УДК 621.577.24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛИЦЫ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ

Токарева А.Н.[1], Грачева Н.Н.[1,2], Анохина Э.В.[1]

[1.] Азово–Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, *г.Зерноград, Ростовская область, Россия*

[2.] Донской Государственный технический университет, *г.Ростов–на–Дону, Россия*

К мероприятиям по снижению затрат тепловой энергии в тепличном хозяйстве в южных районах страны относится использование геотермального тепла земли, которое трансформируется посредством теплового насоса в тепловую энергию для отопления производственных помещений. Важным элементом данной системы являются грунтовые теплообменники. При использовании горизонтальных конструкций возникает необходимость в минимизации занимаемой площади. Представлена функция площади, занимаемой грунтовым теплообменником, зависящая от диаметра трубопровода. Исследование полученной функциональной зависимости на экстремум позволило установить диапазон диаметров трубопроводов, при использовании которых площадь закладки теплообменника будет наименьшей.

Ключевые слова: грунтовый теплообменник, теплонасосная установка, теплица, площадь, диаметр, экстремум.

DETERMINATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE GROUND HEAT EXCHANGER OF A GREENHOUSE HEAT PUMP SYSTEM IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF SOUTH RUSSIA

Tokareva A.N.[1], Gracheva N.N[1,2], Anokhina E.V.[1]

1. Azov-black sea engineering Institute FGBOU VO Donskoy GAU, *Zernograd, Rostov region, Russia*

2. Don State Technical University, *Rostov-on-Don, Russia*

Measures to reduce the cost of thermal energy in greenhouses in the southern regions of the country include the use of geothermal heat from the earth, which is transformed by means of a heat pump into thermal energy for heating industrial premises. Ground heat exchangers are an important element of this system. When using horizontal structures, it becomes necessary to minimize the occupied area. The function of the area occupied by the ground heat exchanger from the diameter of the pipeline is presented.. By studying the obtained dependence for extremes, it was possible to determine the range of pipeline diameters that would result in the smallest heat exchanger footprint.

Keywords: ground heat exchanger, heat pump unit, greenhouse, area, diameter, extremum.

Введение. С учетом современных требований импортозамещения возникает необходимость в увеличении количества тепличных хозяйств. Однако развитие данной отрасли АПК сдерживается за счет высоких тарифов на электрическую и тепловую энергию. Суммарные издержки на тепло и электричество составляют 49-68% затрат [1, 2] в структуре производства овощной продукции в сооружениях защищенного грунта. Следовательно, снижение затрат в тепличном хозяйстве можно обеспечить, в первую очередь, уменьшением потребления энергетических ресурсов.

К мероприятиям по снижению потребления тепловой энергии в теплицах относятся: совершенствование систем теплозащиты теплиц, внедрение энергосберегающих систем отопления, совершенствование конструктивного исполнения отопительных приборов, применение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

В климатических условиях южных районов страны в качестве возобновляемого источника энергии целесообразно использовать такой ресурс, как геотермальное тепло земли [3], которое передает свой потенциал для отопления помещений посредством теплонасосной установки.

При разработке теплонасосных установок большое внимание уделяется вопросам взаимосвязи между тепловыми процессами в испарителе и грунтовом теплообменнике. В большинстве научных работ рассмотрено использование вертикальных грунтовых теплообменников [3-6], которые занимают незначительную площадь. Что же касается горизонтальных грунтовых теплообменников, то они укладываются на 0,5-0,8 *м* ниже промерзания грунта [7]. Ввиду высокой стоимости земляных работ, горизонтальные теплообменники целесообразно использовать при небольшой глубине закладки, т.е. при незначительной глубине промерзания грунта. Этим требованиям удовлетворяют только климатические условия южных регионов страны. В то же время использование горизонтальных теплообменников требуют больших свободных территорий.

Таким образом, ***целью*** данных исследований является определение геометрических параметров горизонтальных грунтовых теплообменников, при которых достигается минимальная площадь закладки.

