

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*О. В. Самуся, аспирант, ГВУЗ «Национальный горный университет»
olga.samusia@gmail.com*

Проанализированы условия применения теплонасосных технологий для утилизации бросового тепла и факторы, определяющие их энергетическую и экономическую эффективность. Проведена оценка экономической целесообразности генерации тепловой энергии с помощью теплонасосных установок на подземных горных предприятиях.

Ключевые слова: экономическая эффективность, бросовое тепло, теплонасосная установка, горное предприятие.

Постановка проблемы. На угольных шахтах мощными источниками бросового тепла являются шахтная вода, исходящая вентиляционная струя, обратная вода систем охлаждения компрессорных установок. Эти источники имеют невысокую температуру, поэтому для использования отбираемого от них тепла в системах теплоснабжения шахт необходима его трансформация в тепло более высокого потенциала с помощью тепловых насосов. Стратегия внедрения теплонасосных технологий утилизации низкопотенциального тепла на горных предприятиях зависит, прежде всего, от корректности оценок их экономической эффективности. Типовые методики расчета показателей экономической эффективности теплонасосных технологий в настоящее время отсутствуют.

Анализ последних исследований и публикаций. За последние 50 лет в мировой практике теплоснабжения теплонасосные технологии получили весьма широкое распространение. Сегодня в мире эксплуатируется более 130 млн. теплонасосных установок различного назначения [1]. По данным Международного Энергетического Агенства к 2020 году в развитых странах доля отопления и горячего водоснабжения (ГВС) за счет тепловых насосов будет составлять 75% [2]. В «Концепции развития топливно-энергетического комплекса Украины на 2006–2030 годы» прогнозируется, что производство тепловой энергии за счет тепловых насосов будет эквивалентно использованию 20 млн. т условного топлива [3]. Важными достоинствами теплонасосных

технологий являются высокая энергетическая эффективность и экологическая чистота. Основным недостатком является высокая стоимость, причем не только оборудования самих теплонасосных установок, но также и систем сбора низкопотенциального тепла. В этой связи применение тепловых насосов на горных предприятиях выглядит весьма перспективно, так как в данном случае низкопотенциальное геотермальное тепло выносится из недр Земли на поверхность в виде потоков шахтной воды и вентиляционного воздуха системами обеспечения функционирования шахт, вследствие чего дополнительные затраты по системам сбора низкопотенциального тепла будут минимальны.

В 2010 году Национальным горным университетом на шахте «Благodatная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» создана первая в Украине и наиболее мощная в странах СНГ теплонасосная установка (ТНУ), использующая тепло шахтной воды. Положительный опыт эксплуатации этой ТНУ способствовал усилению интереса к данной технологии и поставил вопрос о применении ее на других шахтах.

Исследованию экономической эффективности и целесообразности применения теплонасосных технологий посвящено достаточно много публикаций [4–7], в которых излагаются результаты оценочных технико-экономических анализов, выполнявшихся с целью выяснения выгоды и обоснования перспектив применения теплонасосных технологий теплоснабжения по сравнению с традиционными. На основе проведенного анализа сделан вывод о перспективности

применения теплонасосных технологий в Украине.

Однако в публикациях, посвященных применению теплонасосных технологий, приводятся, как правило, лишь результаты технико-экономических расчетов. Методической же стороне их получения уделяется гораздо меньше внимания. Как исключение, в этом плане можно отметить работу [4], в которой изложены методики расчета простого и дисконтированного сроков окупаемости затрат на реализацию теплонасосной технологии. Таким образом, на основе анализа имеющихся в литературе данных можно сделать вывод, что излагаемые в публикациях результаты технико-экономических расчетов относятся к тем или иным частным случаям, определяемым постановкой решаемых задач, и получены при ряде значительных упрощений и допущений.

Формулировка цели статьи. Учитывая перспективность и необходимость получения объективных оценок экономической целесообразности применения теплонасосных технологий на горных предприятиях Украины, целью настоящей статьи является разработка методики расчета удельных затрат на генерацию тепловой энергии с использованием ТНУ.

Изложение основного материала исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ условий применения теплонасосных технологий на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», выбрать и принять для этих условий возможные схемные решения ТНУ.
2. Выполнить анализ факторов, определяющих энергетическую и экономическую эффективность ТНУ.
3. Разработать методику расчета удельных затрат на генерацию тепловой энергии с использованием ТНУ.

На шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» основным назначением теплонасосных технологий является получение горячей воды для систем ГВС шахт. Возможно также их применение для кондиционирования воздуха и обогрева отдельных проблемных помещений в зданиях административно-бытового комплекса (АБК).

В качестве источников низкопотенциального тепла могут быть использованы шахтная вода, исходящая вентиляционная струя, вода систем охлаждения компрессорных установок, сточные воды. Для реализации теплонасосных технологий важно также наличие на шахтах помещений, в которых можно разместить под ТНУ, так как от этого зависит стоимость строительной части проекта, составляющая значительную долю в общих затратах на реализацию технологии.

Вид используемых источников низкопотенциального тепла определяет схемное решение систем отбора низкопотенциального тепла и общее схемное решение, на которое оказывает влияние также назначение конкретной ТНУ.

Оценка экономической эффективности теплонасосных технологий может выполняться на различных стадиях ее реализации:

- технико-экономического обоснования (ТЭО) ее применения;
- по результатам рабочего проектирования;
- для эксплуатируемой ТНУ.

Расчеты показателей экономической эффективности ТНУ, в том числе удельных затрат на генерацию тепловой энергии, на этих стадиях выполняются на единой методической основе. Различие состоит в степени достоверности данных об энергетических и стоимостных показателях ТНУ.

На стадии ТЭО определяются источники низкопотенциального тепла, принимаются возможные схемные решения ТНУ, рассчитываются такие основные энергетические показатели, как теплопроизводительность и потребляемая электрическая мощность. На этой стадии целесообразно определить также рациональную длительность суточного рабочего цикла ТНУ по подготовке горячей воды, поскольку этот параметр определяет как теплопроизводительность ТНУ, так и стоимость потребляемой электроэнергии, поскольку существует возможность реализации цикла во время действия льготного тарифа оплаты за потребленную электроэнергию. На этой стадии оборудование еще не выбирается, поэтому капитальные затраты по ТНУ рассчитываются по укрупненным показателям на основе данных по теплонасосным установ-

кам-аналогам.

После разработки рабочей документации и составления локальных смет на строительство и монтаж ТНУ показатели экономической эффективности спроектированной ТНУ уточняются.

Наиболее достоверные показатели экономической эффективности могут быть получены на основе данных о фактических капитальных и эксплуатационных затратах, полученных после ввода ТНУ в эксплуатацию.

Методику расчета показателей экономической эффективности ТНУ в сравнении с традиционным для шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» способом получения тепла в угольной котельной рассмотрим на примере ТЭО целесообразности применения теплонасосной утилизации тепла шахтной воды для подготовки горячей воды на шахте им. Н. И. Сташкова.

Экономическую эффективность теплонасосной технологии определяем на основе сравнения с существующей технологией подготовки горячей воды.

В настоящее время шахта получает горячую воду от угольной котельной «Энергопредприятия» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». По данным шахты средняя стоимость 1 Гкал в прошедшем году составила $c_T = 283,66$ грн/Гкал. Эта стоимость не включает в себя стоимость угля, затраченного на производство тепла, так как при расчетах между ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и «Энергопредприятием» используется система взаимозачетов. В связи с этим положительная составляющая годовой экономии определится суммой годовых затрат на тепло и стоимости сжигаемого на его производство угля. Отрицательная составляющая будет определяться стоимостью электроэнергии, потребляемой за год ТНУ. Таким образом, годовая экономия от применения теплонасосной технологии

$$E_{\text{год}} = C_{\text{т год}}^{\text{баз}} + C_{\text{у год}}^{\text{баз}} - C_{\text{эл год}}^{\text{ТНУ}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{т год}}^{\text{баз}}$, $C_{\text{у год}}^{\text{баз}}$ и $C_{\text{эл год}}^{\text{ТНУ}}$ – стоимость тепла, полученного шахтой в виде горячей воды от «Энергопредприятия», стоимость сэкономленного угля, который сжигается для выработки этого тепла, и стоимость

электроэнергии, потребляемой ТНУ в течение года.

Затраты на тепло, полученное от котельной установки в виде горячей воды,

$$C_{\text{т год}}^{\text{баз}} = c_T Q_{\text{год}}. \quad (2)$$

Количество сэкономленного угля, тыс. т/год,

$$G_{\text{у год}} = \frac{Q_{\text{год}}}{Q_{\text{н}}^p \eta_{\text{ку}}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{н}}^p$ – теплота сгорания угля, Гкал/т (принимается равной 5,6 Гкал/т);

$\eta_{\text{ку}}$ – КПД котельной установки (принимается равным 0,8).

