

УДК 65.011.46:621

БАСОК Б.И., РЕЗАКОВА Т.А., РУТЕНКО А.А.

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

## АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Визначено економічну ефективність вироблення енергоносіїв (теплоти та електроенергії) при використанні газонасичених термальних вод. Проведено порівняння економічних показників геотермальної когенераційної установки з показниками розділеного виробництва теплоти та електроенергії.

Определена экономическая эффективность производства энергоносителей (теплоты и электроэнергии) при использовании газонасыщенных термальних вод. Проведено сравнение экономических показателей геотермальной когенерационной установки с показателями раздельного производства теплоты и электроэнергии.

We have determined the economic efficiency of the production of power carriers (heat and electric energy) with using gas-saturated thermal waters. We have also compared the economic characteristics of a geothermal cogeneration plant with the parameters of separate production of heat and electric energy.

$H$  – напор;  
 $N$  – мощность;  
 $P$  – давление;  
 $Q$  – расход;  
 $V$  – объем.

### Индексы:

г – газ;  
р – рабочий;  
тв – термальная вода.

Цель данной работы заключается в оценке экономической эффективности и целесообразности создания когенерационных геотермальных установок, в которых сырьем для получения теплоты и электроэнергии является природный энергоноситель (термальная вода и растворенный в ней газ). При постоянном росте цен на ископаемое топливо, в т.ч. импортное, использование местных энергоресурсов с низкой себестоимостью энергоносителей позволяет быстро и надежно обеспечивать электроэнергией и теплотой различных потребителей. В предлагаемом к рассмотрению анализе принят пилотный вариант геотермальной когенерационной установки с привязкой к уже существующим скважинам, одна из которых предназначена для вывода на земную поверхность из подземного водоносного горизонта термальной воды, другая – для возврата охлажденной термальной воды обратно в водоносный горизонт. Термальная вода содержит растворенный природный газ, который подается для сжигания в газопоршневой двигатель, соединенный с электрогенератором, вырабатывающим электроэнергию. Термальная вода ис-

пользуется для нагрева сетевой воды систем отопления и ГВС. Технологическая схема установки, созданной и установленной в п. Медведка, АР Крым, представлена на рис. 1.

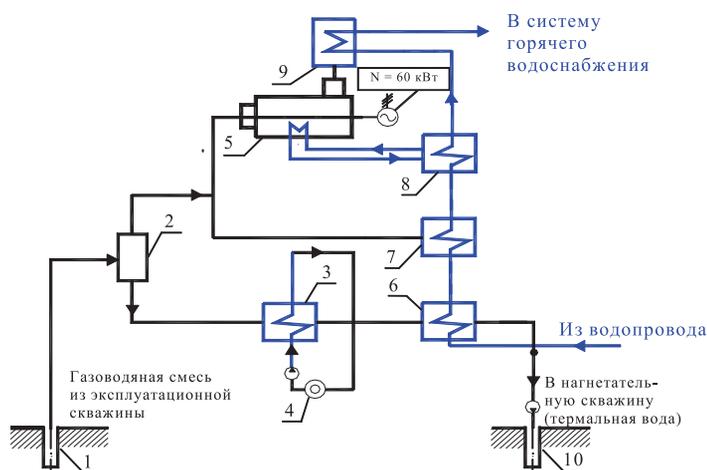
Расчет построен на определении себестоимости теплоты и электроэнергии, срока окупаемости и прибыли от реализации теплоты и электроэнергии, получаемых в результате работы когенерационной геотермальной установки.

Для расчета были приняты следующие допущения:

1. Используются уже существующие скважины, технические характеристики которых даны в табл. 1.
2. Для размещения теплового пункта используется помещение существующей котельной.
3. Используются существующие теплотрассы.
4. Потери в тепловых сетях не учитываются.
5. Стоимость термальной воды за  $1 \text{ м}^3$  – 0,25 грн.

