

**Григорьев Сергей Владимирович**

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

**Беккер Владимир Викторович**

аспирант

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет

«Московский энергетический институт»

г. Москва

## **ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛУБИННОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НЕДР ЗЕМЛИ**

***Аннотация:** в работе рассматриваются вопросы энергоснабжения удаленных и обособленных потребителей. Приведен анализ способов извлечения петротермальной тепловой энергии недр Земли. Выполнено обобщение существующих экспериментальных данных по исследованию процесса захлаживания околоскважинных пород недр Земли в геотермальных системах отопления.*

***Ключевые слова:** петротермальная энергия, захлаживание пород недр, геотермальная энергия, возобновляемые источники энергии, автономные потребители, грунтовая циркуляционная система, геотермический градиент, стабильность геотермальной системы, теплонасосная установка.*

Решение проблемы тепло- и электроснабжения удаленных и обособленных потребителей на сегодняшний день является актуальной задачей. Известно, что решение проблемы энергоснабжения такого рода потребителей традиционными способами (на основе дизельных электрических станций) малоэффективно и экономически не выгодно. Необходима разработка и внедрение автономных источников на базе местных энергетических ресурсов – возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Большинству нетрадиционных источников энергии (энергия солнца, ветряная энергия, энергия приливов и малых рек, энергия биомассы) присущи такие

недостатки, как существенная неравномерность потенциала источников на территории России и рассеянность энергии в окружающей среде. Перечисленных недостатков лишена петротермальная (глубинная) энергия, заключенная в твердых породах недр, доступная повсеместно и не зависящая от климатических и географических факторов. На сегодняшний день в мире для извлечения петротермальных ресурсов используется два варианта систем извлечения и транспортировки теплоты недр:

- открытый способ извлечения тепловой энергии недр Земли широко применяется в странах США и Европы [4]. Данный способ заключается в бурении нескольких нагнетательных и подъемных скважин, соединенных проницаемым для воды объемом пород недр Земли на различной глубине с необходимым температурным потенциалом [2];

- закрытый способ извлечения тепловой энергии недр Земли [6] (представляет собой однокважинную систему съема в виде теплообменника типа «труба в трубе» [3]). В этом случае циркуляция теплоносителя осуществляется по замкнутому контуру в трубном и межтрубном пространстве однокважинного теплообменника.

Неоспоримым преимуществом однокважинного способа съема глубинной тепловой энергии недр является отсутствие контакта теплоносителя с породами недр Земли, вследствие чего исключается загрязнение и минерализация теплоносителя и, как следствие, повышается эксплуатационный ресурс системы съема. Однако при этом у однокважинной системы съема существует недостаток – малая поверхность съема тепловой энергии недр Земли, вследствие чего при извлечении глубинной теплоты, происходит захлаживание околоскважинного объема недр. Данный эффект выражается в снижении температурного потенциала недр у стенки скважины с течением времени, вследствие чего происходит уменьшение извлекаемой тепловой мощности при сохранении постоянного расхода теплоносителя через однокважинную систему съема [5].

В начальный момент времени извлечения тепловой энергии недр «закрытым» способом температура околоскважинных пород равна естественному установившемуся значению, причем данная температура соответствует температуре пород на удалении от скважины. Затем, при постоянном функционировании системы съема и извлечения петротермальной энергии, происходит снижение температуры пород у ствола скважины и распространение температурного возмущения в околоскважинном объеме недр (рис. 1).

