

УДК 338.054.23

Оценка экономических и экологических перспектив управления низкопотенциальными ресурсами на примере тепла сточных вод хлебозаводов

Канд. техн. наук **Дидиков А.Е.** didikov@yandex.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Данная работа посвящена решению экономических и экологических задач управления энергоресурсосбережением на предприятиях пищевой промышленности, путем максимального извлечения полезной энергии в материальных потоках энергетических ресурсов низкого потенциала. Предметом исследования является существующий низкопотенциальный источник тепла, в виде объема сбрасываемых сточных вод хлебопекарного предприятия. Объектом для проведения работ выбрано ОАО «Заря», Санкт-Петербург. Данное предприятие относится к хлебозаводам средней мощности и специализируется на выработке широкого ассортимента хлебобулочных и кондитерских изделий. По своим производственным, экономическим и техническим показателям является характерным для данного уровня предприятий, составляющих основу хлебопекарной отрасли РФ. Суть работы заключается в проведении экономических и экологических расчетов, исследовании материальных балансов и расходов различного рода энергоносителей, используемых для нужд теплоснабжения, для последующего выявления возможных путей использования низкопотенциальной энергии сточных вод, образующихся в процессе производства хлебобулочных изделий. Предполагается при помощи теплонасосных систем преобразовать энергию низкого потенциала сточных вод в полезное тепло, возможное для применения в системах горячего водоснабжения предприятия. Результатом данного внедрения является дальнейшее сокращение потребления природного газа, повышение уровня энергоресурсосбережения и снижение экологического воздействия на окружающую среду. На основании выполненных расчетов сделан вывод об экономической целесообразности применения тепловых насосов (ТН) в системах горячего водоснабжения, только при использовании в качестве источника тепла электрической энергии. В сравнении с газовыми котельными, наиболее широко используемыми в хлебопекарной промышленности, применение данных устройств, при существующих ценах на энергоносители, не является эффективным.

Ключевые слова: хлебопекарная отрасль, экологические проблемы, тепловые насосы, сточные воды, системы теплоснабжения.

DOI: 10.17586/2310-1172-2018-11-3-30-34

Estimation of economic and ecological perspectives of management of low-potential resources by the example of waste water heat from bakeries

Ph.D. **Didikov A.E.** didikov@yandex.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

This work is devoted to solving economic and ecological problems of energy saving management at food industry enterprises, by maximizing the extraction of useful energy in material flows of low-potential energy resources. The subject of the study is the existing low-potential heat source, in the form of the volume of waste water discharged from a bakery enterprise. The object for the work was chosen JSC «Zarya», St. Petersburg. This enterprise belongs to medium-sized bakeries and specializes in the production of a wide range of bakery and confectionery products. By its production, economic and technical indicators is characteristic for this level of enterprises, which constitute the basis of the baking industry of the Russian Federation. The essence of the work is to conduct economic and environmental calculations, study the material balances and expenditures of various types of energy carriers used for the needs of heat supply, for the subsequent identification of possible ways to use the low-potential energy of sewage generated during the production of bakery products. It is supposed with the help of heat pump systems to convert the low potential of waste water into useful heat, which is possible for use in hot water supply systems of the enterprise. The result of this implementation is a further reduction in natural gas consumption, an increase in the level of energy and resource saving, and a reduction in the environmental impact on the environment. Based on the calculations performed, it was concluded that it is economically feasible to use heat pumps (HTs) in hot water systems, only when

electric energy is used as a heat source. In comparison with gas boiler plants, the most widely used in the baking industry, the use of these devices, at existing energy prices, is not effective.

Keywords: baking industry, environmental problems, heat pumps, waste water, heating system.

Введение

На территории РФ идея использования низкопотенциального тепла постоянно привлекает к себе внимание, но низкая стоимость энергоносителей не создает предпосылок для ее реализации. Последние годы показали, насколько трудно прогнозировать изменение цен на многие виды топлива и энергии. Если обратиться к исследованиям Мирового Энергетического Агентства, которое обнародовало в 2000 году свой прогноз по уровню цен на энергоносители, то по самому оптимистичному сценарию, цена на нефть к 2030 году не должна превысить отметку в 30 долларов США за баррель. Но уже в 2008 году реальные показатели роста стоимости нефти нарушили этот сценарий, и цена достигла рекордной отметки в 100 и более долларов за баррель. Затем тенденция роста сменилась ускоренным падением, с дальнейшим снижением цены в 2014–2015 годах до 50–40 долларов за баррель. Неустойчивая динамика цен на рынке энергоносителей создает серьезную неопределенность в текущей работе предприятий, становится сложнее прогнозировать конечные экономические результаты производственной деятельности, особенно учитывая нагрузку имеющихся кредитных обязательств.

