

## **ЭКСЕРГООЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ**

***В. В. Козырский, доктор технических наук***

***Л. В. Мартынюк, аспирантка\****

***Национальный университет биоресурсов  
и природопользования Украины***

***Т. А. Резакова, кандидат технических наук***

***Институт технической теплофизики НАН Украины***

***e-mail: slodkalily@gmail.com***

**Аннотация.** *Изложены основы эксергоэкономической оптимизации. Приведены технические и экономические характеристики геотермальной когенерационной установки. Определены эксергоэкономические факторы указанных установок.*

**Ключевые слова:** *критерий оптимизации, эксергоэкономический фактор, геотермальная энергетическая система, когенерационная установка*

При постоянном росте цен на ископаемое топливо, в т. ч. импортное, использование местных энергоресурсов, которые определяют низкую себестоимость энергоносителей, позволяет быстро и надежно обеспечивать электроэнергией и теплотой различных потребителей. Поэтому экономически эффективным и целесообразным решением указанной проблемы есть создание когенерационных геотермальных установок, где первичным энергоресурсом для получения теплоты и электроэнергии является природный энергоноситель (термальна́я вода и растворенный в ней газ).

**Цель исследований** – разработать метод оптимизации энергетических систем по энергетическим и экономическим характеристикам.

**Материалы и методика исследований.** Приведем пример эксергоэкономической оптимизации конкретной энергетической системы, установленной в АР Крым [1]. Установка геотермальной тепловой электростанции (ГеоТЭС) разработана на базе термальной воды и содержащегося в ней растворенного газа (преимущественно метана) для теплоснабжения и выработки электроэнергии, которые обеспечат базовую нагрузку отопления и горячего водоснабжения, автономное электроснабжение подключенных потребителей, а также для собственных нужд системы циркуляции геотермального теплоносителя и сетевой воды.

Наличие в пластовой воде большого количества растворенного газа – практически чистого метана, позволяет помимо получения

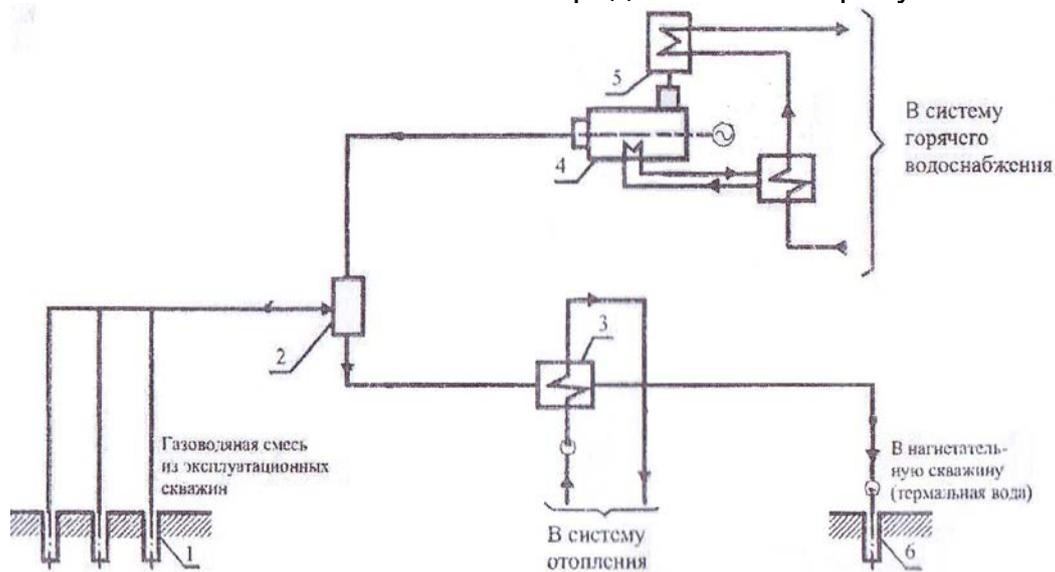
---

\* Научный руководитель – доктор технических наук, профессор В. В. Козырский

© В. В. Козырский, Л. В. Мартынюк, Т. А. Резакова, 2016

геотермальной теплоты вырабатывать электроэнергию для обеспечения собственных нужд циркуляционной системы, а также электроснабжения коммунально-бытовых потребителей [1].

Технологическая схема ГеоТЭС представлена на рисунке.



