

ПОРТЫ, ПОРТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО И ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА

DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-120-126
УДК [621.65:620.91/.98]:[621.642.2/.3:665.3:656.625(470.46)]

СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ПОДОГРЕВА РЕЗЕРВУАРОВ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА, В ТОМ ЧИСЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВОГО НАСОСА, В АО «МОРСКОЙ ТОРГОВЫЙ ПОРТ ОЛЯ» АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Р. А. Ильин¹, Н. Д. Шишкин¹, И. И. Коньков², А. А. Волкова²

¹ *Лаборатория нетрадиционной энергетики Отдела энергетических проблем Саратовского научного центра РАН (при Астраханском государственном техническом университете), Астрахань, Российская Федерация*

² *Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Российская Федерация*

Проведен анализ системы подогрева растительного масла в резервуарах АО «Морской торговый порт Оля». Рассмотрена существующая схема подогрева от электрического котла. Описан вариант замещения котла на систему обогрева путем прокладки тепловых сетей от существующего теплового пункта с указанием недостатков. Предложен вариант замещения традиционных способов подогрева растительного масла в резервуарах за счет внедрения теплового насоса, принимающего низкопотенциальную энергию для своей работы из протекающей рядом с объектом реки Бахтемир. Предложенный вариант достаточно эффективен и не идет в разрез с «Энергетической стратегией России на период до 2030 года» в вопросе использования перспективных технологий, в том числе использования низкопотенциального тепла природных сред. Отмечено, что в Российской Федерации мощность теплонасосных установок в настоящее время составляет около 65 МВт, в то время как в развитых странах аналогичные показатели значительно выше. В мире посредством тепловых насосов, использующих энергию рек, грунта, промышленных сбросов предприятий и т. д., вырабатывается около миллиарда Гкал тепла. Перечислены преимущества теплового насоса перед топливными установками. Представлены выражения энергетического баланса и энергетической эффективности теплового насоса. Приведена схема системы подогрева с использованием теплового насоса. Принципиальная схема работы теплового насоса включает следующие элементы: погружной теплообменный аппарат для теплового насоса, резервуары хранения масла, конденсатор, компрессор, дроссельный клапан и испаритель. Даны рекомендации по внедрению рассматриваемой системы, эксплуатации и эффективности работы. Помимо энергетической эффективности предложенного варианта, использование теплового насоса является одним из практических направлений энергосбережения и охраны окружающей среды.

Ключевые слова: резервуары растительного масла, тепловой насос, возобновляемые источники энергии, система теплоснабжения, схемные решения.

Для цитирования: *Ильин Р. А., Шишкин Н. Д., Коньков И. И., Волкова А. А.* Схемные решения подогрева резервуаров растительного масла, в том числе с использованием теплового насоса, в АО «Морской торговый порт Оля» Астраханской области // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 2. С. 120–126. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-120-126.

Введение

Проблемы эффективного использования топливно-энергетических ресурсов можно решать путем усовершенствования систем преобразования энергии от сжигания топлива или от возобновляемых источников энергии и повышения эффективности ее использования конечным потребителем. Ограниченность топливно-энергетических ресурсов (газ, нефть и т. д.), а также негативное влияние продуктов сгорания на экологию приводят к необходимости использования возобновляемых источников энергии (солнечная, ветровая, энергия грунта, биогаз и др.). Российская Федерация является крупнейшим в мире поставщиком энергоресурсов и держит лидирующее место по запасам топливных ресурсов, однако большая часть страны находится в удалении от систем централизованного энергоснабжения.

Экономия энергоресурсов для любого предприятия всегда имела важнейшее значение. В соответствии с Федеральным законом РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ и «Энергетической стратегией России на период до 2030 года» (утвержденной распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р) возникает необходимость расширять область применения энерго-, ресурсосберегающих технологий и современного оборудования. Один из путей решения вопроса – использование перспективных технологий и установок по использованию низкопотенциального тепла окружающей среды.

Антропогенное воздействие генерирующих мощностей заставляет задумываться о замещении части генерации установками, использующими возобновляемые источники энергии [1–6]. Одной из таких установок является тепловой насос (ТН), который в качестве источника низкопотенциальной энергии может использовать энергию грунта, рек, промышленных сбросов предприятий и т. д. В настоящее время в мире производится выработка порядка 1,0 млрд Гкал тепла с помощью ТН с установленной тепловой мощностью 250 ГВт. Это позволяет экономить около 80 млн т.у.т. в год. По различным прогнозам [5], развитые страны стремятся к уровню 75 % по внедрению тепловых насосов в существующие системы теплоснабжения потребителей. Что касается ситуации с внедрением ТН в России, то в настоящее время мощность теплонасосных установок (ТНУ) в нашей стране – не более 65 МВт; на фоне развитых стран ситуация в РФ выглядит не очень внушительно. Таким образом, задача анализа внедрения ТН в систему подогрева баков с растительным маслом является весьма актуальной и перспективной.

Материалы исследования

Объектом исследования послужили резервуары хранения растительного масла в АО «Морской торговый порт Оля» Астраханской области (рис. 1).



Рис. 1. Резервуары растительного масла в АО «Морской торговый порт Оля» Астраханской области

Порт имеет два источника электроснабжения: подстанция 110/10 кВт «Оля» Филиала ПАО «МРСК Юга» – «Астраханьэнерго» и модульная газопоршневая электростанция (ГПЭС) ООО «Истейт Проджект». Источником тепла также является модульная ГПЭС ООО «Истейт Проджект».

Главной задачей в настоящем исследовании является проработка вопроса по выбору оптимального варианта источника тепла для подогрева резервуаров растительного масла. Общее количество резервуаров – 4 шт., объем каждого составляет 1 000 м³. На данный момент обогрев происходит от электрического котла (ЭК) мощностью 96 кВт, в котором подогревается этиленгликоль. Далее он направляется в теплообменные аппараты, расположенные в баках, и происходит нагрев резервуаров хранения масла. Рассмотрим два потенциально возможных дополнительных варианта использования источников тепла:

- строительство теплотрассы от существующего теплового пункта (ТП) к резервуарам;
- внедрение системы с использованием ТН и низкопотенциального тепла реки Бахтемир.

Электрический котел потребляет большое количество электроэнергии, а реализация варианта с теплотрассой от ТП будет иметь ряд трудностей в процессе строительства по различным причинам: значительное количество инфраструктурных составляющих (железнодорожные пути, автомобильные дороги, подземные коммуникации), большие расстояния от теплового пункта до резервуаров хранения растительного масла (более 600 м), что, в свою очередь, значительно увеличивает стоимость проектно-монтажных работ. Соответственно, при расположении в непосредственной близости источника низкопотенциальной теплоты вариант с внедрением ТН является более предпочтительным. Схемное решение первого варианта подогрева масла в резервуарах от ТП приведено на рис. 2 (линия 2).

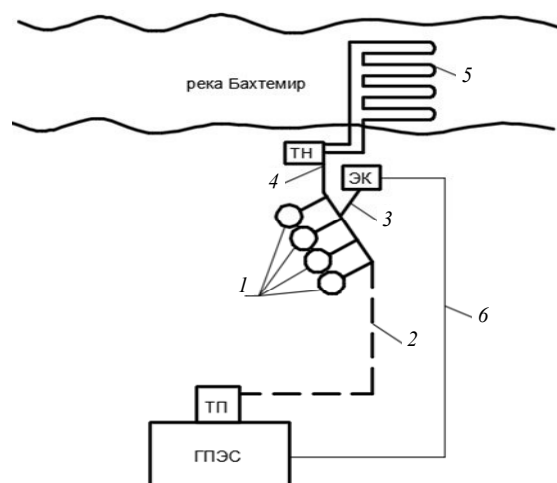


Рис. 2. Схемное решение варианта подогрева масла в резервуарах от ТП:

- 1 – резервуары хранения растительного масла;
- 2 – предлагаемая теплотрасса от ТП до резервуаров хранения растительного масла;
- 3 – существующая линия передачи электроэнергии от ГПЭС до ЭК;
- 4 – предлагаемая теплотрасса от системы ТН до резервуаров;
- 5 – погружной теплообменный аппарат для ТН;
- 6 – линия электропередачи ЭК

Помимо проблем с прокладкой порядка 600 м тепловых сетей от ТП существуют следующие недостатки рассматриваемого варианта:

- прокладка сетей – достаточно дорогое мероприятие, а с учетом обхода существующих коммуникаций и инженерных сетей – еще и высокотехнологичное;
- возникнет необходимость наращивать мощности перекачивающих насосов на ТП, что приведет к увеличению энергозатрат на их работу;
- необходимо внимательно подойти к вопросу о выборе теплоизоляционных материалов для тепловых сетей, т. к. некачественные материалы при намокании усиливают теплопотери от сетей и приводят к преждевременной коррозии поверхностей трубопроводов;

– необходимо будет ввести дополнительную систему подготовки воды, иначе возрастет скорость внутренней коррозии металла трубопроводов, что может потребовать скорого ремонта некоторых участков тепловой сети.

Схемное решение второго варианта подогрева масла в резервуарах от ТН приведено на рис. 2 (линия 4).

