

УДК 620.92:621.43.018+658.264

Редько А.А., Бугай В.С.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ И ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СКВАЖИНАМИ

*Харьковский государственный технический университет
строительства и архитектуры*

Постановка проблемы. Использование геотермальных вод в целях теплоснабжения должно быть экономически выгодным и конкурентоспособным сравнительно с другими источниками тепловой энергии, а также характеризоваться высокой энергетической эффективностью. Повысить технико-экономические показатели геотермальной системы теплоснабжения можно за счет увеличения количества добываемой геотермальной воды путем бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Ограничения по длине горизонтальных участков скважин и их диаметру связано с технологией бурения, а также величиной капитальных затрат, которые определяют себестоимость добываемой продукции и срок окупаемости затрат.

Анализ исследований и публикаций. Бурение горизонтальных добычных скважин позволяет увеличить площадь поверхности контакта с коллектором и создать благоприятные гидродинамические условия за счет продольного вскрытия пласта для увеличения дебита геотермального теплоносителя до десяти раз сравнительно с вертикальными скважинами [1]. Однако, бурение горизонтальных скважин не всегда целесообразно и выгодно. Это связано с геологическими условиями: значениями вертикальной и горизонтальной проницаемости пласта, его положением, структурой [2].

Цель исследований. Сравнить технико-экономические показатели геотермальной циркуляционной системы (ГЦС) теплоснабжения с вертикальными и горизонтальными скважинами при одинаковых геологических условиях для определения наиболее целесообразного варианта.

Дебиты вертикальной и горизонтальной скважин ГЦС теплоснабжения определялись при следующих исходных данных: глубина скважины $H=1850$ м; диаметр добычной и нагнетательной скважин $d_d=d_n=d=200$ мм; длина горизонтального участка скважины $a=80$ м; мощность пласта $b=100$ м; радиус области питания $R_k=2000$ м; проницаемость пласта вертикальная $k_v=3,5 \cdot 10^{-13}$ м²; проницаемость пласта горизонтальная $k_g=7,5 \cdot 10^{-13}$ м²; давление геотермальной воды в добычной скважине $p_1=0,8 \cdot 10^6$ Па; давление геотермальной воды на границе кругового контура питания $p_k=2,0 \cdot 10^6$ Па; давление нагнетания, создаваемое насосом, $p_n=2 \cdot 10^6$ Па; расстояние между добычной и нагнетательной скважинами $L=2000$ м (длина надземных трубопроводов); коэффициент гидравлического трения $\lambda=0,02$; динамическая вязкость воды $\mu=0,0004$ Па·с; плотность геотермальной воды $\rho=1017$ кг/м³; температура геотермального теплоносителя 64 °С. Допущения: физические параметры геотермального теплоносителя в расчетах принимались постоянными; пласт однородный; потери давления на местных сопротивлениях не учтены.

Для однородного пласта постоянной мощности дебит вертикальных, гидродинамически совершенных добычной и нагнетательной скважин будет равен [3]:

$$Q = \frac{\pi \cdot b \cdot k \cdot (p_n - p_d)}{\mu \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{d}}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (1)$$

Нижче приведена схема ГЦС теплоснабження с вертикальними скважинами.

