

А.А. Редько, В.С. Бугай

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

A.A. Redko, V.S. Bugay

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF GEOTHERMAL CIRCULATING HEAT SUPPLY SYSTEM

Обоснована актуальность задачи поиска оптимальных технологических и конструктивных параметров геотермальных циркуляционных систем (ГЦС) теплоснабжения. Определены и обоснованы критерии задачи технико-экономической оптимизации параметров ГЦС. Приведен пример решения задачи оптимизации с применением многоцелевого генетического алгоритма и выполнена оценка результатов с целью поиска решения, удовлетворяющего целевым функциям.

Ключевые слова: геотермальная циркуляционная система теплоснабжения, эксергия, капитальные затраты, эксплуатационные затраты, оптимизация

Постановка проблемы. С целью определения целесообразности строительства систем геотермального теплоснабжения, является необходимым разработать критерии, по которым на стадиях планирования и проектирования можно определиться с вариантом разработки геотермального месторождения, технологической схемой ГЦС теплоснабжения.

Естественно, что первоначально должны быть спрогнозированы запасы геотермальных ресурсов, определена конкурентоспособность с другими источниками энергии, выбраны участки строительства ГЦС, учтены потенциальные и перспективные потребители геотермальной тепловой энергии, потребность в пиковых догревателях, водоподготовке и другом технологическом оборудовании.

Задачи оптимального планирования, проектирования, управления ГЦС, совмещения с другими источниками энергии имеют большое значение на соответствующих стадиях освоения геотермального месторождения. Их решение позволяет обеспечить как техническую, так и экономическую эффективность работы ГЦС теплоснабжения.

ГЦС теплоснабжения сочетает в себе сложное взаимодействие природных, технических, экономических факторов, что требует оптимизации ее показателей и параметров.

Анализ исследований и публикаций. В работах Богуславского Э.И. [1, 2] по оптимизации параметров ГЦС упоминается, что решение задачи оптимизации требует определенного генерального критерия, в качестве которого приводятся приведенные затраты. Автор

указывает на то, что выбор доминирующего критерия оптимизации, экономического или ресурсного, зависит от типа задачи оптимизации.

В сегодняшних условиях как ресурсные (экономика топлива, электроэнергия, металлоемкость, расходы различного вида теплоносителей), так и экономические (рентабельность, накопительный денежный поток, срок окупаемости), а также критерии энергоэффективности тесно взаимосвязаны и должны учитываться при решении задач оптимизации одновременно. Взаимосвязь различных критериев объясняется тем, что они в итоге устанавливают себестоимость тепловой энергии, отпускаемой потребителю. Критерии энергоэффективности одновременно характеризуют техническую сторону ГЦС и отображают эксплуатационные затраты.

Цель исследований – нахождение оптимальных технологических и конструктивных параметров ГЦС теплоснабжения, обеспечивающих технико-экономическую эффективность системы.

Методика исследований. В качестве критерия энергоэффективности системы ГЦС теплоснабжения, отображающего термодинамическое совершенство какой-либо системы, принят эксергетический КПД, выраженный формулой:

$$\eta_e = \frac{E_{пол}}{E_{пл.} + E_n^s + E_n^l + E_{п.д.}}, \quad (1)$$

где полезная эксергия (выходной поток эксергии из ГЦС теплоснабжения), расходуемая для покрытия

тепловых нагрузок на системы отопления и горячего водоснабжения, записывается в виде:

$$E_{нол} = 3,6 \cdot 10^3 \left[\theta \left(Q_o^Г \tau_1 \varphi + Q_{о.ср}^{П.Д.} \tau_{П.Д.} \right) + 0,417 Q_{звс}^Г \cdot \left(1 - T_0 \frac{s_1 - s_0}{i_1 - i_0} \right) \tau_1 + 0,33 Q_{звс}^Г \left(1 - T_0' \frac{s_1 - s_0'}{i_1 - i_0'} \right) (8500 - \tau_1) \right], \text{кДж}; \quad (2)$$

$E_{нл}$ – эксергия пластовой геотермальной воды, кДж:

$$E_{нл} = 3,6 \cdot 10^3 \left[\frac{Q_o^Г}{c(T_{нл} - T_3)} [i_{нл} - i_0 - T_0(s_{нл} - s_0)] \tau_1 \varphi + \frac{0,417 Q_{звс}^Г}{c(T_{нл} - T_3)} [i_{нл} - i_0 - T_0(s_{нл} - s_0)] \tau_1 + \frac{0,33 \cdot Q_{звс}^Г}{c(T_{нл} - T_3)} [i_{нл} - i_0' - T_0'(s_{нл} - s_0')] (8500 - \tau_1) \right], \quad (3)$$

