

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА (05.14.04)

ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ (05.14.08)

УДК 621.577.4

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-108-116

Использование низкопотенциальной теплоты водотоков в системах теплонасосного теплоснабжения в условиях средней полосы России

В.В. Харченко, А.О. Сычѐв

Рассмотрен вопрос выбора источника низкопотенциальной теплоты для обустройства теплонасосной системы теплоснабжения, показана перспективность использования для этой цели теплоты открытых водотоков. Описана конструкция плавучего теплообменника для водотока, с помощью которой была сооружена теплонасосная система отопления загородного дома в Московской области. Приведены результаты исследований эффективности работы теплообменника. Для анализа перспектив широкого внедрения подобных систем в условиях центральной полосы России выполнены замеры температуры воды в ряде рек Московской области в зимний период. Изготовлена мобильная установка для проведения выездных экспериментальных исследований процесса отбора теплоты от водотоков. Даны результаты измерений коэффициента теплопередачи вода—теплоноситель в условиях обледенения теплообменной поверхности. Исследования подтвердили перспективность использования теплонасосных систем для целей круглогодичного теплоснабжения.

Ключевые слова: тепловой насос, теплонасосная система теплоснабжения, водоток, теплообменник, низкопотенциальная теплота.

Для цитирования: Харченко В.В., Сычѐв А.О. Использование низкопотенциальной теплоты водотоков в системах теплонасосного теплоснабжения в условиях средней полосы России // Вестник МЭИ. 2022. № 4. С. 108—116. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-108-116.

Using the Low-grade Heat of Watercourses for Heat Pump Based Heat Supply Systems under the Conditions of Central Russia

V.V. Kharchenko, A.O. Sychev

The selection of a low-grade heat source for setting up a heat pump based heat supply system is considered, and the prospects of using the heat of open watercourses for this purpose are shown. The design of a floating heat exchanger for a watercourse is described, which was used to construct a heat pump system for heating a country house in the Moscow region. The results of studying the heat exchanger performance efficiency are presented. To analyze the prospects for a widespread introduction of such systems under the conditions of central Russia, water temperature measurements were carried out in a number of Moscow region rivers in winter. A mobile installation for carrying out experimental field studies of the heat extraction process from watercourses has been constructed. The results of the water to heat carrier heat transfer coefficient measurements under the heat transfer surface icing conditions are given. The study results have confirmed good prospects of using heat pump systems for the year-round heat supply purposes.

Key words: heat pump, heat pump based heat supply system, watercourse, heat exchanger, low-grade heat.

For citation: Kharchenko V.V., Sychev A.O. Using the Low-grade Heat of Watercourses for Heat Pump Based Heat Supply Systems under the Conditions of Central Russia. Bulletin of MPEI. 2022;4:108—116. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-108-116.

Состояние вопроса

Проблема организации экономичного теплоснабжения чрезвычайно актуальна. Особенно остро она стоит для жилых и сельскохозяйственных строений, расположенных вдали от централизованных тепловых сетей [1]. Одним из ее решений является применение тепловых насосов [2]. Во многих странах мира теплонасосные установки (ТНУ) длительное время внедряют и активно используют в сфере теплоснабжения, особенно в частных домах.

В настоящее время в России стоимость производимой тепловыми насосами теплоты, с учётом существующих тарифов на энергоресурсы для населения, сопоставима со стоимостью теплоты, получаемой при сжигании магистрального газа. Однако, магистральным газом обеспечены далеко не все загородные объекты, в то время как подключение к централизованному электроснабжению, необходимому для работы тепловых насосов с электроприводом, имеют абсолютное большинство объектов.

Помимо электроэнергии для работы теплонасосных систем требуется низкопотенциальная теплота. В ряд ее традиционных источников входят окружающий воздух, грунт и грунтовые воды.

ТНУ с использованием теплоты окружающего воздуха, как правило, не требуют низкотемпературного контура с промежуточным теплоносителем, характеризуются невысокой стоимостью и весьма распространены в странах с относительно мягким климатом. В странах же с низкими температурами в холодное время года они не столь эффективны.

ТНУ с применением теплоты грунта или грунтовых вод более универсальны. В случае теплоты грунта, как правило, организуют контур с промежуточным теплоносителем для отбора теплоты и переноса её к испарителю теплового насоса. Непосредственно для отбора берут либо схемы с укладкой труб на большой площади на глубине 1,5...2 м, либо с бурением скважин и организацией в них вертикальных или наклонных зондов. Низкопотенциальная теплота грунтовых вод также требует бурения по меньшей мере двух скважин или колодцев. Недостатками таких решений являются высокие трудоёмкость и стоимость проведения работ.

Перспективным видится использование низкопотенциальной теплоты поверхностных водоёмов и водотоков в тех случаях, когда таковые имеются поблизости (в пределах нескольких сотен метров) от обогреваемого объекта. Особенно много внимания этой теме уделяется в последние годы в Китае [3]. ТНУ с использованием теплоты подобных источников пока редко встречаются и, можно сказать, что каких-либо универсальных решений по отбору теплоты от водной среды не выработано. Выделяют встречающуюся во многих подобных системах схему отбора теплоты посредством погружения на дно водоёма или водотока некой рамы с прикреплёнными к ней пластиковыми

трубами большой длины [4]. Однако авторами было установлено, что подобная схема далеко не во всех случаях оптимальна, особенно если говорить об использовании теплоты водотоков [5].

