

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЖКХ

УДК 621.651

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ГРУНТА ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. Ю. Сапрыкина

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Проектирование геотермальных возобновляемых источников энергии ставит перед разработчиками следующие задачи: Во-первых, определение экономически и технологически оправданной тепловой нагрузки скважины. Во-вторых, прогнозирование изменения температурного поля грунта при многолетней эксплуатации скважины с учётом особенностей теплофизических параметров грунта.

Ключевые слова: тепловой насос, геотермальная скважина, температура грунта, фоновое тепло.

STUDY OF CHANGES IN THE TEMPERATURE FIELD OF THE GROUND OF THE GEOTHERMAL WELL IN THE CONDITIONS OF EXPERIMENTAL AND NATURAL OBSERVATIONS IN THE ASTRAKHAN REGION

N. Yu. Saprykina

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

The design of geothermal renewable energy sources poses the following challenges for the developers: First, the determination of the economically and technologically justified thermal load of the well. Secondly, the forecasting of changes in the temperature field of the soil during long-term operation of the well, taking into account the characteristics of the thermal physical parameters of the soil.

Keywords: heat pump, geothermal well, soil temperature, background heat.

Актуальность исследования обуславливается открытостью вопроса о разработке прогноза долгосрочной энергетической эффективности теплового насоса, работающего в комплексе с геотермальной скважиной, характеристики которого изменяются вследствие изменения естественного распределения температурного поля Земли при длительной эксплуатации скважины [1, 2].

Моделирование процессов изменения температуры грунтового массива в условиях знакопеременного нестационарного теплового потока представляет собой чрезвычайно сложную задачу, поскольку требует физико-математического описания сложного температурного поля, сформировавшегося под действием разнообразных нестационарных механизмов, определяющих процесс теплосбора (теплоотвода), включая внешние климатические условия, изменение характеристик грунта, а также параметры, конструктивные особенности и технологические режимы работы теплового насоса [3].

Основой полученных результатов [4] являются апробированные методы решения фундаментальных дифференциальных уравнений нестационарного теплообмена, исследования, выполненных автором на действующей

геоэнергетической установке и лабораторном комплексе.

Целью экспериментальных исследований являлась натурная проверка результатов теоретических исследований, а также получение новых экспериментальных научных данных об изменении температурного поля при многолетней эксплуатации геотермальных теплонасосных установок.

Исследования проводились в 2 этапа. Экспериментальные исследования проводились на лабораторной базе кафедры «Инженерных систем и экологии» при Астраханском государственном архитектурно-строительном университете с использованием лабораторной экспериментальной установки ТН.002 РБЭ (2901.1). Экспериментально исследовались параметры «условной» геотермальной скважины при различных температурах «имитированного» грунта. Эксплуатационные режимы имитировались регулировкой интенсивности отвода и подвода тепла.

Лабораторный комплекс (рис. 1) ТН.002 РБЭ (2901.1) и её программного модуля.



Рис. 1. общий вид установки ТН.002 РБЭ (2901.1):

а) выполнение лабораторных экспериментов: 1 – теплоизолированный теплообменник (источник тепловой энергии, испаритель контура хладагента); 2 – теплоизолированный теплообменник (приемник тепловой энергии, конденсатор контура хладагента); 3 – бак для воды; 4, 5 – ротаметры (измерители-регуляторы расхода воды) конденсатора и испарителя соответственно; б) результаты эксперимента

В рассматриваемом комплекте типового лабораторного оборудования используется компрессионный холодильный агрегат, работающий на хладагенте R134a. В качестве источника тепловой энергии с низкой температурой использовалась вода в теплообменнике – испарителе – 1, а в качестве приемника тепла – вода в теплообменнике – конденсаторе 2. Регулируя проток, и температуру воды в теплообменниках, в ходе лабораторного исследования устанавливались различные режимы работы теплового насоса. Температура воды в баке 3, составляла 17 °С.

На рисунке 1б представлены последствия опыта при повышенной интенсивности отвода

тепла. Как видно из рисунка, наблюдается при контуре среды источника тепла, выпадение конденсата, а при продолжительности опыта, и охлаждение контура.

