

Исследование факторов, влияющих на эффективность работы теплонасосной установки в сельском хозяйстве

С.К. Шерьязов, д.т.н., профессор, О.С. Пташкина-Гирина, к.т.н., Р.Ж. Низамутдинов, к.т.н., О.С. Волкова, ассистент, ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ

Система теплоснабжения требует использования энергоэффективных методов, обуславливает введение новых, повышенных требований к теплозащите зданий в условиях роста стоимости энергоносителей. Для снижения затрат на энергоснабжение сельскохозяйственных потребителей возможно использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии [1, 2].

Анализ потенциала возобновляемых источников на территории Челябинской области [3, 4] показал, что наиболее оптимальным вариантом теплоснабжения сельскохозяйственных потребителей является применение тепловых насосов, использующих низкопотенциальную энергию тепла земли. К тому же большой опыт применения данной технологии в европейских странах, схожих по климатическим условиям, показывает актуальность их в условиях Южного Урала.

Тепловые насосы нашли широкое применение в теплоснабжении индивидуальных домов в основном в США и Европе, где в зависимости от климатических условий выполняют функцию отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования [5, 6]. Это связано с тенденцией развития в этих странах энергоэффективных домов с автономными системами энергоснабжения. Тепловые насосы могут использовать различные источники тепла (воздух, воду, грунт, сбросное тепло и т.д.), трансформируя их энергию, и отдавать её в конденсаторе с повышенной температурой, затрачивая внешнюю энергию только на привод компрессора [7].

Опыт эксплуатации существующих теплонасосных установок зарубежного производства, спроектированных без предварительных научных исследований, учитывающих геоклиматические особенности региона [8], привёл к снижению тепловой мощности, а вследствие этого либо к полному отказу населения от установки, либо к дополнительным затратам на её реконструкцию. Такая ситуация дискредитирует саму идею применения и тормозит внедрение тепловых насосов.

Областью нашего исследования являются грунтовые воды и грунты как источники тепловой энергии, трансформировав которую можно использовать в системе теплоснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Исходными данными для выбора источника теплоты является оценка тепловых потоков и их температурных градиентов. Челябинская область

не обладает запасами глубинных термальных вод и подземных стоков [9]: территория относится к зоне аномально низкого (<30 МВт/м²) теплового потока, т.е. характеризуется развитием исключительно холодных подземных вод. Температура их до глубины 300–400 м обычно составляет 5–7°C и даже на глубинах до 1000 м не поднимается выше 9°C [10].

Челябинская область имеет сложную гидрогеологическую структуру, что объясняется её расположением в горной и предгорной областях Уральских гор на западе и на востоке в пределах Западно-Сибирской низменности. Эта особенность предполагает повышенную динамичность теплового потока подземных вод и составляет на единицу площади водосбора от 0,015 до 0,045 Вт/м². В степном Зауралье, в области пониженного рельефа и засушливого климата, эта величина снижается до 0,002 Вт/м² [11, 12].

Распределение теплового потока подземного стока верхней зоны активного водообмена Челябинской области показано в ранее проведённых исследованиях [12, 13]. Таким образом, в условиях Челябинской области оптимальными источниками тепла для тепловых насосов могут быть грунтовые воды, водоёмы и грунт.

Цель исследования — изучить источники низкопотенциального тепла, воды и различных грунтов для определения эффективности использования теплового насоса в сельском хозяйстве.

Задачи исследования — определение факторов, влияющих на теплообмен в испарителе и теплопроизводительность теплового насоса.

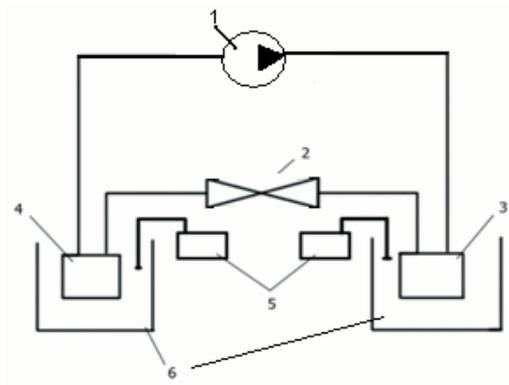
Материал и методы исследования. Исследование проводилось на экспериментальной установке (рис. 1), которая позволяет определить температуры источника и приёмника тепловой энергии, затрачиваемую электрическую мощность (на приводе компрессора), хладо- и теплопроизводительности теплового насоса [14, 15].

