

УДК 621.577

О соотношении цен на энергоносители в Беларуси и Калининградской области для обоснования внедрения тепловых насосов

Д-р техн. наук Б. Д. ТИМОФЕЕВ, канд. техн. наук В. А. НИКОЛАЕВ

ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси

220109, Республика Беларусь, г. Минск, ул. академика А. К. Красина, 99

Канд. техн. наук А. Э. СУСЛОВ, д-р техн. наук Ю. А. ФАТЫХОВ

Калининградский государственный технический университет

236022, г. Калининград, Советский пр., 1

A study was carried out to justify the use of a heat pump for hot-water supply with the account taken of the regional cost for electric and heat power for the industrial plants of Belarus and the population of the Kaliningrad region. A diagram of a pilot heat pump system is represented.

Keywords: heat source, heat pump, electric and heat power cost per unit.

Ключевые слова: тепловой источник, тепловой насос, удельная цена электрической и тепловой энергии.

В пищевой промышленности весомую долю в стоимости конечной продукции составляют энергоносители, в том числе и тепловая энергия. «Бросовые» тепловые потоки в технологических процессах могут быть направлены для повторного использования, включая и собственные нужды предприятия. Эти требования вытекают из условий снижения стоимости конечной продукции при устойчивой тенденции роста региональных цен на энергоносители. Проблема повышения коэффициента использования топлива (КИТ) остается особенно актуальной в связи с образованием единого экономического пространства Россия–Беларусь–Казахстан и поэтапным вступлением этих стран в ВТО. Преобразование «бросовых» тепловых потоков для собственных нужд предприятий повышает КИТ.

В 2008 г. Директивой Европейского союза (ЕС) тепловые насосы отнесены к системам, использующим возобновляемые источники энергии, присоединив их к солнечным батареям и ветроустановкам [1]. Следует отметить, что в Беларуси и России теплонасосные установки пока не нашли широкого применения. По нашему убеждению в частности это связано с тарифами на энергоносители.

По мнению авторов для обоснования внедрения энергосберегающих технических предложений удобно пользоваться величинами удельной цены энергоносителей (\$/ГДж) [2].

В Беларуси в декабре 2011 г. наметилась относительная стабильность курса белорусского рубля по отношению к иностранным валютам, которая оказывает влияние на отпускные цены энергоносителей. В табл. 1 приведена средняя цена энергоносителей в Республике Беларусь.

Наибольшее значение удельной цены имеет электроэнергия для бюджетных предприятий

(41,1\$/ГДж). Наименьшее значение – природный газ (7,48\$/ГДж). Для бюджетных предприятий отношение удельной цены электрической энергии к тепловой равно $41,1/16,64 = 2,45$. Стоимость энергоносителей для Свободной экономической зоны «Гродноинвест» приведена в табл. 2.

Таблица 1

Средняя цена энергоносителей для бюджетных предприятий в Республике Беларусь при расчетном курсе

Br/\$ USA = 8380 по состоянию на 24.12.11.

Наименование энергоносителя, единица измерения	Цена, Br	Цена, \$ USA	Удельная цена, \$/ГДж
Природный газ (покупка в РФ) за 1000 м куб.: для бюджетных предприятий	2095000 2765400	250 330	7,48 9,90
Тепловая энергия, Гкал: для бюджетных предприятий	584331	69,73	16,64
Электроэнергия, кВт · ч: для бюджетных предприятий	1239	0,148	41,1

Таблица 2

Средняя цена энергоносителей в Свободной экономической зоне «Гродноинвест» при расчетном курсе

Br/\$ USA = 5749 по состоянию на 15.06.11.

Наименование энергоносителя, единица измерения	Цена, Br	Цена, \$ USA	Удельная цена, \$/ГДж
Природный газ (покупка в РФ) за 1000 м куб.: для бюджетных предприятий	1437250 1897170	250 330	7,50 9,90
Тепловая энергия, Гкал: для бюджетных предприятий	303717	52,84	12,6
Электроэнергия, кВт · ч: для бюджетных предприятий	977	0,17	47,2

Из табл. 2 следует, что отношение удельных цен электрической энергии к тепловой равно $47,2/12,6 = 3,75$.