На рисунке 2 представлены результаты обработки данных эксперимента в виде зависимости коэффициента трансформации ($k_{тр}$) от разности температур (Δt). Обработка результатов представлена в виде графиков при интенсивности регуляторов расхода воды R_1 (поз. 4, рис. 1 а) и R_2 (поз. 5, рис. 1 а). Стоит отметить: значение $k_{тр}$ стремится к единице.

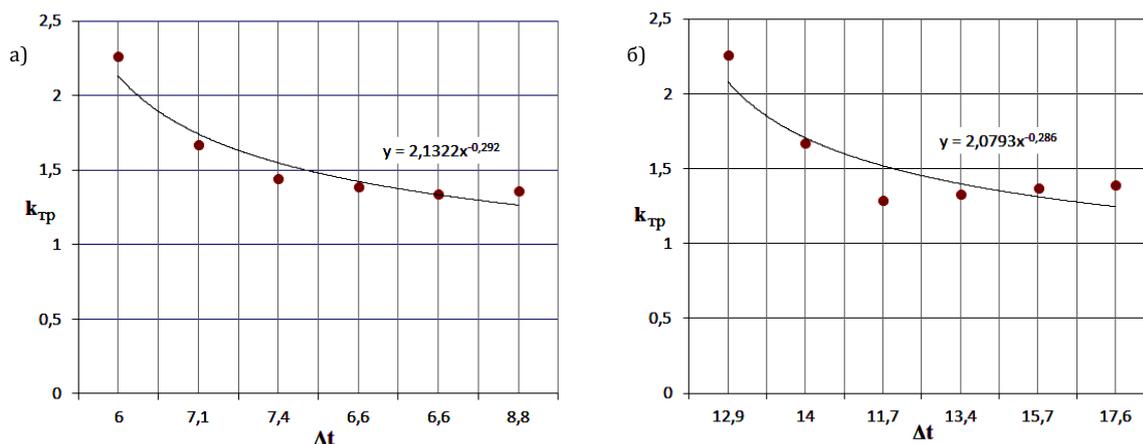


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента трансформации (k_{tr}) от разности температур (Δt): а) при $R_1=4$ $R_2=2$; б) $R_1=3,5$ $R_2=1$

На втором этапе проводились натурные исследования на производственном объекте крестьянско-фермерского хозяйства (КФХ) по переработке и хранению молочнокислой продукции в Астраханской области. Комплексная установка КФХ предназначена для круглогодичного использования процессов холодоснабжения и сезонного теплоснабжения. Система климат-контроля хозяйства основана на комбинации геотермального теплового насоса NIBE F 1145 мощностью 12 кВт и гелиосистемы из трёх солнечных коллекторов NIBE FP215. Источниками

энергии для подогрева и охлаждения являются две вертикальные скважины глубиной по 75 метров. Теплонасосное оборудование установлено и активно используется с 2012 года.

Натурные исследования проводились в июне 2014 г., в январе 2015 г. и январе 2017 г., т. е. срок эксплуатации геотермальных скважин составил более 2-х лет. На рисунках 3–4 представлено основное оборудование объекта исследования, а также рабочие экраны теплового насоса, с измеряемыми эксплуатационными параметрами системы.

а)



б)



Рис. 3. Обзор оборудования объекта исследования: а) тепловой насос; б) рабочий экран теплового насоса (июнь, 2014 г.)

