ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

GEOTHERMAL ENERGY

Статья поступила в редакцию 02.04.15. Ред. рег. № 2222

The article has entered in publishing office 02.04.15. Ed. reg. No. 2222

VЛК 621 577 4

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕПЛОТУ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

А.О. Сычёв, В.В. Харченко

Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства РФ 109456, Москва, 1-й Вешняковский проезд, д. 2 тел: +7(499)171-96-70; факс: +7(499)170-51-01, e-mail: kharval@mail.ru, arsenicus@rambler.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.10-11.008

Заключение совета рецензентов: 16.04.15 Заключение совета экспертов: 28.04.15 Принято к публикации: 12.05.15

Одним из основных препятствий для более широкого внедрения тепловых насосов в сферу теплоснабжения является высокая стоимость систем на их основе. Рассматриваются меры, способные уменьшить стоимость и увеличить эффективность теплонасосных установок, использующих теплоту поверхностных вод, прежде всего теплоту водотоков, за счёт улучшения методов отбора низкопотенциальной теплоты от водной среды. Приведён пример конструкции погружного теплообменника «вода-рассол», спроектированного в соответствии с описанными мерами. Разработаны рекомендации по выбору оптимального состава теплоносителя низкотемпературного контура.

Ключевые слова: тепловой насос, низкопотенциальная теплота, водоток, погружной теплообменник «вода-рассол».

WAYS TO IMPROVE TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF A SURFACE WATER HEAT PUMP BASED SYSTEMS

A.O. Sychov, V.V. Kharchenko

The All-Russia Institute for Electrification of Agriculture 2, 1st Veshnjakovsky Dr., Moscow, 109456 Russian Federation ph.: +7(499)171-96-70; fax: +7(499)170-51-01, e-mail: kharval@mail.ru, arsenicus@rambler.ru

Referred 16 April 2015 Received in revised form 28 April 2015 Accepted 12 May 2015

One of the main obstacles for more widespread introduction of heat pumps to the sphere of heat supply is the high cost of systems on their basis. The paper considers the measures capable to reduce cost and to increase efficiency of the heat pump installations using warmth of surface water, first of all warmth of watercourses, due to improvement of selection methods of low-grade heat from the water environment. The paper gives the example of a design of the submersible water-brine heat exchanger designed according to the described measures and recommendations about a choice of optimum medium of a low-temperature contour.

Keywords: water-source heat pump, low-grade heat, watercourse, submersible water-brine heat exchanger.





Arseniy O. Sychov

Сведения об авторе: аспирант ФГБНУ

Образование: МГТУ им. Н.Э. Баумана, факультет "Энергомашиностроение", кафедра "Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии" (2011 г.).

Область научных интересов: возобновляемая энергетика, тепловые насосы, теплообменные процессы.

Публикации: 7.

Information about the author: student of FGBNU post-graduate VIESH.

Education: Bauman Moscow State Technical University, Engineering faculty, department of Alternative and renewable energy sources (2011).

Research area: renewable power engineering, heat pumps, heat-exchange processes.

Publications: 7.



Харченко Валерий Владимирович Valeriy V. Kharchenko

nternational Publishing House for scientific periodicals "Space"

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ВИЭСХ, член Комитета ВИЭ РосСНИО, член ISES-Russia, рецензент международного журнала Solar Energy, член Комиссии по альтернативной энергетике Общественного Совета при Министерстве сельского хозяйства РФ, член Научного Совета РАН по нетрадиционным возобновляемым источникам энергии.

Образование: Ташкентский политехнический институт (1961 г.).

Область научных интересов: технологии возобновляемой энергетики.

Публикации: более 200.

Information about the author: DSc professor, (engineering), principal scientific fellow of FGBNU VIESH; a member of ISES-Russia; a reviewer of the International Journal of Solar Energy; member of the Commission on alternative energy of the Public Council under the Ministry of Agriculture of the Russian Federation; a member of the Scientific Council of RAS on renewable energy sources.

Education: Tashkent Polytechnic Institute (1961).

Research area: technologies of renewable energy.

Publications: more than 200.