Материалы и методы. Объектом теплоснабжения является теплица по выращиванию огурцов и зелени, которая относится к подсобному хозяйству АО «Азовский оптико-механический завод». Тепловая мощность системы отопления теплицы равняется 750 *кВт*.

Исходя из тепловых режимов совместной работы грунтового теплообменника и теплонасосной установки [8], была установлена зависимость изменения длины теплообменника от диаметра трубопровода.

$$l_{mo} = 559163d^2 - 158176d + 9895{,}4 \quad (1)$$

Из трех представленных на рисунке 1 конструкций грунтовых теплообменников в качестве рационального варианта был выбран теплообменник в виде змеевика (рис. 1а), как наиболее простой по монтажу.

Теплообменники изготавливаются из напорных труб из полиэтилена серии ПВ [9]. Рассматривался диапазон диаметров трубопроводов от 25 до 90 *мм*. Размер минимальной площади закладки определялся при помощи схемы, приведенной на рисунке 2.

Принимаем n прямых участков грунтового теплообменника. Тогда общая длина грунтового теплообменника составит

$$l = nl_1 + (n-1)\pi 3d + 2 \cdot 3d = nl1 + (n-1)\pi 3d + 6d \quad (2)$$

Из данного выражения определяем длину прямого участка l_1.

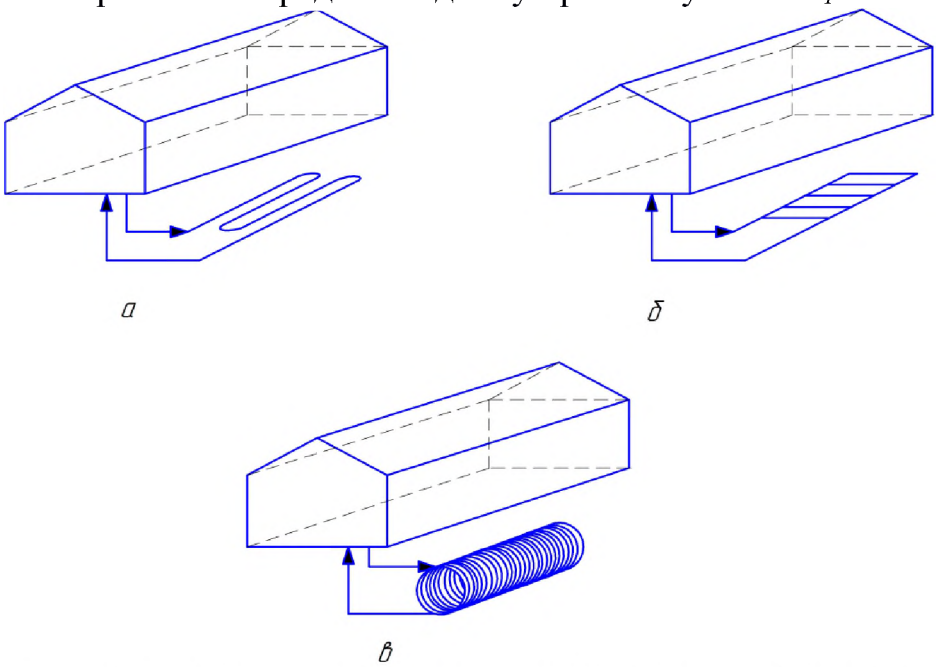


Рисунок 1 – Схемы грунтовых горизонтальных теплообменников.