В ходе экспериментов были проведены опыты в системах «вода–вода» и «грунт–вода», в которых измеряли температуру теплоносителей в ёмкостях с интервалами в 5 мин. и рассчитывали количество тепла, выделяемого в конденсаторе за этот же временной интервал.

Результаты исследования. При проведении опыта в системе «вода–вода» температурные датчики фиксировали разную температуру по глубине теплообменника: в испарителе более высокие температуры получались в нижних слоях жидкости, а на конденсаторе — в верхних слоях. Наблюдалось некоторое расслоение жидкости. Получаемая тепловая мощность на конденсаторе рас-



а)



б)

Рис. 1 – Экспериментальная установка: а) общий вид, б) схема установки:

1 – компрессор; 2 – дроссель; 3 – конденсатор; 4 – испаритель, 5 – датчики температуры, 6 – ёмкости для изучаемых сред

считывалась по среднему температурному напору. Результаты измерений представлены на графиках (рис. 2, 3).

В ходе эксперимента было отмечено, что, несмотря на положительную температуру в ёмкостях, на испарителе наблюдалось обледенение и вследствие этого резкое снижение количества тепла, выделяемое в конденсаторе.

Было решено провести второй этап эксперимента, в котором жидкость внутри ёмкостей циркулирует и равномерно перемешивается. В этом случае температура в испарителе понижается равномерно и удаётся собрать большее количество тепла, кроме того, жидкость подходит к границе фазового перехода, образования льда вокруг испарителя не наблюдается. Результаты исследования приведены на рисунках 4 и 5.

Анализ проведённых опытов показывает, что вследствие увеличения разности температур испарения и конденсации работа теплового насоса была нестабильна. Важным фактором для его стабильной работы является поддержание постоянной температуры конденсации теплоносителя.

После модернизации экспериментальной установки с выполнением активного отбора тепла из ёмкости конденсатора, имитирующей работу потребителя, температура конденсации стала постоянной, и тепловой насос в ходе эксперимента вышел на установившийся режим работы (рис. 6).

В следующей серии опытов было проведено исследование с песчаным грунтом различной влажности, рассматриваемым в качестве источника низкопотенциального тепла. В ходе исследования было обнаружено, что теплообмен имеет ярко выраженную зависимость от влажности (рис. 7).

Таким образом, подтвердились литературные данные, что отбор тепла с увеличением влажности грунта увеличивается. В случае с песком при увеличении его влажности до 100% тепловой отбор увеличился на 27%.

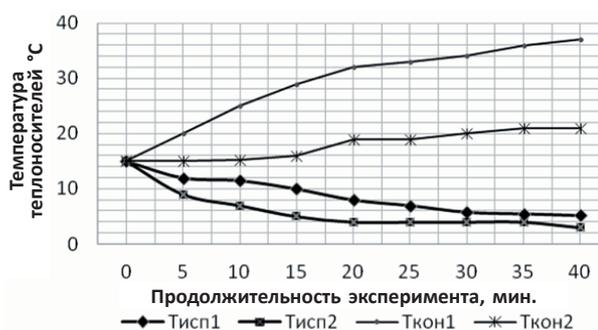


Рис. 2 – Изменение температуры воды в различных слоях при отсутствии циркуляции в системе «вода – вода»:

$T_{исп1}$, $T_{исп2}$ – температура в ёмкости с испарителем; $T_{кон1}$, $T_{кон2}$ – температура в ёмкости с конденсатором на разной глубине опытного резервуара

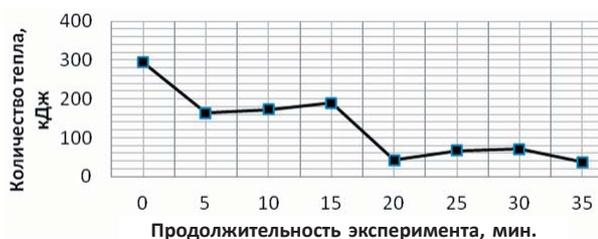


Рис. 3 – Количество теплоты, выделяемой на конденсаторе при отсутствии циркуляции в системе «вода – вода»