Введение

Во многих странах теплонасосные установки (ТНУ) внедряются и активно применяются в сфере теплоснабжения уже много лет, особенно в теплоснабжении частных домов. Здесь они служат хорошей альтернативой газовым, жидкотопливным или твёрдотопливным котлам, а также устройствам прямого электрообогрева в тех случаях, когда отсутствует возможность подключения к магистральному газопроводу, и источниками энергии могут служить только электросеть или завозное топливо. Основными препятствиями для более широкого внедрения таких установок в России являются, с одной стороны, высокая стоимость и, соответственно, длительный срок окупаемости установок, использующих теплоту грунта или водных сред, и, с другой стороны, малая эффективность при низких температурах более доступных тепловых насосов, использующих теплоту наружного воздуха. Последний тип в основном подходит только для регионов с относительно мягким климатом, прежде всего на юге страны [1].

Значительную долю в сумме капитальных затрат при сооружении ТНУ первого типа составляет стоимость обустройства контура по отбору низкопотен-

циальной теплоты. Если в качестве источника теплоты выступает грунт или грунтовые воды, то существенно снизить стоимость установки в большинстве случаев довольно сложно ввиду необходимости масштабных грунтовых работ. Но в случае наличия подходящего по параметрам открытого водного источника теплоты - водоёма или водотока - появляется возможность сократить затраты на установку. Широкие перспективы в этом плане открывает использование теплоты водотока. Анализ практики создания подобных ТНУ показывает: в связи с малым опытом и отсутствием необходимых исследований в этой области, в основном находят далеко не самые оптимальные решения, что приводит к увеличению стоимости, а порой и к ситуациям, когда характеристики полученной установки оказываются значительно хуже, чем ожидалось. В ряде случаев при попытке спроектировать ТНУ с применением классических методов отбора теплоты от водной массы уже результаты предварительных расчётов делают такой проект непривлекательным для заказчика, и от этой идеи вовсе отказываются, хотя более глубокий подход к вопросу и иные технические решения могли бы сделать такую установку гораздо рентабельнее.



International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Следует также отметить, что помимо природных водных сред существует множество относительно тёплых водоёмов и водотоков, несущих в себе геотермальную или бросовую антропогенную теплоту, при использовании которой в ТНУ можно значительно сократить затраты на теплоснабжение.

Пути улучшения характеристик ТНУ

Существует несколько способов отбора теплоты от водоёма или водотока. Наиболее простым, малозатратным и эффективным на первый взгляд представляется схема с открытым контуром без промежуточного теплоносителя, то есть с забором и последующим сбросом воды, но такой вариант вследствие серьёзных недостатков, как правило, не рекомендуется к применению. Таким образом, на практике наиболее часто пользуются пассивными методами отбора теплоты с контуром промежуточного теплоносителя, среди которых наибольшее распростране-

ние получил метод с укладкой на дно так называемых матов из полиэтиленовых труб, что можно назвать аналогией метода отбора грунтовой теплоты на основе горизонтальных коллекторов. Но, несмотря на простоту конструкции и низкую стоимость полиэтиленовых труб, такая схема отбора теплоты от водной среды далеко не всегда является наиболее рациональной.

Авторы данной статьи рассмотрели пути повышения технико-экономических характеристик теплонасосных установок, использующих теплоту водной среды, прежде всего водотока.

На рис. 1 показана блок-схема, поясняющая, каким образом принимаются основные технические решения в случае отбора теплоты от среды с низкой теплоотдачей, например грунта. Схема позволяет понять, по каким причинам именно коллекторы из полиэтиленовых труб являются наилучшим вариантом в подобных условиях.

