

лось, что КТ не зависит от температуры что для данного материала можно принять лишь при малых теплоперепадах. В диссертации [1] приводится таблица теплофизических свойств ТЗМК - 10 в зависимости от температуры. Подсчитав среднеинтегральное значение КТ в диапазоне температур  $0 \div 600$  °С можно получить следующие табличные данные:  $\lambda = 0,1031$  Вт/мК;  $a = 719 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с;  $C_p \rho = 143,368$  кДж/Км<sup>3</sup>.

Анализируя полученные результаты можно прийти к выводу, что данная установка позволяет достаточно точно определить КТ при стационарном режиме. В свою очередь определение температуропроводности дает большую погрешность так  $a$  вычисляется по формулам основанном на методе не учитывающем изменение КТ от температуры.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. А. В. Моржухина Высокоточные методы экспериментального и математического моделирования процессов теплообмена в слоях высокопористых теплозащитных покрытий летательных аппаратов. – МАИ, 2014. – 118 с.
2. Методы определения теплопроводности конденсированных сред: учебное пособие / А. С. Заворин, А. В. Кузьмин, Ю. Я. Раков; Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 184 с.

Научный руководитель: Ю.Я. Раков, к.т.н., доцент, каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

А.О. Горкунов<sup>2</sup>, С.В. Шидловский<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ЭНИН, АТП

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ЭНИН, АТП, гр. 5БМ4Д

В данном тексте рассмотрены математические модели традиционной системы и геотермальной системы с теплым полом и их сравнение. В качестве параметров сравнения принимаются распределения температурных полей.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, геотермальная энергетика, петротермальная энергия, системы отопления, теплый пол, умный дом.

В настоящее время интенсивно развивается малоэтажное строительство домов организованных по системе «Умный дом». Такое жилье предусматривает высокие уровни комфортности, автономности и экологичности. В связи с данными требованиями актуально исследовать несколько типов систем отопления «умного» дома.

Целью данной работы является рассмотрение математических моделей систем геотермального отопления, как часть системы «умный дом».

Задачи, решаемые в процессе выполнения работы:

- обзор систем геотермальных источников энергии;
- создание математических моделей рассматриваемых систем;
- сравнение рассматриваемых моделей;
- анализ эффективности внедрения систем геотермального отопления в системы умного дома.

В частном секторе, на базе умного дома, есть возможность организовать с низким энергопотреблением с помощью внедрения альтернативного энергоснабжения.

Техническая надежность таких систем достаточно высока, помимо этого срок эксплуатации может составлять порядка 25-30 лет.

Геотермальная энергетика – направление энергетике, основанное на производстве электрической энергии за счёт энергии, содержащейся в недрах земли, на геотермальных станциях. [1]

Принципиально, геотермальная энергетика подразделяется на два направления: петротермальная энергетика и гидротермальная энергетика.

Основой данного типа энергетике служит петротермальная энергия содержащаяся в горячих горных породах (рис. 1), нагреваемых за счет глубинного кондуктивного теплового потока.

В настоящее время широко используется петротермальная энергия неглубоких скважин (до 1 км.), в которых устанавливаются скважинные теплообменники, работающие на жидкостях с низкой температурой кипения (например, фреон) с целью обеспечения домов электричеством, ГВС и отоплением. Петротермальная энергия глубоких скважин (более 1 км), на данный момент, почти не используется. [2]

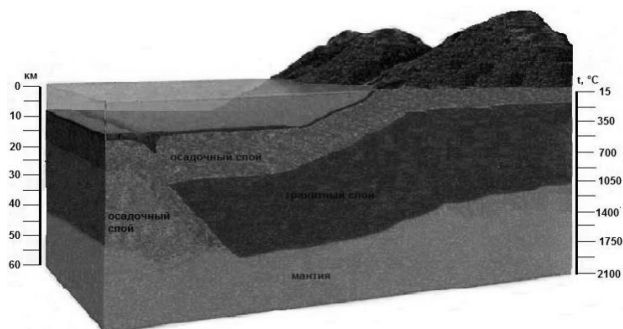


Рис. 1. Геотермальный градиент на определенном участке земной толщи

Конструктивно петротермальную энергетику можно разделить на два типа: с горизонтальным внешним контуром и с вертикальным внешним контуром.

Установка с горизонтальным внешним контуром – наиболее распространенный тип конструкции (рис. 2) для получения петротермальной энергии для систем отопления и ГВС зданий с относительно малыми площадями и большой площадью участка.

Установка с вертикальным внешним контуром. Основными преимуществами данного типа конструкции внешнего контура теплового насоса являются простота укладки контура, короткие сроки установки и высокая эффективность.

Главным недостатком системы, представленным на рисунке 2, является температура над поверхностью земли, т.к. от нее зависит глубина промерзания почвы.