В России теплонасосные установки не получили широкого распространения, что во многом связано с высокими требуемыми капиталовложениями и достаточно длительными сроками окупаемости. Данные показатели, в свою очередь, напрямую зависят от энергетической эффективности ТНУ, в связи с чем особо важное значение имеет технико-экономическая оптимизация данных установок.

Практическая реализация

Для организации теплонасосных систем с использованием низкопотенциальной теплоты открытых водотоков предложена конструкция специального погружного плавучего теплообменника вода—теплоноситель с металлическими теплообменными трубами (рис. 1) [6]. Указанный теплообменник за счёт тепла водотока с высокой эффективностью нагревает промежуточный теплоноситель, циркулирующий в низкотемпературном контуре, и переносит низкопотенциальную теплоту от водотока к испарителю теплового насоса.

В зависимости от условий возможны различные варианты размещения теплообменника в русле водотока, но основным является размещение поперёк течения в ядре потока с целью использования течения для интенсификации теплообмена и увеличения эффективности ТНУ в целом. Применение металлических теплообменных труб в предложенной схеме размещения в ядре потока и низковязкого солевого теплоносителя [7] значительно сокращает площадь теплообменной поверхности и делает такие теплообменники значительно компактнее по сравнению с традиционными решениями на основе пластиковых труб. Компактность позволяет без труда применять теплообменники в малых ручьях, а в более крупных водотоках, где возмож-

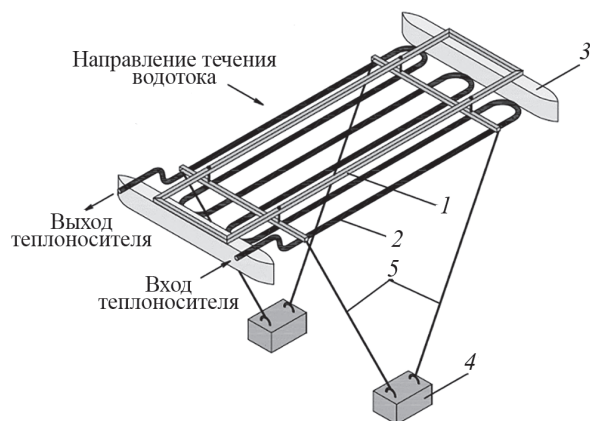


Рис. 1. Погружной плавучий теплообменник вода—раствор:
1 — рама; 2 — змеевик; 3 — поплавки; 4 — грузы-якоря; 5 — тросы

но движение плавсредств, они, будучи расположенными возле берега и обозначенными буйками, не создают существенных помех. Возможно также расположение под причалами.

Использование в низкотемпературном контуре выбранного солевого теплоносителя, помимо прочего, даёт преимущество в вопросе доставки теплоты от водотока к тепловому насосу. Учитывая его низкую стоимость, а также невысокую стоимость прокладываемых под землёй полиэтиленовых труб, становится экономически целесообразным применение для подземной прокладки труб сравнительно большого диаметра, благодаря которым гидравлические потери на прокачку теплоносителя пренебрежимо малы по сравнению с потерями в теплообменниках. Низкая температура замерзания раствора позволяет регулировать расход теплоносителя в широких пределах, не опасаясь его замерзания в испарителе теплового насоса, как это бывает с водой. При малых тепловых потерях в подземном трубопроводе, даже при большой протяжённости труб и низкой скорости движения жидкости в них, остывание теплоносителя за время протекания оказывается весьма незначительным.

По предложенной схеме в Московской области была смонтирована теплонасосная система отопления загородного дома. Выбранный для оснащения дом располагался в 40 м от небольшого водотока, который и послужил источником низкопотенциальной теплоты (рис. 2). Между домом и водотоком под землёй на небольшой глубине проложили трубы с циркулирующим теплоносителем, в качестве которого был взят водный раствор хлорида кальция.

Система успешно справляется с обогревом дома в течение всего отопительного периода, а также может работать в реверсивном режиме, обеспечивая кондиционирование помещений в летнее время со сбросом отводимой теплоты в водоток. Выработка теплоты в режиме обогрева по меньшей мере в 3 раза превышает потребление электроэнергии и плавно регулируется для поддержания требуемой температуры внутри дома.

Для проведения исследований на действующей установке была организована система сбора данных.

С целью максимально полного анализа работы теплонасосной установки требовалось отслеживать одновременно множество рабочих параметров. Кроме того, необходимо было в режиме реального времени следить за такими результирующими параметрами, как теплопроизводительность и коэффициент эффективности COP (невозможно измерить напрямую, а можно лишь вычислить на основе других данных). В связи с этим разработана специальная система мониторинга параметров работы теплонасосной установки с возможностью получения в режиме реального времени значений показателей производительности и эффективности работы [8]. Система построена на базе аналого-цифрового преобразователя (АЦП) L-Card E-154. В силу особенностей применённых датчиков и ограниченного количества доступных входных каналов АЦП подключение датчиков выполнено по разработанной оригинальной схеме и предполагало особый алгоритм обработки данных посредством специально написанного приложения для персонального компьютера. На рисунке 3 даны принципиальные схемы ТНУ и системы мониторинга с указанием мест расположения датчиков.