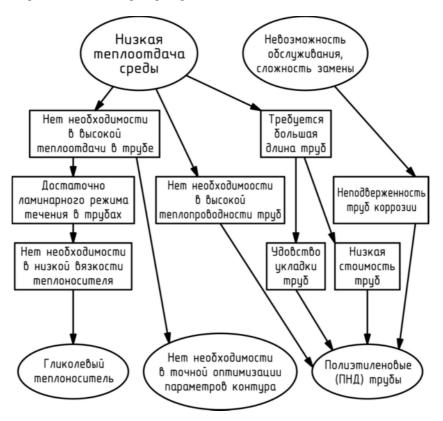


Рис. 1. Логика выбора оптимальных технических решений для отбора теплоты от среды с низкой теплоотдачей **Fig. 1.** Logic of a choice of optimum technical solutions for warmth selection from medium with a low heat irradiation

Картина существенно меняется при отборе теплоты от водной среды. Неподвижную водную массу в непроточном водоёме, особенно в придонной области, нельзя назвать средой с высокой теплоотдачей, но возникающие конвективные потоки позволяют использовать схемы с большей плотностью теплового потока и меньшей поверхностью теплообмена. Таким образом, иногда конкуренцию масштабным донным коллекторам из полиэтиленовых труб могут

составить более компактные погружные теплообменники, в некоторых случаях уже применяющиеся при создании подобных теплонасосных установок. Но на сегодняшний день ощущается недостаточность данных и отсутствие каких-либо сравнительных исследований, которые позволяли бы точно находить оптимальные решения в каждом конкретном случае отбора теплоты от водоёма.

В свою очередь, водоток в полной мере можно



Международный издательский дом научной периодики "Спейс

№ 10-11

(174-175)

назвать средой с высокой теплоотдачей, и для достижения наилучших технико-экономических показателей ТНУ данного типа целесообразно воспользоваться этой особенностью. На рис. 2 приведена блоксхема, демонстрирующая основные меры, которые

следует предпринять при проектировании теплообменника и в целом контура отбора низкопотенциальной теплоты от водотока для достижения поставленных целей.

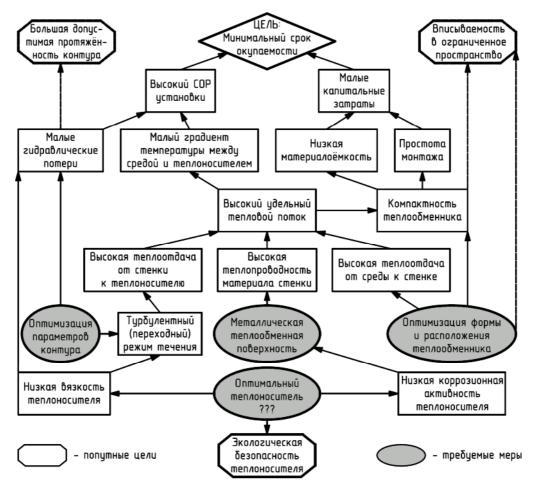


Рис. 2. Возможные пути повышения технико-экономических показателей ТНУ при отборе теплоты от водотока **Fig. 2.** Possible ways to improve technical and economic indicators of heat pump based systems in case of warmth selection from a watercourse

Как видно на схеме, данный путь требует более тщательного подхода к расчёту и оптимизации параметров, но спроектированные таким образом ТНУ с металлическими погружными теплообменниками во многих случаях должны стать более выгодными, нежели ТНУ с донными матами, а в ряде случаев он является единственным приемлемым решением.

Важный и сложный вопрос, актуальный при любых схемах отбора низкопотенциальной теплоты, — это выбор оптимального теплоносителя, максимально отвечающего всем требованиям. В условиях околонулевых температур вязкость теплоносителя начинает играть решающую роль. Высокая вязкость большинства низкозамерзающих теплоносителей, особенно пропиленгликолевых, значительно ухудшает характеристики и делает неэффективными металлические теплообменники. Более того, этот же фактор существенно ухудшает характеристики клас-

сических коллекторов из полиэтиленовых труб.

Анализ большого числа применяемых в различных областях низкозамерзающих составов показал, что теплоноситель, который отвечал бы всем требованиям, отсутствует. В качестве компромиссного варианта может выступать раствор хлорида кальция, несмотря на коррозионную активность, которую в значительной степени можно уменьшить при использовании определённых ингибиторов коррозии. Помимо малой вязкости такой теплоноситель характеризуется низкой стоимостью, что также является существенным фактором, влияющим на общую стоимость установки, а также экологической безопасностью.