### Капитальные затраты

В состав капитальных затрат, необходимых для сооружения когенерационной геотермальной ус-



**Рис. 1. Технологическая схема когенерационной геотермальной установки.**

- 1 – скважина эксплуатационная; 2 – сепаратор;**
- 3 – теплообменник системы отопления;**
- 4 – потребители теплоты; 5 – газопоршневой двигатель;**
- 6 – теплообменник системы ГВС;**
- 7 – газовый котел; 8 – теплообменник системы охлаждения двигателя;**
- 9 – утилизатор теплоты выхлопных газов; 10 – нагнетательная скважина.**

тановки входят следующие статьи расходов: подготовительные работы, т.е. проектирование, согласование проекта и заключение договоров на поставку основного оборудования, изготовление нестандартизированного оборудования (сепара-

тора, гидроциклона, прочего), приобретение оборудования, комплектующих изделий, материалов, транспортировка оборудования к месту монтажа, проведение строительно-монтажных работ, пуско-наладочные работы, испытания комплекса оборудования установки и ввод его в эксплуатацию. Расчеты технико-экономических показателей разработки, строительства и эксплуатации геотермальной когенерационной установки произведены по укрупненным показателям с использованием цен, тарифов на энергоносители, нормативов, действующих в Украине в настоящий период.

### **Годовые эксплуатационные затраты**

В состав эксплуатационных затрат, связанных с эксплуатацией когенерационной геотермальной установки, входят следующие основные издержки: заработная плата обслуживающего персонала с начислениями; амортизационные отчисления; расходы на текущий ремонт.

1. Заработная плата обслуживающего персонала.

Расходы на заработную плату определяются в зависимости от количества и среднего месячного оклада обслуживающего персонала. Принимаем фонд заработной платы для обслуживающего персонала из 10 человек – 163,2 тыс. грн в год.

**Табл. 1. Технические характеристики когенерационной геотермальной установки**

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

Табл. 2. Капитальные затраты, необходимые для сооружения когенерационной геотермальной установки

№ п/п	Статьи затрат	Затраты, тыс. грн
1	Затраты на стадии подготовки производства, в т.ч.:	17,5
1.1	Проект реконструкции тепломеханического блока	2,5
1.2	Проект электромеханического блока	10,0
1.3	Проект подключения установки к действующим сетям энергоносителей и согласование проектной документации	5,0
2	Изготовление нестандартизированного оборудования, в том числе:	18,25
2.1	- сепаратор ( $V = 2 \text{ м}^3$ ; $P_p = 0,6 \text{ МПа}$ ; $Q_{\text{тв}} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $Q_r = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$ )	2,7
2.2	- гидроциклон ( $Q_{\text{тв}} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ )	0,85
	- трубопроводы внутрисканционной обвязки	10,0
	- металлоконструкции (в т.ч. укрытие электромеханического блока)	5,0
3	Оборудование, комплектующие материалы, в том числе:	864,25
3.1	- теплообменники	800,0
3.1	- газовый двигатель с электрогенератором $N = 60 \text{ кВт}$	48,0
3.2	- арматура запорная и регулирующая (30...40 ед., $\varnothing 50...100 \text{ мм}$ )	15,0
3.3	- насосы нагнетательные, 2 шт. ( $Q = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $H = 150 \text{ м}$ ; $N = 20 \text{ кВт}$ )	10,0
3.4	- материалы (уплотнительные, теплоизоляционные, антикоррозионные, сталь профильная)	1,25
4	Транспортировка оборудования, комплектующих изделий, материалов	2,5
5	Строительно-монтажные работы, в том числе:	18,1
5.1	- монтаж электромеханического блока	6,0
5.2	- реконструкция и монтаж тепломеханического блока	4,9
5.3	- строительство теплотрассы ( $\varnothing 159 \text{ мм}$ )	7,2
6	Проведение пуско-наладочных работ и испытания установки	12,5
7	Прочие расходы (принимаем в размере $\sim 5\%$ от затрат по п.п. 1–6)	46,655
	<b>ИТОГО</b>	<b>979,755</b>

2. Начисления на заработную плату принимаем 38 %, тогда затраты составят 62,02 тыс. грн в год.