Из-за наличия многочисленных факторов, влияющих на динамику цен на традиционные энергоносители, промышленные предприятия вынуждены искать новые пути с применением независимых альтернативных источников энергии [6, 16, 17]. Предпосылкой для использования новых источников энергии является расширившийся рынок современного и высокоэффективного оборудования с большим количеством предложений установок, способных работать с энергией низкого потенциала. Данные системы могут успешно применяться на предприятиях, имеющих большое количество низкопотенциального тепла, которое можно в дальнейшем успешно утилизировать, снижая при этом не только финансовые, но и экологические издержки предприятия [13].

Интерес к использованию энергии низкого потенциала в разные периоды времени то появлялся, то пропадал. Большое количество работ посвящено данной тематике. В различных отраслях промышленности приводятся примеры успешного использования установок, использующих низкопотенциальную энергию, например, тепловых насосов (ТН), для нужд теплоснабжения [4, 5, 10, 14].

Одним из главных преимуществ, в случае применения ТН, является его многофункциональность. Как альтернатива традиционным кондиционерам, он может одновременно выступать, как в качестве нагревателя, так и охладителя различных сред. При комплексном использовании ТН систем, достигается максимальная энергетическая, экономическая и экологическая эффективность [10, 19]. В случае наличия на предприятии высокопотенциального источника тепла, для более полного и эффективного использования энергии, можно применить схемы с теплообменником, тепловым насосом и аккумулятором [7, 19].

Экономические преимущества в случае применения ТН, заключаются в снижении на одну треть затрат на получение энергии высокого потенциала, за счет эффективного извлечения низкопотенциальной энергии бросового тепла. Применение ТН в разных отраслях промышленности широко представлены в различных публикациях и литературных источниках [2, 4, 6, 8, 10, 17]. В молочной промышленности, при помощи таких устройств, утилизируют низкопотенциальное тепло сточных вод молокозаводов и в дальнейшем используют в системе горячего водоснабжения (ГВС). Данное внедрение позволяет значительно сократить потребление газа в котельной, снизить финансовые затраты, улучшить экологию, уменьшив при этом выбросы в атмосферу парниковых газов [5].

На большинстве российских предприятий, выпускающих хлебобулочные и кондитерские изделия, используется большое количество питьевой воды. Вода применяется в различных производственных процессах: приготовления теста, растворов сахара, соли, дрожжевого молока, а также мойке оборудования, инвентаря, тары, санитарной обработке помещений. Отраслевой норматив расхода питьевой воды для предприятия мощностью до 30 т хлебобулочных изделий в сутки составляет $4,33 \text{ м}^3$ на одну тонну, но может варьироваться и увеличиваться до 1,5 раз, достигая $5,12 \text{ м}^3$, в зависимости от типа производства [12]. В связи с высоким потреблением воды на хлебопекарных предприятиях, образуется большое количество сточных вод (СВ), составляющих по объему до 80% от общего количества потребляемой воды, имеющих температуру $20...40 \text{ }^\circ\text{C}$. Данные воды образуются в основном в процессах мойки тары, инвентаря, оборудования, санитарной обработки помещений. За счет утилизации низкопотенциального тепла СВ, можно получить значительную экономию топливно-энергетических ресурсов предприятия.

Анализ теплового баланса предприятия

Данная работа посвящена исследованию возможностей использования тепловых насосов в процессе утилизации тепла сточных вод ОАО «Заря» (Санкт Петербург) и использование его в системе горячего водоснабжения завода.

По данным ОАО «Заря» – хлебопекарном предприятии, вырабатывающем широкий ассортимент хлебобулочных и кондитерских изделий [15], расход газа на теплоснабжение составляет $Q_T = 598239,13$ нм³/год (233,7 нм³/ч). Годовые затраты на покупку газа, при стоимости газа $Ц_G = 5600$ руб. за 1000 м³, составляют:

$$C_T = Q_T \cdot Ц_G = 5,6 \cdot 598239,13 = 3350139,12 \text{ руб. в год (3350 тыс. руб. в год)}$$

Всего расход тепла на технологические нужды в ОАО «Заря»:

- на производство пара - 0,5 Гкал/ч (0,581 мВт);

- ГВС 0,26 Гкал/ч (0,3 мВт);

- отопление и вентиляцию - 1,44 Гкал/ч (1,674 мВт).