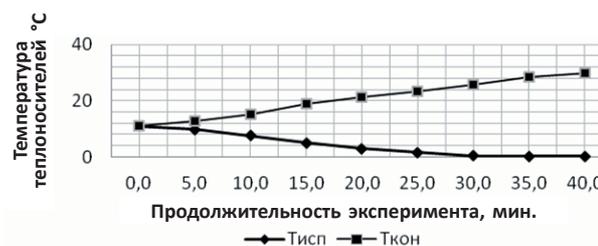


Рис. 4 – Изменение температуры воды в ёмкостях с испарителем $T_{исп}$ и с конденсатором $T_{кон}$ при интенсивной циркуляции в системе «вода – вода»

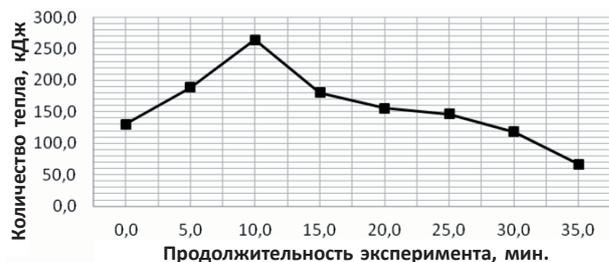


Рис. 5 – Количество теплоты, выделяемой в конденсаторе при интенсивной циркуляции в системе «вода – вода»

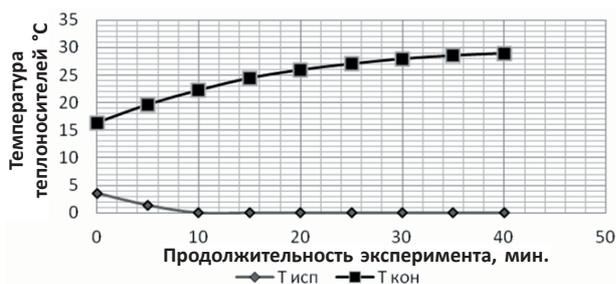


Рис. 6 – Изменение температуры теплоносителя в ёмкостях с испарителем Т_{исп} и с конденсатором Т_{кон} в системе «вода – вода» при стабилизации температуры конденсации

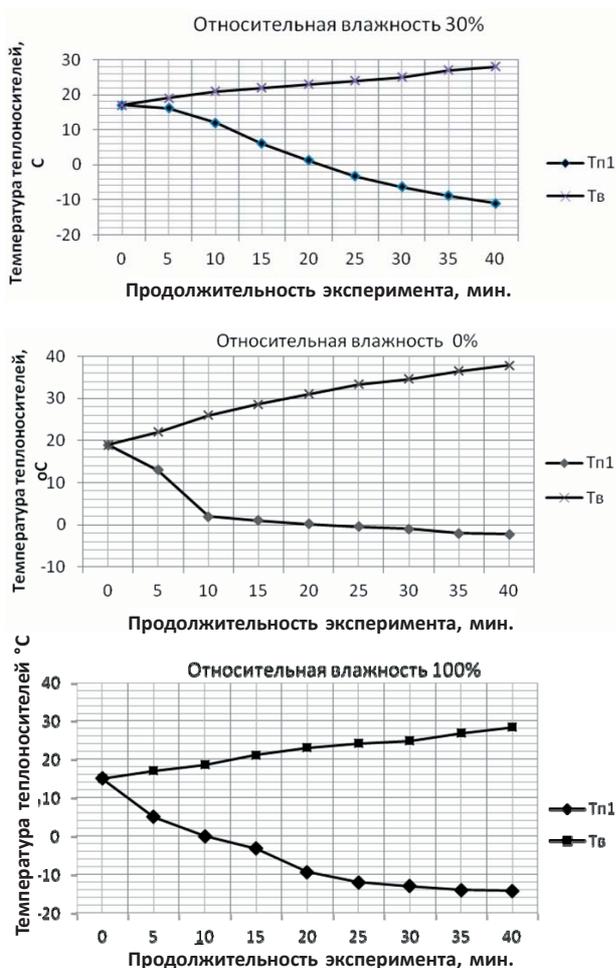


Рис. 7 – Изменение температуры в ёмкостях с песком Т_п и водой Т_в при различной влажности песка в системе «грунт – вода»

Выводы. Для теплоснабжения сельскохозяйственных потребителей перспективным является использование теплонасосных установок. При этом важно выбрать источник низкопотенциального тепла, как правило, в грунтовых аккумуляторах, и выбор системы преобразования данного источника в высокотемпературное тепло. В любых почвогрунтах отбор тепла имеет выраженную зависимость от влажности, и наибольшего теплосъёма можно добиться при попадании теплообменника в грунтовые воды. Поэтому применение теплонасосных установок, использующих энергию грунтовых вод, более эффективно, чем установок, использующих энергию сухих грунтов.