E_n^3 – эксергия нагнетательного насоса геотермального теплоносителя за отопительный период, кДж:

$$E_n^3 = \frac{\Delta P \cdot (\varphi Q_o^Г + 0,417 Q_{звс}^Г) \tau_1 \cdot 3,6}{c(T_{нл} - T_3) \cdot \rho_n \cdot \eta_n \cdot \eta_d}; \quad (4)$$

E_n^4 – эксергия нагнетательного насоса геотермального теплоносителя за неотопительный период, кДж:

$$E_n^4 = \frac{\Delta P \cdot 0,33 \cdot Q_{звс}^Г \cdot (8500 - \tau_1) \cdot 3,6}{c(T_{нл} - T_3) \cdot \rho_n \cdot \eta_n \cdot \eta_d}. \quad (5)$$

В формулах (2)–(5) приняты обозначения: $Q_o^Г$ – расчетная нагрузка на систему отопления, покрываемая геотермальной теплотой, кВт; $Q_{звс}^Г$ – расчетная нагрузка на горячее водоснабжение, покрываемая геотермальной теплотой, кВт; τ_1 – продолжительность отопительного периода, ч; $Q_{о.ср}^{П.Д.}$ – средняя за отопительный период нагрузка пикового догревателя, кВт; $\tau_{П.Д.}$ – время работы пикового догревателя, определяемое по годовому графику тепловых нагрузок и температурному графику, ч; φ – среднеотопительный коэффициент отпуска теплоты; t_B – температура воздуха в обслуживаемых помещениях, °С; $t_{H.CP.}$ – средняя за период работы систем отопления и вентиляции температура наружного воздуха, °С; t_H – расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления или вентиляции, °С; $\theta = \frac{t_B - t_{H.CP.}}{t_B}$ – эксергетическая температурная

функция для температуры отапливаемого помещения (в данной формуле температуры – в градусах Кель-

вина); T_0, T_0' – температура воды в сети водопровода соответственно в отопительный и неотопительный периоды, К; s_1, i_1 – энтропия, кДж/(кг·К), и энтальпия воды, кДж/кг, поступающей в систему горячего водоснабжения, кДж/(кг·К); s_0, i_0, s_0', i_0' – энтропия, кДж/(кг·К), и энтальпия, кДж/кг, воды в сети водопровода соответственно в отопительный и неотопительный периоды; $s_{нл}, i_{нл}$ – энтропия, кДж/(кг·К) и энтальпия, кДж/кг, пластовой геотермальной воды; ρ_n – плотность геотермальной воды в нагнетательной скважине, кг/м³; η_n – КПД насоса; η_d – КПД двигателя насоса; $\Delta P, \Delta P'$ – средние потери давления в ГЦС соответственно в отопительный и неотопительный периоды, Па, которые состоят из потерь давления в добычной и нагнетательной скважинах, надземном комплексе системы теплоснабжения и фильтрационных потерь давления в пласте; $E_{П.Д.}$ – эксергия пикового догревателя, работающего на газообразном топливе, за время работы в году, кДж, которую можно определить по формуле:

$$E_{П.Д.} = \frac{0,95 \cdot 3600 \cdot Q_p^e \cdot Q_{о.ср}^{П.Д.} \cdot \tau_{П.Д.}}{Q_p^h \cdot \eta},$$

где Q_p^e – высшая теплота сгорания газообразного топлива, кДж/м³; Q_p^h – низшая теплота сгорания газообразного топлива, кДж/м³; η – КПД пикового догревателя.

Наиболее дорогостоящими работами и капиталовложениями при строительстве ГЦС теплоснабжения являются бурение и обустройство скважин. Стоимость скважины зависит от многих факторов (категория крепости пород, назначение скважины, глубина), один из основных – диаметр. Наиболее удовлетворительное описание стоимости задается формулой [3]:

$$S_{ск} = S_{н0} \cdot 10^{ad-b},$$

где $S_{ск}$ – стоимость 1 м скважины с диаметром эксплуатационной колонны d ; $S_{н0}$ – стоимость бурения 1 м скважины с нормальным диаметром (0,146 м) эксплуатационной колонны для данной конкретной площади; a и b – постоянные коэффициенты.

Основные эксплуатационные затраты приходятся на электроэнергию.