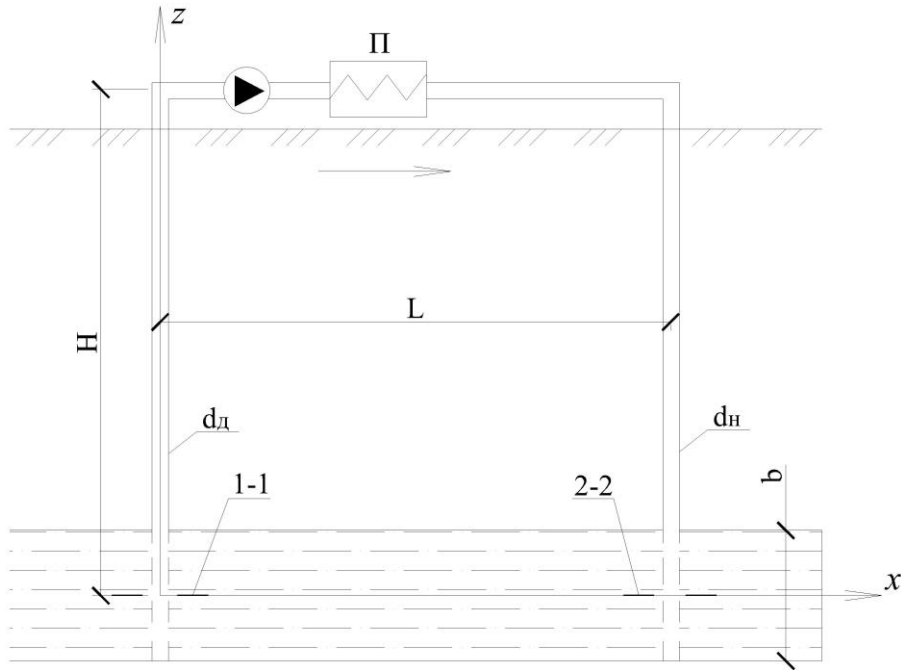


Рисунок 1 – Схема ГЦС теплоснабження с вертикальними скважинами

Решение уравнения Бернулли, уравнений неразрывности и фильтрационного движения в данном контуре между сечениями 1-1 и 2-2 представлено в виде системы уравнений (2), которая позволяет определить давление в нагнетательной скважине p_2 и дебит скважины Q с учетом фильтрационных потерь давления, потерь давления в трубопроводах и скважинах, давления, создаваемого насосом.

$$\begin{cases} p_2 - p_1 = p_n - (2H + L) \cdot \frac{8 \cdot Q^2 \cdot \rho \cdot \lambda}{\pi^2 \cdot d^5}; \\ Q = \frac{\pi \cdot b \cdot k \cdot (p_2 - p_1)}{\mu \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{d}}. \end{cases} \quad (2)$$

Рассмотрим конструкцию скважины, в которой забор воды из водоносного пласта осуществляется с горизонтального участка протяженностью a . К потребителю геотермальный теплоноситель движется в межтрубном пространстве, а нагнетается в пласт через внутреннюю вертикальную скважину (рис. 2).