В России базовые оптовые цены на газ устанавливаются для каждого региона Правительством РФ, цены на отпускаемые населению энергоносители (газ, электроэнергию и тепловую энергию) устанавливаются региональными энергетическими комиссиями (РЭК) для каждого поставщика. При этом цена на тепловую энергию зависит от цены используемого поставщиком тепла топлива. Цены на мазут и уголь определяются сложившимися рыночными ценами и во многом зависят от мировых цен на нефть и географического расположения региона. Для промышленных предприятий цены на газ, электроэнергию и тепловую энергию определяются договорными отношениями между предприятиями и поставщиками энергоносителей, как правило, они выше, чем для населения. В табл. 3 приведены цены на энергоносители в Калининградской области для населения и приравненных к нему бюджетных потребителей.

Из табл. 3 следует, что отношение удельных цен электрической энергии к тепловой в Калининградской обл. равно 2,35.

В ГНУ «ОИЭЯИ–Сосны» НАН Беларусь были разработаны схемы преобразования низкопотенциальных тепловых потоков для различных объектов [3, 4].

В табл. 4 для обоснования применения тепловых насосов при использовании в качестве источника тепла «бросовых» тепловых потоков приведены расчетные характеристики теплового цикла одноступенчатого поршневого агрегата на хладагенте R134a в зависимости от температуры кипения хладагента при температуре конденсации 60 °C и давлении в конденсаторе 1,68 МПа.

Из табл. 4 следует, что величина теплового коэффициента цикла ε_t увеличивается с ростом температуры кипения хладагента t_0 в испарителе. При региональных ценах на энергоносители в Республике Беларусь использование тепловых насосов экономически оправдано только в интервале температур кипения хладагента t_0 более 5 °C, когда величина ε_t более 3,79. Удельная цена преобразо-

ванной тепловой энергии в данном случае будет равна $41,1/3,79=10,84\$/\text{ГДж}$, которая ниже установленной для региона $16,64\$/\text{ГДж}$ (см. табл. 1).

Для Свободной экономической зоны «Гродно-инвест» использование тепловых насосов экономически оправдано только в интервале температур кипения хладагента t_0 более 10 °C, когда величина ε_t более 4,22 (табл. 4). Удельная цена преобразованной тепловой энергии в данном случае будет равна $47,2/4,22 = 11,30\$/\text{ГДж}$, ниже установленной для региона $12,6\$/\text{ГДж}$ (см. табл. 2).

Для Калининградской области использование тепловых насосов экономически оправдано уже при температуре кипения хладагента $t_0 = 1^\circ\text{C}$, когда величина теплового коэффициента цикла $\varepsilon_t = 3$ (см. табл. 4). Удельная цена преобразованной тепловой энергии в данном случае равняется $25,0/3 = 8,33\$/\text{ГДж}$, что ниже нормы, установленной для региона $10,65\$/\text{ГДж}$ (см. табл. 3). С учетом этого, в качестве источника низкопотенциального тепла можно использовать теплоту воды Балтийского моря, рек и других источников.

Рентабельность теплонасосного оборудования может быть повышена в часы льготного тарифа на электроэнергию. Срок окупаемости энергосберегающих предложений должен определяться на основании ТЭО с учетом температурного потенциала низкотемпературного теплового источника и действующих цен на покупные энергоносители. Принимая решение о целесообразности применения теплонасосного оборудования, необходимо учитывать не только экономию первичной энергии (органического топлива), но и другие составляющие, а именно: увеличение капиталовложений, период использования и т. д. Следует обратить внимание на то, что при использовании теплонасосного оборудования для целей отопления пропадает статья затрат на транспортирование топлива и вывоз продуктов сгорания, отсутствие складов для хранения топлива, отсутствие системы водоподготовки для котельной, что в некоторых случаях может являться решающим фактором для их использования [5]. Теплонасосное оборудование также обладает такими преимуществами по сравнению с другими системами, как отсутс-

Таблица 3

Средняя цена энергоносителей по данным РЭК Правительства Калининградской области (курс RU/\$ USA = 32) по состоянию на 24.12.11.

