛЕКТРОМЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*А.И. Минибаев, А.А. Чичиров, Н.Д. Чичирова, А.Р. Мамлеева
Казанский государственный энергетический университет,
Российская Федерация*

Тепловые электрические станции (ТЭС) являются одним из основных источников высокоминерализованных стоков, оказывающих негативное влияние на экологию водных систем региона. Ядром высокоминерализованных стоков на ТЭС являются водоподготовительные установки (ВПУ), прежде всего установки ионитного обессоливания. В настоящее время на большинстве ТЭС кислые высокоминерализованные стоки с катионитовых фильтров и щелочные высокоминерализованные стоки с анионитовых