

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

М. А. Сай, Е. С. Шмелёв

Институт энергетики НАН Беларуси

В статье рассматриваются вопросы исследования грунтового теплообменника различных конфигураций при использовании низкопотенциального тепла Земли (энергии) для отопления удаленных зданий на территории Республики Беларусь методом компьютерного моделирования.

Эффективность грунтовых теплообменников во многом зависит от свойств грунта, в котором помещаются трубы теплообменника и многих других факторов теплонасосной системы. Поэтому, прежде чем устанавливать тепловой насос для отопления, необходимо оценить потенциальные энергетические возможности грунта на соответствующем участке и провести предварительное исследование проектируемого грунтового теплообменника на модели с учетом параметров данного источника низкопотенциальной энергии.

В результате исследования были проанализированы и смоделированы два вида грунтовых теплообменника: вертикальный и горизонтальный,

непосредственно для региона города Минска с помощью программного обеспечения COMSOL Multiphysics.

Ключевые слова: отопление; тепловые насосы; теплонасосные установки; грунтовые теплообменники; моделирование систем; программное обеспечение; COMSOL Multiphysics.

В настоящее время вопрос энергоэффективности и энергосбережения считается главным в области энергетики. Все больше внимания уделяется энергосберегающим технологиям, использующим возобновляемые источники энергии. Одним из которых является низкопотенциальное тепло Земли, которое может использоваться в различных типах зданий и сооружений, например, для отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования (охлаждения) воздуха и т.д. При этом на эффективность использования теплоты грунта ключевое влияние будут оказывать геологические, гидрологические и климатические условия рассматриваемой территории [1-2].

Одним из основных вопросов, которые обсуждались в 2021 году на конференции ООН по климатическим изменениям COP26, стали соглашения о сокращении выбросов парниковых газов. Была поставлена цель — не допустить повышения температуры планеты более, чем на 1,5 °C. Основа для достижения этой цели — стимулирование инвестиций в возобновляемые источники энергии и постепенный отказ от ископаемых видов топлива. Тепловые насосы также рассматриваются в качестве эффективного способа снижения выбросов углерода. Некоторые специалисты даже полагают, что тепловые насосы смогут изменить экологическую ситуацию не меньше, чем электромобили [3].

Преимущество тепловых насосов состоит в том, что они используют тепло из таких возобновляемых источников энергии, как воздух, вода, недра и промышленные тепловые отходы, при этом не производя непосредственных выбросов парниковых газов.

Отказ от ископаемого топлива и переход на выработку электроэнергии из возобновляемых источников имеет дополнительное преимущество в виде роста эффективности использования возобновляемой тепловой энергии. К тому же потребление электроэнергии становится более гибким, что, в свою очередь, повышает устойчивость работы энергосистемы.

Согласно прогнозам, тепловые насосы станут основной технологией отопления как в промышленности, так и в быту. Международное энергетическое агентство полагает, что при помощи тепловых насосов можно будет

удовлетворить до 90 % мировых потребностей в отоплении помещений и горячем водоснабжении. В 2021 г. эта цифра была лишь 3–5 %. При этом менее 10 % тепла в мире поступало из возобновляемых источников.

Прежде чем устанавливать тепловой насос для отопления, например, в частных домах, необходимо оценить потенциальные энергетические возможности грунта на соответствующем участке и провести предварительное исследование проектируемого грунтового теплообменника на модели с учетом параметров данного источника низкопотенциальной энергии [4].

Нами предлагается структура грунтового теплообменника в двух рассматриваемых вариантах:

- горизонтальный грунтовой теплообменник, в виде спирали;
- вертикальный грунтовой теплообменник, в виде двух скважин.

Представлена также методика моделирования и исследования функционирования теплообменников на базе COMSOL Multiphysics в условиях нестабильности энергетических возможностей грунта, что соответствует особенностям работы бытовых малых и средних теплонасосных установок. При моделировании грунт характеризуется физикой сплошных сред с использованием принятых расчетных интерфейсов Heat Transfer in Solids (ht) и Heat Transfer in Pipes (htp), позволяющих проводить исследование функционирования в диапазоне востребованных эксплуатационных показателей бытовых теплонасосных установок [5].

Результатом исследований является определение наиболее эффективного внешнего контура для ТН с низкопотенциальным источником тепла.

Для горизонтального грунтового теплообменника взята модель внешнего контура в виде спирали на глубину установки 6 метров.