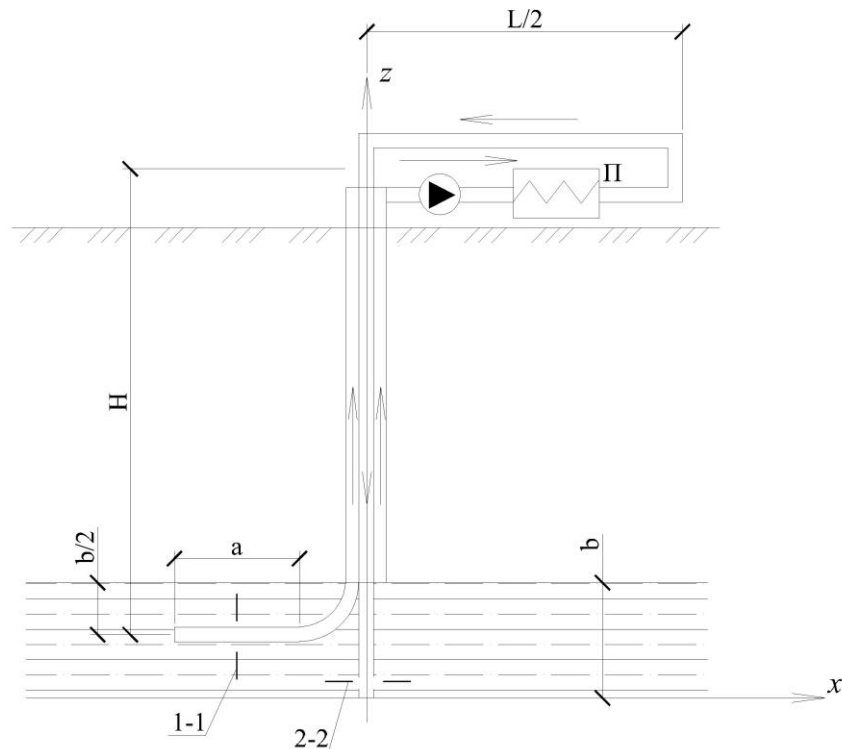


Рисунок 2 – Схема ГЦС теплоснабження с горизонтальною добычною скважиною

Для определения суммарного дебита геотермальной воды в одиночной горизонтальной скважине воспользуемся формулой Григулецкого [4]:

$$Q_h = \frac{2 \cdot \pi \cdot \beta \cdot b \cdot \Delta p \cdot \sqrt{k_h \cdot k_v}}{\mu \cdot B_0 \cdot \left[\ln \left(\frac{4 \cdot R_k}{L} \right) + \left(\frac{\beta \cdot h}{L} \right) \cdot \ln \left(\frac{\beta \cdot h}{\pi \cdot d_c} \right) \right]}, \quad (3)$$

где $\beta = \sqrt{k_h/k_v}$; Δp – перепад давлений между давлениями на границе кругового контура питания и на стенке скважины, Па; B_0 – пластовый объемный фактор геотермального теплоносителя; d_c – диаметр добычной скважины.

Уравнение Бернулли, составленное для сечений 1-1 и 2-2, имеет вид:

$$p_2 - p_1 = p_n + \frac{b \cdot g \cdot \rho}{2} - \frac{8 \cdot Q^2 \cdot \rho \cdot \lambda}{\pi^2} \cdot \left(\frac{a}{2} + L + H + \frac{b}{2} + \frac{H}{d_{\text{ЭКВ}}^5} \right), \quad (4)$$

где $d_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный диаметр кольцевого зазора добычной скважины, м (в расчетах $d_{\text{ЭКВ}} = 0,2$ м).

Для обеспечения притока к горизонтальной скважине геотермального теплоносителя с контура питания и сведения к минимуму вероятности перетока остывшей гео-

термальной воды с нижней части водоносного пласта в добычную скважину должно выполняться условие $p_k > p_2 > p_1$.

Основные результаты. В результате выполненных расчетов по уравнениям и формулам (1-3) были получены дебиты геотермальной воды для двух вариантов ГЦС – с вертикальной и горизонтальной добычными скважинами. Дебит вертикальной скважины составил 32,5 кг/с, горизонтальной скважины при длине горизонтального участка $a=80$ м – 94,6 кг/с. Таким образом, дебит горизонтальной скважины в 2,9 раза выше вертикальной для данных условий. Увеличение длины горизонтального участка позволяет увеличить дебит горизонтальной скважины.

Экономическая оценка целесообразности использования тепловой энергии геотермальных вод для теплоснабжения для обоих вариантов ГЦС теплоснабжения проводилась по показателю дисконтированного денежного потока, что соответствует современному подходу оценки экономической эффективности инвестиционных проектов. Особенностью ГЦС теплоснабжения с горизонтальной добычной скважиной является то, что для подачи геотермального теплоносителя потребителю и его возврата требуется бурение одной скважины с горизонтальным окончанием, где к потребителю геотермальная вода движется в межтрубном пространстве, а возвращается в водоносный горизонт по вертикальной колонне.

В результате охлаждения геотермальной воды от 64 °С до 35 °С при соотношении нагрузок у потребителя на отопление 78 %, на горячее водоснабжение 22 % при 100 % геотермальном теплоснабжении было рассчитано годовое потребление геотермальной тепловой энергии для двух вариантов: в случае вертикальной добычной скважины – 7207 ГДж/год, в случае горизонтальной скважины – 21271 ГДж/год.