Потребление электроэнергии за отопительный период:

$$N' = \frac{\Delta P \cdot (\varphi Q_o^Г + 0,417 Q_{звс}^Г) \tau_1}{c(T_{нл} - T_3) \cdot \rho_n \cdot \eta_n \cdot \eta_d \cdot 10^3}.$$

Потребление электроэнергии за неотопительный период:

$$N'' = \frac{\Delta P \cdot 0,33 \cdot Q_{звс}^Г \cdot (8500 - \tau_1)}{c(T_{нл} - T_3) \cdot \rho_n \cdot \eta_n \cdot \eta_d \cdot 10^3}.$$

Стоимость потребленной электроэнергии за год, грн

$$C = T \cdot (N' + N''),$$

где T – тариф на электроэнергию.

В качестве экономических критериев оптимизации были приняты удельные капитальные затраты и удельные эксплуатационные затраты со следующими допущениями:

1) так как в доле общих капиталовложений при строительстве ГЦС теплоснабжения основные затраты составляет стоимость обустройства эксплуатационных скважин, то ограничились данными затратами без стоимости коммуникаций и оборудования надземного комплекса; в свою очередь, стоимость скважин зависит от диаметра эксплуатационной колонны, являясь параметром оптимизации ГЦС;

2) затраты на электроэнергию, обусловленные работой нагнетательного насоса на нагнетательной скважине, являются основными эксплуатационными затратами, определяющими себестоимость тепловой энергии, отпускаемой потребителю; поэтому, приняв за критерий оптимизации удельные эксплуатационные затраты, ограничимся только лишь затратами на электроэнергию, так как доля остальных видов эксплуатационных затрат в себестоимости тепловой энергии сравнительно незначительна.

В постановке задачи экономические критерии оптимизации ГЦС теплоснабжения – удельные капитальные и эксплуатационные затраты – представлены формулами соответственно:

$$C_{ск}^{уд} = \frac{nS_{нд} \cdot 10^{ad_3-b} + S_{нд} \cdot 10^{ad_n-b}}{(Q_o^Г + Q_{гвс}^Г) \cdot 10^{-3}},$$

грн/(МВт установленной геотермальной мощности, где n – количество скважин;

$$C_{эксп}^{уд} = \frac{T \cdot (N' + N'') \cdot 10^3}{[Q_o^Г \cdot \varphi \cdot \tau_1 + 0,417Q_{гвс}^Г \cdot \tau_1 + 0,33 \cdot Q_{гвс}^Г \cdot (8500 - \tau_1)] \cdot 3,6},$$

грн/(ГДж геотермальной тепловой энергии).

В качестве параметров задачи оптимизации выступают приведенные ниже переменные: $Q_o^Г + Q_{гвс}^Г = (500; 1000; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000)$ кВт; $Q_{гвс}^Г/Q_o^Г = (0,5; 1; 1,5; 2)$; $d_n, d_o = (0,114; 0,127; 0,140; 0,153; 0,166; 0,179; 0,192; 0,205; 0,218; 0,231; 0,244; 0,257; 0,270; 0,283; 0,296; 0,309; 0,322; 0,335; 0,348; 0,361; 0,374; 0,387; 0,400; 0,413; 0,426)^1$; $1 \leq n \leq 6$ – количество добычных скважин; $Q_{о.ср}^{П.Д.} = 0,25 \dots 0,5 \dots 0,75 \dots 1 (\varphi Q_o^Г + 0,419 Q_{гвс}^Г)$.

Решаемая задача оптимизации ГЦС теплоснабжения сводится к нахождению максимума эксергетического коэффициента полезного действия:

$$\eta_e(Q_o^Г, Q_{гвс}^Г, d_n, d_o, n) = \frac{E_{пол}}{E_{нл} + E_n^3 + E_n^4 + E_{П.Д.}} \rightarrow max$$

При нахождении максимума эксергетического КПД системы капитальные и эксплуатационные затраты должны быть минимальны:

$$C_{ск}^{уд} \rightarrow min,$$

$$C_{эксп}^{уд} \rightarrow min.$$

Таким образом, задача трехкритериальной оптимизации заключается в нахождении максимума эксергетического КПД системы геотермального теплоснабжения η_e и минимума капитальных $C_{ск}^{уд}$ и эксплуатационных $C_{эксп}^{уд}$ затрат при ограничениях, накладываемых на изменяемые параметры.

Задача оптимизации конструктивных и технологических параметров ГЦС теплоснабжения представляет собой параметрическую оптимизацию – процедуру определения значений внутренних параметров проектируемого объекта заданной структуры, при которой достигается наилучшее сочетание его свойств [4, 5].

Для задач принятия решений (задач оптимизации) компонентами такой модели является множество X всех (альтернативных) решений, из которых и надлежит произвести выбор одного наилучшего или оптимального решения, и описание предпочтений лица, принимающего решение.

