

УДК 621.577.4

РАСЧЁТ ВЛИЯНИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ОТ ВОДНОЙ СРЕДЫ

В. В. Харченко, доктор технических наук, профессор

А. О. Сычёв, инженер

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва

e-mail: kharval@mail.ru

Аннотация. *Рассматривается вопрос отбора низкопотенциальной теплоты от водной среды с помощью погружных металлических теплообменников в условиях обледенения теплообменной поверхности. Оценивается степень ухудшения параметров теплообмена, вызванного образованием на поверхности теплообменных труб слоя льда.*

Ключевые слова: *тепловой насос, низкопотенциальная теплота, водоток, погружной теплообменник вода-рассол, обледенение*

Актуальность. В последние годы широкое распространение, прежде всего за рубежом, стали получать теплонасосные системы отопления и горячего водоснабжения. Особенно перспективным представляется использование таких систем в условиях сельской местности в отсутствии сетей централизованного теплоснабжения для обеспечения хозяйств тепловой энергией, доля которой в энергетическом балансе сельскохозяйственного производства обычно превышает 60 % [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Теплонасосные системы с использованием теплоты водотоков по своей эффективности не уступают установкам с грунтовыми теплообменниками при существенно более низких капитальных затратах. Однако применявшиеся до сих пор способы отбора низкопотенциальной теплоты от водной среды, как правило, основанные на использовании большого объёма полиэтиленовых труб, погружаемых в воду, обладают рядом недостатков и не позволяют в полной мере использовать преимущества такого источника теплоты. Ранее авторами была предложена и

обоснована эффективная система отбора теплоты от водотока, лишенная большинства недостатков [2,3]. Основой функционирования этой системы является использование погружных теплообменников вода-теплоноситель с металлической теплообменной поверхностью (рис. 1), что обеспечивает высокую плотность теплового потока и позволяет выполнить такие теплообменники достаточно компактными.

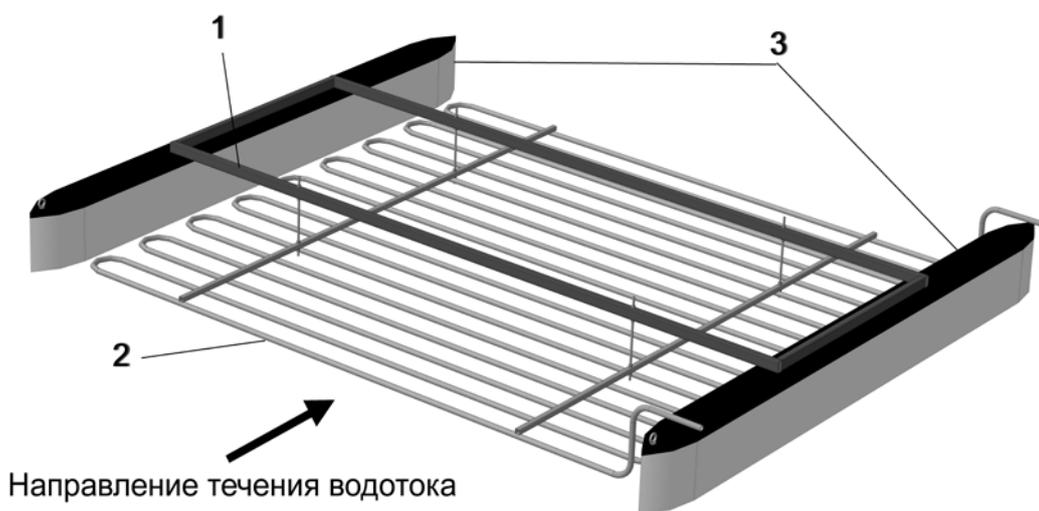


Рис. 1. Конструкция теплообменника для водотока:

1 –рама, 2 – змеевик, 3 – поплавки

При отборе тепловым насосом низкопотенциальной теплоты от водотока с помощью погружных теплообменников возможны ситуации, когда температура на внешней стороне теплообменной поверхности окажется ниже температуры замерзания воды. Это приведёт к образованию на поверхности ледяной корки, изменяющей режим теплообмена. В обычной ситуации такое явление нежелательно, так как слой льда в некоторой степени ухудшает теплообмен, но точная оценка степени ухудшения параметров является сложной задачей. По этой причине при проектировании погружных теплообменников, для чего ранее уже была составлена методика и расчётная программа [4], не учитывающая возможное обледенение, приходится ограничивать максимальную плотность

теплового потока через теплообменную поверхность, чтобы избежать попадания в область, в которой возможно обледенение. Вместе с тем, потенциальное увеличение плотности теплового потока позволило бы проектировать более компактные, менее материалоемкие теплообменники.

Цель исследования – изучение влияния обледенения на эффективность отбора низкопотенциальной теплоты от водной среды.

Материалы и методы исследования. Для исследования процессов, протекающих в системах отбора низкопотенциальной теплоты от водотока в условиях намерзания льда на поверхность теплообмена была разработана математическая модель. С целью оценки влияния обледенения на интенсивность теплообмена и характеристики погружного теплообменника было решено в качестве одного из основных параметров, характеризующих процесс теплообмена, использовать температуру теплоносителя, прежде всего температуру теплоносителя на входе в теплообменник и температуру на выходе из него. Для того, чтобы отбирать с помощью заданного теплообменника от водотока с известными параметрами необходимый тепловой поток, должен обеспечиваться определённый температурный градиент между теплоносителем в трубе теплообменника и водой в водотоке, который достигается при определённом значении температуры входа теплоносителя в теплообменник. Это значение и рассчитывается в составленной расчётной программе посредством множества итераций, после чего нахождение температуры теплоносителя на выходе или в любой другой промежуточной точке уже не составляет труда.

Практическая важность значений температуры на входе/выходе объясняется тем, что от них зависят характеристики теплонасосных установок, в составе которых, прежде всего и подразумевается использовать рассматриваемые погружные теплообменники: чем выше значение температуры выхода теплоносителя (чем оно ближе к температуре водотока), тем выше будет эффективность теплонасосной установки.

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 2 приведена зависимость температуры теплоносителя на входе в погружной теплообменник и температуры на выходе из него от средней по длине теплообменной трубы линейной плотности теплового потока при отборе теплоты от водотока с температурой $T_{\text{воды}} = 4^{\circ}\text{C}$ (в качестве остальных исходных данных были взяты параметры существующей экспериментальной теплонасосной установки, содержащей погружной теплообменник из стальных труб внешним диаметром 22мм, теплоноситель – 24-процентный водный раствор хлорида кальция, расход теплоносителя – 0,15 кг/с). На графике отмечены значения средней по длине линейной плотности теплового потока, соответствующие появлению обледенения на входе теплообменной трубы (при этом температура теплоносителя на входе принимает значение, соответствующее границе обледенения) и полному (по длине) покрытию льдом теплообменной трубы. При этом температура теплоносителя на выходе принимает значение, соответствующее границе обледенения. Таким образом, поле графика делится на три области: область отсутствия обледенения, область частичного обледенения по длине теплообменника и область полного обледенения теплообменника. Здесь же пунктирными линиями показаны те же самые зависимости в случае проведения расчёта, не учитывающего процесс обледенения. Как видно из графика, существенное ухудшение теплообменных характеристик начинается только при достижении уровня средней по длине линейной плотности теплового потока, соответствующего практически полному обледенению теплообменной трубы.

На рис. 3 приведены аналогичные зависимости, но уже для случая постоянной разности температур теплоносителя на входе и выходе в 10°C , что обеспечивается одновременным с увеличением отбираемого теплового потока изменением расхода теплоносителя. По данному графику резкое ухудшение характеристик при наступлении полного обледенения заметно ещё сильнее.