В результате исследования была выявлена зависимость отбора тепла от водообмена между скважиной и грунтом. В дальнейшем требуется исследование зависимости изменения тепловых полей от удаления среды теплообмена от теплообменника; разработка способов увеличения теплообмена между скважиной и низкопотенциальным источником энергии.

Литература

- Sheryazov, S.K., Ptashkina-Girina, O.S. Increasing power supply efficiency by using renewable sources. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 – Proceedings 2016 | conference-paper .DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7910986.
- Sheryazov, S.K., 2013. Methodology of Renewable Sources Efficient Use. In the Proceedings of the VI international research and practice conference «European Science and Technology», Germany: pp: 343-347.
- Шерязов С.К., Пташкина-Гирина О.С. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве: учебное пособие. Челябинск: ЧГАА, 2013. 280 с.
- Шерязов С.К., Пташкина-Гирина О.С. Особенности использования возобновляемой энергии в сельском хозяйстве. Вестник ЧГАА. Челябинск, 2013. Вып. 66. С. 95–101.
- Рей Д., Макмайл Д., Тепловые насосы / Пер. с англ. М.: Энергоиздат, 1982. 224 с.
- Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. и др. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / Пер. с нем. Н.Л. Кораблевой, Е.Ш. Фельдмана; Под ред. Б.К. Явнеля. М.: Стройиздат, 1985. 351 с.
- Применение тепловых насосов в системах отопления и горячего водоснабжения [Электронный ресурс]: учебное пособие / Южно-Уральский ГАУ, Институт агроинженерии; сост.: Р.Ж. Низамутдинов, О.С. Пташкина-Гирина, О.В. Волкова. Челябинск: Южно-Уральский ГАУ, 2015. 55 с.
- СНиП 23-01-99. Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Строительная климатология. [Электронный ресурс]. URL://http://www.kwark.ru/files/gs/010.pdf.
- Голованова И.В. Тепловое поле Южного Урала / Отв. ред. В.Н. Пучков; Ин-т геологии Уфим. НЦ РАН. М.: Наука, 2005. 189 с.
- Богуславский Э.И. Использование геотермальной энергии для целей теплоснабжения // Экологические системы: электронный журнал энергосервисной компании № 3 (99), март 2010. [Электронный ресурс]. URL://http://esco-ecosys.narod.ru.
- Пташкина-Гирина О.С., Низамутдинов Р.Ж. Выбор схемы отбора тепла от низкопотенциального источника энергии // Наука ЮУрГУ: матер. 65-й науч. конф. Т. 2. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. С. 186–189.
- Низамутдинов Р.Ж. Использование низкопотенциальной энергии Земли для теплоснабжения сельского потребителя в условиях Южного Урала: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2013. 26 с.
- Пташкина-Гирина О.С., Низамутдинов Р.Ж. Опыт использования низкопотенциальной тепловой энергии озёр для систем теплоснабжения в условиях Челябинской области // Актуальные проблемы энергетики АПК: матер. VIII междунар. науч.-практич. конф. Саратов: ООО «ЦеСАин», 2017. С. 216–219.
- Низамутдинов Р.Ж., Козырев Д.В., Пташкина-Гирина О.С. Многофункциональный стенд теплонасосной установки // Технические науки – агропромышленному комплексу России: матер. междунар. науч.-практич. конф. Челябинск, ЮУрГАУ. 2017. С. 208–215.
- Пташкина-Гирина О.С., Низамутдинов Р.Ж., Козырев Д.В. Исследование режимов работы теплонасосной установки на многофункциональном стенде // Наука ЮУрГУ: матер. 69-й науч. конф. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2017. С. 327–333.