

УДК662.621

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА  
 ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ  
 COMSOL MULTIPHYSICS  
 RESEARCHING OF GROUND HEAT EXCHANGER OF HEAT PUMP USING  
 COMSOL MULTIPHYSICS SOFTWARE**

*Н.А.Абдуллаев - Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, ассистент, [nodirbek\\_9204@mail.ru](mailto:nodirbek_9204@mail.ru), энергетический факультет.  
 А.Н.Унаров - Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, **магистрант**, [abdurauf199401@gmail.com](mailto:abdurauf199401@gmail.com), энергетический факультет.  
 Ж.Б.Синдоров - Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, бакалавр, [Jasur08Sindorov@gmail.com](mailto:Jasur08Sindorov@gmail.com), энергетический факультет*

*N.A.Abdullaev – Tashkent state technical university named after Islam Karimov, junior teacher, [nodirbek\\_9204@mail.ru](mailto:nodirbek_9204@mail.ru), faculty of energy engineering.  
 A.N.Unarov – Tashkent state technical university named after Islam Karimov, **master student**, [abdurauf199401@gmail.com](mailto:abdurauf199401@gmail.com), faculty of energy engineering.  
 J.B.Sindorov - Tashkent state technical university named after Islam Karimov, **bachelor student**, [Jasur08Sindorov@gmail.com](mailto:Jasur08Sindorov@gmail.com), faculty of energy engineering*

#### Аннотация

В статье представлены результаты исследования грунтовых теплообменных аппаратов разной конфигурации и расположенных в разных глубинах от поверхности земли, с применением специального программного продукта COMSOL MULTIPHYSICS. Целью исследования являлся расчет температуры теплоносителя на выходе из грунтового теплообменника в течение заданного периода. Показано, что данный программный продукт является весьма удобным и эффективным инструментом при проектировании теплонаносных систем с грунтовым теплообменником.

*Ключевые слова:* COMSOL MULTIPHYSICS, программное обеспечение, тепловой насос, грунтовой теплообменник, температурный профиль грунта.

#### Жалпылаган

Макалада ар тартибин жер жылуулук алмаштыргычтардын изилдөөлөрдүн жыйынтыктары жана атайын программалык COMSOL MULTIPHYSICS чыгарманы пайдалануу, бетинен башка түбүнө менен уюштурулду. Изилдөөнүн максаты аныкталган мезгил үчүн жер жылуулук алмаштыргычтын түйүнүндөгү тосол температуранын эсептөө болду. Бул программа жер жылуулук алмаштыргычтардын менен дизайн теплонаносных системалары үчүн абдан ыңгайлуу жана натыйжалуу куралы экенин көрсөтүп турат.

*Атайын сөздөр:* COMSOL MULTIPHYSICS, программалык камсыздоо, жылуулук насосу, жер жылуулук алмаштыргычтар, кыртыштын кароо температурасы.

#### Annotation

The article presents the results of a study of ground heat exchangers of different configurations and located at different depths from the earth's surface, using the special software COMSOL MULTIPHYSICS. The aim of the study was to calculate the temperature of the coolant at the outlet of the soil heat exchanger for a given period. It is shown that this software product is a very convenient and effective tool in the design of heat transfer systems with a ground heat exchanger.

*Keywords:* COMSOL MULTIPHYSICS, software, heat pump, soil heat exchanger, soil temperature profile.



На сегодняшний день, при решении разного рода задач в различных отраслях жизнедеятельности человека, широко применяются информационные технологии. Такая тенденция наблюдается и при расчете и проектировании теплонасосных установок. С одной стороны необходимо отметить постоянное расширение области использования тепловых насосов из-за их энергетической эффективности, с другой стороны теплонасосные установки являются очень чувствительными к множествам параметрам окружающей среды и грунта. Существуют различные типы тепловых насосов (воздушные, водяные, грунтовые и др.). Среди них, самым инерционным является грунтовой тепловой насос. Причина этому, температура грунта в меньшей степени подвергается изменению параметров окружающей среды в отличие от температуры воздуха и температуры надземных вод [1]. Все же температура грунта является функцией от многочисленных факторов, таких как влажность грунта, тепловое сопротивление грунта, плотность грунта, теплопроводность почвы, температура воздуха над поверхностью земли, скорость воздушных потоков вблизи поверхности земли и др. [2]. В связи с этим, применение информационных технологий, а именно специальных программных продуктов при определении оптимальных параметров теплонасосной системы, является необходимым, а даже единственным путем решения задач.