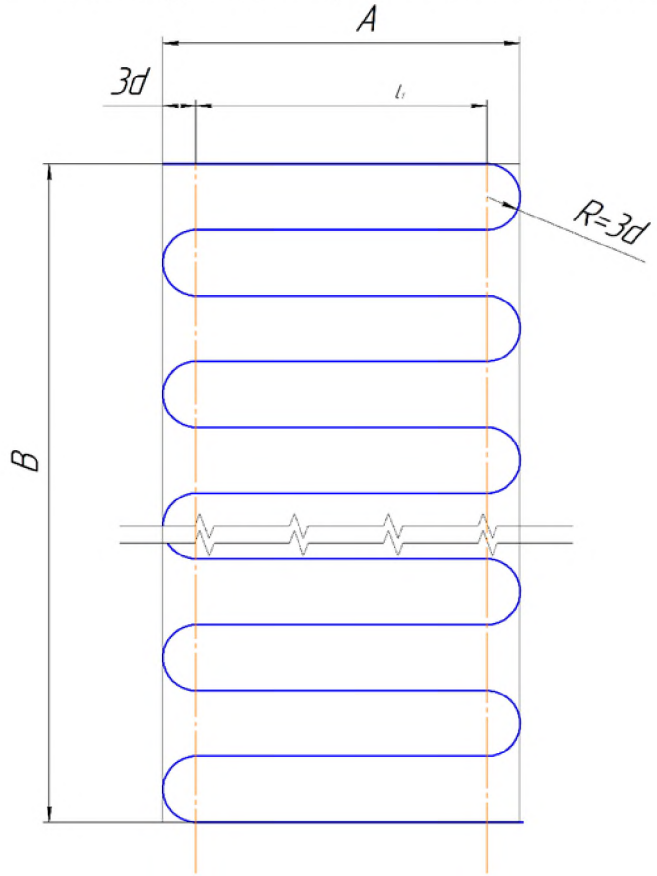


Рисунок 2 –Схема для расчета минимальной площади закладки грунтового теплообменника

$$l_1 = \frac{l - (n-1)\pi 3d - 6d}{n} \qquad (3)$$

Для упрощения алгебраических преобразований обозначим

$$a = l \quad (4)$$

$$b = 3\pi d \quad (5)$$

$$c = 6d \quad (6)$$

Тогда выражение (3) примет вид

$$l_1 = \frac{a-(n-1)b-c}{n} \quad (7)$$

Длины сторон прямоугольника, описывающего змеевиковый грунтовый теплообменник, будут составлять (рис.2)

$$A = l_1 + 3d = \frac{a-(n-1)b-c}{n} + c \quad (8)$$

$$B = (n-1)6d = (n-1)c \quad (9)$$

Тогда площадь прямоугольника, соответствующего территории, занимаемой теплообменником, составит

$$F = A \cdot B = \left(\frac{a-(n-1)b-c}{n} + c\right)(n-1)c \quad (10)$$

После проведения ряда преобразований выражение (10) приобретает вид

$$F = ac + 2bc - 2c^2 - nbc + nc^2 - \frac{ac+bc-c^2}{n} \quad (11)$$

Исследовав данную функцию (11) на экстремум и учитывая выражения (4-6), получаем число прямых участков, при которых обеспечивается минимизация площади, занимаемой теплообменником.

$$n = \sqrt{1 + \frac{l}{3{,}42d}} \quad (12)$$

Результаты исследований. Подставляя полученную величину (12) в выражения (7-9), рассчитаем минимальную площадь закладки теплообменника для всех рассматриваемых диаметров. Результаты расчетов приведены в виде гистограммы на рисунке 3.