Результаты измерений

В результате экспериментальных исследований выявлено множество зависимостей, влияющих на общую эффективность установки. В частности, получены значения коэффициентов теплопередачи вода—теплоноситель для плавучего теплообменника при различных условиях его размещения в водотоке, от чего в значительной степени зависит эффективность установки в целом. Результаты измерений изображены на рис. 4.

Как следует из данных рис. 4, у расположения теплообменника в зоне активного течения есть значительное преимущество. В то же время, в ряде водотоков может возникать проблема замусоривания трубной решётки. Однако, ухудшение характеристик при этом оказывается не столь значительным, а сама проблема решается периодической чисткой или установкой уловителей мусора перед теплообменником.

При проектировании теплообменника предложенной конструкции для каждого конкретного случая тре-



Рис. 2. Вид с воздуха на обогреваемый дом и водоток с теплообменником

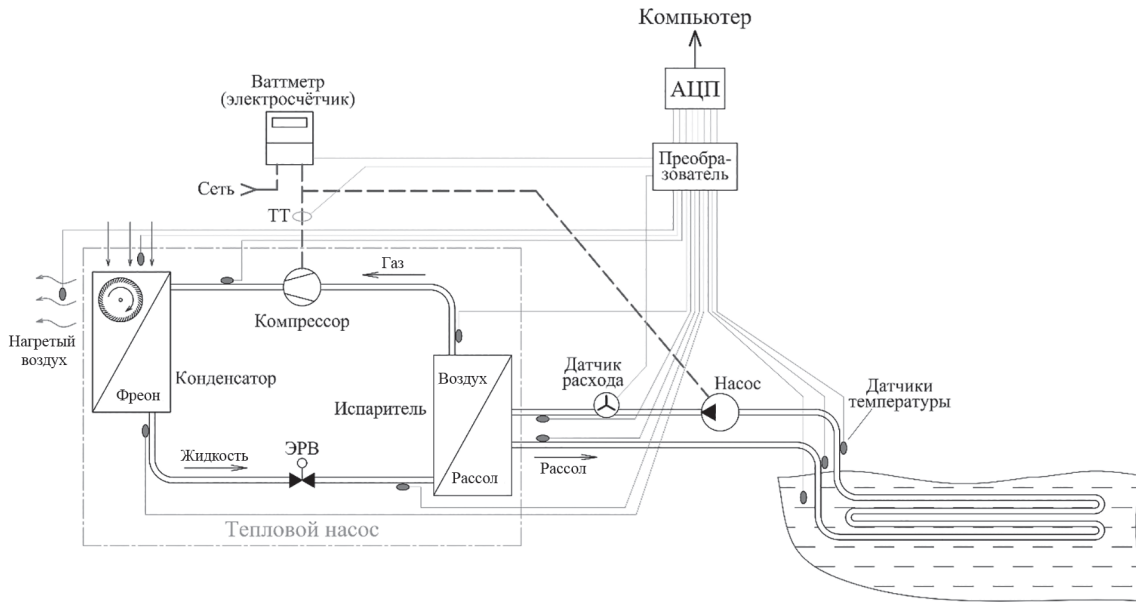


Рис. 3. Принципиальная схема ТНУ с системой мониторинга

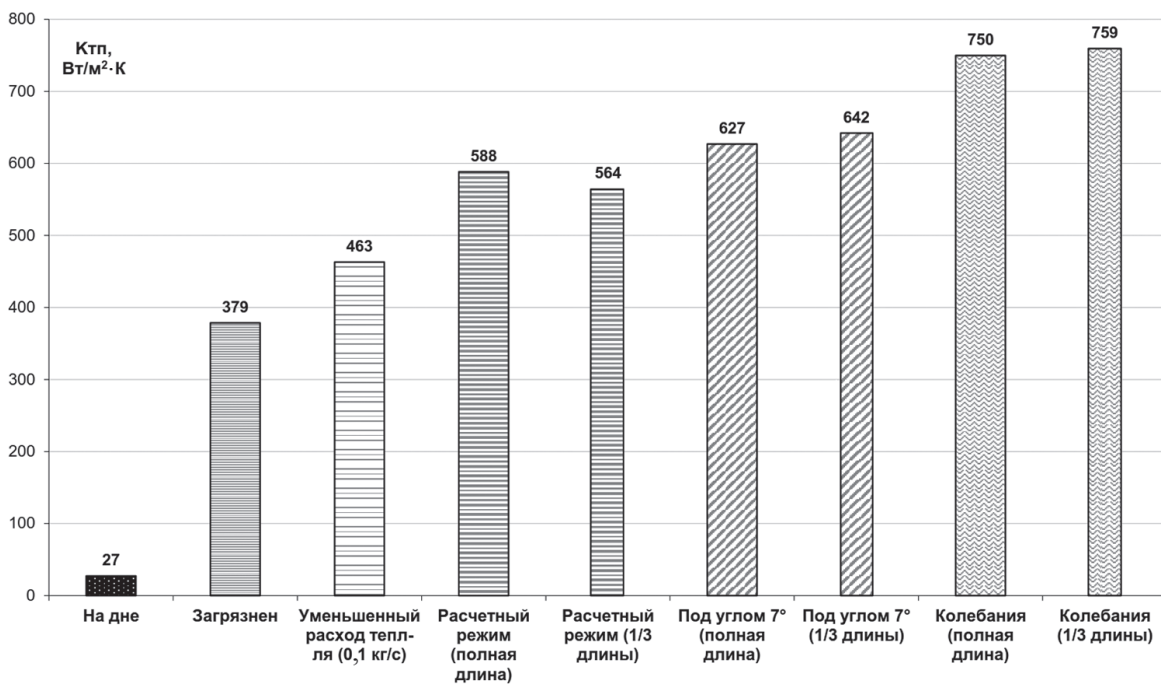


Рис. 4. Полученные значения удельного коэффициента теплопередачи для различных условий эксплуатации погружного теплообменника