Наименование энергоносителя, единица измерения	Средняя цена, RU	Средняя цена, \$ USA	Удельная цена, \$/ГДж
Природный газ, используемый для отопления за 1000 м куб.: для населения	4520	141,25	4,24
Тепловая энергия, Гкал: для населения	1428,3	44,6	10,65
Электроэнергия, кВт · ч: для населения	2,88	0,09	25,0

Расчетные характеристики теплового цикла

Температура кипения хладагента t_0 , °C	Давление хладагента в испарителе P_0 , МПа	Тепловой коэффициент цикла ε_t
1	0,20	3,00
5	0,35	3,79
10	0,41	4,22
15	0,49	4,74
20	0,57	5,40
25	0,65	6,26

Таблица 4

твие вредных выбросов в атмосферу, отсутствие необходимости в транспортировании и использовании пожаро- и взрывоопасного топлива в жилых массивах. Теплонасосное оборудование не является опасным производственным объектом, подведомственным Ростехнадзору в РФ.

Приведенные выше рекомендации по использованию теплонасосного оборудования должны уточняться для реальных условий эксплуатации.

В Брестской области действуют более сотни теплонасосных установок с использованием геотермальных источников. Однако отсутствует информации по эксплуатационным данным этих систем. Мы провели расчеты эффективности использования теплонасосного оборудования от геотермальных источников тепловой энергии. Было показано, что большие затраты электроэнергии приходятся на подъем теплых грунтовых солевых растворов с обратной их подземной закачкой. Это значительно снижает эффективность теплонасосного оборудования с целью получения горячего водоснабжения [6].

Для активизации внедрения теплонасосного оборудования с целью преобразования бросовых тепловых потоков ГНУ «ОИЭЯИ — Сосны» НАН Беларуси предлагает создание демонстрационной пилотной теплонасосной установки теплоизводительностью 120 кВт (ПТНУ-120).

Схема ПТНУ-120, которая преобразует бровковое тепло градирни, может быть смонтирована в контейнере (рис. 1). Для подвода и отвода бровкового теплового потока прокладывают две трубы $D_u = 60$ мм. Для потребителя прокладывают две теплоизолированные трубы $D_u = 60$ мм на собст-

венные нужды и трубу $D_u = 15$ мм для подпитки холодной водой равной потреблению V_0 . Тепловая мощность установки типа ПТНУ должна быть привязана к реальному объекту.

ПТНУ-120 преобразует бросовый тепловой поток, который поступает на градирню с расходом G_1 при температуре 25°C . Часть этого потока с расходом G_0 направляют в испаритель (И) теплового насоса. Там его охлаждают до температуры $t_{s2} = 20^{\circ}\text{C}$ за счет кипения хладагента R134a при температуре $t_4 = 15^{\circ}\text{C}$ и возвращают в градирню. Это уменьшает сброс тепла в окружающую среду и расход подпиточной воды на градирню для компенсации уноса на испарение. Компрессор (КР) в процессе сжатия хладагента от $P_1 = 0,49 \text{ МПа}$ до $P_2 = 1,68 \text{ МПа}$ повышает его температуру от $t_1 = 15^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = 68,2^{\circ}\text{C}$. В конденсаторе (К) хладагент конденсируется при температуре $t_2 = 60^{\circ}\text{C}$ и после терморегулирующего вентиля (TPB) его направляют в испаритель при температуре $t_4 = 15^{\circ}\text{C}$. Воду на собственные нужды предприятия подогревают в конденсаторе (К) от температуры $t_{w1} = 45^{\circ}\text{C}$ до $t_{w2} = 50^{\circ}\text{C}$. Циркуляцию воды обеспечивает сетевой насос (CH2) от аккумулирующей емкости (AE1) через конденсатор (К). Сетевой насос (CH2) также выполняет подачу горячей воды V_p с температурой $t_r = 50^{\circ}\text{C}$ на собственные нужды и отопление.

