УДК 550.36:622.323

Э.И.БОГУСЛАВСКИЙ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЙ ИНВЕСТИЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

На базе экономико-математических моделей (ЭММ) выполнена сопоставительная оценка влияния главных природных факторов на конструктивные, технологические, эксергетические и экономические параметры и показатели работы систем геотермального теплоснабжения (СГТ). Она позволила создать и рекомендовать новую экспресс-методику их расчета на территории России. Созданные методики ЭММ и экспрессного анализа могут обеспечить первые стадии проектирования СГТ и, в частности, обоснования инвестиций и разработку бизнес-планов. Приведены примеры для перспективных регионов России.

The compared estimation, fulfilled on the base of EMM, of main natural factors that have influence on the constructive, technological, electrical as well as economic and work parameters of HSS allowed to create a new express method of their computing for the conditions of Russia. The created techniques EMM and express analysis can ensure the first stages of designing of a HSS and, in particular: substantiation's of the investments and development of the business-plans. The examples for perspective regions of Russia are given.

Поиск альтернативы органическому топливу, сжигаемому в теплоцентралях, ведется уже длительное время. Использование низкотемпературных источников геотермальной энергии для теплоснабжения регионов России – одно из главных направлений в решении этой проблемы в XXI веке. Это подтверждается определенными преимуществами геотермальных ресурсов, разработанностью научных основ их освоения, мировым промышленным опытом и спецификой систем теплоснабжения в стране.

Использование тепловой энергии недр в районах России существенно стимулируют специфические особенности их теплоснабжения: высокая степень централизации систем теплоснабжения в городах и рабочих поселках; большой срок эксплуатации и почти полная изношенность тепловых сетей; дефицит и трудности доставки органического топлива к потребителям; компактность проживания населения в городах и даже в сельской местности.

Многообразие геолого-геотермических условий продуктивных горизонтов характеризует природные условия строительства СГТ, а широкий спектр тепловых нагрузок, температурных режимов потребителей и расстояний транспортировки теплоносителя – директивные требования пользователя. В общей сложности на конструктивные и технологические параметры СГТ оказывает влияние около 150 факторов. Поэтому адекватная оценка целесообразности освоения геотермальных ресурсов возможна только на оптимальном уровне определения параметров и показателей таких станций. Кроме того, существенное значение имеет анализ воздействия названных условий и требований на параметры СГТ, эксергетические и экономические показатели ее работы.

Решение этой задачи возможно на базе экономико-математического моделирования строительства и эксплуатации СГТ. В целях системной оптимизации СГТ в 1971 г. автором была разработана первая экономико-математическая модель и к настоящему времени создана группа моделей, имитирующих функционирование геотермальных установок при различных технологиях добычи теплоты недр и разных целях ее использования. На базе такой модели СГТ,

ISSN 0135-3500. Записки Горного института. Т.156

включающей геотермальную циркуляционную систему (ГЦС) с естественным коллектором и теплонасосную установку (ТНУ), выполнены оптимизационные расчеты для различных геолого-геотермических и теплоэнергетических условий центральных областей России.

В качестве генерального критерия при оптимизации СГТ использовалась чистая текущая стоимость (net present value – NPV). Оценочными критериями выбраны: инвестиции, себестоимость отпуска тепловой энергии в сеть, экономия органического топлива (природного газа) и коэффициент экономической целесообразности.

Разработана компьютерная методика расчета и оптимизации бизнес-плана на базе ЭММ геотермальных систем с естественными коллекторами. Предполагается, что она позволяет предложить заказчику для конкретных природных условий конструктивные, технологические и экономические параметры и показатели СГТ, оптимальные не по усредненным и поэтому достаточно абстрактным критериям, а с учетом конкретного финансового сценария реализации проекта, в котором выражены взаимные интересы и обязательства инвесторов и потребителей.

Геолого-геотермические условия являются определяющими при технико-экономических оценках освоения геотермальных ресурсов. В принятой методике используется 14 факторов этой группы. Как показал длительный опыт и проведенные исследования, наиболее существенное влияние на параметры и показатели СГТ оказывают пять из них: глубина залегания продуктивного пласта, его температура, эффективная мощность, проницаемость и пластовое давление.

Для составления бизнес-планов, инвестиционных проектов и других предпроектных обоснований важно иметь уравнения для экспресс-расчетов оптимальной теплопроизводительности СГТ. Такую возможность предоставляет выполненная аппроксимация результатов экономико-математического моделирования:

$$Q = -aH^3 + bH^2 - cH + d,$$

$$a = 1{,}6 \cdot 10^{-4} t^{2{,}295};$$

$$b = 7{,}1 \cdot 10^{-3} t^2 - 0{,}38t + 7{,}269;$$

$$c = 12{,}5 \cdot 10^{-3} t^2 - 0{,}698t + 16{,}232;$$

$$d = 1{,}846t - 37{,}8.$$

Здесь и далее a, b, c, d – численные коэффициенты; H – глубина залегания естественного коллектора, км; t – температура пласта, °С.