Расход горячей воды с температурой $t_r = 65$ °С составляет $q_{ГВ} = 2,0$ м³/ч. Годовой расход горячей воды для систем ГВС ($D = 360$ дней, $n = 24$ часа) равен:

$$Q_B = q_{ГВ} \cdot D \cdot n = 2,0 \cdot 24 \cdot 360 = 17280 \text{ м}^3 \text{ в год}$$

Исследование перспектив использования низкопотенциального источника тепла

Суммарная тепловая мощность низкопотенциального источника тепла – СВ, определяется согласно расчету по исходным данным хлебозавода.

1. Среднесуточный объем сточных вод $V = 136,58$ м³/сут;
2. Средняя температура сточных вод $t_c = + 20$ °С;
3. Температура, требуемая для системы ГВС и отопления $t_r = + 65$ °С;
4. Производительность котла ЗИОСАБ -1000 по ГВС - 2 м³ воды в час;
5. Режим работы котельной - круглосуточный, 8400 час/год;
6. Мощность ГВС и отопительной системы, согласно фактическим данным – 1,32 Гкал. ч. (1,53 мВт)
7. Расход газа на нужды теплоснабжения составляет 598239,13 нм³/год (233,7 нм³/ч).
8. Цена газа – 5600 руб. за 1000 м³;

Предполагается, что низкопотенциальное тепло СВ может быть полезно использовано при помощи ТН в системе ГВС.

Общее количество тепла, которое возможно получить, утилизируя его из сточных вод:

$$Q_{СВ} = c \cdot m \cdot (T_k - T_n) = c \cdot \rho \cdot V \cdot (T_k - T_n) = 4,187 \cdot 1000 \cdot 136,58 \cdot (293,15 - 277,15) = 9149767 \text{ кДж/сут} = 105,9 \text{ кВт (0,105 мВт)},$$

где, c – теплоемкость воды = 4,187 кДж/кг·К; ρ - плотность воды = 1000 кг/м³; V – среднесуточный объем сточных вод = 136,58 м³/сут; $T_k - T_n$ – потенциал сточных вод, циркулирующих через охладитель:

$$20^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K} - 277,15 \text{ K} = 16 \text{ K}$$

С помощью теплового насоса можно повысить температуру циркулирующей воды с +15 °С до + 65 °С, что достаточно для работы системы ГВС. Согласно расчету потенциала сточных вод, количество тепла, производимого в котельной для нужд теплоснабжения, не может быть полностью скомпенсировано потенциалом СВ, который составляет 0,105 мВт, из необходимых 1,53 мВт. Данного потенциала достаточно лишь для частичной компенсации тепловой мощности необходимой для системы горячего водоснабжения, в размере 30% от общего объема. В данном случае существует возможность сэкономить газ, необходимый для производства тепла, в объеме 0,105 мВт, эквивалентно тепловой мощности получаемой от сточных вод. Доля компенсации от общей мощности необходимой на ОВ и ГВС составляет $1,53 : 0,105 = 14,5$. Экономия денежных средств, при данном внедрении, складывается из снижения расходов на природный газ, при частичном замещении мощности отопительного котла тепловым насосом. Согласно данным хлебозавода, расходы на газ для производства ОВ и ГВС, в денежном выражении, составляют $C_T = 3350$ тыс. руб. в год. При частичной замене доли ГВС работой теплового насоса, можно получить экономию на стоимости газа в размере

$$C_T = C_T : 14,5 = 3350 : 14,5 = 235 \text{ тыс. руб.год.}$$

Прежде чем перейти к этапу подбора ТН, целесообразно предварительно сравнить возможные эксплуатационные расходы на газ в котле ЗИОСАБ – 1000, с электрической энергией, требуемой для привода компрессора ТН.