Подпитку холодной воды V_0 при температуре $t_0 = 10^\circ\text{C}$ выполняют в смесителе (СМ) по команде от уровнемера (Y_1). Сетевой насос (CH1) из поддона градирни направляет воду с температурой $t_{s0} = 20^\circ\text{C}$ на технологический процесс предприятия.

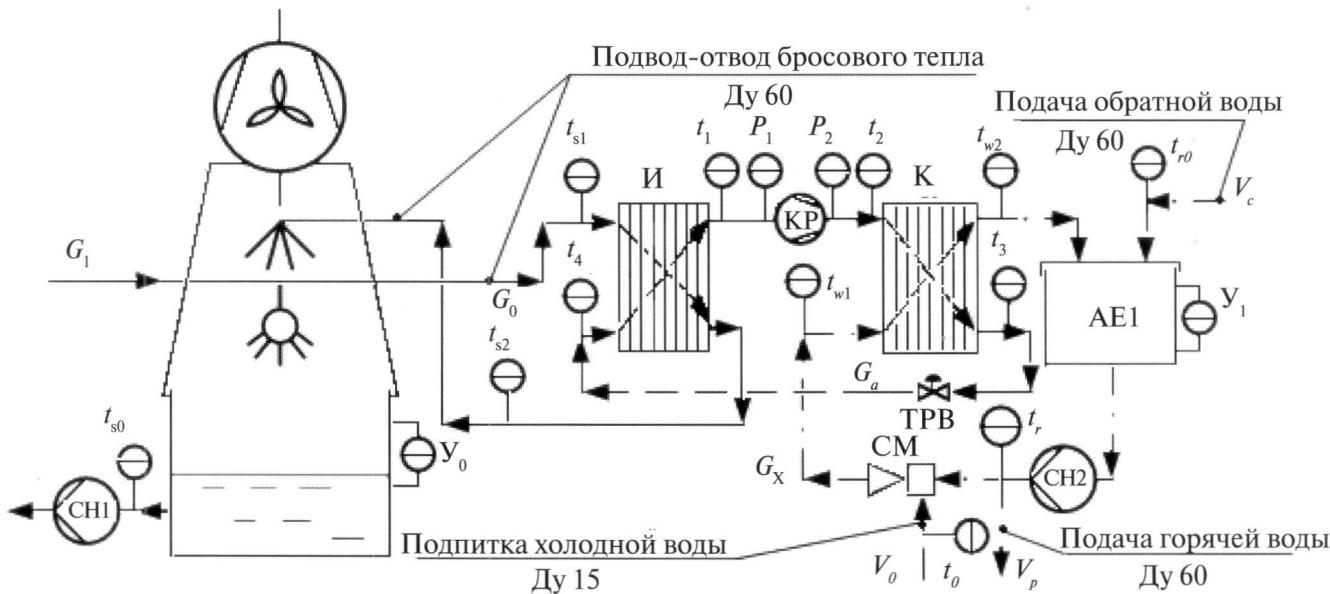


Рис. 1. Схема установки ПТНУ-120:

И — испаритель, КР — компрессор, К — конденсатор, ТРВ — терморегулирующий вентиль, АЕ1 — аккумулирующая емкость, СН1 и СН2 — сетевые насосы, СМ — смеситель подпитки холодной воды; V_φ , V_p , V_c — подача холодной, горячей обратной воды; G_p , G_φ , G_p , G_x — соответственно расход воды на градирню, в испаритель, на хладагент в тепловом насосе, в системе рециркуляции; P_1 , P_2 — измерители давления хладагента до и после компрессора; t_φ , t_p , t_2 , t_3 , t_4 , t_{so} , t_p , t_{2w} , t_{w1} , t_{w2} , t_c , t_o — термопреобразователи для контроля температуры в ПТНУ; Y_φ , Y_p — уровнемеры градирни и аккумулирующей емкости АЕ1

