

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

за матеріалами
XVIII Всеукраїнської науково-технічної
онлайн-конференції
**«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ
ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ»**

29-30 вересня 2020 року



Одеса
Видавець Бондаренко М. О.
2020

УДК 621.31(075.8)

ББК 31.2я73

3-41

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Одеської національної академії харчових технологій,
протокол № 3 від 6 жовтня 2020 р.*

Відповідальний редактор:

Тітлов О. С., завідувач кафедри нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики, д-р. техн. наук, професор.

*За достовірність інформації
відповідає автор публікації*

Збірник наукових праць за матеріалами XVIII Всеукраїнської 3-41 науково-технічної онлайн-конференції «Актуальні проблеми енергетики та екології» 29-30 вересня 2020 року / ред. О. С. Тітлов. – Одеса : ФОП Бондаренко М. О., 2020. – 280 с.

ISBN 978-617-7829-81-1

До збірника включені матеріали сучасних наукових досліджень, що представлені вченими України, Білорусії, Молдови, Росії, а також роботи студентів.

Розглянуто наступні напрямки досліджень: тепломасообмін; теплофізичні властивості робочих тіл енергетичного обладнання; нанотехнології в холодильній техніці; екологічні проблеми енергетики; теплові насоси. Системи опалення та кондиціонування; теплообмінні апарати; енергетичні та екологічні проблеми нафтогазової галузі; енергетичні та екологічні проблеми холодильної техніки; енергетичні та екологічні проблеми харчової промисловості; екологічна безпека; екологічні проблеми сучасності; раціональне використання природних ресурсів.

УДК 621.31(075.8)

ББК 31.2я73

ISBN 978-617-7829-81-1

© Одеська національна академія
харчових технологій, 2020

Секція 1:

**«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ
ЕНЕРГЕТИКИ»**

НТБ ОРНАХТ

СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ «ГЭЦ-ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ НА ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА»

Шит М.Л., к.т.н., доцент-исследователь, Журавлев А.А., к.т.н.
Институт энергетики Молдовы

Статья относится к области экологических проблем энергетики с использованием тепловых насосов в системах централизованного теплоснабжения, затрагивает вопросы рационального использования природных ресурсов. Известна работа [1], в которой из централизованной системы теплоснабжения через теплообменник в котел-потребителя подается теплоноситель постоянной или переменной температуры. Тепловая энергия поступает к одному и тому же котлу-потребителю: от котлов, работающих на различных видах топлива, от солнечных коллекторов, от тепловых насосов и от вторичных источников тепла. В [2] изучается комбинированная система отопления, состоящая из парокомпрессионного теплового насоса (ПК) и теплоэлектростанции (ТЭЦ).

В данной работе было отмечено, что для всех режимов раздельной работы парокомпрессионного теплового насоса и котла высокая температура низкопотенциального источника позволяет снизить компрессионную работу в ПК и снизить потребление электроэнергии, повысить коэффициент преобразование энергии и снижение расхода обычного топлива. В [3] предложена схема встраивания теплонасосной установки в систему отопления и горячего водоснабжения. Предлагается использовать тепловой насос на R134a. В статье предлагается использовать охлаждение части воды из обратной сети и снизить расход прямой воды из сети за счет тепла, отбираемого из воды обратной сети. Хорошо известны работы Новосибирской теплотехнической школы [4,5], в которой предлагается использовать, как абсорбционные тепловые насосы, так и парокомпрессионные тепловые насосы. Проблемы, связанные с работой системы горячего водоснабжения, в данных работах не рассматриваются. Среди работ западных авторов отметим [6], в которой методом математического моделирования исследуется система отопления с центральным тепловым насосом (ЦТН) и вспомогательными ПК, размещенными у потребителей. В статье изучается модель, в которой вычисляют температуры сетевой воды, потери теплоты и значения COP в системе. На этой модели были исследованы низкотемпературная система отопления (тип «горячий пол») и система горячего водоснабжения. В [7] были рассмотрены структурные схемы систем отопления с низкопотенциальными источниками тепла (СОНПИТ) в виде воздуха, подземных и морских вод, а также комбинация трех СОНПИТ. В [8] представлен обзор литературы по современным европейским системам, использующим тепловые насосы в системах теплоснабжения. Известны системы, где используется обратная вода для тепловых насосов, установленных в сетях ТЭС для нагрева воды потребителю, например, [9]. В [12] представлено большое количество статей западных ученых, связанных с использованием тепловых насосов, связанных с ТЭТ, в блочных системах отопления. В [13] описана система «теплый пол» и использование морской воды и наружного воздуха в качестве НПИТ.