3. Амортизационные отчисления.

Амортизационные отчисления составляют 14 % от стоимости оборудования, таким образом, годовые затраты на амортизацию составят 122,0 тыс. грн в год.

4. Текущий ремонт оборудования.

Расходы на текущий ремонт оборудования принимаются равными 4 % от стоимости оборудования и составят 34,86 тыс. грн в год.

5. Накладные расходы принимаем в размере 50 % от затрат на заработную плату, они составят 81,6 тыс. грн в год.

6. Прочие расходы принимаем в размере 3 % от рассчитанных издержек, они составят 13,91 тыс. грн в год.

Общие эксплуатационные затраты составляют 531,587 тыс. грн в год (табл. 3).

Поскольку продукцией когенерационной геотермальной установки являются два вида энерго-

Табл. 3. Эксплуатационные затраты

№ п/п	Статьи затрат	Эксплуатационные затраты, тыс.грн/год
1	Вода термальная	54,0
2	Заработная плата	163,2
3	Начисления на заработную плату	62,016
4	Амортизация	122,003
5	Текущий ремонт	34,858
6	Накладные расходы	81,6
7	Прочие расходы	13,91
	Итого	531,587

носителей – прямая сетевая вода (ГВС и отопление) и электроэнергия, для оценки себестоимости производимых теплоты и электроэнергии необходимо условно отнести часть эксплуатационных расходов на выработку электроэнергии, а оставшуюся часть – на получение теплоты. В результате проведенных расчетов получены следующие величины, условно определяющие соотношение расходов на производство теплоты и электроэнергии:

производство электроэнергии составляет 5,5 %, а производство теплоты – 94,5 %. С учетом этого получим:

- годовые затраты на производство электроэнергии – 29,237 тыс. грн в год;

- годовые затраты на производство теплоты – 502,35 тыс. грн в год.

#### **Технико-экономические показатели эксплуатации когенерационной геотермальной установки**

Расчет технико-экономических показателей при эксплуатации установки производим при следующих исходных данных:

1. Номинальная электрическая мощность установки

Мощность электрооборудования, необходимого для обеспечения собственных нужд когенерационной установки (нагнетательный и сетевые насосы, освещение и пр), составляет 20 кВт.

Электрическая мощность, обеспечивающая нагрузку внешних потребителей – 40 кВт.

Производительность тепломеханического блока установки – 1015,7 кВт.

Коэффициент, учитывающий энергетические потери при транспортировке и распределении энергоносителей – 0,1.

2. Число часов работы установки – 8000 ч в течение года.

3. Тарифы на энергоносители с учетом НДС: электроэнергия – 0,25 грн/кВт·ч; теплота – 200 грн/Гкал.

4. Ставка налога на прибыль – 25 %, НДС – 20 %.

При принятых исходных данных технико-экономические показатели эксплуатации установки следующие:

1. Годовая выработка электроэнергии – 480 МВт·ч/год, в том числе затраты на собственные нужды – 160 МВт·ч/год.

Обеспечение нагрузок внешних потребителей – 320 МВт·ч/год.

2. Годовое производство теплоты – 8125,6 МВт·ч/год (7000 Гкал).

3. Себестоимость электроэнергии, произведенной когенерационной геотермальной установкой – 0,061 грн за 1 кВт·ч.

4. Себестоимость 1 Гкал теплоты, полученной на геотермальной когенерационной установке – 71,76 грн.

5. Доход от продажи энергоносителей: электроэнергии – 47,68 тыс. грн/год; теплоты – 597,933 тыс. грн/год; всего – 645,613 тыс. грн/год.