На рисунке 1 показано распределение температуры грунта (горизонтальный грунтовой теплообменник) в зимний период, на котором видно, что на глубине 6 метров температура грунта не превышает +2°C.

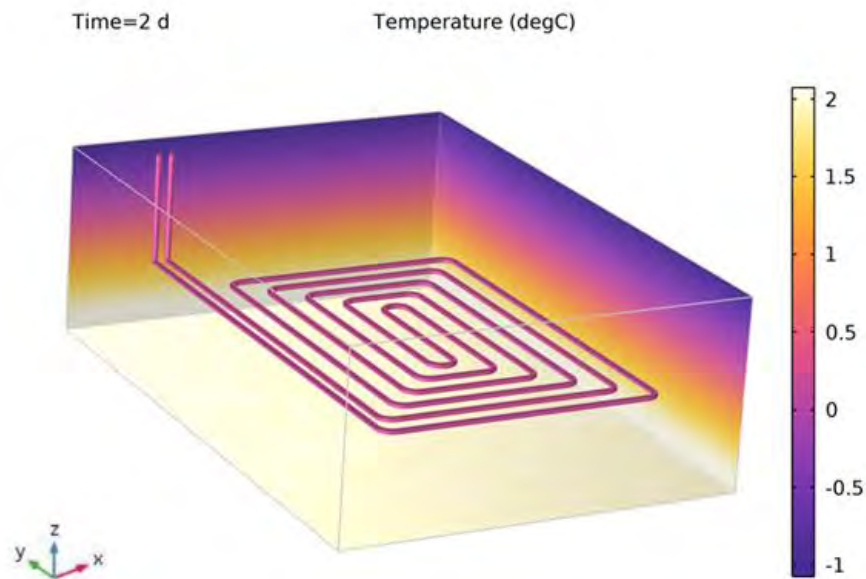


Рис. 1. Распределение температуры грунта (горизонтальный грунтовый теплообменник) в зимний период (январь)

На рисунке 2 показано распределение температуры теплоносителя в трубах спиралевидного горизонтального теплообменника, в момент времени 3 ч (0,125 суток) (рис. 3), соответствующий завершению активной фазы суточного цикла работы ТН, выработавшего плановый объем тепловой энергии в 30 кВт*ч в январе месяце при отрицательной температуре окружающего воздуха.

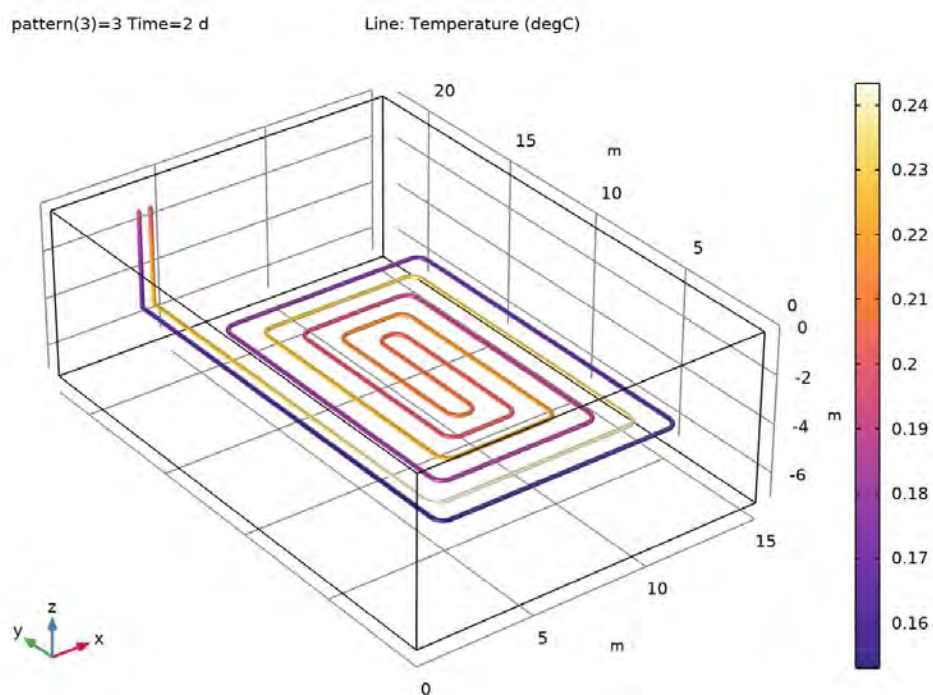


Рис. 2. Распределение температуры теплоносителя в трубах горизонтального грунтового теплообменника в зимний период (январь)