буется проведение расчёта [9], исходными данными для которого являются отбираемый тепловым насосом максимальный тепловой поток, ожидаемые средняя и минимальная в течение отопительного периода температура воды и скорость течения водотока. Таким образом, температура воды и скорость течения – определяющие параметры, от которых напрямую зависят целесообразность использования водотока в качестве источника низкопотенциальной теплоты и размеры требуемого погружного теплообменника.

В стоячих водоёмах в зимнее время температура в толще воды, как правило, около 4 °С, что соответствует ее максимальной плотности. В случае естественных водотоков (не несущих избыточную бросовую теплоту) можно предположить, что должна наблюдаться схожая картина как минимум при ламинарном типе течения, однако требуются достоверные данные. В открытых источниках не было найдено необходимой информации по вопросу зависимости температуры водотоков от места протекания, времени года и иных условий

распределения температуры по глубине и прочих данных, которые позволили бы оценить перспективность указанных теплонасосных систем и требуемых технических решения.

С целью оценки распространённости водотоков, подходящих на роль источника низкопотенциальной теплоты для теплонасосных установок приведенной схемы, проведены замеры температуры воды на ряде рек Московской области, а также г. Москвы. Они проходили преимущественно в первой половине марта, поскольку данный период соответствует наиболее низким значениям температуры воды в течение года.

Результаты измерений температуры воды сведены в таблицу. Для некоторых водотоков указано не одно значение температуры, а диапазон. Это связано с наличием градиента температуры по глубине, что характерно для водотоков с малой скоростью течения и достаточной глубиной. Аномально высокая температура некоторых водотоков объясняется сбросом тёплых вод различными объектами (ТЭЦ, очистными сооружениями сточных вод и др.).

Исходя из измерений температуры в нескольких точках течения р. Бутыня стало возможным судить о скорости естественного остывания воды в этом водо-

Результаты измерений температуры воды

Название водотока	Координаты места	Дата	Температура воздуха, °С	Температура воды, °С	Ледяной покров	
р. Ликова	55°36'6"с.ш., 37°19'31"в.д.	02.03.19	-6	2,7...4,3	Нет	
р. Десна	55°31'29"с.ш., 37°1'18"в.д.	02.03.19	-6	3,9		
р. Пахра	55°27'53"с.ш., 36°55'11"в.д.	02.03.19	-6	0,6	Есть	
р. Нара	55°23'16"с.ш., 36°44'16"в.д.	02.03.19	-6	0,6	Частично	
р. Плесенка	55°25'39"с.ш., 36°38'32"в.д.	02.03.19	-6	2,2	Нет	
р. Бутыня, точка В	55°36'13"с.ш., 36°52'29"в.д.	06.03.19	-13	7,8...8,5		
р. Бутыня, точка С	55°35'45"с.ш., 36°56'26"в.д.	06.03.19	-13	0,6	Частично	
р. Незнайка	55°36'40"с.ш., 37°6'5"в.д.	06.03.19	-13	5,3	Нет	
р. Пехорка, точка А	55°45'1"с.ш., 37°57'43"в.д.	12.03.19	0	4,2		
Печатников ручей	55°34'9"с.ш., 37°36'57"в.д.	14.03.19	-11	15,9		
р. Битца, точка А	55°34'с.ш., 37°36'38"в.д.	14.03.19	-11	1,5		
р. Битца, точка В	55°33'34"с.ш., 37°38'24"в.д.	14.03.19	-11	10		
р. Городня	55°36'23"с.ш., 37°37'51"в.д.	14.03.19	-11	7,8		
р. Пехорка, точка В	55°42'35"с.ш., 37°57'58"в.д.	14.03.19	0	2,8		
р. Десна	55°31'29"с.ш., 37°1'18"в.д.	17.03.19	0	2,9...3,1		
р. Вяземка	55°36'34"с.ш., 37°0'9"в.д.	17.03.19	0	0,4		Частично
р. Бутыня, точка А	55°36'34"с.ш., 36°51'49"в.д.	17.03.19	0	13,2		Нет
р. Бутыня, точка В	55°36'13"с.ш., 36°52'29"в.д.	17.03.19	0	9,7		
р. Бутыня, точка С	55°35'45"с.ш., 36°56'26"в.д.	17.03.19	0	1,5		

токе, несущем бросовую антропогенную теплоту. Замеры проводили при одной и той же температуре воздуха (в течение получаса) в трёх точках на участке длиной 8 км, на протяжении которого в реку не впадает других водотоков. Увеличения расхода воды по ходу течения за счёт осадков или таяния снега в дни замеров не наблюдалось. Как следует из таблицы, даже при достаточно высоких для зимнего периода околонулевых температурах воздуха река после прохождения указанного пути практически полностью теряет избыточную теплоту. При более низкой температуре ($-11\text{ }^{\circ}\text{C}$) к последней точке измерения река остывает до практически минимальной для открытого водотока температуры в $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, при которой поверхность начинает в отдельных местах покрываться льдом, и последующего понижения температуры практически нет. Однако, несмотря на зафиксированное существенное остывание, имеется достаточное количество рек, в которых температура воды не опускается ниже $2...4\text{ }^{\circ}\text{C}$ даже при низких температурах воздуха. С одной стороны, этому способствует ламинарное течение с образованием температурного градиента по глубине, что снижает тепловые потери. С другой стороны, вероятно существует подмешивание тёплых вод при протекании по населённым территориям.