Профессором Реза Саиди [3] было проведено исследование по грунтовым теплообменникам с использованием программного продукта COMSOL. Он предложил использовать вертикальный спиральный грунтовой теплообменник с дополнительными крылообразными металлическими насадками для интенсификации процесса теплообмена между грунтом и теплообменником. Педрам Бигделу [4] проводил технико-экономический анализ грунтового теплового насоса используя MATLAB в условиях Ирана для теплиц. Он вывел зависимости для расчета оптимальных геометрических размеров грунтового теплообменника, в виде специальных кодов программы. По итогам исследования, ему удалось найти наиболее выгодную конфигурацию грунтового теплообменника с точки зрения технико-экономических параметров. Х.Самоуда [5] использовал программный продукт TRNSYS для изучения термодинамического феномена теплонасосной системы. Он, с теоретической точки зрения смог доказать, что карбонат ангидрид ( $\text{CO}_2$ ) является конкурентоспособным теплоносителем по сравнению широко распространённым фреоном, при правильной его эксплуатации.

Используемая нами программа представляет собой интерфейс, состоящий из нескольких частей и окон (рис.1). Для ввода параметров грунтового теплообменника и теплотехнических свойств грунта отвечает пункт «свойства теплообменника», а для ввода среднемесячной температуры грунта в определённой глубине от поверхности земли отвечает пункт «температурный профиль». Так как, данная программа при расчетах применяет метод конечных элементов, также есть возможность управления степенью точности результатов, задавав число конечных элементов в пункте «настройки вычисления». Данная программа удобна тем, что результаты показывается в виде трехмерных фигур и графиков на основном интерфейсе.

Вводные параметры исследуемого теплообменника показаны в таблице 1.

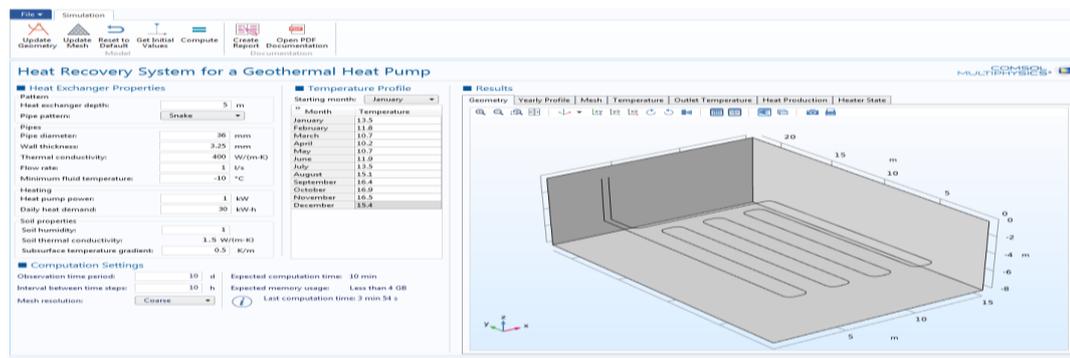


Рис.1.Основной интерфейс программы.

Таблица 1.

Наименование параметра	Значение	Единица измерения
Глубина установки теплообменника	5	м
Диаметр трубы теплообменника	36	мм
Толщина стенки теплообменника	3,25	мм
Расход теплоносителя	1	л/сек
Мощность теплового насоса	1	кВт
Ежедневная тепловая нагрузка	30	кВт*ч
Влажность почвы	1	%
Теплопроводность грунта	1,5	Вт/м*К
Исследуемый период	10	день
Начало исследование	Январь	

Теплоноситель внутри теплообменника представляет собой смесь воды и антифриза, в целях предотвращения образования льда во внутренних стеках теплообменника при температуре грунта ниже нуля, а также установлен нижний порог температуры теплоносителя на входе в теплообменник, при достижении которого, работа теплового насоса останавливается.