Вследствие многокритериальной природы задачи для осуществления процедуры оптимизации был выбран многоцелевой генетический алгоритм MOGA-II (Multi-Objective Genetic Algorithm II), который является улучшенной версией MOGA Poloni [6, 7]. В генетическом алгоритме используется эволюционный принцип выживания наиболее приспособленных особей [8, 9].

Результаты исследований. Задача многокритериальной технико-экономической оптимизации при указанных выше критериях и параметрах оптимизации выполнена для следующих исходных данных (климатические условия г. Джанкой АР Крым, гидрогеологические свойства водоносного пласта взяты для Северо-Сивашского геотермального месторождения по скважинам №39Т и №40Т [10]): $\tau_1 = 3840$ ч, $\tau_{П.Д.} = 542$ ч, $t_B = 20^\circ\text{C}$ (293,15 К), $t_{н.ср.} = 1,5^\circ\text{C}$ (274,15 К), $t_{н.} = -17^\circ\text{C}$ (256,15 К), $T_{нл} = 64^\circ\text{C}$, $T_3 = 25^\circ\text{C}$, $T_o = 278,15^\circ\text{C}$, $T_o' = 288,15^\circ\text{C}$, $s_1 = 0,7679$ кДж/(кг·К), $i_1 = 230,4$ кДж/кг, $s_o = 0,0763$ кДж/(кг·К), $i_o = 21,118$ кДж/кг, $s_o' = 0,2245$ кДж/(кг·К), $H = 1850$ м, $i_o' = 63,08$ кДж/кг, $s_{нл} = 0,8809$ кДж/(кг·К), $h = 34$ м, $i_{нл} = 268,264$ кДж/кг, $\rho_n = 1025$ кг/м³, $\rho_o = 1017$ кг/м³, $\eta_n = 0,7$, $\eta_o = 0,9$, $\lambda = 0,02$, $k = 2,04 \cdot 10^{-14}$ м², $\mu = 4,4 \cdot 10^{-4}$ Па·с.

В результате решения задачи оптимизации по вышеприведенным данным были получены особи, конструктивные и технологические параметры ГЦС теплоснабжения, оптимальные по Парето с наибольшими значениями функций приспособленности, которыми являются целевые функции оптимизации.

¹ Величины диаметров были изменены для получения постоянного шага между ними (0,013 м).

На графиках (рис. 1) отображены значения трех целевых функций по оптимальным решениям задачи оптимизации ГЦС теплоснабжения.

Каждый центр пузырька (далее – точка) на графике представляет оптимальное решение задачи (их совокупность – множество решений), по кото-

рому можно определить соответствующие значения критериев оптимизации (для удельных эксплуатационных затрат – по диаметру пузырька). Каждая точка на графике содержит паспорт технологических и конструктивных параметров ГЦС теплоснабжения.

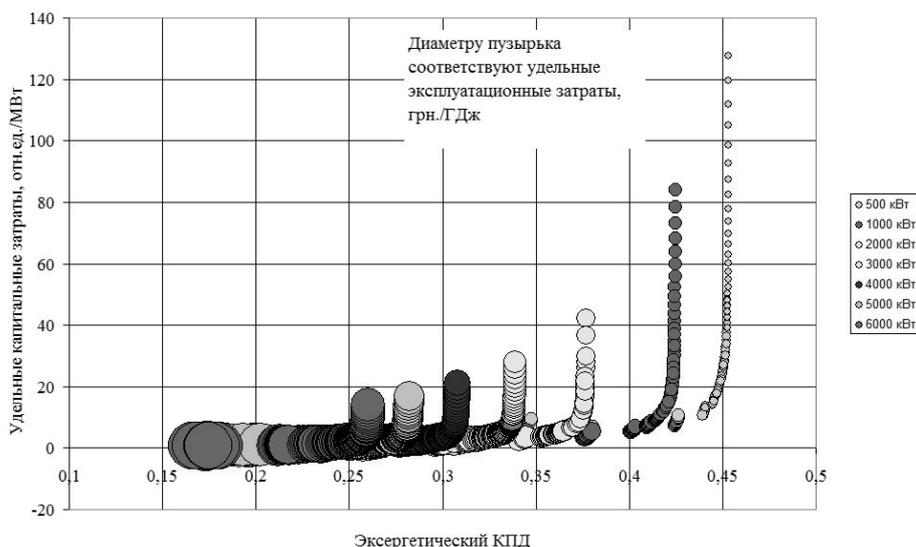


Рис. 1. Графики оценки оптимальных решений технико-экономической оптимизации ГЦС теплоснабжения

Характер изменения графиков одинаковый. При этом следует отметить те решения, которые находятся в области излома. В этих зонах решения оптимизации имеют близкий к максимальному эксергетический КПД. Стремление достичь максимального эксергетического КПД показывает, что при сравнительно равных эксплуатационных затратах резко возрастают удельные капитальные затраты. Необходимо отметить, что с ростом тепловой нагрузки, и соответственно, необходимым дебитом геотермальных скважин, наблюдается снижение эксергетического КПД. В области от минимальных эксергетических КПД до зоны излома на графиках оптимальным вариантам соответствуют минимальные значения удельных капитальных затрат, при этом удельные эксплуатационные затраты значительны.