Особенностью рассмотренных выше систем, разработанных на Западе, является то, что температура в системе горячего водоснабжения всегда выше, чем температура прямой сетевой воды. Чтобы соответствовать требованиям к энергоэффективности и обогреву зданий, национальное законодательство всех стран ЕС поощряет более экологичные варианты обогрева и охлаждения.

Один из них - тепловой насос с технологиями абсорбционного теплового насоса и сетевой воды из сети в качестве НПИТ для тепловых насосов. К системам, рассматриваемым в этой статье, близки системы, в которых тепловой насос использует в качестве источника

тепла обратную сетевую воду и, в то же время, наружный воздух. В [14] рассмотрены системы теплоснабжения городов с тепловыми насосами в Европе среди которых упоминаются трубопроводы обратной сетевой воды. Указывается на то, что выбор технологии теплового насоса для интеграции в сети централизованного теплоснабжения сложен и многокритериален. В странах ЕС нет единого способа создания систем централизованного теплоснабжения на основе тепловых насосов. В [14] представлено большое количество возможных сценариев и технологических решений из технического треугольника, которые дают очень широкий спектр применений и возможностей автономного отопления на основе теплового насоса. Технический треугольник - это инструмент, способный определять двунаправленную взаимозависимость технологии теплового насоса, источников тепла для тепловых насосов и профилей потребности в тепле. Технический треугольник обеспечивает богатый технологический анализ систем с тепловыми насосами, возобновляемыми источниками энергии и накоплением тепловой энергии снизу-вверх [14].

Нами рассматривается, применение ТНУ в системе теплоснабжения с ТЭЦ с возможностью присоединения к ТЭЦ новых потребителей или с условием перевода половины потребителей на теплонасосное теплоснабжение с использованием части теплоты обратной сетевой воды после систем отопления и теплоты наружного воздуха.

При этом рассматриваются два варианта:

1) когда новые потребители не подключаются (часть теплота ОСВ с первой половины отапливаемого объекта передается второму через ТН);

2) когда подключается новый потребитель и часть теплоты старого потребителя через ТН передается новому потребителю.

В первом случае тепловая нагрузка (расчетная, отопления без учета ГВС) составляет 72% от старой, а во втором 122% от старой тепловой нагрузки, дома, у которого отбирают теплоту ОСВ. В первом случае уменьшается выработка как тепловой, так и электрической энергии на ТЭЦ, а во втором в режимах при включенных ПРК электрическая мощность практически не изменяется, и ТН получает ЭЭ по импорту, а при отключенных ПРК и работе ТЭЦ по тепловому графику увеличивается выработка и отпуск как тепловой, так и электрической энергии ТЭЦ, а также возрастает и удельная выработка электроэнергии ТЭЦ на тепловом потреблении, а ТН в этом случае может получать часть дополнительной ЭЭ, вырабатываемой ТЭЦ. Разумеется, вместо наружного воздуха возможно использовать другие источники низкопотенциальной теплоты (НПТ). Но их использование выходит за рамки настоящего исследования. В [9] рассматривается тепловая сеть с графиком 40/20, где параллельно включены ТНУ для подготовки горячей воды.

На Западе отдают себе отчет о снижении прибылей генерирующих компаний из-за внедрения тепловых насосов, но отмечают важность этих работ из-за наличия социального и экологического эффектов, а также экономии у потребителя [9-11, 16-18]. При этом очевидно создание дополнительных рабочих мест на разработку, изготовление и внедрение систем генерации возобновляемой энергии и переход существующих генерирующих компаний в «интегрированные» с преобразователями ВИЭ.

Является совершенно очевидным, что «механическое» снижение температуры обратной сетевой воды для использования ее теплоты в тепловых насосах энергетически неэффективно, несмотря на снижение расхода электроэнергии для сетевых насосов и незначительное увеличение выработки электроэнергии на тепловом потреблении. Альтернативой может являться использование части теплоты обратной сетевой воды совместно с теплотой наружного воздуха, тепловыми выбросами промышленных предприятий и т.п.

Применение локальных ТНУ в схемах теплоснабжения, имеющих в качестве источника ТЭЦ, является неоднозначным как с энергетической, так и особенно с экономической точки зрения и требует ряда предварительных пояснений.