Рис. 2. Горизонтальный внешний контур теплового насоса жилого дома



Рис. 3. Внешний контур теплового насоса вертикального типа

В разрабатываемом проекте выбирается конструкция с внешним горизонтальным контуром на глубине 2,5 метра. Средняя температура отопительного сезона по г. Томск – минус 6,7°С, глубина промерзания грунта 2,2-2,4 метра.

Преимущество выбранной теплонасосной установки с горизонтальным внешним контуром заключается в высокой эффективности преобразования низкопотенциальной энергии (на 1кВт затрачиваемый на выходе 4-7кВт) земли (+4 °С) при наружной температуре воздуха не ниже -20 °С. Для выработки необходимой мощности установки при более низких температурах наружного воздуха подключается электротен.

Для анализа ряда характеристик в помещении создаются две 2D-модели [3,4]. Первая модель (рис. 4) представляет из себя поперечное сечение комнаты с начальными условиями wall – теплый пол, velocity\_inlet – окно, outflow – вентиляционный канал.

Вторая модель (рис. 5) является так же поперечным сечением комнаты с начальными условиями wall – радиатор (батарея), velocity\_inlet – окно, outflow – вентиляционный канал.

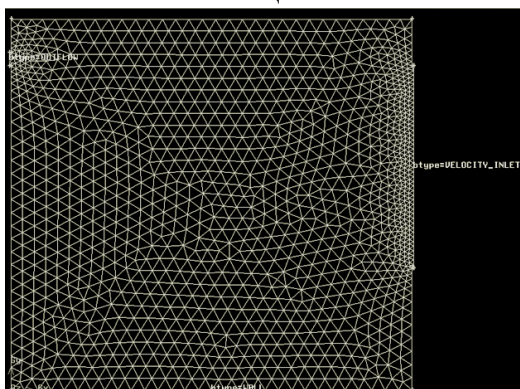


Рис. 4. Модель комнаты с теплыми полами

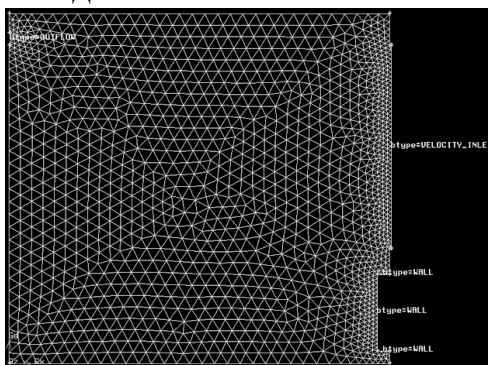
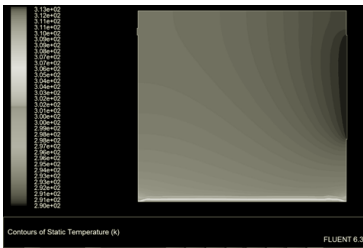
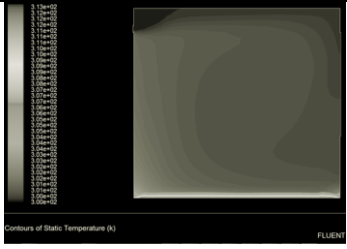

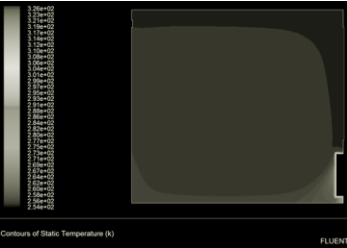


Рис. 5. Модель комнаты с радиаторами

Для исследования температурных и скоростных распределений воздушных масс в помещении задаются входные условия, такие как температура поверхностей нагрева, тип течения потока, характеристики рабочего тела, скорость течения потока на входе.

Результаты моделирования процессов приведены в таблице 1.

Табл. 1. – Сравнение систем отопления

Система	С закрытым окном	С открытым окном
Теплый пол		
Радиатор		

В результате исследований можно сделать вывод, что система отопления с теплыми полами является наиболее комфортной для нахождения человека в помещении (наиболее равномерное распределение температур в помещении), помимо этого она является более экономичной в энергопотреблении и высокоэкологичной. По полученным результатам, можно сказать, что система теплонасосных установок с теплыми полами удовлетворяет требованиям системы «умный дом» и рекомендуема к внедрению.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дворов И. М. Глубинное тепло Земли / Отв. ред. доктор геолого-минералогических наук А. В. Щербаков. — М.: Наука, 1972. — 208 с.
2. Шетов В. Х., Бутузов В. А. Геотермальная энергетика // Энергосбережение. — 2006 — № 4. — С.70–71.
3. Построение расчетных моделей в препроцессоре Gambit универсального программного комплекса Fluent: учеб. пособие/ О.В. Батурич, Н.В. Батурич, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 172с.: ил.
4. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса Fluent. Учеб. пособие/ О.В. Батурич, Н.В. Батурич, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 151с.: ил.

Научный руководитель: С.В. Шидловский, д.т.н., профессор кафедры АТП, ЭНИН ТПУ.