При средневзвешенной стоимости (для дневного тарифа) одного кВт·ч электроэнергии $C_{э3} = 2,08$ руб. [15], стоимость $C_{э3}$ электроэнергии, израсходованной на электропривод ТН:

$$C_{э3} = M_{э3} \cdot \text{ч} \cdot C_{э3} \cdot 0,3 = 2,08 \cdot 105 \cdot 8400 \cdot 0,3 = 550,36 \text{ тыс. руб. в год}$$

где $M_{э3}$ - расход электроэнергии на привод компрессора, составляет 1/3 от производимой тепловой мощности ГВС (105 кВт); ч – время работы часов в год:

Расходы на газ $C_{г}$ при выработке ГВС (из расчета 105 кВт) в газовом котле ЗИОСАБ-1000, составляют:

$$C_{г} = 235 \text{ тыс. руб. год.}$$

При сравнении полученных данных, эксплуатационные расходы на привод ТНУ оказываются больше, по сравнению с платой за газ в газовой котельной. Разница составляет:

$$\Delta C = C_{э3} - C_{г} = 550,36 - 235,0 = 315,36 \text{ тыс. руб. в год.}$$

Выводы

1) Проведенные предварительные расчеты показали на экономическую нецелесообразность дальнейшего подбора ТНУ для данного проекта, в связи с низкой стоимостью газа, используемого для теплоснабжения, по отношению к электрической энергии, необходимой для привода ТН.

2) Выполненные исследования показали, что на текущий момент, теплонасосные системы не могут конкурировать с газовыми котельными, применяемыми в хлебопекарной промышленности. ТНУ могут быть эффективны только для тех предприятий отрасли, которые используют электрические нагревательные устройства для горячего водоснабжения. В противном случае с применением ТНУ не удастся достичь приемлемого экономического эффекта внедрения.

3) Данный проект может рассматриваться, как альтернатива применению традиционных источников энергии, в случае значительного роста цен на энергоносители в 2,5–3 раза и существенного уменьшения цен на покупку тепловых насосов. Также на рентабельность проекта может повлиять развитие рынка «зеленых сертификатов» и торговли квотами CO₂. Внедрение данного проекта, при сопутствующих благоприятных обстоятельствах, позволит внести свой вклад в решение проблемы по снижению доли парниковых газов на территории РФ к 2020 году до 75% от уровня 1990 года [1].

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715.
2. Дидиков А.Е. Использование солнечной энергии в системах нагрева воды на пищевых предприятиях. V Междун. научн.техн. конф. «Низкотемпературные технологии в XXI веке. Спб.: СпбГУНиПТ, 2009. 150 с.
3. Баранов Н.Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии. Учеб. пособ для вузов. – М.: Издат.дом МЭИ, 2012. 384 с.
4. Зимина А.С., Кузин Н.Я. Экономия энергоресурсов существующей системы теплоснабжения в России с помощью энергосберегающих технологий // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.
5. Горшков В.Г. Эффективность парокомпрессорных и абсорбционных тепловых насосов // Молочная промышленность. 2011. № 4. С 46.
6. Чаховский В.М. Опыт применения энергосберегающей теплонаносной технологии в системе городского теплоснабжения // РСЭ ИНФОРМ. 1999. № 2.
7. Попель О.С. Условия эффективного использования и примеры работы тепловых насосов // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2004. № 2.
8. Попов А.В. Новейшие возможности использования тепловых насосов // Промышленная энергетика. 2010. № 4. С 46–50.
9. Дидиков А.Е. К вопросу применения солнечно-теплонасосных систем на предприятиях пищевой промышленности // Научный журнал НИУ ИТМО. «Серия: Экономика и экологический менеджмент». 2015. № 1.
10. Дидиков А.Е. К вопросу использования альтернативных источников солнечной энергии в системах теплоснабжения промышленных и бытовых потребителей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: «Экономика и экологический менеджмент». 2012. № 2.
11. Янтовский Е.И., Левин Л.А. Промышленные тепловые насосы. –М: Энергоатомиздат, 1989. 125 с.