Рассмотрим вариант подогрева масла в резервуарах более подробно. На рис. 3 представлена принципиальная схема работы ТН.

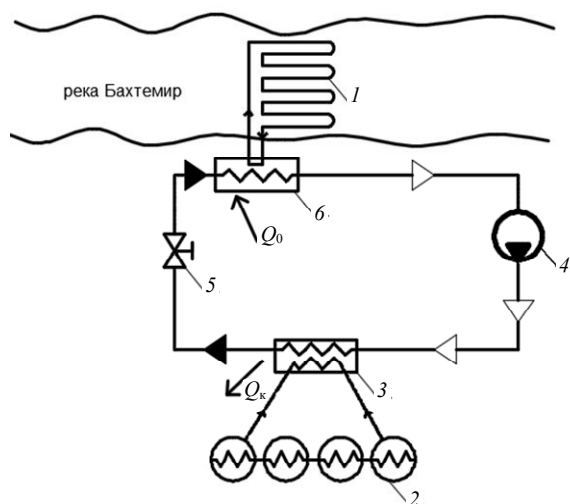


Рис. 3. Принципиальная схема работы ТН для обогрева резервуаров растительного масла:

- 1 – погружной теплообменный аппарат для ТН; 2 – резервуары хранения масла;
 3 – конденсатор; 4 – компрессор; 5 – дроссельный клапан; 6 – испаритель;
 Q_k – тепловой поток, Вт, отведенный в конденсаторе ТН; Q_0 – тепловой поток, Вт, подведенный в испаритель ТН

Работа по представленной схеме осуществляется в следующей последовательности: холодильный агент попадает в испаритель ТН, который погружен в реку Бахтемир. Здесь он парообразуется за счет подводимого тепла от воды. Далее пары хладагента подаются в компрессор, где они сжимаются. Температура их насыщения за счет сжатия повышается. На привод компрессора затрачивается электрическая энергия, количество которой учитывается при оценке эффективности работы ТН. Сжатые пары хладагента поступают в конденсатор – теплообменный аппарат, где происходит конденсация паров за счет их охлаждения протекающим в трубном пространстве теплообменника растительным маслом. Масло при этом нагревается. Количество теплоты, принятое маслом так же, как и мощность, на привод компрессора, учитывается при оценке эффективности ТН. Этот цикл замкнутый и постоянно повторяется. Рабочий процесс ТНУ можно автоматизировать, внедрив систему подогрева растительного масла в баках – резервуарах терморегулятора. При достижении температуры масла до требуемого уровня с помощью терморегуляторов происходит разрыв электрической цепи и отключение ТН. В момент падения температуры масла в резервуаре ниже минимальной терморегулятор запускает ТН. Таким образом, ТН для рассматриваемой системы играет роль концентратора рассеянной тепловой энергии (около 75 %), поступающей к испарителю от реки Бахтемир. В ТН также поступает около 25 % в виде электрической энергии для привода компрессора. При работе ТН его владельцы экономят порядка 3/4 средств по отношению к отопительной установке, на работу которой пришлось бы затрачивать энергию традиционных топливных ресурсов.

Среди преимуществ ТН перед топливными установками можно выделить следующие:

1. Если сравнивать эффективность получения тепловой энергии в топливных установках и в ТНУ, то в ТНУ подведенная электрическая энергии на привод компрессора тратится более эффективно. Оценка этих установок выполняется по коэффициенту преобразования (трансформации) тепла. Считается эффективным, если ТН имеет значение этого коэффициента более 2,5.

Это означает, что при подводе к компрессору 1 кВт электрической энергии на привод компрессора, он вырабатывает 2,5 кВт тепловой энергии;

2. Широта применения. В качестве источников рассеянного низкопотенциального тепла могут быть вода, грунт, воздух, сточные воды предприятия и т. д.;

3. При работе топливных установок выделяются вредные выбросы, негативно влияющие на состояние окружающей среды, такие как CO, CO₂, NO_x, SO₂, PbO₂ и др. При работе же ТНУ подобного не происходит. Применяемые в рабочем цикле хладагенты озонобезопасны и не содержат хлоруглеродов;

4. Поскольку ТН при работе не использует органическое топливо, не возникнет ситуации появления открытого огня и взрывов опасных смесей или газов. В процессе осуществления рабочего цикла в ТН не происходит нагрева его элементов до критических температур, которые могли бы привести к перегреву рабочих поверхностей ТН. Используемые в качестве рабочего тела хладагенты при останове ТН не замерзнут, и поэтому не приведут элементы и поверхности нагрева ТН к каким-либо поломкам.