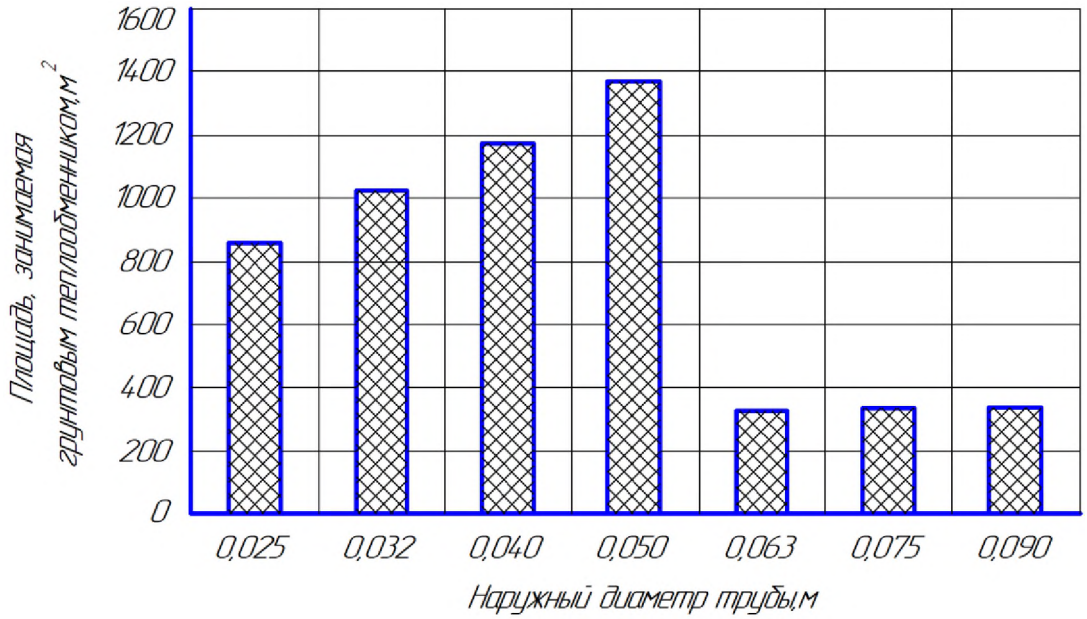


Рисунок 3 –Изменение минимальной площади закладки теплообменника от диаметра трубопровода

Из представленной гистограммы следует, что наименьшая площадь закладки получается при использовании трубопроводов с диаметром 63 мм и более. При этом для данных диаметров площади, занимаемые теплообменником, практически равны между собой.

Выводы. Исследования рассмотренной функции площадей на экстремум позволили установить диапазон диаметров трубопроводов, при которых площадь закладки теплообменных устройств будет минимальной. Для определения конкретного, наиболее оптимального значения трубопровода требуется проведение дальнейших исследований по энергетическим и экономическим затратам.

Список литературы

1. Куприянов, А. Энергетика тепличного хозяйства./ А. Куприянов. – URL: http://www.agbz.ru/articles/energetika-teplichnogo-hozyaystva

2. Федонов, А. И. Анализ состояния тепличных энергетических хозяйств / А. И. Федонов, Р. А Федонов // Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт. Материалы 11 Международной научно-практической конференции. – Белгород, 2018. – С.16-18.

3. Амерханов, Р. А. Моделирование тепломассообменных процессов в геотермальной скважине / Р. А. Амерханов, А. С. Кириченко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – № 4 (84). – С. 41-43.

4. Абрамов, С. Б. Разработка эффективной системы подогрева теплицы в условиях Забайкальского края / С. Б. Абрамов, И. Ф. Суворов // International scientific review of the problems and PROSPECTS of modern science and education: Collection of scientific articles LXIII IInternational correspondence scientific and practical conference, Boston, USA, 22–23 октября 2019 года. – Boston, USA: PROBLEMS OF SCIENCE, 2019. – С. 15-21.

5. Ахмадиев, Б. А. Исследование теплообменных процессов трубчатых элементов грунтовых теплообменников / Б. А. Ахмадиев // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2017. – № 2(42). – С. 92-96.

6. Бондаренко, А. В. Влияние теплового состояния грунта на работу теплонаносной

системы при многолетней эксплуатации / А. В. Бондаренко, А. В. Стрижиченко // Актуальные вопросы энергетики: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Омск, 17 мая 2018 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2018. – С. 75-78.

7. Мельков, Б. Н. Конструктивное решение энергоэффективного грунтового теплообменника для системы вентиляции ИЖС с возможностью режима рекуперации / Б. Н. Мельков, Н. Г. Дмитриева, А. В. Григорьев // Современные инновации в технике и производстве : Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Псков, 28–29 октября 2021 года. – Псков: Псковский государственный университет, 2022. – С. 208-211.

8. Филатов, С. О. Метод расчета и анализ совместной работы контура циркуляции грунтовых теплообменников и теплового насоса / С. О. Филатов, В. И. Володин // Труды БГТУ. №3. Химия и технология неорганических веществ. – 2013. – № 3. – С. 161-166.

9. ГОСТ 18599-2001 «Трубы напорные из полиэтилена». – URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294846/4294846443.pdf