Стоимость сэкономленного угля, тыс. грн/год,

$$C_{\text{у год}}^{\text{баз}} = 0,001 G_{\text{у год}} c_{\text{у}}. \quad (4)$$

Стоимость электроэнергии, потребленной ТНУ за год, рассчитывается с учетом различной нагрузки в зимний и летний периоды и действия различных тарифов оплаты за потребленную электроэнергию в течение суток:

$$C_{\text{эл год}}^{\text{ТНУ}} = (N_{\text{эл1}} \tau_1 c_{\text{эл1}} + N_{\text{эл2}} \tau_2 c_{\text{эл2}} + N_{\text{эл3}} \tau_3 c_{\text{эл3}}) \times (n_{\text{зим}} + n_{\text{лет}} k_{\text{лет}}), \quad (5)$$

где $N_{\text{эл1}}$, $N_{\text{эл2}}$ и $N_{\text{эл3}}$ – электрическая мощность, потребляемая ТНУ во время действия ночного, полупикового и пикового тарифов оплаты за потребленную электроэнергию при работе в наиболее нагруженный зимний период, кВт;

τ_1 , τ_2 и τ_3 – длительность работы ТНУ во время действия ночного, полупикового и пикового тарифов в течение суток, ч/сут;

$c_{\text{эл1}}$, $c_{\text{эл2}}$, $c_{\text{эл3}}$ – тарифы оплаты за потребленную электроэнергию в ночной полупиковый и пиковый периоды, грн/кВт·ч;

$k_{\text{лет}}$ – коэффициент, учитывающий снижение нагрузки на ТНУ в летний период по сравнению с зимним, и равный

$$k_{\text{лет}} = \frac{t_{h2} - t_{h1 \text{ лет}}}{t_{h2} - t_{h1 \text{ зим}}} \quad (6)$$

Капитальные затраты при применении теплонасосной технологии рассчитываем, основываясь на данных о капитальных затратах для установки-аналога на шахте «Благодатная» по формуле

$$K^{\text{ТНУ}} = A + k_q Q_h, \quad (7)$$

где A – постоянная составляющая капитальных затрат (затраты на проектные ра-боты), принимаем равной 480 тыс. грн без НДС; kq – удельные капитальные затраты (капитальные затраты, отнесенные к 1 кВт теплопроизводительности установки), принимаем 4,6484 тыс. грн/кВт.

Так как модернизация существующей технологии подготовки горячей воды с помощью угольной котельной не предусматривается, поэтому капитальные затраты по базовому варианту принимаются равными $K^{баз} = 0$. Основные энергетические и стоимостные показатели существующей технологии приведены в табл. 1.

Таблица 1
Показатели существующей технологии подготовки горячей воды

Показатели	Значение
Годовая выработка тепла $Q_{год}$, Гкал/год	1770
Годовое потребление угля $G_{угод}$, т/год	395
Годовые затраты на уголь $C_{угод}^{баз}$, тыс. грн/год	196
Годовые затраты на тепло $C_{тгод}^{баз}$, тыс. грн/год	746
Капитальные затраты $K^{баз}$, тыс. грн	0

Основные энергетические и стоимостные показатели ТНУ при различной длительности суточного рабочего цикла тепловых насосов приведены в табл. 2.

Здесь же приведены значения годовой экономии от применения теплонасосной технологии и срока окупаемости капитальных затрат.

Из табл. 2 видно, что наименьшей стоимостью электроэнергии и соответственно наибольшей годовой экономией характеризуется вариант работы установки по 7-и часовому рабочему циклу. Однако для его реализации требуются наибольшие капитальные затраты, что приводит к возрастанию срока окупаемости установки.

Расчет срока окупаемости капитальных затрат и амортизационных отчислений по ТНУ произведен по методу уменьшения балансовой стоимости, в соответствии с ко-

торым норма амортизационных отчислений рассчитывается как

$$n_{ам} = 1 - \sqrt[T]{\frac{L}{K}}, \quad (8)$$

где L и K – ликвидационная и первоначальная стоимость объекта;

T – срок полезного использования оборудования.

Срок полезного использования теплонасосного и теплообменного оборудования принимаем равным $T = 15$ лет. Величину ликвидационной стоимости принимаем равной 3,5% от первоначальной и тогда норма амортизационных отчислений $n_{ам} = 0,2$.