Практические решения

Можно предложить несколько различных конст-



Международный издательский дом научной периодики "Спейс

рукций теплообменников «вода-рассол», предназначенных для отбора теплоты от водотока, соответствующих приведённым выше критериям максималь-

ной эффективности. Вариант подобного теплообменника на основе плоского змеевика из металлических труб круглого сечения представлен на рис. 3.

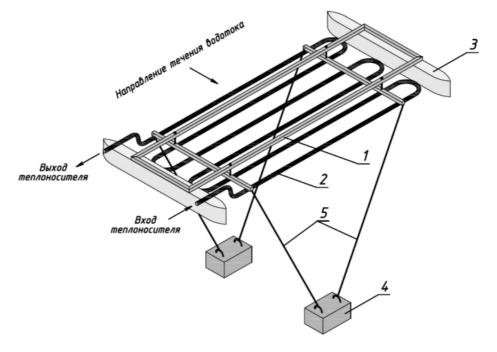


Рис. 3. Погружной плавучий теплообменник «вода-рассол»: 1 – рама, 2 – змеевик, 3 – поплавки, 4 – грузы-якоря, 5 – тросы **Fig. 3.** Submersible floating water-brine heat exchanger: 1 – frame, 2 – coil-pipe, 3 – floats, 4 – anchors, 5 – ropes

Улучшение параметров теплообмена достигается прежде всего за счёт использования естественного движения воды в направлении течения в ядре потока (для интенсификации теплообмена). Известно, что скорость течения воды в открытом русле принимает наибольшие значения вблизи поверхности, а в случае наличия ледяного покрова зона наибольшей скорости течения смещается вглубь, ближе к середине потока [2]. Для того чтобы теплообмен-

ник удерживался в зоне наибольшей скорости течения, он снабжён поплавками, придающими ему плавучесть, тросами и грузами-якорями (рис. 4, 5). Улучшение теплообменных характеристик также происходит за счёт того, что при такой конструкции и расположении теплообменника в русле обеспечивается поперечное обтекание потоком воды прямых участков трубы змеевика, а это интенсифицирует процесс теплопередачи.

Международный издательский дом научной периодики "Спейс

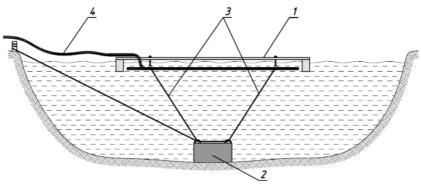


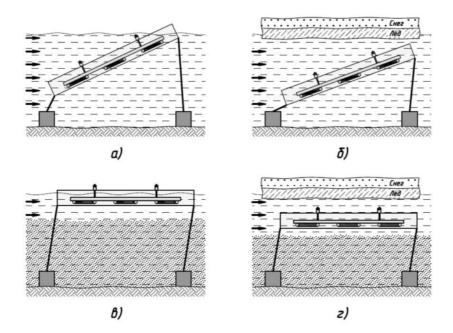
Рис. 4. Пример расположение теплообменника в русле водотока: 1 – теплообменник, 2 – грузы-якоря, 3 – тросы, 4 – гибкие подводки **Fig. 4.** Example of arrangement of the heat exchanger in a watercourse: 1 – floating heat exchanger, 2 – anchors, 3 – ropes, 4 – flexible hose

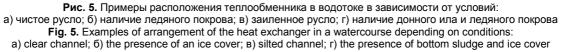
При использовании теплообменника в условиях замерзающего водотока на период наличия ледяного

покрова его целесообразно подтягивать тросами ближе ко дну (рис. 56, 5ε), а в остальное время удержи-



вать у поверхности водотока (рис. 5 a, 5e), таким образом, змеевик будет находиться в зонах наибольшей скорости течения и не вмерзнет в лёд. При этом даже существенное уменьшение уровня воды в русле не приведёт к осушению труб змеевика, так как теплообменник начнёт опускаться вслед за уровнем воды.