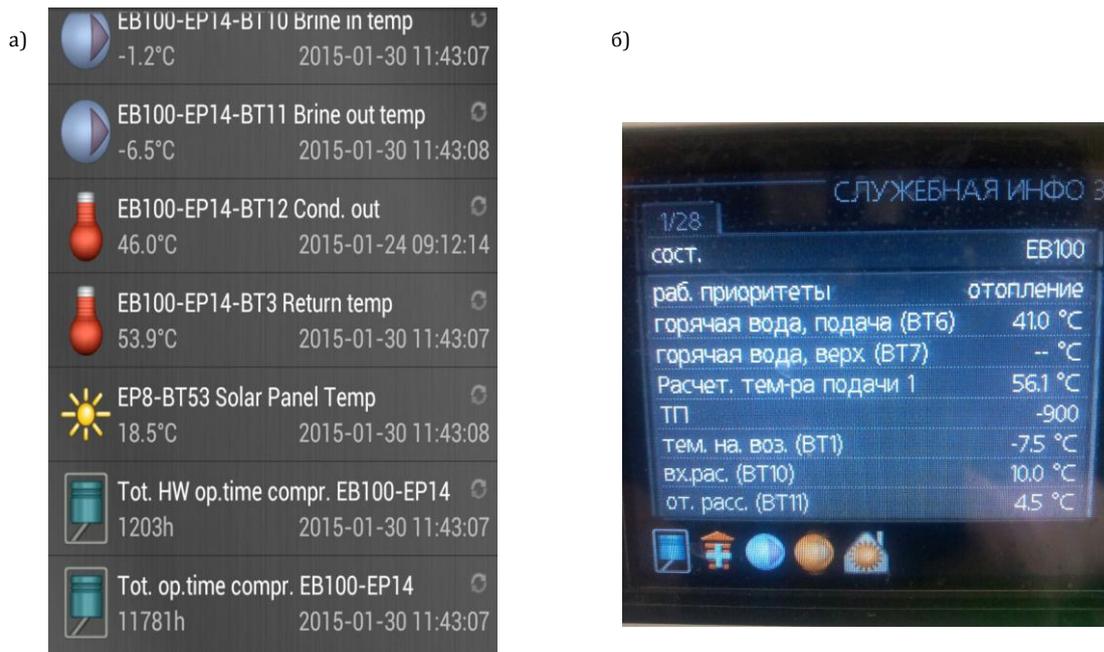


Рис. 4. Показатели замеров в зимний период: а) основное рабочее поле интерфейса программного обеспечения теплового насоса (январь, 2015 г.); б) рабочий экран теплового насоса (январь 2017 г.)

Тепловая нагрузка на производственный комплекс в период замеров составила 11 кВт. Плотность удельного теплового потока составляет 120 Вт/м². Согласно полученному критериальному уравнению [4] выражение (1) температура грунта на момент эксплуатации за первые 3 месяца работы (с момента первого включения – октябрь по январь) составит:

$$\theta = -5 \cdot 10^{-9} \cdot Q \cdot Fo^2 + 2 \cdot 10^{-8} Fo \cdot Q + 0,0003 \cdot Q + 5,1 \quad (1)$$

где Fo – критерий Фурье, θ – безразмерная температура, Q – безразмерный активный тепловой поток.

$$\Theta = (-5 \cdot 10^{-9} \cdot 2,400832^2) + (2 \cdot 10^{-8} \cdot 8,322400) + (0,0003 \cdot 2,400) + 5,1 = -2,46$$

Переводим полученную относительную величину в реальную температуру, согласно уравнению (2).

$$\Theta = \frac{t_{\text{грунт}}^{\text{остаточное}} - \bar{t}_{\text{ос}}}{t_{\text{грунт}}^{\text{фоновое}} - \bar{t}_{\text{ос}}} \quad (2)$$

где: $t_{\text{грунт}}^{\text{остаточное}}$ – температура грунта рассматриваемого эксплуатируемого периода, С; $\bar{t}_{\text{ос}}$ – средняя температура окружающей

среды эксплуатируемого периода, °С;

$t_{\text{грунт}}^{\text{фоновое}}$ – фоновое значение температуры грунта, °С.

Расчеты ведутся по модулю. Значение $t_{\text{грунт}}^{\text{остаточное}} = 2,85$ °С.

На рисунке 5 представлены результаты сопоставления расчетов с действующей установкой [3].