Рассмотрим влияние параметров оптимизации на критерии для выбранных эффективных решений.

Согласно результатам расчетов было определено, что эффективным решениям соответствует соотношение между тепловыми нагрузками на горячее водоснабжение и отопление $Q_{гвс}^Г/Q_o^Г = 2$, то есть, чем большая часть геотермальной теплоты расходуется на покрытие тепловой нагрузки на систему горячего водоснабжения сравнительно с той частью теплоты, которая расходуется на систему отопления, тем выше значение эксергетического КПД. Это объясняется частично тем, что при нахождении выходных потоков эксергии, значений эксергии систем отопления и горячего водоснабжения, контрольной поверхности системы горячего водоснабжения соответствует температура выше, чем для системы отопления, а также разностью температур нагревае-

мых сред. Таким образом, соотношение $Q_{гвс}^Г/Q_o^Г = 2$ обеспечивает сравнительно высокие термодинамические показатели системы ГЦС теплоснабжения, обеспечивая при этом приемлемые значения удельных эксплуатационных и капитальных затрат.

Также оптимальным и эффективным решениям по ГЦС теплоснабжения соответствует минимальная доля пикового догрева в суммарной установленной тепловой мощности системы. Пиковый догрев при низких температурах геотермальных вод необходим, так как температурного потенциала геотермальных вод может оказаться недостаточно, чтобы обеспечить требуемые температуры теплоносителя системы отопления в соответствии с температурным графиком. Варианты, отобранные для рассмотрения в качестве наиболее эффективных, имеют значение эксергетического КПД близкое к максимальному из возможных, отличаясь между собой на 0,01–0,03. Значения удельных капитальных и эксплуатационных затрат при этом отличаются в более широком диапазоне.

На рис. 2 отображен характер изменения удельных эксплуатационных и капитальных затрат при разном количестве добычных скважин в диапазоне тепловых нагрузок от 0,5 до 6,0 МВт для эффективных решений (удельным капитальным затратам соответствует диаметр пузырька).

По графикам достаточно удобно оценить наиболее приемлемые варианты разработки геотермального месторождения по количеству скважин в зависимости от заданной тепловой нагрузки, минимизируя при этом экономические критерии оптимизации.

Например, для тепловой геотермальной мощности 0,5 МВт наиболее приемлемыми будут варианты разработки геотермального месторождения с одной,

максимум – двумя добычными скважинами, которые обеспечат достаточно высокий эксергетический КПД (до 44%), удельные капитальные затраты будут минимальными, а удельные эксплуатационные затраты будут незначительно отличаться от других вариантов с большим количеством скважин. При возрастании количества добычных скважин, со значительно большим темпом увеличиваются удельные капитальные затраты, нежели уменьшаются удельные эксплуатационные.

Ограничиться выбором количества добычных скважин, исходя только из решения задачи оптимизации ГЦС теплоснабжения, нельзя, так как на выбор количества скважин и возможность их обустройства влияют рельефные условия над геотермальным месторождением, его форма, размеры, геологические условия бурения в той или иной точке. Ограничить выбор наиболее эффективных решений можно, применив ограничения на сами критерии и параметры оптимизации для каждого конкретного случая.