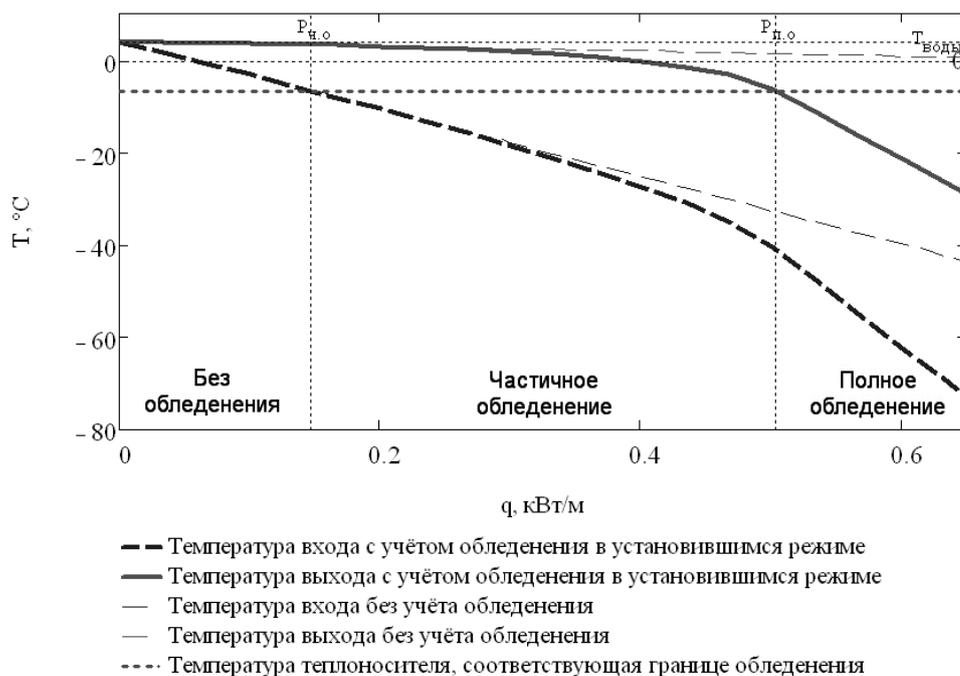


Рис. 2 Зависимость температуры теплоносителя от средней по длине линейной плотности теплового потока при постоянном расходе теплоносителя

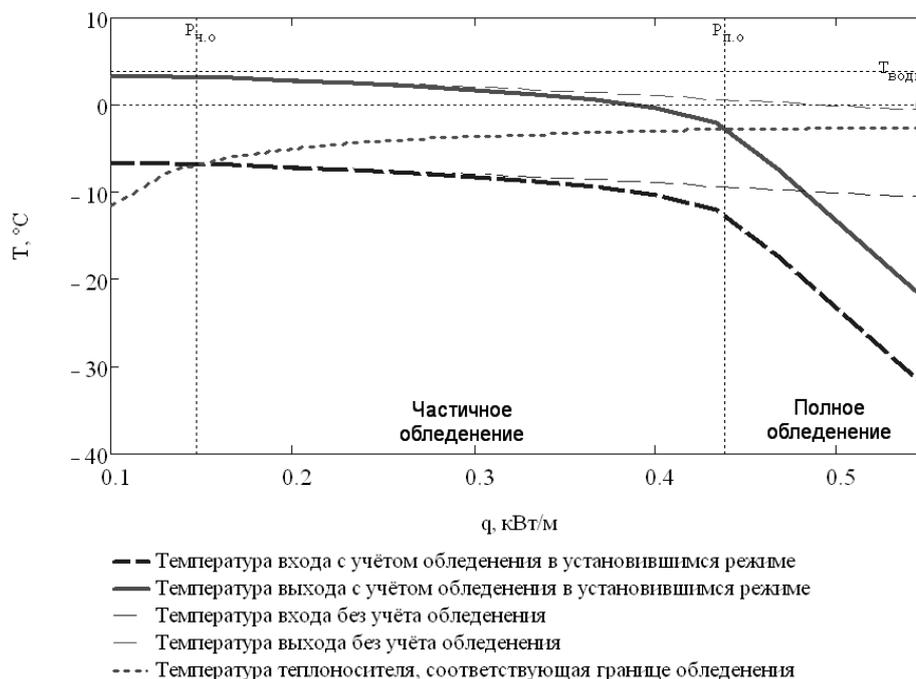


Рис. 3. Зависимость температуры теплоносителя от средней по длине линейной плотности теплового потока при постоянной разности температуры на входе-выходе