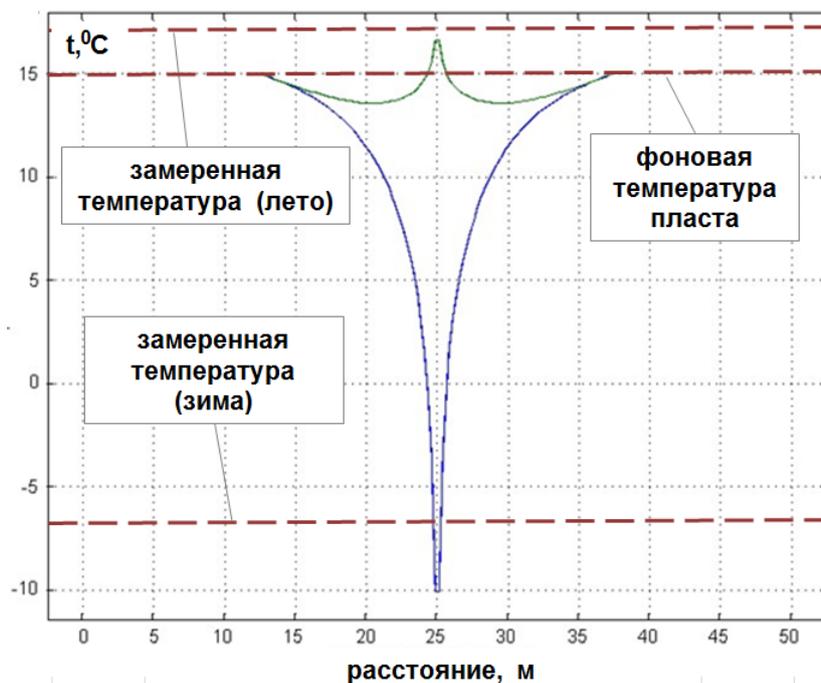


Рис. 5. Сопоставление результатов расчетов с действующей установкой

Представленные на графике данные распределения температур в пласте получены расчётным методом. Пунктирные линии соответствуют значениям замеренных температур на забое скважины. Вершины кривых – это рассчитанные температуры на забое скважины. Сопоставление результатов расчёта и измерений показывают, что в летний период, на момент фиксирования значений, расчёт составил примерно 17 °С, замеренная: 18 °С. Зимой: расчётная –10 °С, фактическая –7 °С [5]. Отклонения замеренных и расчётных значений при работе установки в режиме теплоснабжения составили 1–2 °С, в режиме кондиционирования 3 °С. На основании полученных результатов можно сделать вывод

об удовлетворительной сходимости результатов, полученных в ходе натуральных исследований, с результатами численного моделирования.

На основании полученных результатов можно сделать вывод: отклонение температуры от пределов нормы имеет допустимые значения. На рассматриваемом объекте, конструктивных решений не проводилось. Стоит предположить, что фильтрационный поток присутствует, ввиду близко расположенной реки.

Сопоставление результатов, полученных в ходе экспериментально-натурных исследований, с результатами численного моделирования показывают удовлетворительную сходимость.

Список литературы

1. Денисова А. Е., Мармусевич А. В. Моделирование тепловых процессов в грунтовой тепловой трубе теплонасосной системы тепло- и хладоснабжения // Труды Одесского политехнического университета. 2006. № 1(25). С. 65–69.
2. Васильев Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли : дис. ... д-ра тех. наук: 05.23.03 / Васильев Григорий Петрович. М., 2006. С. 423.
3. Сапрыкина Н. Ю. Моделирование температурного поля грунта при многолетней эксплуатации низкопотенциальных геотермальных скважин / Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи развитию науки и образования (25-28 апреля 2017 г., Астрахань) : сборник трудов VI Международного научного форума молодых ученых, студентов и школьников. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2017. С. 29-33.
4. Сапрыкина Н. Ю. Энергосберегающие технологии портовых сооружений на основе применения геотермальных тепловых насосов / Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. Астрахань. №1. 2017. С. 116–124.
5. Сапрыкина Н. Ю. Математическое моделирование изменения температурного поля грунта в режиме работы ТНУ / Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. 2015. № 1 (11). С. 69–73.