### Технологическая схема когенерационной геотермальной установки:

1 – скважины эксплуатационные; 2 – сепаратор; 3 – теплообменник системы отопления; 4 – газовый двигатель; 5 – система утилизации теплоты выхлопных газов и охлаждения двигателя; 6 – нагнетательная скважина

Как показано на схеме, в состав ГеоТЭС входят следующие основные части:

- скважины подъемные, предназначенные для вывода из подземного продуктивного горизонта термальной воды, содержащей растворенный природный газ (глубина – 1769,0 м; дебит воды – 3136,0 м<sup>3</sup>/сутки; газовый фактор – 0,98 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>; температура на устье – 69,0 °С; статическое давление на устье – 0,05 МПа);

- узел подготовки термальной воды и природного газа к использованию, куда входят: газоотделитель (сепаратор), гидроциклон и устройство очистки и осушки газа (производительность по воде – 132,0 м<sup>3</sup>/ч, по газу – 123,0 м<sup>3</sup>/ч);

- геотермальный теплообменник, предназначенный для подогрева сетевой воды системы теплоснабжения;

- насосы для возврата охлажденной термальной воды по трубопроводу через нагнетательную скважину в термоводоносный горизонт;

- газовый двигатель, соединенный с электрогенератором, предназначенный для производства электроэнергии, необходимой для обеспечения собственных нужд установки и электроснабжения внешних потребителей (Nэ = 380,0 кВт);

- скважина для возврата охлажденной термальной воды.

Расчет технических показателей выполняется на основании исходных данных установки.

1. Расход термальной воды:  $G_{ТВ} = V_{ТВ} \cdot \rho \cdot 3600^{-1} = 36,9$  кг/с.
  2. Расход природного газа:  $V_{Г} = 122,4$  м<sup>3</sup>/ч.
  3. Теплотворная способность газа  $Q_{Н}^p = 8300$  ккал/м<sup>3</sup> = 34,7 Мдж/м<sup>3</sup>.
  4. Температура термальной воды на входе в установку  $t'_{ТВ} = 69,0^{\circ}\text{C}$ .
  5. Температура термальной воды на выходе из установки (принимаем)  $t''_{ТВ} = 35,0^{\circ}\text{C}$ .
  6. Мощность электрооборудования, необходимого для обеспечения собственных нужд ГеоТЭС: нагнетательный насос – 72 кВт; сетевой насос – 4,9 кВт.
  7. Общая мощность электрооборудования собственных нужд  $N_{СН} = 88,3$  кВт.
  8. Расход газа, потребляемого газовым двигателем для производства электроэнергии – 121,6 м<sup>3</sup>/ч.
  9. Электрическая мощность, обеспечивающая нагрузку внешних потребителей – 29,1 кВт.
  10. Теплопроизводительность установки за счет теплоты термальной воды – 52421 кВт.
  11. Суммарная теплопроизводительность установки – 299,1 кВт.
  12. Теплопроизводительность ГеоТЭС – 261 кВт.
  13. Годовая выработка электроэнергии – 1406 МВт·ч, в том числе затраты на собственные нужды – 326,7 МВт·ч.
  14. Обеспечение нагрузок внешних потребителей – 1079,3 МВт·ч.
  15. Годовое производство теплоты – 20694 МВт·ч.
  16. Удельный расход условного топлива на выработку энергоносителей
    - для электроэнергии  $B_{Т} = 0,35$  кг у.т./кВт·ч;
    - для теплоты  $B_{Т} = 0,145$  кг у.т./кВт·ч = 168,2 т у.т./Гкал.
- Основные технические и экономические показатели эксплуатации ГеоТЭС приведены в табл. 1.

### 1. Техничко-экономические показатели эксплуатации ГеоТЭС

№ п/п	Наименование показателей	Значение величин
1	Годовая выработка электроэнергии, МВт·ч, в том числе:	1406,0
	отпущено потребителям	971,4
2	Годовое производство теплоты, Гкал, в том числе:	17792,8
	отпущено потребителям	16013,5
3	Капиталовложения, грн	2042790,6
4	Годовые производственные издержки, грн/год, в том числе:	566699
	- отнесенные к выработке электроэнергии	43637
	- отнесенные к теплоте	52308

Наличие в термальной воде растворенного природного горючего газа позволяет реализовать когенерационную схему ГеоТЭС, которая

предназначена для производства теплоты в тепломеханическом блоке и выработки электроэнергии в электромеханическом блоке энергоустановки.

Производительность установки по теплоте покрывает базовую нагрузку системы теплоснабжения. Мощность ГеоТЭС (380,0 кВт) достаточна для электроснабжения группы внешних потребителей, а также для обеспечения собственных нужд циркуляционной системы. Такая автономность, т. е. независимость работы ГеоТЭС от внешних источников электроснабжения является существенным достоинством предлагаемой схемы.

ГеоТЭС характеризуется достаточно высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями (табл. 2).

## 2. Технические характеристики когенерационной геотермальной установки

Наименование	Размерность	Значение величин
Расход термальной воды	кг/сек	7,5
Температура термальной воды на устье скважины	°С	64,0
Объем газа, растворенного в термальной воде	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1,040
Давление на устье эксплуатационной скважины	атм	1,05
Давление на устье скважины при закачке термальной воды	атм	12,0
Теплотворная способность газа	МДж/м <sup>3</sup>	36,4
Температура выхлопных газов на выходе утилизатора	°С	120,0
Расход выхлопных газов	кг/м <sup>3</sup>	273,2
Температура обратной сетевой воды системы ГВС на входе в теплообменник	°С	15,0
Температура падающей сетевой воды системы ГВС на выходе из теплообменника	°С	50,0
Температура термальной воды на выходе из установки	°С	35,0

Как было сказано выше, оптимизация исследуемой системы определяется значением эксергоэкономического фактора  $f$ , в состав которого входят эксергетические потоки и их стоимость. Тем самым находят значение энергетических и экономических показателей системы в их взаимозависимости.