Таким образом, можно констатировать, что частичное обледенение теплообменной трубы не ведёт к существенному ухудшению теплообменных характеристик. Для выявления причины указанного явления были построены графики, описывающие изменение параметров по длине частично обледеневшей теплообменной трубы для частного случая. Было взято такое соотношение исходных параметров (отбираемый тепловой поток, расход теплоносителя, температура воды в водотоке, скорость течения), которое приводит к формированию установившегося слоя льда примерно на половине длины змеевика, полная длина труб которого составляет 45 метров.

На рис. 4 показано распределение температуры теплоносителя по длине трубы для случаев с учётом и без учёта явления обледенения. При этом температура теплоносителя на входе в теплообменник принята одинаковой, а полный отобранный тепловой поток в итоге оказывается разным, пропорциональным разности температур входа и выхода.

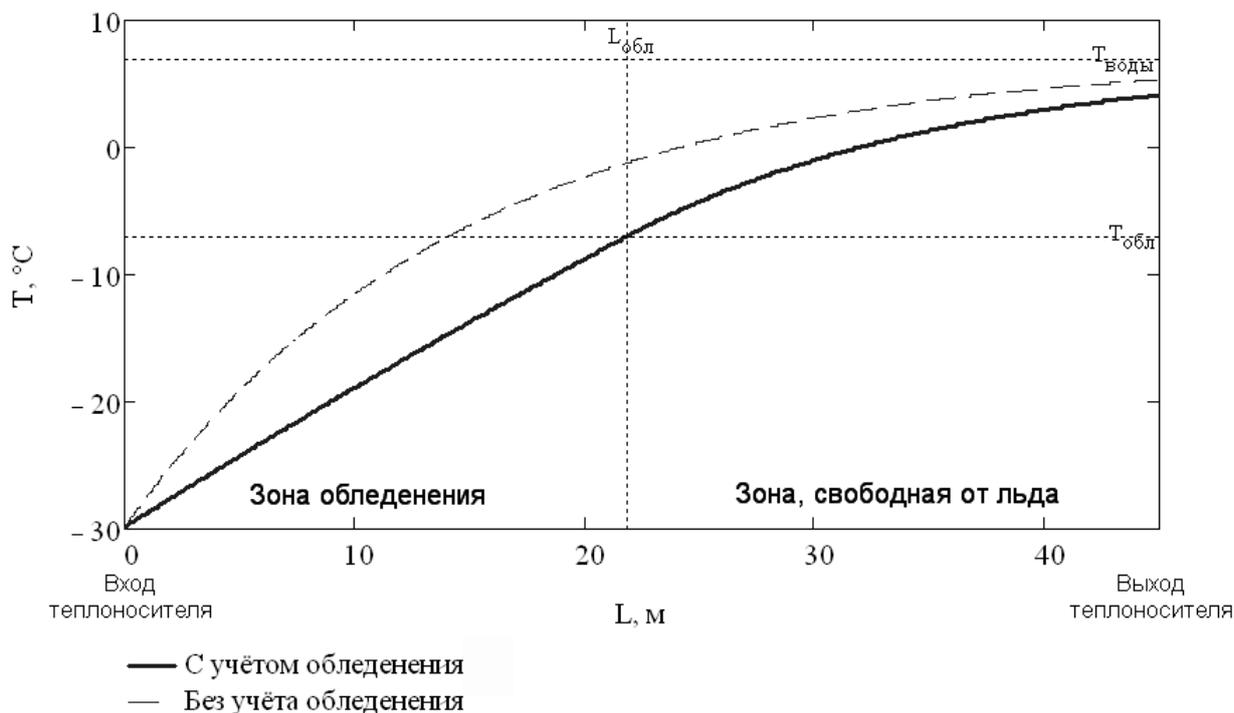


Рис. 4. Распределение температуры теплоносителя по длине теплообменной трубы

На рис. 5 показано распределение линейной плотности теплового потока по длине трубы также в случаях с учётом и без учёта явления обледенения.