© Н. Ю. Сапрыкина

Ссылка для цитирования:

Сапрыкина Н. Ю. Исследование изменения температурного поля грунта геотермальной скважины в условиях экспериментальных и натуральных наблюдений в астраханской области // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 1 (23). С. 22–27.

УДК 504.064.43

ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ МОКРОГО ИСТИРАНИЯ

С. С. Евсева

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Интерес инженерного сообщества вновь нацеливается на технологические схемы переработки твердых бытовых отходов с отбором в процессе ценных компонентов. Производительность такого отбора снижают две самые крупные фракции ТБО: пищевые отходы и макулатура. Требуется технология, быстро и дешево отделяющая эти две фракции от ценного «остатка»; стерилизующая оставшиеся фракции для улучшения условий труда сортировщиков, отбирающих ценные компоненты; позволяющая получить из двух крупнейших фракций стерилизованный продукт.

ТБО и влажная макулатура наиболее легко разрушаются при механическом радиальном и тангенциальном воздействии в присутствии жидкости. Поскольку вода – жидкость несжимаемая, то разрушение пленчатых конструкций, наполненных водой, лучше всего производить деформацией сдвига, когда пленки (мембраны клеток) и волокна (целлюлозы в бумаге) разрушаются растяжением. Подаваемая извне влага при этом обеспечивает избыточную (предельную) влажность перерабатываемого материала.

Вниманию читателей предлагается технология мокрого истирания с применением в качестве дезинфицирующего раствора 0,3 % раствора сернистой кислоты с добавлением азотной и фосфорной кислот.

Предлагаемая разработка технологически проста: в ее основе лежит разновидность моечной машины, в которой основным рабочим органом являются щетки с электроприводом, расположенные над роликовым транспортером, по которому движутся ТБО, орошаемые раствором антисептика. Выбор антисептика обусловлен необходимостью переработки ТБО и использования продуктов их переработки в пределах городской черты без транспортных расходов по вывозу.

Предложенная технология также: практически безотходна (утилизируется и шрот, и жидкая фракция); увеличивает безопасность производственного процесса по сравнению как с процессом сжигания ТБО, так и процессом размещения его на полигонах; утилизирует большинство ценных компонентов ТБО размером более 10 мм; открывает новую нишу сбыта для гранулированной серы

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, пищевые отходы, макулатура, мокрое истирание, дезинфицирующий раствор, сернистая кислота, органоминеральное удобрение.

SOLID WASTE PROCESSING METHOD FOR WET ABRASION

S. S. Evseva

Astrakhan State University of architecture and civil engineering

Interest of the engineering community once again targets the technological processing scheme of municipal solid waste with selection of valuable components during processing. The performance of such selection will reduce the two largest factions MSW: food waste and waste paper. Technology required: quickly and cheaply between these two factions of valuable "balance"; sterilization the remaining fraction, to improve working conditions sorters, taking valuable components; allows you to get sterilized product of the two largest factions.

MSW and wet waste paper the most easily destroyed when a mechanical radial and tangential effects in the presence of liquid. Since water liquid is not compressible, destruction of filmy structures filled with water it is best to shear deformation, when films (membranes) and fiber (cellulose paper) are destroyed stretching. Served outside moisture that provides redundant (marginal) humidity of the material.

Attention readers are invited to wet abrasion using technology as a disinfectant solution 0,3 % solution of sulphurous acid, with the addition of nitric and phosphoric acids.

The proposed technology is technologically simple: it is based on the kind of washing machine, in which the main body is electrically operated brushes located above the roller conveyor on which move MSW, irrigated solution antiseptics. Choice of antiseptics is due to the necessity of recycling solid waste and the use of their products within city limits without transportation costs for export.

The proposed technology is also: practically wasteless (recycled and meal and liquid fraction); increases the safety of the production process in comparison with both the process of municipal solid waste incineration, and a process of placing it at landfills; recycles the most valuable component of MSW are larger than 10 mm; opens a new niche marketing for granular sulfur.

Keywords: municipal solid waste, food waste, paper, wet abrasion, disinfectant, sulphurous acid, organic-mineral fertilizer.