Для испытания описанного метода, а также для проверки других технических решений, направленных на повышение технико-экономических характеристик ТНУ, была собрана экспериментальная установка, которая представляет собой теплонасосную систему отопления и кондиционирования жилого дома типа «вода-воздух» теплопроизводительностью до 7 кВт (рис. 6). Система отбора низкопотенциальной теплоты смонтирована на специально выбранном незамерзающем водотоке.

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

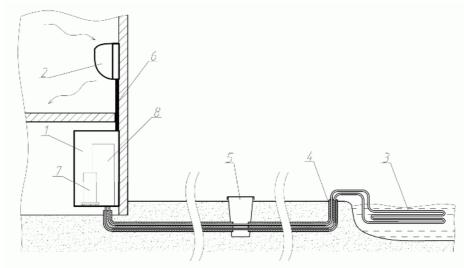


Рис. 6. Принципиальная схема экспериментальной установки:

1 – внешний блок; 2 – внутренний блок; 3 – теплообменник «вода-рассол»; 4 – утеплённый подземный трубопровод; 5 – инспекционный колодец, точка подключения дополнительных источников теплоты;

6 – фреонопровод; 7 – компрессор; 8 – теплообменник «рассол-фреон»

Fig. 6. Schematic diagram of the experimental installation:

1 – outdoor unit; 2 – indoor unit; 3 – water-brine heat exchanger; 4 – warmed underground pipeline; 5 – inspection well, point of connection of additional warmth sources; 6 - freon line; 7 - compressor; 8 - brine-freon heat exchanger





Помимо специального речного теплообменника эту экспериментальную установку отличает ещё несколько технических решений, которые обычно не применяются в классических теплонасосных системах, но дают определённые преимущества и также служат предметами исследования. К таким решениям, например, относятся:

- использование частотно-регулируемых компрессора и циркуляционного насоса низкотемпературного контура;
- непосредственный нагрев внутреннего воздуха в теплообменнике-конденсаторе теплового насоса без применения промежуточных контуров и замкнутая вентиляционная система для распределения тёплого воздуха по дому;
- возможность подключения к системе дополнительных источников низкопотенциальной теплоты.

Для рассматриваемой схемы эффективность всей установки зависит от таких параметров, как размеры и конфигурация погружного теплообменника, состав и удельный расход теплоносителя и других. При этом на суммарный коэффициент преобразования (coefficient of performance – COP) всей установки влияет также мощность, затрачиваемая на циркуляцию теплоносителя. С целью определения наиболее выгодной конфигурации и оптимизации всех параметров для конкретных начальных условий предварительно была составлена специальная расчётная программа в среде в MathCAD [3].

Заключение

Использование поверхностных водоёмов и особенно водотоков в качестве источников низкопотенциальной теплоты для работы теплонасосных установок позволяет сократить стоимость и сроки окупаемости последних. Но для достижения высоких технико-экономических показателей таких ТНУ требуются новые, наиболее оптимальные в каждом случае решения, например, применение погружного плавучего теплообменника «вода-рассол». Внедрение в практику этого и других решений способствовало бы более широкому распространению подобных систем.

Список литературы

- 1. Чемеков В.В., Харченко В.В. Система теплоснабжения автономного жилого дома на основе теплового насоса и ветроэлектрической установки // Теплоэнергетика. 2013. № 3. С. 58–62.
- 2. Железняков Г.В. Теория гидрометрии. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 330 с.
- 3. Харченко В.В., Сычёв А.О. Оптимизация низкотемпературного контура теплонасосной установки на основе теплоты поверхностных вод // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2013. № 07. С. 31–36.

References

- 1. Chemekov V.V., Kharchenko V.V. Sistema teplosnabženiâ avtonomnogo žilogo doma na osnove teplovogo nasosa i vetroèlektričeskoj ustanovki. *Teploènergetika*, 2013, no. 3, pp. 58–62 (in Russ.).
- 2. Zheleznyakov G.V. Teoriâ gidrometrii. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1976, 330 p. (in Russ.)
- 3. Kharchenko V.V., Sychov A.O. Optimizaciâ nizkotemperaturnogo kontura teplonasosnoj ustanovki na osnove teploty poverhnostnyh vod. *International Scientific Journal «Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ»* (IS-JAEE), 2013, no. 7, pp. 31–36 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995