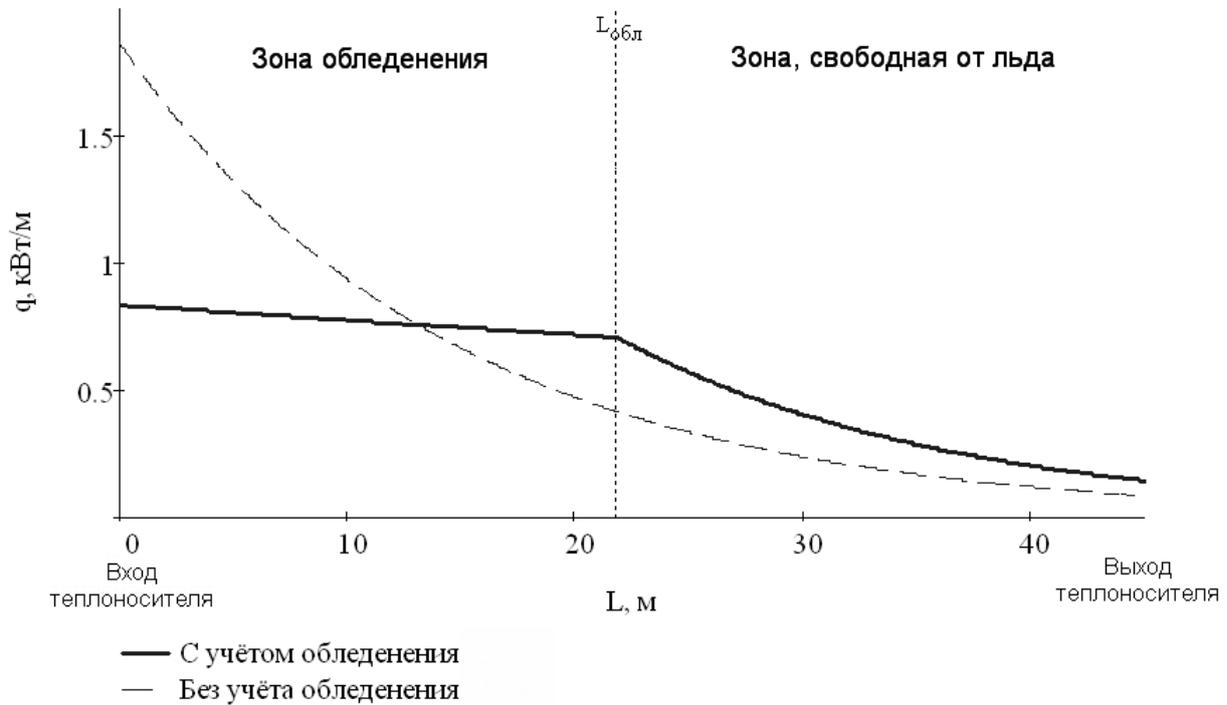


Рис. 5. Распределение линейной плотности теплового потока по длине теплообменной трубы

Как видно из графиков, хотя на начальном участке теплообменной трубы толстый слой льда значительно ухудшает теплопередачу, уже к концу обледенелого участка плотность теплового потока начинает превышать соответствующее значение для случая отсутствия слоя льда, что связано с более низкой температурой теплоносителя и, соответственно, с более высоким температурным градиентом. В итоге, на выходе из теплообменника значение температуры теплоносителя и величина полного отобранного теплового потока оказываются лишь немного ниже соответствующих величин для случая отсутствия обледенения.

Выводы и перспективы. Результаты исследования показали, что частичное обледенение теплообменной поверхности не оказывает критического

значения на параметры теплообмена и может быть приемлемым явлением в работе теплонасосных установок, использующих низкопотенциальную теплоту поверхностных вод. Вследствие частичного снятия ограничений на максимальную плотность теплового потока от воды к теплоносителю и, соответственно, на минимальную площадь поверхности теплообменника вода-теплоноситель, связанных с недопущением обледенения поверхности теплообменника, становится возможным использовать более компактные теплообменники с малой рабочей поверхностью и большой плотностью теплового потока, что может быть важным при ограниченном пространстве, доступном для размещения теплообменника водотоке. При этом, кроме уменьшения массогабаритных параметров теплообменника, появляется возможность уменьшить объём теплоносителя и сократить гидравлические потери при его циркуляции.