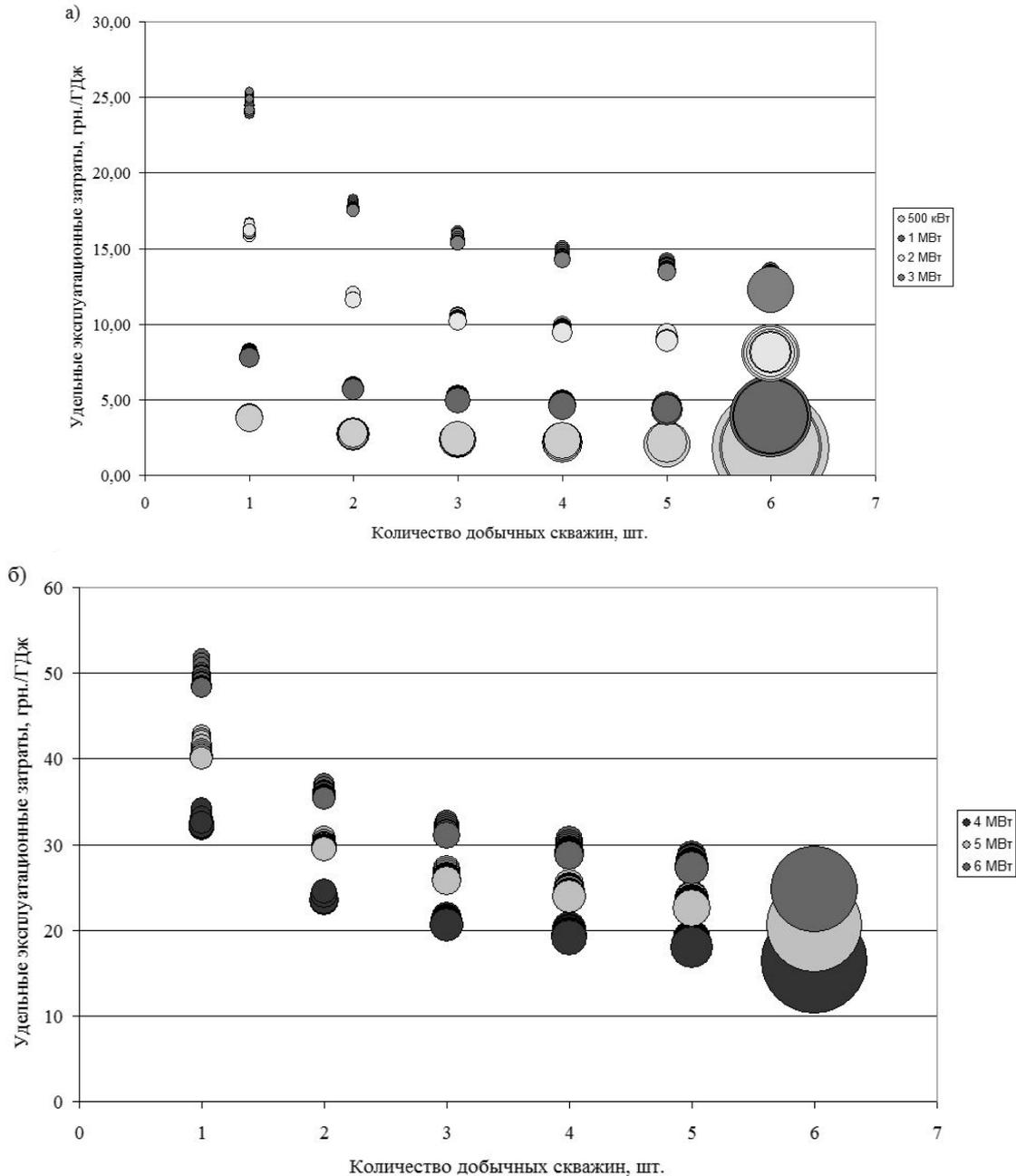
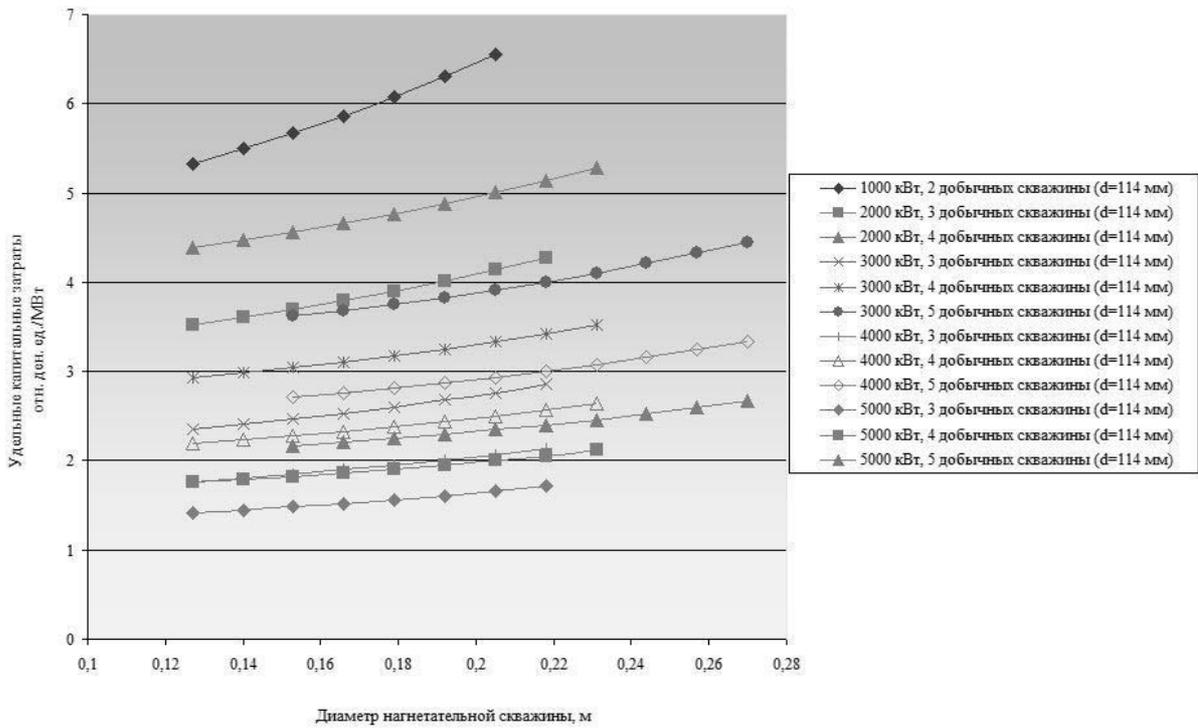