Для выбора оборудования СГТ необходимо укрупненно оценивать гидродинамические параметры системы. Удельный дебит добычной скважины по данным экономико-математического моделирования практически не зависит от глубины естественного коллектора, но существенно снижается с ростом его температуры. Экспресс-расчет может быть проведен по формуле

$$W_{ud} = 342{,}34t^{-1{,}048}.$$

Удельное давление нагнетания и откачки (погружным насосом) снижается с ростом температуры пласта и глубины его залегания. Повышение дебита скважин для обеспечения роста теплопроизводительности СГТ ведет к увеличению потерь напора в контурах СГТ и должно контролироваться возможностями существующих типоразмеров нагнетательных и погружных насосов. Расчеты удельного давления нагнетания и откачки могут укрупненно проводиться по формуле

$$P_{sp} = at^b;$$

$$a = 99{,}15\,\mathrm{e}^{0{,}857H}; \quad b = -0{,}46H^{0{,}5}.$$

Годовая экономия органического топлива при замене котельной модулем СГТ, в зависимости от температуры пласта и глубины его залегания, может определяться по аппроксимированным уравнениям

$$T_{ec} = At^b;$$

$$a = 5{,}13 \cdot 10^{-5} \exp(0{,}254H); \; b = -0{,}119H + 4{,}4.$$

Удельный расход электроэнергии на выработку теплоты слабо зависит от глубины залегания пласта и линейно связан с его температурой. Теплонасосная установка

расходует до 80 % от затрат электроэнергии на собственные нужды СГТ:

$$Y_{\text{СГТ}} = -0{,}775t + 138{,}4;$$

$$Y_{\text{ТНУ}} = -0{,}573t + 113{,}7;$$

$$Y_{\text{ГЦС}} = -0{,}199t + 24{,}7.$$

Капиталовложения на строительство оптимального модуля СГТ существенно зависят от глубины, а при малых глубинах несущественно от температуры пласта. Возможность экспресс-расчета инвестиций трудно переоценить. Укрупненные расчеты потребностей в капиталовложениях (тыс.дол./(ГДж/ч) с допустимым приближением к результатам ЭММ определяют по формуле

$$K_{\text{уд.СГТ}} = at^2 - bt + c;$$

$$a = -0{,}00317H^3 + 0{,}016H^2 + 0{,}0127H - 0{,}0052;$$

$$b = 4{,}13H - 1{,}634;$$

$$c = 27{,}29H^3 - 164{,}04H^2 + 431{,}96H - 175{,}94.$$

Генеральный критерий экономической целесообразности – NPV определяет границы возможного строительства СГТ для теплоснабжения жилых массивов, промышленности и сельского хозяйства. При глубинах залегания пластов более 3 км, и температурах ниже 60 °С, экономическая деятельность СГТ носит отрицательный результат. То же происходит при глубинах залегания пластов более 2 км и температурах 30-40 °С. Определить NPV можно по уравнениям, обеспечивающим результаты, адекватные ЭММ:

$$NPV_{\text{уд}} = a\ln(t) - b;$$

$$a = 6{,}027H^3 - 33{,}5H^2 + 60{,}81H - 7{,}21;$$

$$b = 24{,}6H^3 - 135{,}1H^2 + 249{,}3H - 60{,}9.$$

Для разработки предпроектных документов: инвестиционных проектов, бизнес-планов и др. необходима информация по укрупненным, но достаточно достоверным параметрам и показателям строительства и эксплуатации СГТ. По заказам или просьбам администраций районов, руководителей промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных предприятий на базе ЭММ были определены технологические, технические, энергетические и экономические параметры и показатели СГТ.

Выводы

1. Освоение низкотемпературных термоводоносных горизонтов на значительной территории России технически возможно и экономически целесообразно.

2. Масштабы добычи и использования экологически чистой геотермальной энергии в XXI в. должны обеспечить ее значимую роль в топливно-энергетическом балансе России.

3. Выполненная сопоставительная оценка влияния главных природных факторов на конструктивные, технологические, энергетические и экономические параметры и показатели работы СГТ позволила создать и рекомендовать новую экспресс-методику их расчета на территории России.

4. Широкий диапазон целесообразной теплопроизводительности модуля, конкурентоспособные параметры и показатели СГТ дают возможность использовать низкотемпературную геотермальную энергию для потребителей на значительной части территории, обеспеченной геотермальными ресурсами.

5. Рассмотренные примеры параметров и показателей СГТ в различных регионах России и для разных требований заказчиков позволяют оценить конкретные характеристики геотермальных установок.