Данные по среднемесячным температурам грунта в различных глубинах земли, были взяты из графиков рисунка 2, полученная А.Ш. Шаисламовым и Н.А.Абдуллаевым [6]. При составлении данной диаграммы, авторы применяли метод вертикального распределения температуры грунта [7]. Основное уравнение метода приведено ниже.

$$T_{(soil)} = T_{mean} - T_{amp} \times \left( -D \sqrt{\frac{\pi}{365 \times \alpha}} \right) \times \cos \left( \frac{2\pi}{365} \left( t_{year} - t_{shift} - \frac{D}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi \times \alpha}} \right) \right) \quad (1)$$

Температурные профили грунта представлены на рисунке 2.

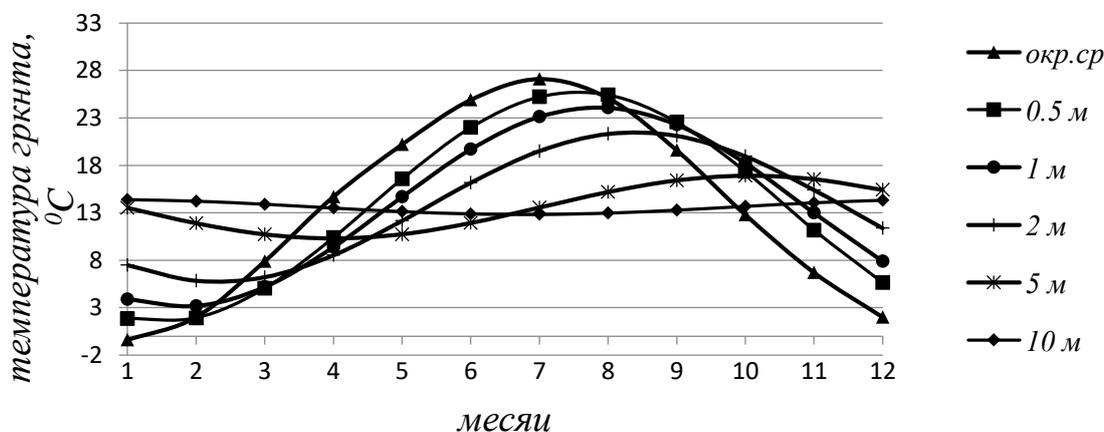


Рис. 2. Среднемесячная температура грунта в разных глубинах от поверхности земли в течение года в Ташкенте.

После ввода всех необходимых данных, следует указать в программе степень точности вычислений, от этого зависит длительность времени вычислений. Большая степень точность, требует большее время процесса вычислений. По итогам всех подготовительных и вычислительных процессов, программа выдаст результат в виде трехмерной модели грунтового теплообменника с цветным градиентом по температуре теплоносителя (рис.4). Кроме этого, пользователю становится доступным в виде графика, температура теплоносителя на выходе из теплообменника как функция от времени (рис. 3).

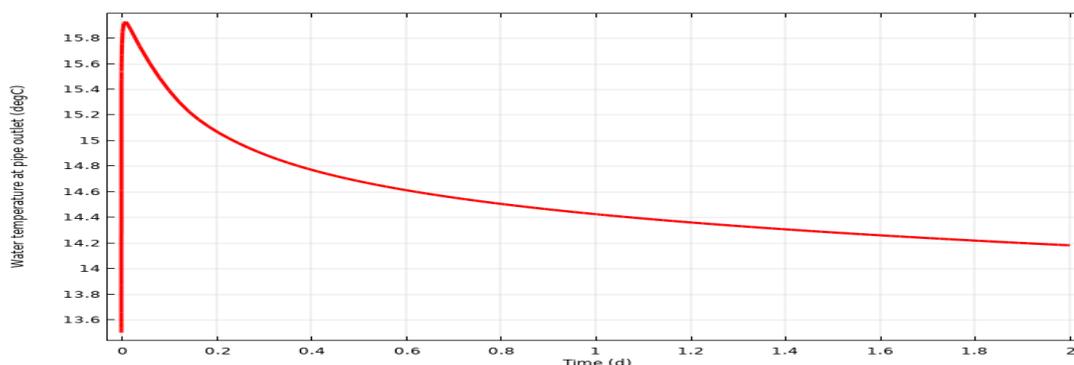


Рис.3. Изменение температуры теплоносителя на выходе из теплообменника.