6. С учетом налога на прибыль, который составляет 161,403 тыс. грн/год, чистая прибыль от промышленной эксплуатации когенерационной геотермальной установки будет – 484,21 тыс. грн/год

7. Срок окупаемости составит 2,0 года.

Табл. 4. Изменение размера прибыли при различных тарифах на энергоносители

Тариф на энергоноситель	Себестоимость	Прибыль на единицу произведенной энергии, грн	Годовая прибыль от продажи, тыс. грн
<b>Электроэнергия</b>			
0,25 грн/кВт·ч	0,061 грн/кВт·ч	0,149	47,68
0,43 грн/кВт·ч	0,061 грн/кВт·ч	0,299	95,68
0,60 грн/кВт·ч	0,061 грн/кВт·ч	0,439	140,48
<b>Теплота</b>			
200 грн/Гкал	71,76 грн/Гкал	95,24	600,012
450 грн/Гкал	71,76 грн/Гкал	305,84	1926,792

Табл. 5. Изменение себестоимости отдельного производства энергоносителей при различных ценах на газ

Стоимость газа, грн/м <sup>3</sup>	Производство теплоты			Выработка электроэнергии		
	Годовое производство, Гкал	Годовые затраты, грн	Себестоимость 1 Гкал, грн	Годовое производство, кВт	Годовые затраты, грн	Себестоимость 1 кВт·ч, грн
1000	7000	1233173	176,17	480000	234814	0,49
1500	7000	1649173	235,60	480000	314014	0,65
2000	7000	2065173	295,02	480000	476414	0,99

Удельные капиталовложения при создании и эксплуатации когенерационной геотермальной установки составят 113,86 грн/МВт.

Так как для разных категорий потребителей установлены различные цены на энергоносители, рассчитаем прибыль от продажи теплоты и электроэнергии по разным тарифам. Результаты представлены в табл. 4.

Представляет интерес сравнить результаты расчетов экономических показателей когенерационной геотермальной установки с показателями отдельного производства теплоты и электроэнергии с учетом того, что будет производиться такое же количество энергоносителей при тех же капиталовложениях. Эксплуатационные расходы (согласно табл. 2, 3) будут изменяться в зависимости от стоимости сырья. Для выработки электроэнергии будет использоваться автономный газопоршневой двигатель мощностью 60 кВт, а для производства теплоты – газовый котел мощностью 1,2 кВт. Для производства энергоносителей мощностью 1075,7 кВт потребуется 123,8 м<sup>3</sup> газа, годовой рас-

ход газа составит 990,4 тыс. м<sup>3</sup>. Эксплуатационные расходы разделятся соответственно: 84 % газа идет на производство теплоты, а 16 % – на выработку электроэнергии. Учитывая периодический рост цен на газ, рассмотрим несколько вариантов стоимости газа: 1000 грн/м<sup>3</sup>, 1500 грн/м<sup>3</sup>, 2000 грн/м<sup>3</sup>. Полученные результаты приведены в табл. 5.

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, т. к. себестоимость ее в 2 раза превышает отпускную цену.

### **Выводы**

1. Создание и эксплуатация когенерационных геотермальных установок характеризуется выгодными экономическими показателями.

2. Эксплуатационные расходы в основном определяются затратами на сырье и при использовании газонасыщенной термальной воды практически не зависят от рыночных цен.

3. Себестоимость производимых энергоносителей значительно ниже установленных тарифов, 1 кВт·ч электроэнергии на 24 % ниже минимального установленного тарифа, 1 Гкал – на 35,8 % ниже минимального установленного тарифа.

4. Очень важным моментом при эксплуатации когенерационных геотермальных установок является экономия органического топлива. Удельный расход условного топлива на выработку энергоносителей составляет: для электроэнергии – 0,35 кг у.т./кВт·ч; для теплоты – 0,145 кг у.т./кВт·ч = 168,2 т у.т./Гкал. Экономия условного топлива при эксплуатации когенерационной геотермальной установки составляет 1289,4 т у.т./год.

*Получено 30.04.2008 г.*