Для расчета денежного потока по инвестиционному проекту были рассчитаны следующие показатели:

1) доходная часть проекта, которая состоит из валового дохода от реализации тепловой энергии;

2) расходная часть проекта состоит из следующих показателей:

а) налог на добавленную стоимость рассчитан согласно Закона Украины „О налоге на добавленную стоимость” (с изменениями и дополнениями на дату проведения расчетов) [5];

б) стоимость капиталовложений (строительство скважин, теплосетей, линий электропередач, насосы, теплообменники, сепараторы, арматура, фильтры, но др.) в случае вертикальной добычной скважины (рис. 1) составила 11 232,9 тыс. грн.; в случае горизонтальной добычной скважины – 11 674,7 тыс. грн. (рис. 2);

в) эксплуатационные расходы по статьям: расходы на оплату труда; отчисление на социальные мероприятия; расходы на электроэнергию; плата за пользование недрами, которая рассчитана по нормативу 0,1 грн./м³ (грн./т) согласно [6] с применением корректирующего коэффициента 1,439, внесенного Дополнением №1 к разделу II Закона Украины „О внесении изменений в некоторые законодательные акты Украины” [7]; расходы на текущее обслуживание и плановые ремонты (расходы масла на долив, замену, а также стоимость расходных материалов); стоимость капитальных ремонтов с периодичностью один раз на 5 лет; амортизация основных средств [8].

В результате проведенных экономических расчетов были определены значения накопительного дисконтированного свободного денежного потока по годам строительства и эксплуатации для обоих вариантов. Результаты отображены на графике (рис. 3).

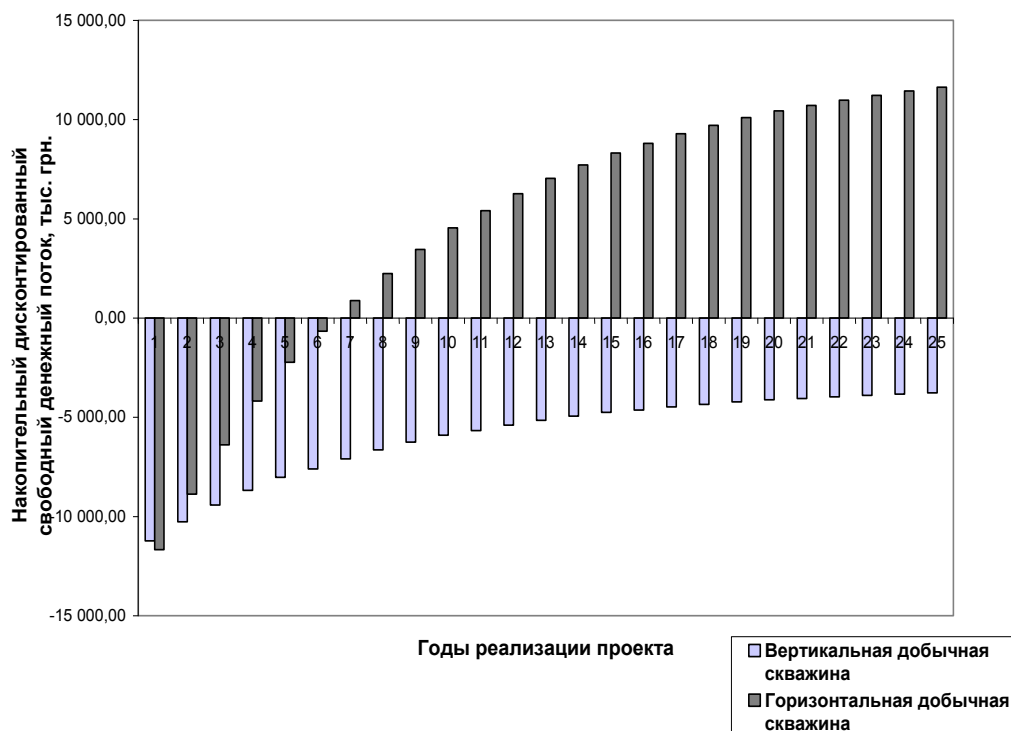


Рисунок 3 – Изменение накопительного дисконтированного свободного денежного потока по годам строительства и эксплуатации при использовании тепловой энергии геотермальных вод в ГЦС теплоснабжения с вертикальной и горизонтальной добычными скважинами

