

УДК 662.997

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПЕРЕМЕННЫХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕТРОТЕРМАЛЬНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Агафонов А.Р. (ИТМО)

Научный руководитель - к.т.н., доцент Рахманов Ю.А. (ИТМО)

Введение. В связи с общемировой задачей по снижению выбросов CO₂ в атмосферу и борьбой с глобальным потеплением, альтернативные источники энергии привлекают все большее внимание исследователей, политиков и бизнеса. Геотермальные источники энергии несмотря на то, что составляют на сегодняшний день лишь небольшую часть от всей вырабатываемой возобновляемой энергии, благодаря развитию технологий могут быть выгодными, а также иметь большой срок эксплуатации. Для того чтобы повысить эффективность и экономическую привлекательность геотермальной энергии, в частности петротермальных (сооружаемых в искусственно создаваемых коллекторах сухих горячих пород) циркуляционных систем (ПЦС), необходимо комплексное исследование новейших технологий, их интеграции в процесс проектирования ПЦС, а также выбор параметров строительства и эксплуатации этих систем.

При проектировании ПЦС необходимо учитывать влияние управляющих переменных на эффективность выработки электрической энергии. В качестве основных изменяемых параметров были выбраны расстояние между нагнетающей и добывающей скважинами в петротермальном пласте, температура теплоносителя при входе в пласт и диаметр скважины, которые могут быть изменены при проектировании ПЦС. Показателями эффективности являлись вырабатываемая мощность ГеоТЭС за вычетом собственных нужд N и срок эксплуатации петротермального коллектора τ , определяющий срок службы геотермальной электростанции (ГеоТЭС).

Основная часть. В качестве примера была рассмотрена ГеоТЭС со следующими параметрами [1]: глубина залегания коллектора $H = 4500$ м, температура пород коллектора $t_{нк} = 190$ °С, температура теплоносителя на выходе из коллектора $t_2 = 180$ °С, плотность теплоносителя на входе в коллектор $\rho_x = 983,2$ кг/м³, пластовое давление $P_{пл} = 51$ МПа, теплопроизводительность коллектора $Q = 120$ ГДж/ч. В качестве базовых для сравнения были выбраны следующие управляющие переменные: расстояние между забоями скважин $l = 600$ м, температура теплоносителя на входе в коллектор $t_x = 60$ °С и диаметр скважины $d_c = 0,238$ м.

Использовалась методика расчета ГеоТЭС, приведенная в работе [2]. Контрольный (отладочный) расчет по эмпирическим зависимостям является незаменимым средством при оценке общей эффективности и оптимизации параметров ПЦС. Этот расчет помогает найти наилучшее сочетание управляющих переменных для проектируемой системы.

В ходе исследования влияния параметров было установлено, что при базовых значениях трех указанных параметров срок эксплуатации коллектора был равен 29,6 лет, а мощность ГеоТЭС за вычетом собственных нужд - 7452,5 кВт.

В качестве исследуемых были выбраны следующие значения управляющих переменных. Для расстояния между скважинами - 200, 300, 400, 500, 700, 800 м. Для температуры теплоносителя на входе в коллектор - 20, 30, 40, 50, 70, 80, 90, 100 °С. Наконец, для диаметра скважины - 0,114, 0,14, 0,168, 0,194, 0,273, 0,299, 0,34, 0,377 м, согласно ГОСТ 632-80 [3].

В результате моделирования с использованием средств анализа MS Excel (графический метод решения уравнений и аппроксимация) были получены следующие эмпирические зависимости:

- обратная зависимость мощности ГеоТЭС N (кВт) от расстояния между скважинами l (м) в виде логарифмической функции при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 1$;
- прямая зависимость срока службы τ (лет) от расстояния между скважинами l (м) в виде полиномиальной функции второй степени при $R^2 = 1$;
- прямая зависимость мощности ГеоТЭС N (кВт) от температуры теплоносителя t_x ($^{\circ}\text{C}$) в виде полиномиальной функции второй степени с $R^2 = 0,9999$;
- обратная зависимость срока службы τ (лет) от температуры теплоносителя t_x ($^{\circ}\text{C}$) в виде экспоненциальной функции при $R^2 = 0,9999$;
- прямая зависимость мощности ГеоТЭС N (кВт) от диаметра скважины d_c (м) в виде полиномиальной функции четвертой степени с $R^2 = 0,9999$.
- для зависимости срока службы τ (лет) от диаметра скважины d_c (м) в виде обратной полиномиальной функции пятой степени при $R^2 = 0,9994$.

При этом следует уточнить, что при исследовании потребовалось изменение значений теплопроизводительности коллектора для того, чтобы выбрать необходимый расход теплоносителя по условию недопущения превышения давления вскипания на устье и мгновенного испарения теплоносителя, что может привести к снижению эффективности системы. Для зависимости максимального значения теплопроизводительности коллектора от диаметра скважины получена прямая зависимость Q_{max} (ГДж/ч) от d_c (м) при $R^2 = 0,9997$.

Выводы. Исходя из проведенного анализа можно сделать следующие выводы. Во-первых, с ростом расстояния между скважинами срок службы коллектора растет, а мощность ГеоТЭС падает. Во-вторых, с ростом температуры теплоносителя на входе в коллектор мощность ГеоТЭС растет, а срок службы падает. В-третьих, увеличение диаметра скважины приводит к увеличению мощности (при условии повышения теплопроизводительности коллектора по условию давления вскипания на устье) и снижению срока службы. На полученные зависимости, однако, может иметь большое влияние географическое расположение системы.

Полученные результаты могут быть полезны на этапе проектирования, а также при управлении режимом ПЭС на этапе эксплуатации. Дальнейшие исследования могут быть посвящены нахождению зависимостей между управляемыми переменными и экономической эффективностью ГеоТЭС, а также нахождению оптимальных параметров средствами инженерных вычислений для конкретного места перспективного строительства.

Список литературы.

1. Tianyu Li, Sogo Shiozawa, Mark W. McClure. Thermal breakthrough calculations to optimize design of a multiple-stage Enhanced Geothermal System // *Geothermics*. – 2016. - № 64. – С. 455–465.
2. Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр. Монография // СПб.: Научное издание. – 2020. – 435 с.
3. ГОСТ 632 – 80. Трубы обсадные и муфты к ним технические условия // М.: Стандартинформ. – 2010. – 51 с.

Автор: _____ Агафонов А.Р.

Научный руководитель: _____ Рахманов Ю.А.