Благодаря тому, что температура воды в ряде водотоков Московской области оказалась близка к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, стала очевидна потребность в более глубоком изучении вопроса отбора теплоты от воды при околонулевых температурах, поскольку в таких условиях высока вероятность обледенения теплообменных поверхностей, что при неправильном расчёте может негативно сказаться на эффективности и работоспособности ТНУ. Известны немногочисленные работы, в которых рассмотрен вопрос влияния обледенения на отбор низкопотенциальной теплоты от водной среды (например, при отборе теплоты пластиковыми трубами от морской воды [10]). Однако, использовать их результаты в анализируемой схеме не представляется возможным.

Для проведения исследований потребовалось создание мобильной охлаждающей установки с цифровым блоком управления, измерения и регистрации параметров, позволяющей определять коэффициент теплопередачи между водой и теплоносителем через поверхность металлической трубы. Она представляет собой контур циркулирующего теплоносителя на основе раствора хлорида кальция, в котором нагрев теплоносителя на доли градуса происходит в погружаемой в воду гофрированной металлической трубке длиной $0,5\text{ м}$, а охлаждение ведётся в обдуваемом вентилятором воздушном теплообменнике. Схема установки дана на рис. 5.

Поскольку в ходе измерений требовались отбор теплоты от водотока с околонулевой температурой и поддержка некоего температурного градиента между водой и теплоносителем, то температура теплоносителя

на входе в теплоёмкую трубку следовало поддерживать на более низком (ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) точно заданном уровне. В связи с этим измерения проводили при отрицательных температурах воздуха, а поддержание нужного значения температуры теплоносителя было обеспечено за счёт управления скоростью вращения вентилятора по принципу ПИД-регулирования.

Для контроля работы измерительной установки, а также обработки и регистрации получаемых данных изготовлен специальный цифровой блок на основе платы Arduino Uno. За счёт написанной для него микропрограммы он управляет посредством ШИМ-регуляции скоростью охлаждающего вентилятора для достижения задаваемой температуры теплоносителя, измеряет его температуру и расход, вычисляет отбираемый от водотока тепловой поток и коэффициент теплопередачи, выводит все значения на дисплей и с периодичностью в 2 с записывает их в файл на карту памяти.

На реках Бутыня, Нара и Десна с помощью мобильной измерительной установки проведены экспериментальные исследования по определению возможных значений коэффициента теплопередачи между водой и теплоносителем через поверхность гофрированной металлической трубы, а также проверки условий начала обледенения трубы и возможностей отбора теплоты в условиях обледенения.

Река Нара выбрана в качестве хорошего примера водотока с низкой температурой: температура воды во время измерений в начале марта — $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, значительная часть русла река покрыта льдом, несмотря на интенсивное течение со скоростью порядка $0,4\text{ м/с}$.

Высокая скорость течения обеспечила высокий коэффициент теплопередачи между водой и теплоно-

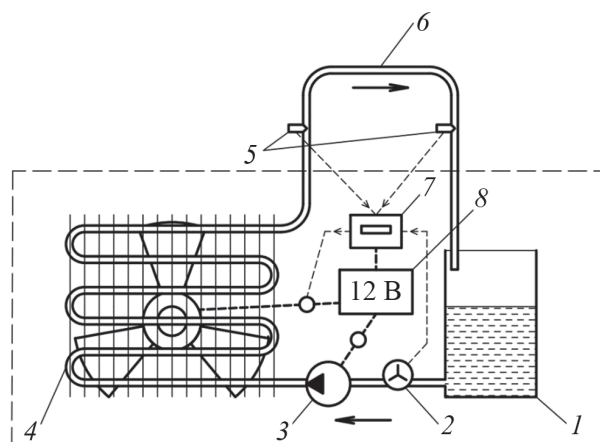


Рис. 5. Схема мобильной измерительной установки
1 — бак с теплоносителем; 2 — датчик расхода; 3 — регулируемый циркуляционный насос; 4 — воздушный теплообменник с вентилятором; 5 — датчики температуры теплоносителя; 6 — погружаемый в воду модельный участок теплообменной трубы; 7 — цифровой блок управления, измерения и регистрации; 8 — гелевый аккумулятор

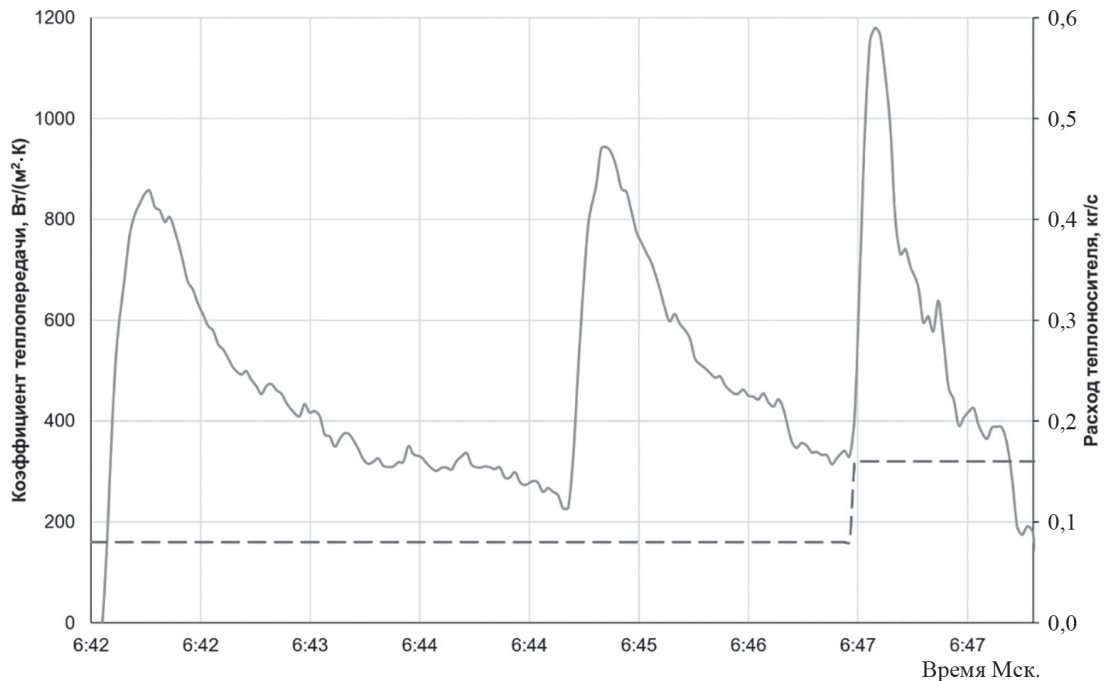


Рис. 6. График изменения коэффициента теплопередачи во время циклов обледенения и очистки теплообменной трубы на р. Нара
 — коэффициент теплопередачи; - - - расход теплоносителя

сителем через поверхность необледенелой трубы: порядка $900 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ при расходе теплоносителя $80 \text{ г}/\text{с}$ и порядка $1200 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ — при $160 \text{ г}/\text{с}$. Однако, опыты показали, что уже при небольшой плотности теплового потока идет быстрое обледенение теплообменной трубы с образованием слоя льда примерно в $3\text{...}4 \text{ мм}$, в результате чего коэффициент теплопередачи уменьшается до значения порядка $200 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. На рисунке 6 наглядно продемонстрировано падение коэффициента теплопередачи по мере обледенения трубы.

Также на рис. 6 приведён график изменения удельного коэффициента теплопередачи на протяжении примерно 5 мин. , во время которых труба трижды существенно обледенела и, соответственно, дважды очищалась от наледи путём деформирования с крошением льда. Установившееся состояние обледенения и теплообмена не было достигнуто, но параметры (коэффициент теплопередачи, толщина слоя льда), как видно по графикам, приближались к этому. Кроме того, представлен график изменения расхода теплоносителя: последний цикл обледенения прошёл при практически в два раза большем расходе теплоносителя (160 вместо $80 \text{ г}/\text{с}$).

Позже подобные эксперименты были выполнены на реке Бутыня, для которой характерна более высокая температура воды за счёт теплоты сточных вод и более низкая скорость течения. Проведены как длительные измерения коэффициента теплопередачи в нормальных условиях теплообмена, без обледенения, так и в условиях обледенения. Графики изменения коэффициента теплопередачи при обледенении, а также температур воды и теплоносителя даны на рис. 7.

В данном случае коэффициент теплопередачи для необледенелой трубы имел значение порядка $600 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ при расходе теплоносителя $180 \text{ г}/\text{с}$, а после обледенения, при достижении установившегося режима опускался до $140 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. На рисунке 7 также можно видеть график усредняющей кривой для участка снижения коэффициента теплопередачи в процессе обледенения, построенный посредством MS Excel. Сделаем вывод, что для рассматриваемых условий (температуры и скорости движения воды) гораздо целесообразнее не допускать обледенения, а отбирать теплоту теплообменником с достаточно большой площадью теплообмена и не слишком высокой плотностью теплового потока, при которой температура на поверхности труб не опускается ниже $0 \text{ }^\circ\text{C}$, и не начинается процесс обледенения. В целом, работа предлагаемого теплообменника возможна и в обледенелом состоянии, но при этом требуется либо жертвовать энергетической эффективностью ТНУ из-за снижения температуры теплоносителя, либо увеличивать размеры теплообменника для компенсации снижения коэффициента теплопередачи [11].

Выводы

Измерения на реках показали, что при проектировании теплонасосной системы с использованием теплоты водотока крайне желательны данные по минимальной температуре воды, наблюдаемой в холодное время года. При использовании предложенного компактного теплообменника с металлической теплообменной поверхностью в водотоках с низкой температурой воды (порядка $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) плотность отбираемого теплового

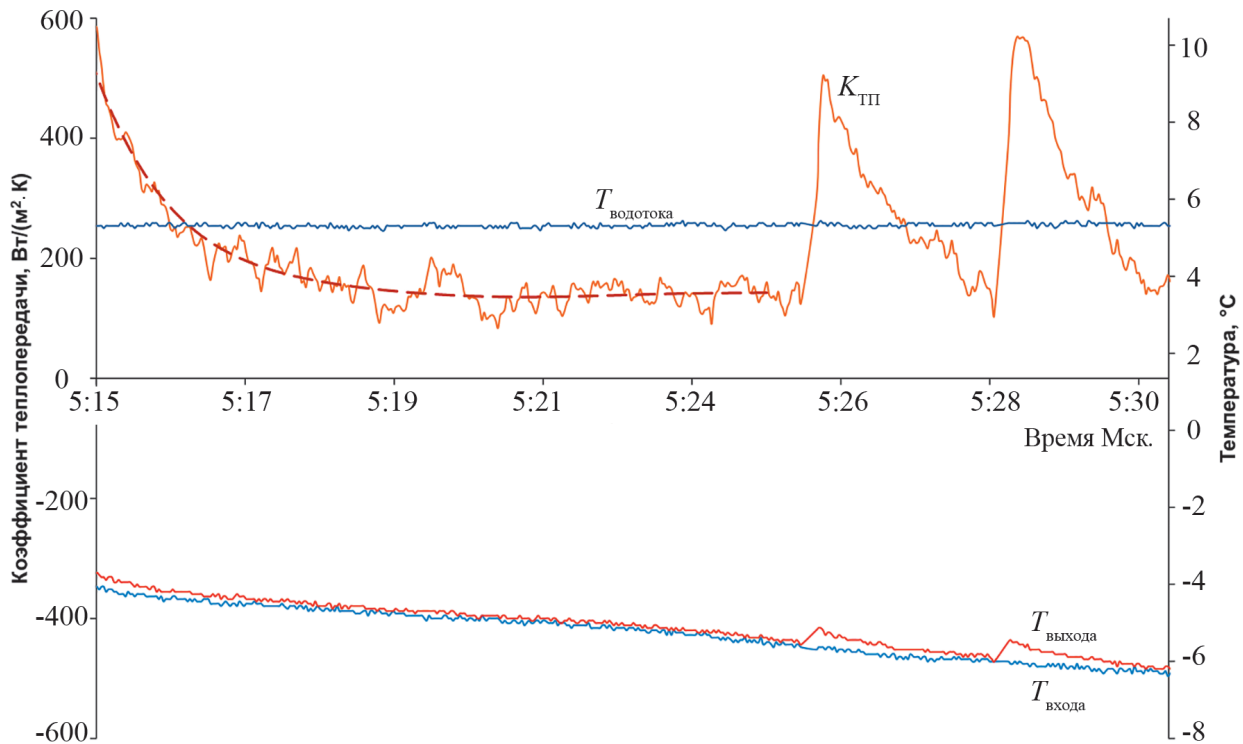


Рис. 7. График изменения коэффициента теплопередачи во время циклов обледенения и очистки теплообменной трубы на р. Бутыня и графики изменения температур воды и теплоносителя:

— коэффициент теплопередачи $K_{ТП}$; — $T_{\text{входа}}$; — $T_{\text{выхода}}$; — $T_{\text{водотока}}$

потока оказывается сильно ограниченной из-за обледенения поверхности теплообменной трубы, в связи с чем требуется значительная поверхность теплообмена. В некоторых случаях это нивелирует преимущества металлического теплообменника или требует применения новых конструкций с механизмами периодического удаления наледи.

Результаты измерений в Московской области показали существенный тепловой потенциал рек, по крайней мере, в окрестностях населённых пунктов. Температура большинства рек в холодное время года —

2...4 °C и выше, следовательно, они обладают потенциалом для обустройства большого числа теплонасосных систем, использующих теплоту водотока. В таких условиях предложенная схема с плавучим теплообменником отлично показала себя.

Эксперименты с отбором теплоты от воды в условиях обледенения теплообменной поверхности продемонстрировали потенциальную возможность использования теплоты кристаллизации воды и использования компактных теплообменников при околонулевых температурах водной среды.

Литература

1. **Samarin G.N. e. a.** Optimization of Power and Economic Indexes of a Farm for the Maintenance of Cattle // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. V. 1072. Pp. 679—689.
2. **Тихомиров Д.А., Хименко А.В., Кузьмичев А.В.** Напольный обогрев поросят с применением термоэлектрического теплового насоса // *Техника и оборудование для села*. 2021. № 9(291). С. 28—32.
3. **Zhang C., Zhuang Z., Huang L., Li X., Li G., Sun D.** Application Prospect Analysis of the Surface Water Source Heat-pump in China // *Renewable Energy Resources and a Greener Future*. 2006. V. VIII-9-1.
4. **Теплообменник** для использования тепла рек и озёр [Электрон. ресурс] www.heatpumps.spb.ru/news/

References

1. **Samarin G.N. e. a.** Optimization of Power and Economic Indexes of a Farm for the Maintenance of Cattle. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020; 1072:679—689.
2. **Tikhomirov D.A., Khimenko A.V., Kuz'michev A.V.** Napol'nyy Obogrev Porosyat s Primeneniem Termoelektricheskogo Teplovogo Nasosa. *Tekhnika i Oborudovanie dlya Sela*. 2021;9(291):28—32. (in Russian).
3. **Zhang C., Zhuang Z., Huang L., Li X., Li G., Sun D.** Application Prospect Analysis of the Surface Water Source Heat-pump in China. *Renewable Energy Resources and a Greener Future*. 2006. V. VIII-9-1.
4. **Теплообменник** dlya Ispol'zovaniya Tepla Rek i Ozer [Elektron. Resurs] www.heatpumps.spb.ru/news/

news_post/teploobmennik-dlya-ispolzovaniya-tepla-rek-i-ozher (дата обращения 25.03.2022).

5. **Сычѳв А.О., Харченко В.В.** Пути повышения технико-экономических показателей теплонасосных установок, использующих теплоту поверхностных вод // *Альтернативная энергетика и экология*. 2015. № 10—11. С. 84—90.

6. **Pat. № 158486 РФ.** Устройство для отбора теплоты от поверхностного водотока / Харченко В.В., Сычѳв А.О. // *Бюл. изобрет.* 2016. № 1.

7. **Сычѳв А.О., Харченко В.В.** Оптимизация состава теплоносителя для применения в низкотемпературных контурах теплонасосных установок // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2018. № 3(28). С. 225—231.

8. **Kharchenko V., Sychov A., De Angelis P.L., Fiore U.** Monitoring System of a Heat Pump Installation for Heating a Rural House Using Low-grade Heat from a Surface Watercourse // *J. Sens. Actuator Netw.* 2020. V. 9(1). Pp. 11—27.

9. **Sychov A., Kharchenko V., Vasant P., Uzakov G.** Application of Various Computer Tools for the Optimization of the Heat Pump Heating Systems with Extraction of Low-grade Heat from Surface Watercourses // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. V. 866. Pp. 310—319.

10. **Zheng W., Zhang H., You S., Ye T.** Numerical and Experimental Investigation of a Helical Coil Heat Exchanger for Seawater-source Heat Pump in Cold Region // *International J. Heat and Mass Transfer*. 2016. V. 96. Pp. 1—10.

11. **Сычѳв А.О.** Снижение эффективности отбора низкопотенциальной теплоты от водной среды в условиях обледенения теплообменной поверхности // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. № 5(20). С. 310—315.

news_post/teploobmennik-dlya-ispolzovaniya-tepla-rek-i-ozher (Data Obrashcheniya 25.03.2022). (in Russian).

5. **Sychev A.O., Kharchenko V.V.** Puti Povysheniya Tekhniko-ekonomicheskikh Pokazateley Teplonasosnykh Ustanovok, Ispol'zuyushchikh Teplotu Poverkhnostnykh Vod. *Al'ternativnaya Energetika i Ekologiya*. 2015;10—11: 84—90. (in Russian).

6. **Pat. № 158486 RF.** Ustroystvo dlya Otбора Teploty ot Poverkhnostnogo Vodotoka. Kharchenko V.V., Sychev A.O. *Byul. izobret.* 2016;1. (in Russian).

7. **Sychev A.O., Kharchenko V.V.** Optimizatsiya Sostava Teplonositelya dlya Primeneniya v Nizkotemperaturnykh Konturakh Teplonasosnykh Ustanovok. *Innovatsii v Sel'skom Khozyaystve*. 2018;3(28):225—231. (in Russian).

8. **Kharchenko V., Sychov A., De Angelis P.L., Fiore U.** Monitoring System of a Heat Pump Installation for Heating a Rural House Using Low-grade Heat from a Surface Watercourse. *J. Sens. Actuator Netw.* 2020;9(1):11—27.

9. **Sychov A., Kharchenko V., Vasant P., Uzakov G.** Application of Various Computer Tools for the Optimization of the Heat Pump Heating Systems with Extraction of Low-grade Heat from Surface Watercourses. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019;866: 310—319.

10. **Zheng W., Zhang H., You S., Ye T.** Numerical and Experimental Investigation of a Helical Coil Heat Exchanger for Seawater-source Heat Pump in Cold Region. *International J. Heat and Mass Transfer*. 2016;96: 1—10.

11. **Sychev A.O.** Snizhenie Effektivnosti Otбора Nizkopotentsial'noy Teploty ot Vodnoy Sredy v Usloviyakh Obledeneniya Teploobmennoy Poverkhnosti. *Innovatsii v Sel'skom Khozyaystve*. 2016;5(20):310—315. (in Russian).

Сведения об авторах:

Харченко Валерий Владимирович — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального научного агроинженерного центра «ВИМ», Москва, e-mail: kharval@mail.ru

Сычѳв Арсений Олегович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального научного агроинженерного центра «ВИМ», Москва, e-mail: arsenikus@yandex.ru

Information about authors:

Kharchenko Valeriy V. — Dr.Sci. (Techn.), Professor, Chief Scientific Officer of Federal Scientific Agroengineering Center «VIM», Moscow, e-mail: kharval@mail.ru

Sychev Arseniy O. — Ph.D. (Techn.), Senior Researcher of Federal Scientific Agroengineering Center «VIM», Moscow, e-mail: arsenikus@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 10.03.2022

The article received to the editor: 10.03.2022