Первое. Во всех случаях необходимо очень четко указать граничные условия работы систем теплоснабжения, включая как источники, так и потребителей, до и после планируемой

реконструкции с установкой локальных ТНУ. В частности, очень важно, как меняется расчетная тепловая нагрузка как локальной системы, в которую включается ТНУ, так и основного источника (ТЭЦ или районной котельной). От этого зависит изменение режима работы и источника, и тепловых сетей. Например, если мы рассматриваем установку локальных ТНУ с вытеснением части существовавшей ранее тепловой нагрузки основного источника, то для последнего будет иметь место не только экономия топлива, но и ряд негативных эффектов: сокращение отпуска теплоты потребителям с потерей платежей за эту непоставленную энергию, уменьшение выработки и реализации электроэнергии на тепловом потреблении (вследствие сокращения отпуска тепла, на базе которого осуществляется эта выработка). Поэтому при расчете эффектов необходимо исходить из двух возможных вариантов. Или, по первому из них, нужно предполагать, что проект является небольшим, локальным с точки зрения источника и при уменьшении теплопотребления данным абонентом режимы работы источника практически не поменяются, за исключением уменьшения отпускаемой им тепловой энергии на относительно малую величину (в этом случае эффекты для источника можно считать при неизменных параметрах его работы для каждого временного интервала в течение года). Или, по второму варианту, необходимо считать, что все объекты, подключенные к системе теплоснабжения, подвергаются реконструкции или модернизации аналогично рассматриваемой локальной системе, и только в таком случае эффекты, связанные с изменением режима работы источника в части изменения таких величин, как удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении, расходы сетевой воды, тепловые потери в сетях, могут быть учтены достаточно точно. Именно такой второй подход и используется в данной работе, то есть предполагается, что все объекты теплоснабжения, подключенные к системе, реконструируются с использованием локальных ТНУ, одновременно, и что перестройка имеющихся тепловых сетей не требуется. То есть, вместо множества локальных систем рассматривается эквивалентная режиму при их параллельной работе единая модельная система теплоснабжения, подключенная к ТЭЦ, и рассчитываются параметры каждого характерного режима ее работы, необходимого для последующего анализа. Пример такой схемы приведен на рис. 1, причем ТНУ в ней в виде обобщенного испарителя (I) и обобщенного конденсатора/газоохладителя (HP) показаны условно.

Мы рассматриваем два варианта использования обратной сетевой воды после систем отопления абонентов: первый вариант, когда ее теплота используется для теплового насоса, испаритель которого установлен в тепловой сети после здания в отопительный сезон при условии использования для отопления части теплоты обратной сетевой воды путем ее охлаждения на некоторую величину (в неотапливаемый сезон этот тепловой насос использует теплоту окружающего воздуха для приготовления горячей воды); второй вариант, когда испаритель теплового насоса установлен в трубопроводе обратной сетевой воды после подмешивающего насоса. Способ использования теплового насоса для целей ГВС остается тем же, что в первом варианте.

Целью представленной статьи является повышение энергоэффективности комбинированных систем теплоснабжения с тепловыми насосами на диоксиде углерода в качестве хладагента. Эта цель достигается путем использования схем, при которых одна часть здания (или все здание) отапливается централизованно от ТЭЦ, а другая часть (или другое здание) отапливается от теплового насоса, установленного в отдельном тепловом пункте здания, получающего тепло от обратной сетевой воды, выходящей из здания.

Схема системы «ТЭЦ - локальные тепловые насосы» для системы теплоснабжения (СТС) с качественным законом терморегулирования (по второму варианту) представлена на рис. 1. Теплообменник системы ГВС подключен к сети по параллельной схеме.

В схеме одновременно используются тепло обратной сетевой воды сети одной части здания и тепло наружного воздуха для обогрева другой части здания в отопительный период, а горячая вода вырабатывается ТЭЦ. В межсезонье все здание получает тепло для ГВС от теплового насоса. Очевидно, что предложенная схема эффективна, когда в тепловом насосе параллельно используются два испарителя: один использует температуру обратной воды,

другой - тепло наружного воздуха и / или тепло от других источников тепла (в последнем случае потребуется больше испарителей). Схема подключения теплового насоса к системе теплоснабжения (СТС) с качественным законом регулирования теплового режима зданий представлена на рис. 1.

Экономическая эффективность для потребителя достигается за счет экономии затрат на энергию в результате замены (частично или полностью) источника тепла. Более того, этой экономии должно быть достаточно, чтобы компенсировать все инвестиции, потраченные на изменение энергоснабжения в приемлемые сроки. Для условий Республики Молдова при существующих ценах на энергоносители простой срок окупаемости капитальных затрат может составить 3,5 года.