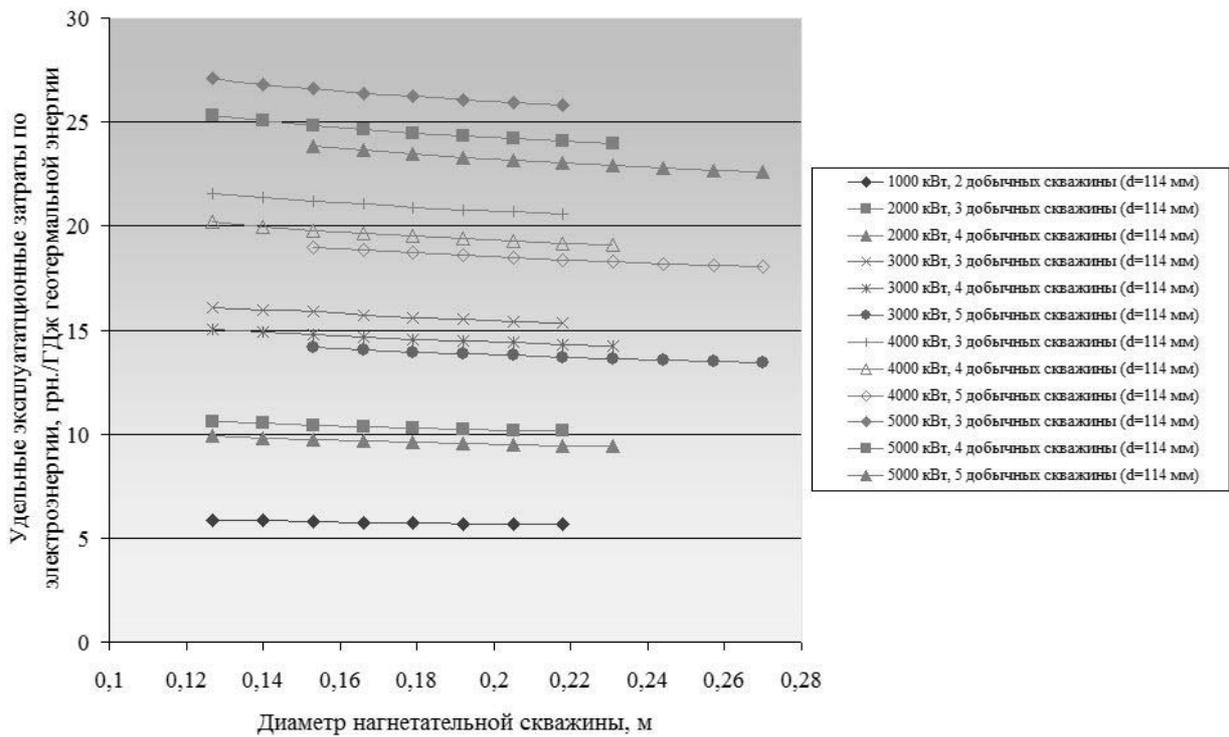