Сравнительный анализ методом эксергоэкономической оптимизации исследуемых установок ГеоТЭС и когенерационной – будет выполнен для электроснабжения потребителей, как заслуживающего внимания в практическом отношении. В таком случае, нет необходимости рассматривать деструкцию в балансе системы. Кроме того, термозлектрические потоки и их стоимости анализируются не для компонентов, а для всей системы в совокупности – такой подход в данном случае является более обоснованным.

С учетом сделанных замечаний, эксергоэкономический фактор  $f$  записывается так:

Полученные сравнения показывают, что даже при минимальной стоимости газа себестоимость теплоты, вырабатываемой газовой котельной, в 2,5 раза превышает себестоимость теплоты, вырабатываемой геотермальной когенерационной установкой. Производство же электроэнергии автономным газопоршневым двигателем экономически невыгодно.

### **Выводы**

Из выполненного анализа можно сделать вывод, что геотермальные когенерационные установки характеризуются высокими, т. е. выгодными экономическими показателями. Их использование приводит к экономии органического топлива.

Если анализировать вариант одновременного производства электро- и тепловой энергии, то, можно полагать, что предпочтение следует отдавать когенерационной геотермальной установке ГеоТЭС.

### **Список литературы**

1. Резакова Т. А. Теплофизические процессы при использовании газонасыщенных геотермальных вод в когенерационных технологиях / [Б. И. Басок, Т. А. Резакова, Д. А. Коломейко, Ю. Б. Матвеев]. – К. : Институт технической теплофизики НАН Украины, 2013. – С. 145–283.
2. Began A., Tsatsaronic G., Moran T. Termal Desing and Optimization. – NewYork: Wiley, 1996. – 530 p.
3. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для оптимизации стоимости энергопреобразующих систем / Дж. Тсатсаронис ; науч. перевод с англ. Т. Морозюк. – Одесса : Негоциант, 2002. – 152 с.
4. Лозано М. А. Теория эксергетической стоимости / М. А. Лозано, А. Валеро // Энергия. – 1993. – № 9. – С. 939–960.
5. Драганов Б. Х. Оптимизация энергосберегающих систем методом теоретико-графовых и эксергоэкономических построений // Укр НЭИ. Науково-технологічні пріоритети та їх вплив на розвиток Української економіки. – 2009. – С. 173–192.
6. Долинский А. А. К вопросу эксергоэкономической оптимизации энергетических систем // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 4. – С. 105–108.

## **ЕКСЕРГОЕКОНОМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ**

***В. В. Козирський, Л. В. Мартинюк, Т. А. Резакова***

**Анотація.** *Викладено основи ексергоекономічної оптимізації. Наведено технічні та економічні характеристики геотермальної когенераційної установки. Визначено ексергоекономічні фактори зазначених установок.*

**Ключові слова:** *критерій оптимізації, ексергоекономічний фактор, геотермальна енергетична система, когенераційна установка*

## EXERGY ECONOMIC OPTIMIZATION OF GEOTHERMAL COGENERATION PLANT

*V. Kozyrsky, L. Martyniuk, T. Rezakova*

**Annotation.** *The presented fundamentals of eksergoeconomical optimization. The presented technical and economic characteristics of the geothermal cogeneration plant. Eksergoekonomical factors identified these settings.*

**Key words:** *optimization criterion, eksergoeconomical factor, geothermal energy system, cogeneration installation*

УДК 532 (075.8)

## МЕХАНИКА ОДИНОКОЙ СФЕРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ

*Б. Х. Драганов, доктор технических наук  
Национальный университет биоресурсов  
и природопользования Украины*

*А. А. Вергезова, студентка  
Национальная академия изобразительного искусства  
и архитектуры  
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

**Аннотация.** *Приведена математическая модель многокомпонентных сред. Выполнен анализ гетерогенных сред. Определена интенсивность обмена энергией между фазами. Изложены основы определения сил, действующих на одинокую сферу.*

**Ключевые слова:** *гетерогенная среда, межкомпонентная среда, инерционный эффект, интенсивность обмена импульсом, эффект Магнуса*

Объект исследования состоит из двух сфер: большой (внешней) и меньшей (внутренней). Между двумя сферами находится вода и воздух, которые попадают туда через трехкомпонентные краны. Конструкция этих пробок будет обеспечивать необходимое количество жидкости и кислорода для поддержания внутренней сферы на плаву и оптимального уровня кислорода для жизни человека. Устройство будет изготовлено из прочного, прозрачного, тонкого материала, который способен выдерживать большие значения внешней нагрузки.

Установка работает следующим образом. Когда людям станет известно о возникающем цунами, один или несколько человек, в

---

© Б. Х. Драганов, А. А. Вергезова, 2016