Выводы

1. Схема системы теплоснабжения с ТЭЦ и тепловыми насосами, в которой тепловые насосы получают тепло из обратной воды сети теплоснабжения и из окружающего воздуха, экономят электроэнергию, природный газ и деньги при оплате счетов потребителями.
2. Внутренний теплообменник, газоохладитель теплового насоса, испаритель теплового насоса, теплообменники промежуточного контура должны быть выполнены с переменной поверхностью теплообмена.
5. Практическая реализация предложенной системы по предложенной схеме может быть рентабельной для новых потребителей тепла, подключенных к ТЭЦ или котельным, также приводит к снижению дополнительного расхода топлива у источника теплоты, необходимого для теплоснабжения. вновь подключенных потребителей, но это требует более детальных методик и более детальных экономических расчетов.

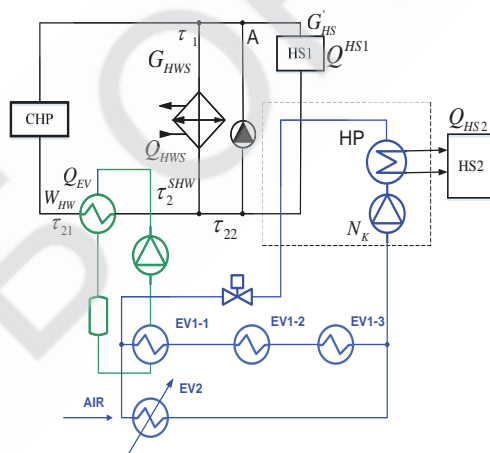


Рис.1. Схема теплоснабжения «ТЭЦ-ТН» с повышенным SCOP THU.

Литература

- [1] A.A.Redko, A.M. Taradai, V.V. Chernokriluk., T.S. Esin Kombinirovannii sistemi teplosnabjenia s vozobnovliaemimi istochnikami tepla. [Parameters of a Heat Supply System at a Lower Temperature Chart], Enegrosberejenie, energe-tika, energoaudit [Energy saving, energetics, energy audit]. 199(29)2014, p.42-46. <http://eee.khpi.edu.ua/article/view/33556/30109> , accessed 19.02.2020
- [2] L.A. Ogurechnikov Resursosberegaiuschaia kombinirovannaia sistema teplosnabjenia.