Энергетический баланс ТН представляет собой следующую формулу [1–5]:

$$Q_k = Q_0 + W,$$

где Q_k – тепловой поток, Вт, отведенный в конденсаторе ТН при T_k , К; Q_0 – тепловой поток, Вт, подведенный в испарителе ТН при T_0 , К; W – затраченная мощность в цикле на привод компрессора, Вт.

Энергетическая эффективность ТН определяется коэффициентом трансформации тепла $\varepsilon_{\text{отоп}}$, кВт (теплоты) / кВт (электроэнергии) [6]:

$$\varepsilon_{\text{отоп}} = Q_k / W.$$

Для окончательного принятия решения о внедрении ТН в систему подогрева масла недостаточно придерживаться только двух приведенных критериев. Этот анализ довольно сложен и в рамках данной работы не подвергается исследованию. Безусловно, при дальнейшем анализе необходимо учитывать технико-экономические показатели проекта, которые бы всесторонне учитывали текущую ситуацию в экономике на долгосрочную перспективу реализации рассматриваемого варианта.

Впоследствии необходимо будет проводить критический анализ варианта как по энергоэффективности проекта, так и по следующим экономическим критериям:

1. Необходим учет суммарных (годовых или дисконтированных) приведенных затрат, которые будут учитывать все капитальные вложения по реализации предлагаемого проекта и годовые эксплуатационные издержки при его работе. Это касается всех потребляемых ТН энерго-ресурсов при его работе на состояние периода проводимой оценки;

2. Чистая дисконтированная прибыль учитывает рост налоговой составляющей и рост ежегодных платежей, например увеличение стоимости электроэнергии на привод компрессора ТН и т. д.

В дальнейшем мы планируем помимо экономической оценки проведение оценки энергетической эффективности варианта системы по следующим критериям:

- энергетическая эффективность ТН по коэффициенту трансформации тепла;
- эксергетическая оценка предлагаемого варианта с позиции эффективности использования располагаемой эксергии [6].

Заключение

Без сомнений, представленные схемные решения подогрева растительного масла в резервуарах – не все возможные варианты технического решения. Рассмотренные схемные решения подогрева резервуаров растительного масла в АО «Морской торговый порт Оля» Астраханской области позволили на данном этапе определиться с выбором оптимального варианта в настоящий момент. Энергетическая эффективность и инженерная возможность внедрения и эксплуатации ТН в качестве источников теплоснабжения доказаны давно, что подтверждает и зарубежный опыт их использования. Необходимо перенимать опыт такой эксплуатации и для условий РФ, особенно для регионов страны, где есть дефицит органических топливных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Елистратов С. Л.* Комплексное исследование эффективности тепловых насосов. URL: <http://fizmathim.com/kompleksnoe-issledovanie-effektivnosti-teplovuyh-nasosov> (дата обращения: 23.05.2019).
2. *Тепловой насос / Технологии. Инновации. Менеджмент.* URL: http://elport.ru/articles/teplovoy_nasos/ (дата обращения: 25.01.2020).
3. *Принципы работы холодильной машины / Информационный портал «Мир климата и холода».* URL: http://mir-klimata.info/archive/special_installer/principi_raboti_holodilnoi/ (дата обращения: 25.01.2020).
4. *Жидович И. С., Трутаев В. И.* Системный подход к оценке эффективности тепловых насосов. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=189 (дата обращения: 25.01.2020).
5. *Злобин А. А., Курятов В. Н., Мальцев А. П., Романов Г. А.* Некоторые технико-экономические оценки при внедрении тепловых насосов в промышленности. URL: http://ite-audit.ru/some_estimations.pdf (дата обращения: 25.01.2020).
6. *Ильин Р. А.* Некоторые особенности обратных термодинамических циклов тепловых насосов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2006. № 6 (35). С. 120–125.

Статья поступила в редакцию 05.02.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ильин Роман Альбертович – Россия, 414056, Астрахань, Лаборатория нетрадиционной энергетики Саратовского научного центра РАН при АГТУ; канд. техн. наук, доцент; старший научный сотрудник; kaften.astu@mail.ru.

Шишкин Николай Дмитриевич – Россия, 414056, Астрахань, Лаборатория нетрадиционной энергетики Саратовского научного центра РАН при АГТУ; д-р техн. наук, профессор; заведующий лабораторией; evt@astu.org.

Коньков Илья Игоревич – Россия, 414056, Астрахань, Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры теплоэнергетики и холодильных машин; Lyal03@ Rambler.ru.

Волкова Аида Абаевна – Россия, 414056, Астрахань, Астраханский государственный технический университет; канд. экон. наук; доцент кафедры высшей и прикладной математики; aida1797@mail.ru.



CIRCUIT DECISIONS FOR HEATING VEGETABLE OIL TANKS USING THERMAL PUMP AT MARINE TRADE PORT OLYA, JSC IN ASTRAKHAN REGION

R. A. Ilyin¹, N. D. Shishkin¹, I. I. Konkov², A. A. Volkova²

¹ *Laboratory of Alternative Energy Sources Saratov Science Centre of RAS at ASTU, Astrakhan, Russian Federation*

² *Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation*

Abstract. The paper presents the analysis of the heating system of the vegetable oil tanks at Sea Trade Port Olya, JSC. The heating circuit from the electric boiler is considered. There is described the method of replacing the boiler by a heating system with laying heating networks from the heating station, the disadvantages being identified. An alternative is proposed for replacing traditional methods of heating vegetable oil in tanks by introducing a heat pump that takes low potential energy for its operation from the Bakhtemir River, not far from the facility. The proposed option is quite effective and is not contrary to the “Energy Strategy of Russia for the period until 2030” regarding the use of promising technologies, including consumption of low-grade heat of natural sources. It has been found that today in the Russian Federation the capacity of heat pump

units makes about 65 MW, while in developed countries the figures are much higher. About 1 billion Gcal of heat is generated in the world through heat pumps using the energy of rivers, ground, industrial wastes, etc. The advantages of a heat pump over fuel pumps are listed. Expressions of the energy balance and energy efficiency of the heat pump are presented. A diagram of a heating system using a heat pump is given. The basic operation diagram of a heat pump includes a submersible heat exchanger for a heat pump, oil storage tanks, a condenser, a compressor, a butterfly valve and an evaporator. Recommendations are given on implementation, operation and efficiency of the system. In addition to power efficiency of the proposed, the use of a heat pump is one of the practical trends in energy saving and environmental protection.

Key words: vegetable oil tanks, heat pump, renewable energy sources, heat supply system, circuit solutions.

For citation: Ilyin R. A., Shishkin N. D., Konkov I. I., Volkova A. A. Circuit decisions for heating vegetable oil tanks using thermal pump at Marine Trade Port Olya, JSC in Astrakhan region. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;2:120-126. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-120-126.

REFERENCES

1. Elistratov S. L. *Kompleksnoe issledovanie effektivnosti teplovyh nasosov* [Complex study of heat pump efficiency]. Available at: <http://fizmathim.com/kompleksnoe-issledovanie-effektivnosti-teplovyh-nasosov> (accessed: 23.05.2019).
2. *Teplovoj nasos* [Thermal pump]. *Tekhnologii. Innovacii. Menedzhment*. Available at: http://elport.ru/articles/teplovoy_nasos/ (accessed: 25.01.2020).
3. *Principy raboty holodil'noj mashiny* [Operation principles of refrigerating machine]. *Informacionnyj portal «Mir klimata i holoda»*. Available at: http://mir-klimata.info/archive/special_installer/principi_raboti_holodilnoi/ (accessed: 25.01.2020).
4. Zhidovich I. S., Trutaev V. I. *Sistemnyj podhod k ocenke effektivnosti teplovyh nasosov* [Systematic approach to assessing heat pump effectiveness]. Available at: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=189 (accessed: 25.01.2020).
5. Zlobin A. A., Kuryatov V. N., Mal'cev A. P., Romanov G. A. *Nekotorye tekhniko-ekonomicheskie ocenki pri vnedrenii teplovyh nasosov v promyshlennosti* [Feasibility analysis in introduction of heat pumps in industry]. Available at: http://ite-audit.ru/some_estimations.pdf (accessed: 25.01.2020).
6. Il'in R. A. *Nekotorye osobennosti obratnyh termodinamicheskikh ciklov teplovyh nasosov* [Specific features of reverse thermodynamic cycles of heat pumps]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2006, no. 6 (35), pp. 120-125.

The article submitted to the editors 05.02.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilyin Roman Albertovich – Russia, 414056, Astrakhan; Laboratory of Alternative Energy Sources of Saratov Science Centre of RAS under ASTU; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Senior Researcher; kaften.astu@mail.ru.

Shishkin Nikolay Dmitrievich – Russia, 414056, Astrakhan; Laboratory of Alternative Energy Sources of Saratov Science Centre of RAS under ASTU; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Laboratory; evt@astu.org.

Konkov Ilya Igorevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Heat Power Engineering and Refrigerating Machines; Lya103@rambler.ru.

Volkova Aida Abaevna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Economics; Assistant Professor of the Department of Higher and Applied Mathematics; aida1797@mail.ru.