Срок окупаемости капитальных затрат определяется на основе данных о чистом дисконтированном доходе (ЧДД), получаемом в результате эксплуатации установки.

Расчет ЧДД производится следующим образом.

Первичная балансовая стоимость установки BC_0 принимается равной капитальным затратам, необходимым для ее создания $BC_0 = K$.

Балансовая стоимость установки на конец каждого t -го года эксплуатации рассчитывается по формуле

$$BC_t = BC_{t-1} - AO_t,$$

где BC_{t-1} – балансовая стоимость установки на конец предыдущего года;

AO_t – амортизационные отчисления в текущем t -м году.

Амортизационные отчисления

$$AO_t = n_a BC_{t-1}.$$

Рассчитывается годовой входной денежный поток, являющийся суммой амортизационных отчислений и годовой экономии,

$$ДП_t = AO_t + Э.$$

Рассчитывается годовой дисконтированный входной денежный поток

$$ДДП_t = КД_t \cdot ДП_t, \quad (9)$$

где $КД_t$ – коэффициент дисконтирования.

Коэффициент дисконтирования определяется по формуле

$$КД_t = \frac{1}{[(1 + r_{инф})(1 + \alpha)]^t}, \quad (10)$$

где $r_{инф}$ – темп инфляции (принят 11,2%

Энергетические и стоимостные показатели ТНУ

Показатели	Длительность суточного цикла, ч				
	7	18	24		
			18	6	24
Теплопроизводительность Q_h , кВт	861	335	287	144	-
Электрическая мощность $N_{эл}$, кВт	193	75	64	32	-
Годовая выработка тепла $Q_{год}$, Гкал/год	1770	1770	1517	253	1770
Годовое потребление электроэнергии $N_{эл год}$, тыс. кВт·ч/год	459	459	394	66	459
Затраты на электроэнергию $C_{эл год}^{ТНУ}$, тыс. грн/год	118	256	220	81	301
Капитальные затраты $K^{ТНУ}$, тыс. грн	4484	2037	-	-	1815
Годовая экономия $E_{год}$, тыс. грн/год	824	686	-	-	642
Срок окупаемости, лет	12,50	3,50	-	-	3,29

за год, то есть $r_{инф} = 0,112$);

α – дисконтная ставка (принята $\alpha = 0,165$).

Определяется кумулятивный дисконтированный входной денежный поток за T лет эксплуатации установки

$$КДДП_T = \sum_1^T ДДП_t,$$

и чистый дисконтированный доход (ЧДД)

$$ЧДД_T = КДДП_T - БС_0.$$

По результатам проведенных расчетов на рисунке построены графики изменения ЧДД в зависимости от срока эксплуатации установки. Срок, при котором ЧДД становится равным нулю, представляет собой срок окупаемости капитальных затрат.

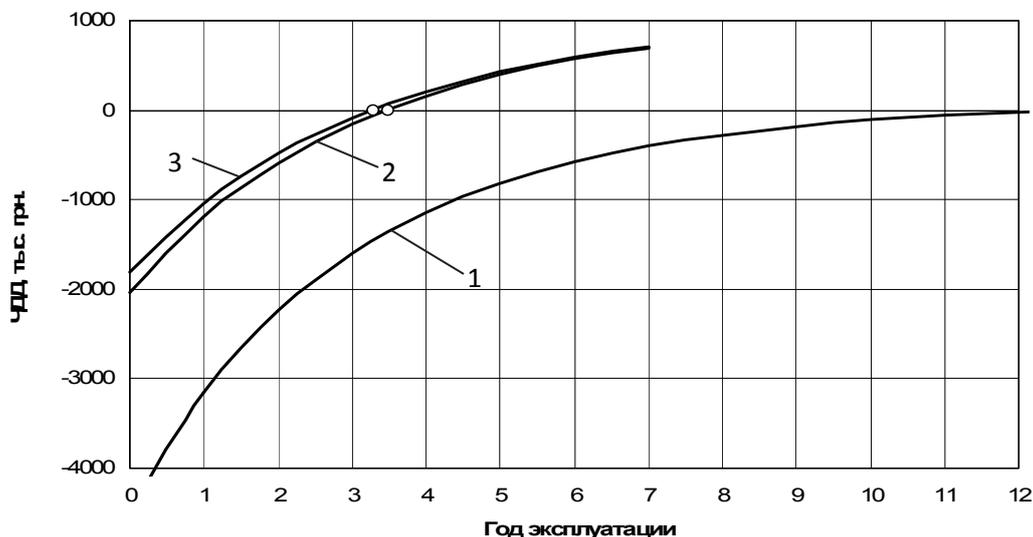


Рисунок – Изменение ЧДД по годам эксплуатации установки при работе по 7-и (линия 1), по 18-и (линия 2) и по 24-х (линия 3) часовым рабочим циклам

Из рисунка видно, что при 7-и часовом рабочем цикле срок окупаемости капитальных затрат по ТНУ составляет более 12 лет, что неудовлетворительно.

При использовании 18-и и 24-х часо-

вых рабочих циклов срок окупаемости капитальных затрат по теплонасосной установке примерно одинаков – 3,5 и 3,3 года, что можно считать приемлемым.

Практически одинаковые значения

сроков окупаемости капитальных затрат в этих вариантах свидетельствуют об их экономической равноценности. В связи с тем, что возможность работы ТНУ в часы пиковой загрузки электрической сети может быть ограничена и другими факторами, которые на данном этапе не рассматриваются, принимаем как наиболее рациональный 18-и часовый суточный цикл работы ТНУ по подготовке горячей воды.

Выводы. В результате выполненных исследований проанализированы факторы, определяющие энергетическую и экономическую эффективность применения теплонасосных технологий для горячего водоснабжения угольных шахт за счет использования бросового низкопотенциального тепла. Разработана методика расчета срока окупаемости и удельных затрат на генерацию тепловой энергии с помощью теплонасосных установок на угольных шахтах.

Литература

1. Басок, Б. И. Анализ экономической эффективности при реализации теплонасосных систем для теплоснабжения / Б. И. Басок, Т. Г. Беляева, А. А. Рутенко, А. А. Лунина // Промышленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал. – 2008. – Том 30, № 4. – С. 56 – 63.
2. Возобновляемые источники энергии. План

внедрения и продвижения технологий на период до 2020 года [Электронный ресурс] // EREC, Renewable Energy House, Brussels. – 2007. – Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3790.

3. Дубовик, В. С. Стан комунальної енергетики України // Комунальна енергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. К. : – 2007. – С. 22 – 39.

4. Городничий, В. Е. Экономическая эффективность системы отопления на базе теплового насоса малой мощности / В. Е. Городничий, Д. В. Сорока, Б. И. Басок, Т. Г. Беляева, А. А. Рутенко // Промышленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал. – 2008. – Том 30, № 6. – С. 89 – 94.

5. Беляева, Т. Г. Оценка экономической целесообразности использования тепловых насосов в теплоэнергетике Украины / Т. Г. Беляева, А. А. Рутенко, М. В. Ткаченко, О. Б. Басок // Промышленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал. – 2009. – Том 31, № 5. – С. 81 – 87.

6. Долинский, А. А. Альтернативное тепло-снабжение на базе тепловых насосов: критерии оценки / А. А. Долинский, Б. Х. Драганов, Т. В. Морозюк // Промышленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал. – 2007. – Том 29, № 6. – С. 67 – 71.

7. Фиалко, Н. М. Оценка эффективности применения тепловых насосов в условиях метрополитенов и угольных шахт / Н. М. Фиалко, Л. Б. Зимин // Промышленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал. – 2006. – Том 28, № 2. – С. 111 – 119.

АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

О. В. Самуся, аспірант, ДВНЗ «Національний гірничий університет»

Проаналізовані умови використання теплонасосних технологій для утилізації викидного тепла та фактори, що визначають їх енергетичну та економічну ефективність. Проведена оцінка економічної доцільності генерації теплової енергії за допомогою теплонасосних установок на підземних гірничих підприємствах.

Ключові слова: економічна ефективність, викидне тепло, теплонасосна установка, гірниче підприємство.

FEASIBILITY STUDY OF APPLICATION OF HEAT PUMP TECHNOLOGY FOR HOT WATER SUPPLY OF UNDERGROUND MINING ENTERPRISES

O. V. Samusya, post-graduate student, SHEI «National Mining University»

The conditions of applying heat pump technology for the utilization of waste heat and the factors that determine their energy and economic efficiency are analyzed. Economic feasibility evaluation of generating heat via heat pump installations in underground mining operations is conducted.

Keywords: economic efficiency, waste heat, heat pump system, mining enterprise.

Рекомендовано до друку д. е. н., проф. Вагоною О. Г. Надійшла до редакції 1.02.2015 р.