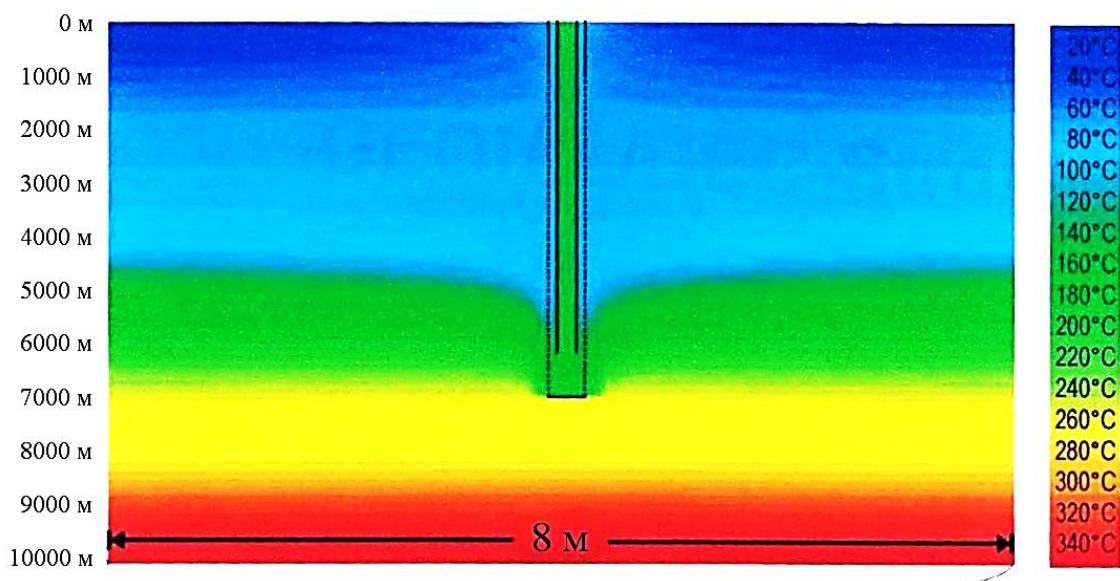


Рис. 1. Пример распределения температурного поля в объеме недр вокруг односкважинной системы съема глубинной теплоты Земли

По предварительным данным, полученным экспериментальным путем [5], данный процесс не бесконечен и через некоторое время система выходит на стабильный режим работы, с новой установившейся температурой у ствола скважины. Так для системы съема тепловой энергии поверхностных слоёв грунта глубиной 105 м выход на близкий к постоянному режим работы занимает около 5 лет. В течение данного времени температура грунтового массива вокруг скважинного теплообменника снижается на  $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$ . В течение следующих 10 лет температура недр изменяется лишь на  $0,5^{\circ}\text{C}$  [1; 7].

Существующие экспериментальные данные базируются на многолетнем наблюдении за действующими системами геотермального отопления, что обуславливает ограниченность вариативных параметров при наблюдении, в связи с

чем указанное экспериментальное исследование лишь выявляет факт наличия описываемого эффекта.

В действительности исследование процесса захолаживания многопараметрической задачей ввиду зависимости процесса от геотермического градиента в зоне размещения односкважинной системы съема и темпов подвода теплоты из недр и её отбора односкважинной системой съема.

Исследование процесса изменения температурного уровня недр Земли в процессе продолжительного извлечения петротермальной энергии, прогнозирование данного процесса во времени позволит создавать эффективные энергисточники, обеспечивающие надежное энергоснабжение автономных и удаленных потребителей.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Приказ Минобрнауки России о назначении стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, на 2015–2017 годы от 10 марта 2015 года №184).

### *Список литературы*

1. Васильев Г.П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах / Г.П. Васильев, Н.В. Шилкин Н.В. // АВОК. – №2. – 2003. – С. 52–61.

2. Гнатусь Н.А. Тепловая энергия Земли – основа будущей теплоэнергетики // Новости теплоснабжения. – 2006. – №12(76). – С. 27–32.

3. Предварительное изучение геотермального производства электроэнергии при использовании коаксиальных теплообменников в нисходящих скважинах / ВЦП. Киев. Ред. – [Б.м.:б.и.]. – 30 с.- Пер.ст. Лю Морита // Нихон тинэцу гаккай си. – 1989. – Vol. 11. – №4. – С. 319–338.

4. Dieter Ollingera, Clément Baujarda, Thomas Koh Distribution of thermal conductivities in the GroS Schönebeck (Germany) test site based on 3D inversion of deep borehole data // Geothermics. – Vol. 39. – 2010. – P. 46–58.

5. Hildebrand H. Geothermische Kraftwerke nach dem System GEOHIL/GEO-STROM. Projekt Worms // Geohil Engeneering AG. – 08/06/2004. – P. 13.

6. Markus O. Häring, Ulrich Schanz, Florentin Ladner, Ben C. Dyer, Characterisation of the Basel 1 enhanced geothermal system, Geothermics. – Vol 37. – 2008. – P. 469–495.

7. Rybach L., Eugster W. Sustainability aspects of geothermal heat pump operation, with experience from Switzerland // Geothermics. – Volume 39. – Issue 4. – 2010. – P. 365–369.