Согласно проведенным расчетам определена экономическая эффективность использования тепловой энергии пластовых вод в случае ГЦС теплоснабжения с горизонтальной добычной скважиной. Накопительный дисконтированный свободный денежный поток от реализации проекта за рассматриваемый период (25 лет) в отличие от варианта с вертикальной добычной скважиной имеет положительное значение на уровне 11630,6 тыс. грн., окупаемость капитальных вложений наблюдается на седьмом году от начала осуществления капитальных вложений (или на шестом году эксплуатации месторождения), что является принятым периодом.

Выводы. Таким образом, по результатам проведенных расчетов можно сделать вывод, что строительство ГЦС теплоснабжения с горизонтальной добычной скважиной приводит к увеличению дебита геотермального теплоносителя, следовательно, к увеличению количества тепловой энергии, а организация подачи геотермального теплоносителя к потребителю по межтрубному пространству и его возврата по внутренней вертикальной скважине позволяет уменьшить капитальные затраты на строительство. Принятые мероприятия в случае ГЦС с горизонтальной добычной скважиной позволяют улучшить экономические показатели использования тепловой энергии геотермальных вод сравнительно с вариантом ГЦС с вертикальной добычной скважиной.

Литература

1. Евченко В.С., Захарченко Н.П., Каган и др. Разработка нефтяных месторождений наклонно-направленными скважинами. – М.: «Недра», 1986, 278 с.

2. Булатов А.И. Проселков Ю.М., Шаманов С.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: Учеб. для вузов. – М.:ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 1007 с.: ил.

3. Щелкачев В.Н, Лапук Б.Б. Подземная гидравлика. – М.-Л.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1949.– 524 с.

4. Григулецкий В.Г. Основные допущения и точность формул для расчета дебита горизонтальных скважин // Нефтяное хозяйство. 1992. №12 – с. 5–6.

5. Закон України „Про податок на додану вартість” (Відомості Верховної Ради (ВВР), 1997, N 21, ст.156 із змінами і доповненнями.

6. Інструкція про порядок обчислення і справляння плати за користування надрами для видобування корисних копалин, затверджена наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України, Державної податкової адміністрації України, Державного комітету України по геології і використанню надр, Міністерства праці та соціальної політики України від 30 грудня 1997 р. № 207/472/51/157.

7. Закон України „Про внесення змін до деяких законодавчих актів України” від 28.12.2008 р. № 107-VI.

8. Закон України „Про оподаткування прибутку підприємств”, Відомості Верховної Ради (ВВР) 1995, N 4, ст. 28 із змінами і доповненнями на дату проведення розрахунків.

УДК 620.92:621.43.018+658.264

Редько А.О., Бугай В.С.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ І ВЕРТИКАЛЬНИМИ СВЕРДЛОВИНАМИ

Наведені техніко-економічні показники геотермальних циркуляційних систем (ГЦС) теплопостачання з вертикальною та горизонтальною видобувними свердловинами, їх порівняння. Розглянута ГЦС з горизонтальною видобувною свердловиною дозволяє покращити техніко-економічні показники у порівнянні з ГЦС з вертикальною видобувною свердловиною.

In this article technical and economic indicators of geothermal circulating systems (GCS) heat supplies with vertical and horizontal wells, their comparison. Considered GCS with horizontal well allows to improve technical and economic indicators compared with GCS with vertical well.