12. Дидиков А.Е. Пути решения проблемы рационального использования воды в процессах мойки в хлебопекарном и кондитерском производствах // Научный журнал НИУ ИТМО. «Серия: Экономика и экологический менеджмент». 2013. № 2.
13. Горнов В. Российский рынок тепловых насосов // Империя холода. 2012. № 10. С 36–37.
14. Басс М.С., Батухтин А.Г. Методика оптимизации состава оборудования в комбинированных системах теплоснабжения // Промышленная энергетика. 2012. № 10. С 49–52.
15. Проект теплоснабжения ОАО «Заря». 2009.
16. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоёв Земли (Монография). Издательский дом «Граница». –М.: «Красная звезда», 2006.
17. Немченко Н.И. Теплонасосная установка – перспективный источник теплоснабжения поселка // Промышленная энергетика. 2013. № 10. С. 51–54.
18. Виссарионов В.И. Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии. Учебн. пособие. –М.: Издат.дом МЭИ, 2009. 144 с.
19. Амерханов Р.Д. Тепловые насосы. –М.: Энергоатомиздат, 2005. 160 с.
20. СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Reference

1. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 13.11.2009 № 1715.
2. Didikov A.E. Ispol'zovanie solnechnoj ehnergii v sistemah nagreva vody na pishchevyh predpriyatiyah. V Mezhdun. nauchn.tekhn. konf. «Nizkotemperaturnye tekhnologii v HKHI veke. Spb.: SpbGUNIPT, 2009. 150 p.
3. Baranov N.N. Netradicionnye istochniki i metody preobrazovaniya ehnergii. Ucheb. posob dlya vuzov. – M.: Izdat.dom MEHI, 2012. 384 p.
4. Zimina A.S., Kuzin N.YA. EHkonomiya ehnergoresursov sushchestvuyushchej sistemy teplosnabzheniya v Rossii s pomoshch'yu ehnergosberegayushchih tekhnologij // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. № 5.
5. Gorshkov V.G. EHffektivnost' parokompressornyh i absorbcionnyh teplovyh nasosov // *Molochnaya promyshlennost'*. 2011. № 4. P 46.
6. Chahovskij V.M. Opyt primeneniya ehnergosberegayushchej teplonosnoj tekhnologii v sisteme gorodskogo teplosnabzheniya // *RSEH INFORM*. 1999. № 2.
7. Popel' O.S. Usloviya ehffektivnogo ispol'zovaniya i primery raboty teplovyh nasosov // *Santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie*. 2004. № 2.
8. Popov A.V. Novejshie vozmozhnosti ispol'zovaniya teplovyh nasosov // *Promyshlennaya ehnergetika*. 2010. № 4. P. 46–50.
9. Didikov A.E. K voprosu primeneniya solnechno-teplonosnyh sistem na predpriyatiyah pishchevoj promyshlennosti // *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. «Seriya: EHkonomika i ehkologicheskij menedzhment»*. 2015. № 1.
10. Didikov A.E. K voprosu ispol'zovaniya al'ternativnyh istochnikov solnechnoj ehnergii v sistemah teplosnabzheniya promyshlennyh i bytovyh potrebitelej // *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya: «EHkonomika i ehkologicheskij menedzhment»*. 2012. № 2.
11. YAntovskij E.I., Levin L.A. Promyshlennye teplovye nasosy. –M: EHnergoatomizdat, 1989. 125 p.
12. Didikov A.E. Puti resheniya problemy racional'nogo ispol'zovaniya vody v processah mojki v hlebopekarnom i konditerskom proizvodstvah // *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. «Seriya: EHkonomika i ehkologicheskij menedzhment»*. 2013. № 2.
13. Gornov V. Rossijskij rynek teplovyh nasosov // *Imperiya holoda*. 2012. № 10. P 36–37.
14. Bass M.S., Batuhtin A.G. Metodika optimizacii sostava oborudovaniya v kombinirovannyh sistemah teplosnabzheniya // *Promyshlennaya ehnergetika*. 2012. № 10. P 49–52.
15. Proekt teplosnabzheniya ОАО «Zarya». 2009.
16. Vasil'ev G.P. Teplohadosnabzhenie zdaniy i sooruzhenij s ispol'zovaniem nizkopotencial'noj teplovoj ehnergii poverhnostnyh slojov Zemli (Monografiya). Izdatel'skij dom «Granica». –M.: «Krasnaya zvezda», 2006.
17. Nemchenko N.I. Teplonasosnaya ustanovka – perspektivnyj istochnik teplosnabzheniya poselka // *Promyshlennaya ehnergetika*. 2013. № 10. P. 51–54.
18. Vissarionov V.I. Metody rascheta resursov vozobnovlyaemyh istochnikov ehnergii. Uchebn. posobie. –M.: Izdat.dom MEHI, 2009. 144 s.
19. Amerhanov R.D. Teplovye nasosy. –M.: EHnergoatomizdat, 2005. 160 p.
20. SNiP 2.04.05-91 «Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie».