

УДК 620.91

Редько А.А.

## ГИБРИДНАЯ ТОПЛИВНО-ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С АВТОНОМНЫМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ

*Харьковский государственный технический университет  
строительства и архитектуры*

**Введение.** Геотермальные энергетические станции характеризуются недостаточно высокой термодинамической эффективностью, КПД которых составляет около 12÷15%. Использование геотермальной энергии совместно с топливными установками позволяет повысить эффективность комбинированной или гибридной тепловой схемы, т.к. даже незначительное замещение топливной составляющей обеспечивает технико-экономическую эффективность; глубокая утилизация геотермальной энергии обеспечивается применением комбинированной схемы с теплонаносной установкой (ТНУ) [1]. Высокотемпературные геотермальные ТНУ могут использоваться в системах отопления зданий с температурным режимом 85/60 °С. Однако, в зависимости от коэффициента преобразования ТНУ потребление электроэнергии является значительным.

Таким образом, учитывая электропотребление в комбинированной геотермальной энергетической станции на привод насосов обратной закачки геотермальной жидкости в нагнетательную скважину для поддержания давления в пласте, на привод циркуляционных насосов ГТРИ системы теплоснабжения, на привод насосов, вентиляторов, дымососов отопительной (пиковой) котельной установки, на привод компрессоров ТНУ, значительные затраты электроэнергии на собственные нужды снижают термодинамическую эффективность и технико-экономические показатели геотермальной станции.

Одно из направлений использования возобновляемых видов энергии – это объединение их с обычными (органическими) источниками энергии для того, чтобы продлить существование сокращающихся органических ресурсов и создать новое направление по использованию возобновляемых видов энергии на существующем рынке ресурсов.

**Состояние проблемы.** Гибридные энергетические станции объединяют два различных источника энергии на одной станции, чтобы достичь более высокой эффективности использования, чем на каждой отдельной станции.

Один из путей достижения этого – соединить топливную и геотермальную станции таким образом, чтобы создать станцию, которая превосходит две отдельные современные станции: одну, использующую ископаемое органическое топливо, и одну геотермальную станцию. В [2–5] приводятся результаты исследования использования теплоты уходящих газов газоперекачивающих агрегатов с температурой 400÷500 °С для производства электроэнергии на компрессорных станциях магистральных газопроводов. Показано, что использование n-пентановой утилизационной турбины позволяет получить дополнительную мощность до 9,5 МВт при мощности газоперекачивающего агрегата 16 МВт. Значительные ресурсы низкопотенциальной теплоты имеются на отопительных и промышленных котельных. Так, в котлах мощностью от 10 до 100 Гкал/ч при температуре уходящих газов с температурой 200 °С, при условии охлаждения продуктов сгорания до 55 °С можно получить дополнительную выработку электроэнергии

от 103 до 1030 кВт в n-бутановом утилизационном цикле. Величина потребляемой мощности на привод циркуляционных насосов, дымососов, вентиляторов отопительной котельной с водогрейными котлами КВ-ГМ-10-150 или КВ-ГМ-100 составляет от 58,3 до 930 кВт [3] на котельную установку. Так, выработка электроэнергии в количестве 1030 кВт обеспечивает потребление электроэнергии на собственные нужды двух котлов типа КВ-ГМ-50 и большее количество котлов с меньшей теплопроизводительностью.

Однако, обеспечить адиабатное расширение пара в турбине от 185 °С до 45 °С не представляется возможным и реальная температура рабочего вещества в утилизационном цикле будет выше, а выработка электроэнергии будет меньше, что зависит от расхода рабочего вещества в цикле. При этом в низкотемпературных преобразователях тепловой энергии в электрическую широко применяются другие рабочие вещества, которые также являются эффективными. Как показывают результаты выполненных исследований, более эффективными являются многоступенчатые (каскадные) энергетические станции [7]. Применение нескольких рабочих веществ в каскадном цикле позволяет обеспечить выработку электроэнергии в несколько раз больше по сравнению с одноступенчатой энергетической установкой.

**Основные результаты.** Ниже проводится описание гибридной топливно-геотермальной системы теплоснабжения, состоящей из геотермальной циркуляционной системы, топливной котельной установки и теплонаносной установки. Аналогичная система приведена в [6].

Тепловая схема гибридной системы геотермального теплоснабжения, включающая в себя источник геотермальной энергии и геотермальную циркуляционную систему, источник топливной энергии – котельную установку с несколькими котлами на органическом топливе, теплонаносную установку (рис. 1).

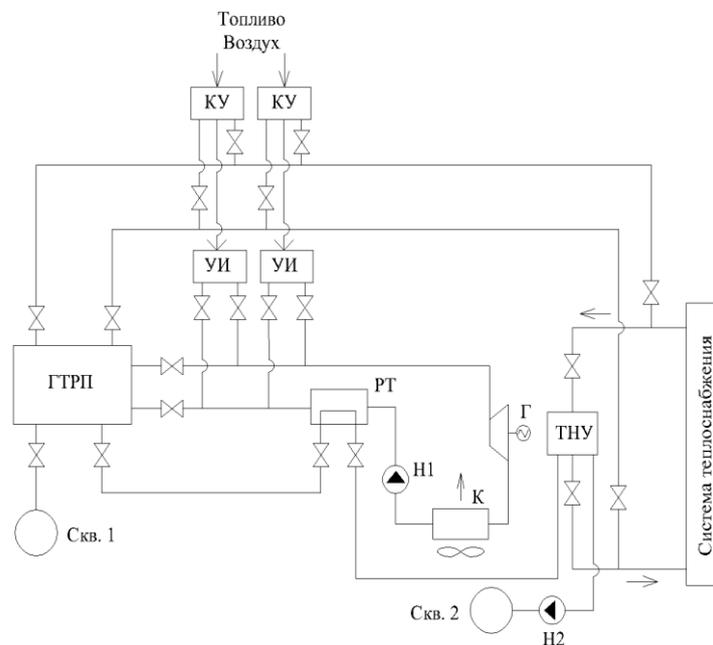


Рисунок 1 – Тепловая схема гибридной топливно-геотермальной системы теплоснабжения: ТНУ – теплонаносная установка; Г – генератор; Скв 1, Скв 2 – скважины эксплуатационная и нагнетательная; Н2 – насос геотермальной циркуляционной системы; РТ – регенеративный теплообменник, КУ – котельная установка; УИ – утилизатор-испаритель; К – конденсатор; Н1 – насос бинарного цикла; ГТРП – геотермальный теплораспределительный пункт

Учитывая, что коэффициент использования топлива топливной установки при расчете теплового баланса по высшей теплоте сгорания топлива составляет около 85–86 %, имеется возможность использования низкотемпературной теплоты отходящих газов котельных агрегатов для выработки электроэнергии.

Результаты исследований геотермальных электрических станций с одноступенчатым бинарным циклом показывают возможность выработки 35–43 кВт/(кг/с) электроэнергии при температуре геотермальной жидкости 130 °С [7].

При использовании каскадной энергетической установки выработка электроэнергии увеличивается до 65–75 кВт/(кг/с) [7].

Автором совместно с «Укрнефтезапчасть» г. Сумы разработана блочно-модульная энергетическая станция на базе парового турбогенераторного агрегата со струйно-реактивной турбиной ПТГА-СРТ-24/0,5.

Электрическая мощность станции составляет 1,5–2,5 МВт. Установка может быть интегрирована в систему геотермального теплоснабжения с целью выработки электроэнергии для потребления на собственные нужды.

Сравнивая варианты теплоснабжения от котельной и теплонасосной установки, можно отметить следующие преимущества применения ТНУ:

- экологические преимущества: отсутствие выбросов в атмосферу при снижении органического топлива;

- разгрузка транспорта от топливных перевозок.

ТНУ потребляют электроэнергию для выработки теплоты согласно схеме: тепло органического топлива → электроэнергия → тепло для теплоснабжения. Сравнимым вариантом является непосредственное сжигание органического топлива для теплоснабжения.

Результаты расчетов показывают, что при наличии источника низкопотенциальной теплоты с положительной температурой применение ТНУ с коэффициентом преобразования  $\varphi > 2,2$  имеет преимущества по сравнению с котельной установкой с КПД 65 %. Коэффициент экономии топлива равен 1,8 и выше. Себестоимость производства теплоты с помощью ТНУ зависит от цены электроэнергии и цены тепловой энергии. Так, затраты электроэнергии на выработку теплоты ТНУ с  $\varphi = 4,3\div 5,2$  составляет 262,2–269,5 кВтч/Гкал при условии, что температура сетевой воды 62 °С, а температура источника теплоты 25–32 °С. Себестоимость тепловой энергии составляет около 8,1–9,8 долл/Гкал.

В гибридной топливно-геотермальной энергетической станции часть органического топлива замещается геотермальной энергией, что снижает себестоимость выработки электроэнергии, которая используется в ТНУ для производства теплоты.

Составляющие элементы тепловой схемы системы теплоснабжения характеризуются высокой термодинамической эффективностью.

Геотермальная циркуляционная система характеризуется высоким значением коэффициента утилизации, составляющим 85–90 %. Топливная составляющая характеризуется высоким значением КПД 98–99 % за счет использования теплоты уходящих газов. Выработка электроэнергии обеспечивается за счет утилизации низкотемпературной теплоты топливной части установки. Производство теплоты ТНУ осуществляется автономной электрической станцией.

Регулирование производства и отпуска теплоты потребителям осуществляется всеми элементами системы теплоснабжения. Составляющие элементы системы находятся в эксплуатации круглогодично.

Топливная и геотермальная составляющая системы производят теплоту для нужд горячего теплоснабжения, а ТНУ подключается в пиковом режиме отопления. Электрическая часть системы в зависимости от нагрузки обеспечивается подключением (или отключением) отдельных модулей.

**Выводы.** Предлагаемая гибридная топливно-геотермальная система теплоснабжения характеризуется высокими значениями термодинамической эффективности и может быть использована при температуре геотермальной жидкости 60–65 °С и выше.

#### Литература

1. ВСН 56-87. Геотермальное теплохладоснабжение жилых и общественных зданий и сооружений. Нормы проектирования. – М.:ЦНИИЭП инженерного оборудования, 1988.
2. Карп И.Н. Эффективное производство энергии на компрессорных станциях магистральных газопроводов / И.Н. Карп, Р.М. Говдяк, И.М. Калатунь // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – №3. – С. 12–22.
3. Шварц Г.Р. Утилизационные энергетические установки с органическими теплоносителями / Г.Р. Шварц, С.В. Голубев, Б.П. Левыкин // Газовая промышленность. – 2000. – №6. – С. 12.
4. Пятничко В.А. Утилизация низкопотенциального тепла в энергетических установках с органическим теплоносителем / В.А. Пятничко // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – №5. – С. 10–14.
5. Пятничко В.А. Утилизация низкопотенциального тепла для производства электроэнергии на компрессорных станциях / В.А. Пятничко, Т.К. Крушневич, А.И. Пятничко // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – №4. – С. 3–4.
6. Редько А.А. Гибридная топливно-геотермальная энергетическая станция / А.А. Редько // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009. – №2. – С. 68–76.
7. Редько А.А. Анализ термодинамических параметров циклов геотермальных электрических станций / А.А. Редько // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2009. – №2. – С. 65–78.

УДК 620.91

Редько А.О.

#### **ГІБРИДНА ПАЛИВНО-ГЕОТЕРМАЛЬНА СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З АВТОНОМНИМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ**

Наведена теплова схема високоефективної системи геотермального теплопостачання.

Red'ko A.O.

#### **THE HYBRID FUEL-GEOTHERMAL SYSTEM OF THE HEAT SUPPLY WITH INDEPENDENT ELECTROSUPPLY**

In this article is resulted the thermal scheme of highly effective system of a geothermal heat supply.