- [Resources saving combined heat supply system]. https://vodapol.ru/Arts/Resursosberegayushaya_sistema.php, accessed 19.02.2020.
- [3] R.A. Musabekov, Abilidinova S.K., Rasmuhametova A.S. Effektivnosti system centralizovannogo teplosnabjenia v usloviah sovmejnogo ispolizovania teolovih nasosov. [Efficiency of district heating systems under conditions of joint usage of heat pumps]. Vestnik AUES [Herald of AUEC] Almaty: AUEC, 2017.- №1(36). - p.5-19.
- [4] G.V.Nozdrenko Kompleksnii exergeticheskii analiz energoblokov TES s novimi tehnologiami [Complex exergetic analysis of CHP with new technologies] Novosibirsk, 2009.
- [5] A.A. Frantseva Optimizatsionnie issledovania TETS s gazosetevimi podogrevateliami. [Optimization studies of thermal power plants with a gas network heater and freon thermotransformers]. Novosibirsk, 2015. https://hrty.pdf/files/dissertations/dissertaciya_franceva_142916052027.pdf (accessed 21.03.2020).
- [6] P.A. Østergaard, A.N.Andersen Booster heat pumps and central heat pumps in district heating. Applied Energy 184 (2016) 1374–1388.
- [7] H. Pieper, T. Ommen, B. Elmegaard, W.B.Markussen Assessment of a combination of three heat sources for heat pumps to supply district heating. Energy 176 (2019) 156-170.
- [8] M.A.Sayegh, P.Jadwiszczak, B.P.Axcell, E.Niemierka, K.Brys, H.Jouhara Heat pump placement, connection and operational modes in European district heating. Energy & Buildings 166 (2018) 122–144.
- [9] A.V.Ovsianik, I.I. Matsko, O.L. Rychter, S.O.Bobovich Perspektivi primnenia teplonasosnih tehnologii d teplofikatsionnom komplekse goroda Gomelia [Prospects for the use of heat pump technologies in the heating complex of the city of Gomel]. <https://elibr.gstu.by/bitstream/handle/220612/10175/%D0%9E%D0%B2%D1%81%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%BA%2C%20%D0%90.%20%D0%90.%20%D0%9F%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D1%8B...pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed 21.03.2020).
- [10] R.U. Rony, H.Yang, S. Krishnan, J.Song Recent Advances in Transcritical CO₂ (R744) Heat Pump System: A Review. Energies 2019, 12, 457; doi:10.3390/en12030457.
- [11] Ma Yitai, Liu Zhongyan, Tian Hua A review of transcritical carbon dioxide heat pump and refrigeration cycles. Energy. 55 (2013), p.156-172.
- [12] T.S. Ommen (2015). *Heat Pumps in CHP Systems: High-efficiency Energy System Utilising Combined Heat and Power and Heat Pumps*. DTU Mechanical Engineering. DCAMM Special Report, No. S187.
- [13] P.A.Østergaard, A.N.Andersen Economic feasibility of booster heat pumps in heat pump-based district heating systems. Energy 155(2018), 921-929.
- [14] T. Ommen, W.B. Markussen, B. Elmegaard Heat pumps in combined heat and power systems, Energy 76 (2014) 989–1010. <https://doi.org.1016/j.energy.2014.09.016>.
- [15] N.V. Tatarinova, D.M. Suvorov, A.G. Shempelev Approaches to building computational mathematical models based on the flow and power characteristics of cogeneration steam turbine stages and compartments. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017). St. Petersburg, Russia, 2017, pp. 1-6.
- [16] E.A.Groll, J.H. Kim 2007. Review of recent advances toward transcritical CO₂ cycle technology. HVAC&R Research, 13(3):499-520.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАСТИНЫ МИКРОКАНАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА С ОТВЕРСТИЯМИ ЖАЛЮЗИЙНОГО ТИПА	
<i>Новицкая М.П.</i>	32
ЩОДО СПОСОБІВ ЗМІНИ СТРУКТУРИ КРАПЕЛЬНОГО ПОТОКУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ПЛОСКОФАКЕЛЬНИХ СТРУМЕНЕВИХ ФОРСУНОК	
<i>Пересьолков О.Р., Круглякова О.В.</i>	36
ВПЛИВ ФОРМИ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА НА ЧАС ЗАТРИМКИ ЙОГО ЗАПАЛЮВАННЯ	
<i>Степовик М.С., Буличов В.В., Коломісць О.В.</i>	38
КОЭФИЦИЕНТЫ ВЛАГО- И ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПЛОТНОМ СЛОЕ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССАХ СУШКИ	
<i>Альтман Э.И., Георгиеви Е.В.</i>	41
A SOIL REGENERATOR WITH A GRANULAR NOZZLE FOR GREENHOUSES	
<i>I. Boshkova, I. Mukminov.</i>	44
THE DRYING OF GRAIN MATERIALS USING A MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD	
<i>Volgusheva N.V., Diachenko T.V.</i>	46
A MICROWAVE DEVICE FOR THE TREATMENT OF PLANT MATERIALS	
<i>Volgusheva N.V., Potapov M.D.</i>	49
STUDYING THE HEAT EXCHANGE OF A DENSE LAYER OF GRANULAR MATERIAL WITH THE AIRFLOW	
<i>Solodka A.V., Bondarenko O.</i>	51
ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТИПУ «ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ» ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ (М. ОДЕСА)	
<i>Квасницький В.А., Зубкова З.С., Хлісва О.Я.</i>	53
ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛОГІДРИДНИХ АКУМУЛЯТОРІВУ СКЛАДІ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА БАЗІ ПАЛИВНИХ КОМІРОК	
<i>Чорна Н.А.</i>	55
КОАКСІАЛЬНІ ТЕПЛОВІ ТРУБИ, ПРИЗНАЧЕНІ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	
<i>Шаповал А.А., Панов Є.М., Шаповал І.В.</i>	57
СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕННЯ «ТЭЦ-ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ НА ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА»	
<i>Шум М.Л.</i>	60

Наукове видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

за матеріалами
XVIII Всеукраїнської науково-технічної
онлайн-конференції

«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ»

29-30 вересня 2020 року

(українською, російською, англійською мовами)

Підписано до друку 6.10.2020
Формат 60×84/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Друк офсетний. Ум. др. арк. 16,27. Наклад 100 прим.
Зам № 231120/2

Надруковано з готового оригінал-макету у друкарні «Апрель»
ФОП Бондаренко М.О.
65045, м. Одеса, вул. В.Арнаутська, 60
тел.: +38 048 700 11 55
www.aprel.od.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців ДК № 4684 від 13.02.2014 р.