Рис. 2. Изменение удельных эксплуатационных и капитальных затрат при разном количестве добычных скважин в диапазоне тепловых нагрузок (диаметру пузырька соответствуют удельные капитальные затраты): а – от 0,5 до 3,0 МВт; б – от 4,0 до 6,0 МВт (для эффективных решений)



а



б

Рис. 3. Графики изменения удельных капитальных (а) и эксплуатационных (б) затрат от количества добычных скважин, диаметра нагнетательной скважины и геотермальной тепловой мощности

Более точные оценки эффективных решений по ГЦС теплоснабжения с целью выбора наиболее приемлемого для заказчика можно выполнить по графикам на рис. 3.

Из графиков и результатов расчетов следует, что при тепловых геотермальных мощностях более

1,0 МВт и количестве добычных скважин две и более, оптимальный диаметр эксплуатационной колонны составляет 114 мм.

Для выбранных эффективных решений на рис. 2 (из оптимальных по Парето) явно по графикам рис. 3 можно определить, что увеличение диаметра нагнетатель-

ной скважины в меньшей степени отражается на уменьшении удельных эксплуатационных затрат, в отличие от соответствующего прироста удельных капитальных затрат. Данные графики позволяют пользователю выполнить оценку параметров и целевых функций и ограничиться весьма узким диапазоном решений или одним эффективным.

Выводы. Таким образом, решаемая многокритериальная задача оптимизации ГЦС теплоснабжения позволяет для каждой заданной тепловой нагрузки на стадии технико-экономического обоснования, проектирования определить оптимальные решения с заданными ограничениями. Исследование оптимальной области решений дает возможность определить конструктивные и технологические параметры ГЦС теплоснабжения, обеспечивающие энерго-экономическую эффективность системы.

Список литературы

1. Богуславский Э.И. Технико-экономическая оценка освоения тепловых ресурсов недр / Э.И. Богуславский. – Л.: ЛГИ, 1984. – 267 с.
2. Богуславский Э.И. Экономико-математическое моделирование геотермальных циркуляционных систем / Э.И. Богуславский. – Л.: ЛГИ, 1981.
3. Проблемы геотермальной энергетики Дагестана / Под ред. Х.И. Амирханова, С.Н. Ятрова. – М.: Недр, 1980. – 208 с.
4. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 255 с.
5. Ногин В.Д. Использование количественной информации об относительной важности критериев в принятии решений / В.Д. Ногин // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 2000. – № 2. – С. 89–93.
6. Poloni C. GA coupled with computationally expensive simulations: tools to improve efficiency / C. Poloni, V. Pediroda // Genetic Algorithms and Evolution Strategies in Engineering and Computer Science. – 1997. – P. 267–288.
7. Hybridization of a multi-objective genetic algorithm, a neural network and a classical optimizer for a complex design problem in fluid dynamics / C. Poloni, A. Giurgevich, L. Onesti, V. Pediroda // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 2000. – Vol. 186. – P. 403–420.
8. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия–Телеком, 2006. – 452 с.
9. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. – Х.: ОСНОВА, 1997. – 112 с.
10. Когенерационная установка на основе геотермальных теплоносителей Долинский А.А., Шурчков А.В., Резакова Т.А., Горохов М.И. // Промышленная теплотехника – 2005. – Т.27, №1 – С. 73–78.

Обґрунтована актуальність задачі пошуку оптимальних технологічних та конструктивних параметрів геотермальних циркуляційних систем (ГЦС) теплопостачання. Визначено й обґрунтовано критерії задачі техніко-економічної оптимізації параметрів ГЦС. Наведено приклад розв'язку задачі оптимізації із застосуванням багатощільового генетичного алгоритму та виконана оцінка результатів з метою пошуку оптимального рішення, що задовольняє цільовим функціям.

Ключові слова: геотермальна циркуляційна система теплопостачання, ексергія, капітальні витрати, експлуатаційні витрати, оптимізація

Urgency of the search problem of optimum technological and design data of heat supply geothermal circulating systems (GCS) has been proved. Criteria of technical and economic optimization problem of GCS parameters has been defined and proved. An example of solution of optimization problem with application of multi-purpose genetic algorithm has been represented and estimation of results has been performed to find out the solution which can satisfy objective functions.

Keywords: geothermal circulating heat supply system, exergy, capital expenses, operational expenses, optimization

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Кузьменком 19.04.10

Вийшла друком монографія

Долгова Т.И.

Словарь-справочник по экологической безопасности. Термины и определения

Д.: Национальный горный университет, 2010. – Т. 1. – 252 с.

Объяснены основные термины и определения, используемые при решении проблем экологической безопасности, их количественной оценки, а также мониторинга экологически опасных систем различного характера, их нормирования, системного анализа, прогноза и минимизации воздействия. Словарь-справочник рассчитан на широкий круг научных работников, специалистов, преподавателей, молодых ученых и студентов. Может быть использован как дополнение к курсам „Экологическая безопасность“, „Техногенная безопасность“, „Экологическая безопасность почв в горнодобывающих районах“, „Мониторинг и охрана земель“, „Промышленная экология“, „Рекультивация земель“ и др.