Технические характеристики ПТНУ-120

Наименование	Обозначение	Размерность	Величина
Тепловая мощность установки	Q_t	кВт	120
Температура подачи воды на собственные нужды	t_r	°C	50
Средняя температура обратной воды	t_{r0}	°C	45
Расход воды в сетевом контуре	V_p	м ³ /ч	1,0
Расчетный расход воды на собственные нужды	V_0	м ³ /ч	0,375
Температура источника водоснабжения	t_0	°C	12
Мощность сетевого насоса СН2	N_{cn2}	кВт	2,2
Аккумулирующая емкость	AE1	м ³	3
Потребляемая мощность компрессором 6F-50.2V теплового насоса	N_{kp}	кВт	32,54
Температура кипения хладагента в испарителе	t_1	°C	15
Давление хладагента на входе в компрессор	P_1	МПа	0,49
Давление хладагента на выходе компрессора	P_2	МПа	1,68
Температура хладагента на выходе компрессора	t_2	°C	68,2
Расход хладагента	G_a	кг/с	0,081
Расход воды на испаритель	G_0	кг/с	1,0
Средняя температура воды на входе в испаритель	t_{s1}	°C	25
Температура воды на выходе испарителя	t_{s2}	°C	20

Основные параметры ПТНУ-120 приведены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что потребляемая суммарная электрическая мощность ПТНУ-120 составляет $N_c = N_{kp} + N_{cn2} = 34,74$ кВт. Тепловой коэффициент преобразования бросового теплового потока равен $\varepsilon_t = 3,45$. Этот коэффициент при выбранной мощности компрессора и сетевого насоса по величине меньше мощности, приведенной в табл. 4, в которой $\varepsilon_t = 4,74$ при $t_0 = 15$ °C. Однако удельная цена вырабатываемой тепловой энергии для бюджетных предприятий Республики Беларусь будет равна $41,1/3,45 = 11,91$ \$/ГДж, которая ниже 16,64\$/ГДж (см. табл. 1). Таким образом, экономически обосновано разработка установки данного типа с привязкой ее к реальному объекту.

Расчет с учетом региональных цен в Свободной экономической зоне «Гродноинвест» показывает, что применение теплонасосного оборудования с параметрами типа ПТНУ-120 и тепловым коэффициентом $\varepsilon_t = 3,45$ приводит к повышению удельной цены преобразованной тепловой энергии до $47,2/3,45 = 13,7$ \$/ГДж по сравнению с покупной 12,6\$/ГДж (см. табл. 2).

Аналогичный расчет с учетом региональных цен на энергоносители для населения Калининградской области показывает, что применение теплонасосного оборудования с параметрами ПТНУ-120 и тепловым коэффициентом $\varepsilon_t = 3,45$ приводит к снижению удельной цены преобразованной тепловой энергии до $25,0/3,45 = 7,25$ \$/ГДж по сравнению с покупной 10,65\$/ГДж (см. табл. 3).

Таким образом, внедрение тепловых насосов для преобразования бросового тепла требует учета его температуры, региональных цен на энергоносители, а также учета технических характеристик теплонасосного оборудования в системе теплоснабжения.

Список литературы

1. Бараненко А. В. Итоги работы МАХ в 2009–2010 гг. (Доклад президента МАХ на 17-м годичном собрании 20 апреля 2010 г.) // Вестник МАХ. 2010. № 2.
2. Тимофеев Б. Д. Цены на энергоносители в 2007 году // Газета «Энергетика Беларусь». № 2 (115) 30 января 2007 г.
3. Тимофеев Б. Д., Волков В. В. Использование геотермальной воды теплонасосной установкой для ЖКХ // Энергия и менеджмент. 2007. № 3.
4. Тимофеев Б. Д. Типы тепловых насосов и их назначение // Микроклимат и Холод. 2010. № 1.
5. Фатыхов Ю. А. Перспективы применения тепловых насосов в пищевой промышленности региона/Ю. А. Фатыхов, В. Н. Эрлихман, А. Э. Суслов // Economics and management – 2007: International scientific conference. Kaunas, 2007.
6. Тимофеев Б. Д., Волков В. В. Использование геотермальной воды теплонасосной установкой для ЖКХ // Энергия и Менеджмент. 2007. № 3. (36).