Список использованных источников

1. Долгов И. Ю. Энергопотребление и энергосбережение в сельскохозяйственном секторе Российской Федерации / И. Ю. Долгов, А. В. Тихомиров, В. В. Харченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 2. – С. 16.

2. Сычёв А. О. Пути повышения технико-экономических показателей теплонасосных установок, использующих теплоту поверхностных вод / А. О. Сычев, В. В. Харченко // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 10-11. – С. 84-90;

3. Харченко В. В. Перспективные схемы отбора низкопотенциальной теплоты открытых водотоков в целях теплоснабжения малоэтажных зданий / В. В. Харченко, А. О. Сычев // Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. – 2015. – № 209, ч.1. – С. 57-64.

4. Харченко В. В. Оптимизация низкотемпературного контура теплонасосной установки на основе теплоты поверхностных вод / В. В. Харченко, А. О. Сычев // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 7. – С. 31-36.

References

1. Dolgov, I. Y., Tikhomirov, A. V., Kharchenko, V. V. (2012). *Energotrebleniye i energosberezeniye v sel'skokhozyaystvennom sektore Rossiyskoy Federatsii* [Energy consumption and energy saving in the agricultural sector

of the Russian Federation]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva, 2, 16.

2. Sychëv, A. O., Kharchenko, V. V. (2015). Puti povysheniya tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley teplonasosnykh ustanovok, ispol'zuyushchikh teplotu poverkhnostnykh vod [Ways to improve the technical and economic performance of heat pump plants using the heat of surface water]. Al'ternativnaya energetika i ekologiya, 10-11, 84-90.

3. Kharchenko, V. V., Sychëv, A. O. (2015). Perspektivnyye skhemy otbora nizkopotentsial'noy teploty otkrytykh vodotokov v tselyakh teplosnabzheniya maloetazhnykh zdaniy [Perspective schemes of selection of low-potential heat of open streams for the purpose of heat supply of low-rise buildings]. Nauchnyy vestnik Natsional'nogo universiteta bioresursov i prirodoopol'zovaniya Ukrainy, 209 (1), 57-64.

4. Kharchenko, V. V., Sychëv, A. O. (2013). Optimizatsiya nizkotemperaturnogo kontura teplonasosnoy ustanovki na osnove teploty poverkhnostnykh vod [Optimization of the low-temperature circuit of a heat pump system based on the heat of surface water]. Al'ternativnaya energetika i ekologiya, 7, 31-36.

РОЗРАХУНОК ВПЛИВУ ОБЛЕДЕНІННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДБОРУ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ ВІД ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

В. В. Харченко, А. О. Сичов

Анотація. Розглядається питання відбору низькопотенційної теплоти від водного середовища за допомогою заглибних металевих теплообмінників в умовах обмерзання теплообмінної поверхні. Оцінюється ступінь погіршення параметрів теплообміну, викликаного утворенням на поверхні теплообмінних труб шару льоду.

Ключові слова: *тепловий насос, низькопотенційна теплота, водотік, заглибний теплообмінник вода-розсіл, обмерзання*

CALCULATION OF INFLUENCE OF ICING ON EFFECTIVENESS OF LOW-POTENTIAL HEAT SELECTION FROM WATER ENVIRONMENT

V. Kharchenko, A. Sychev

Abstract. The question of selection of low-grade heat from the water medium by means of submersible metal heat exchangers in the conditions of frosting of a heat exchange surface is considered. Extent of reduction of heat exchange parameters caused by formation of an ice layer on heat exchange pipes is estimated.

Key words: *water-source heat pump, low-grade heat, watercourse, submersible water-brine heat exchanger, frosting*