При этом на входе трубы первой скважины теплообменника температура $0,16^{\circ}\text{C}$ и на выходе скважины $0,24^{\circ}\text{C}$. Таким образом теплоноситель из теплообменника поступает в испаритель ТН с небольшой, но положительной температурой. Хладагент в испарителе все же будет кипеть, обеспечивая работу теплового насоса. В случае более низких средних месячных температур система не в состоянии повысить температуру теплоносителя на необходимую величину для обеспечения эффективной работы ТНУ, следовательно, не обеспечат комфортную температуру в отопительной системе помещения, не говоря уже о снабжении ГВС.

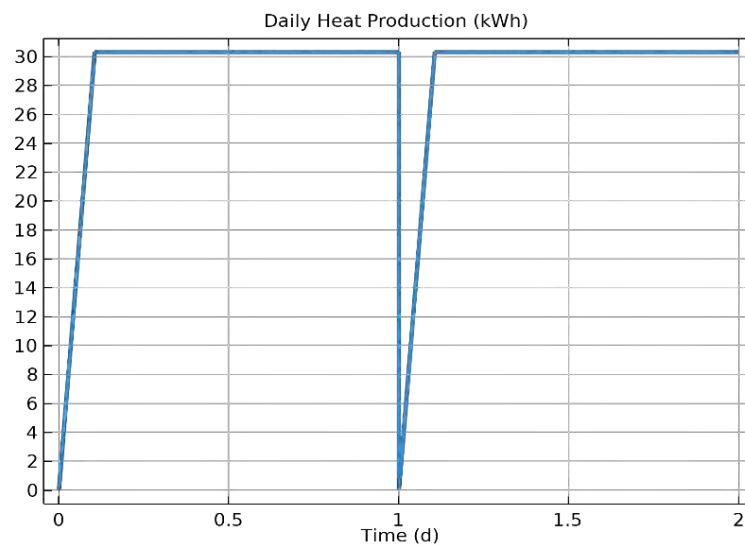


Рис. 3. Суточный цикл работы ТН, выработавшего плановый объем тепловой энергии в $30 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$

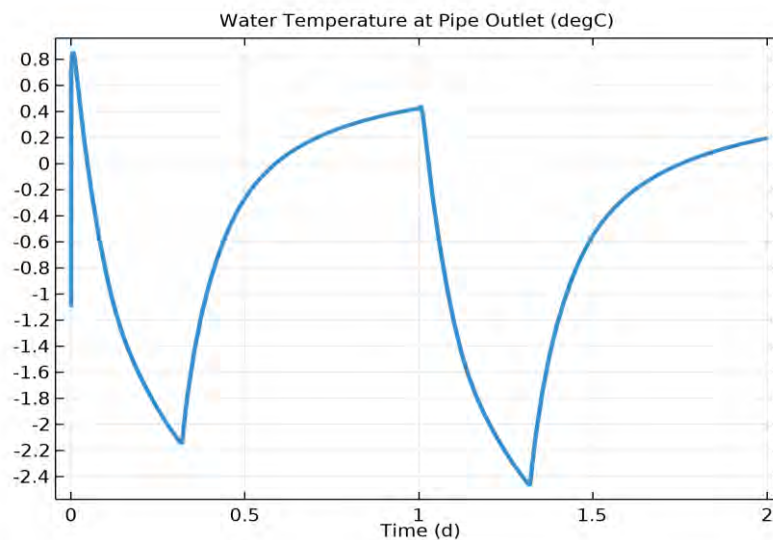


Рис. 4. Температура теплоносителя на выходе трубы горизонтального грунтового теплообменника за двое суток исследования.

Температура теплоносителя в трубах теплообменника от момента фиксации ее значения -2.16°C , восстановилась в течении дня до максимума в $0,4^{\circ}\text{C}$ (рис.4). На вторые сутки это значение уменьшилось до $0,2^{\circ}\text{C}$. Важно отметить, что максимальная температура теплоносителя (на выходе), как и минимальная (на входе) в трубах теплообменника на протяжении двух суток падала, что приведет в дальнейшем к снижению эффективности работы ТН и к возможному промерзанию грунта.

Для вертикального грунтового теплообменника взята модель внешнего контура в виде двух вертикальных скважин, глубиной 50 метров, расположенный в слоистой коренной породе.

Вертикальный теплообменник имеет более высокий показатель теплового потока, следовательно, более высокую температуру низкопотенциального источника энергии для ТНУ (рис.5).

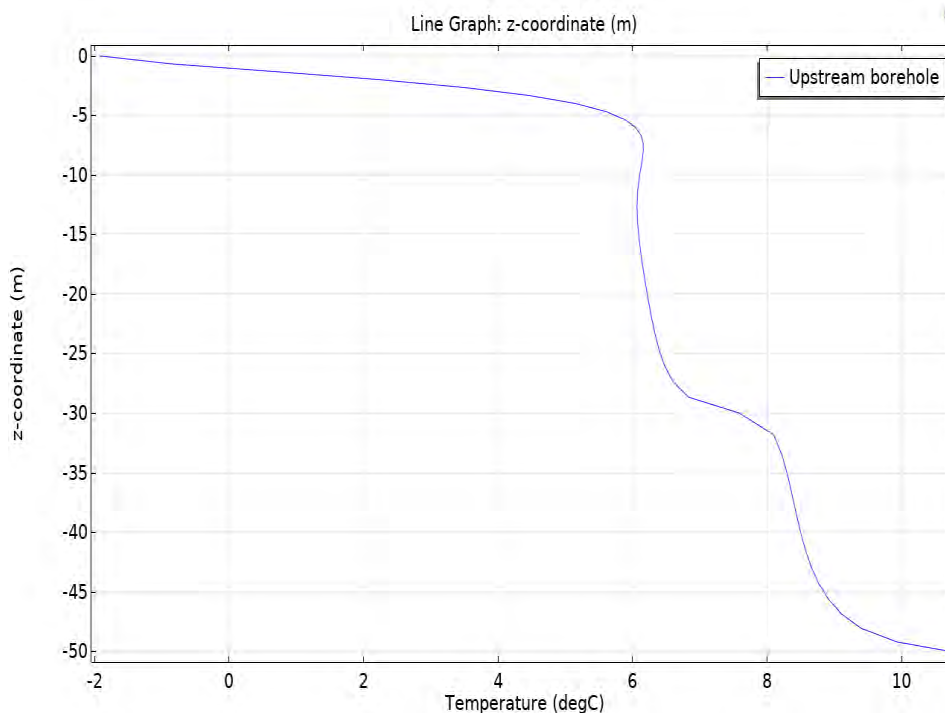


Рис 5. Изменение температуры грунта на глубине 50 метров

На глубине более 10 метров температура остается постоянной. На глубине более 30 метром температура будет еще больше увеличиваться, но определенной постоянной в увеличении температуры нет и в зависимости от температурного градиента она может увеличиваться резко либо увеличение температуры будет происходить плавно.

Данный показатель показывает, что вертикальные теплообменники для ТПУ более подходят в качестве низкопотенциального источника энергии.

Приведены два примера вертикальных скважин, смоделированных в среде COMSOL Multiphysics. Глубиной 50 метров с результатами измерений температур теплообменника в летний и зимний период.

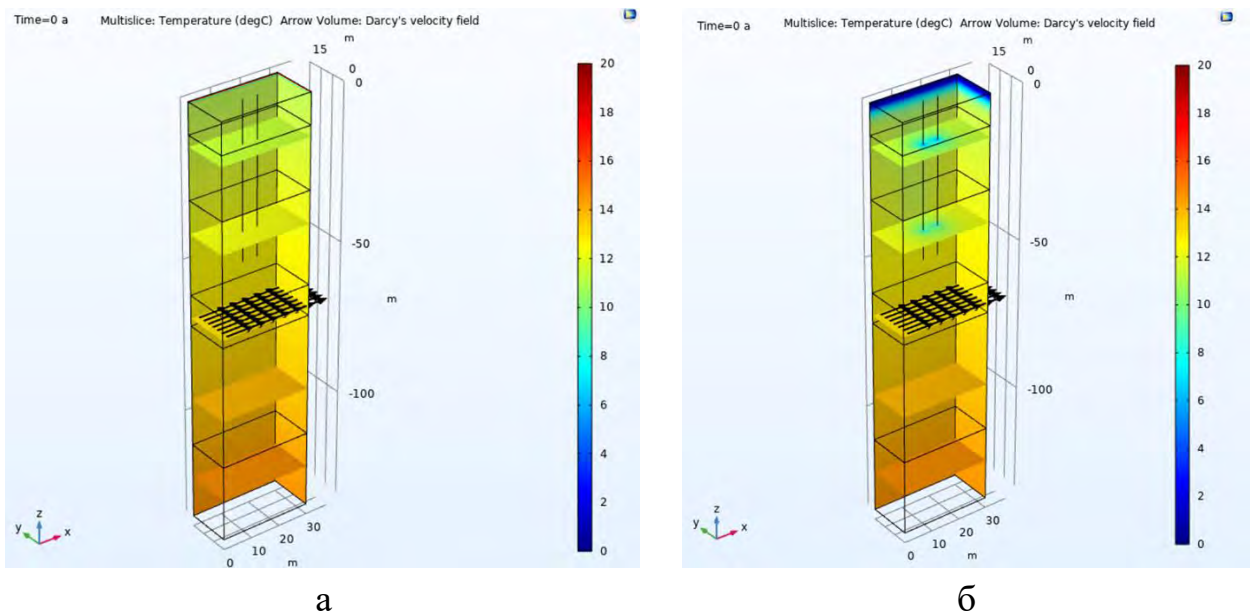


Рис. 6. Температуры грунта: а - температура грунта в летний период; б- температура грунта в зимний период.

На рисунке б видно, что в зимний период температура грунта на поверхности имеет низкую температуру, но чем глубже погружение теплообменника, тем показатель температуры повышается, и имеет значение 10°C.

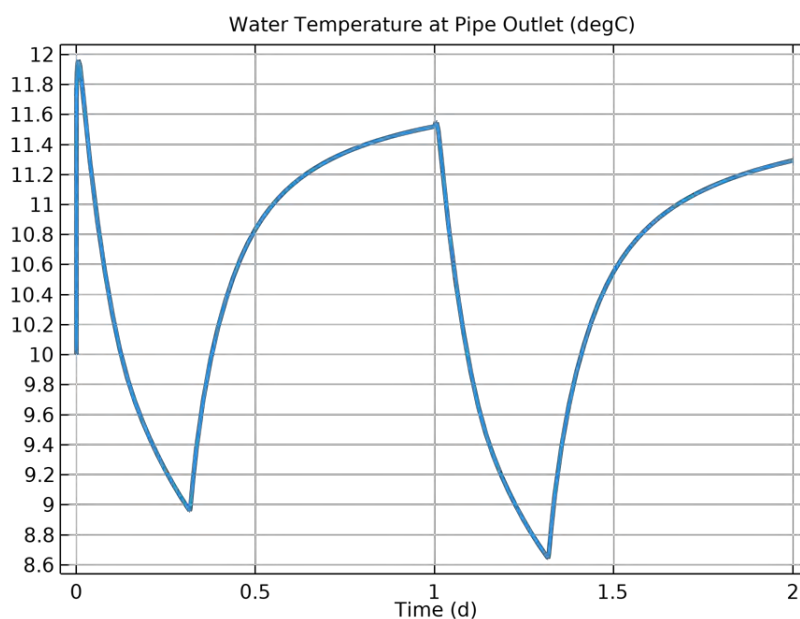


Рис. 7. Температура теплоносителя на выходе трубы горизонтального грунтового теплообменника за двое суток исследования

Температура теплоносителя в трубах теплообменника от момента фиксации ее значения $+9^{\circ}\text{C}$, восстановилась в течении дня до максимума в $+11,5^{\circ}\text{C}$. На вторые сутки это значение уменьшилось до $+8,65^{\circ}\text{C}$ (рис. 7). Данные значения говорят о высокой эффективности вертикальных теплообменников.

Выводы: таким образом, анализируя полученные данные в результате исследования можно сделать вывод, что использование горизонтального грунтового теплообменника в зимний период снижает эффективность ТН и может привести к промерзанию грунта, что свидетельствует о рациональном использовании геотермальных систем с вертикальными скважинами для отопления удаленных зданий на территории Республики Беларусь.

Библиографический список

1. Алхасов А. Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии / А. Б. Алхасов. – М.: Физмат, 2008. – 375 с.
2. Основы геотермии: учеб. пособие / В. И. Зуй. – Минск: БГУ, 2017. – 287 с.
3. Климатический пакт Глазго [Электронный ресурс]. – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L16R.pdf
4. Богуславский Э. И. Освоение тепловой энергии недр / Э. И. Богуславский. – СПб.: Научное издание, 2020. – 435 с.
5. Сай М. А. Использование геотермальной энергии термо- и холодоснабжения удаленных малоэтажных объектов в условиях Беларуси: магистер. дис. / М. А. Сай. – Минск, 2022. – 83 с.