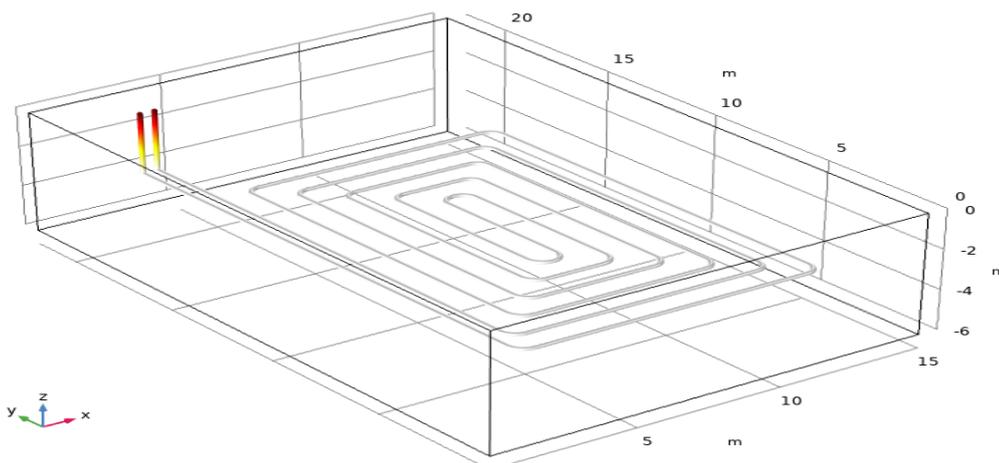


Рис.4. Трехмерная модель грунтового теплообменника

Анализ расчетных результатов позволил сделать следующие выводы:

- критический анализ работ других исследователей, применявшие вычислительные программные обеспечения в своих трудах, показал, что такие симуляционные программы, в том числе COMSOL MULTIPHYSICS, дают результаты с достаточной точностью.
- такие программы создают возможность проведения исследований, не прибегая к созданию реальной экспериментальной модели. В данном исследовании была изучена с теоретической точки зрения изменение температуры теплоносителя в течении определенного периода. Анализ кривой изменения температуры на выходе из теплообменника (рис.3) показал, что температура теплоносителя в грунтовом теплообменнике с течением времени понижается за счет постепенного отвода тепла от грунта. Этот процесс имеет тенденцию к достижению постоянного значения температуры теплоносителя.
- программный продукт COMSOL MULTIPHYSICS позволяет проводить многовариантные исследования, что способствует его использование для исследовательских и проектных работ для разработки энергосберегающих инновационных технологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Jose Fernandez-Seara, Alejandro Pereiro, Santiago Bastos, J. Alberto Dopazo, Experimental evaluation of a geothermal heat pump for space heating and domestic hot water simultaneous production. *Renewable energy*, 2012; 48 (2012) 482-488
2. Jeffrey Molavi, James McDaniel, A Review of the Benefits of Geothermal Heat Pump Systems in Retail Buildings; *Procedia Engineering*. 2016; 145 ( 2016 ) 1135 – 1143
3. Reza Saeidi, YounesNoorollahi, VahidEsfahanian, Numerical simulation of a novel spiral type ground heat exchanger for enhancing heat transfer performance of geothermal heat pump, 2018; *Energy Conversion and Management* 168 (2018) 296–307.

4. Younes Noorollahi, Pedram Bigdelou, Fathollah Pourfayaz, Hossein Yousefi, Numerical modeling and economic analysis of a ground source heat pump for supplying energy for a greenhouse in Alborz province, 2016; Iran. Journal of Cleaner Production 131 (2016) 145e154.
5. R. Chargui, H. Sammouda, A. Farhat, Geothermal heat pump in heating mode: Modeling and simulation on TRNSYS. International journal of refrigeration 2012; 35 (2012) 1824 e1832.
6. Shaislamov A.Sh. Abdullaev N.A. **Critically analysis of usage of the geothermal energy heat pumps**. Problems of improving efficiency of electrical energy use in agricultural industry. International scientific and practical conference, 2018.
7. Jose Manuel Andujar Marquez, Miguel Angel Martínez Bohorquez and Sergio Gomez Melgar, Ground Thermal Diffusivity Calculation by Direct Soil Temperature Measurement. Application to very Low Enthalpy Geothermal Energy Systems, 2016.

