

Синицын Николай Николаевич

Доктор технических наук, профессор,
Череповецкий государственный
университет
(Череповец, Россия)
E-mail: sinitsyn@chsu.ru

Sinitsyn Nikolay Nikolayevich

Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Cherepovets State University
(Cherepovets, Russia)
E-mail: sinitsyn@chsu.ru

Андреев Александр Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент,
Череповецкий государственный
университет
(Череповец, Россия)
E-mail: asandreev@chsu.ru

Andreev Alexandr Sergeevich

PhD in Technical Sciences,
Associate Professor,
Cherepovets State University
(Cherepovets, Russia)
E-mail: asandreev@chsu.ru

Полеводова Лариса Альбертовна

Кандидат технических наук, доцент,
Череповецкий государственный
университет
(Череповец, Россия)
E-mail: lora.59@rambler.ru

Polevodova Larisa Albertovna

PhD in Technical Sciences,
Associate Professor,
Cherepovets State University
(Cherepovets, Russia)
E-mail: lora.59@rambler.ru

**МОДЕЛЬ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА
МОДЕРНИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ
СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**THE MODEL FOR THE RAPID
ANALYSIS OF LOCAL HEATING
SYSTEMS MODERNIZATION**

Аннотация. В статье представлены обоснование и разработка математической модели, включающей минимальное количество технико-экономических показателей и позволяющей при этом оперативно оценить целесообразность включения в традиционные локальные системы теплоснабжения энергосберегающих тепловых насосов.

Abstract. The article discusses theoretical substantiation and development of the mathematical model including the minimum number of technical and economic indicators and allowing one to operationally estimate the expediency of inclusion energy-saving heat pumps into the traditional local systems of heat supply.

Ключевые слова: теплоснабжение, абсорбционные тепловые насосы, математическая модель, тепловая мощность, отопительный коэффициент, экономия топлива

Keywords: heat supply, absorption heat pumps, mathematical model, thermal power, heating coefficient, fuel economy

Введение

В отечественной практике проектирования сетей энерго- и теплоснабжения крупных объектов промышленного и гражданского назначения ведется совершенствование методик расчета тепловых сетей и установок с целью улучшения их технико-экономических характеристик, экономии энергетических ресурсов, а также создания оптимальных систем для защиты окружающей среды.

Известно, что применение теплонасосных установок на крупных объектах промышленного и гражданского назначения позволяет существенно снизить удельные затраты на производство энергетических ресурсов и повысить эффективность их использования за счет применения энергосберегающих технологий.

Кроме того, крупные объекты промышленного (например, металлургические заводы) и гражданского назначения характеризуются наличием вторичных источников тепловыделений, энергию которых можно использовать. Для этого также применяются теплонасосные установки.

При исследовании энергопотребления в инженерных сетях недостаточно системно учитывается совместная оценка тепловой и электрической энергий. Этим обуславливается целесообразность проведения дальнейших работ в этом направлении, позволяющих провести оптимальный выбор схемного решения инженерных сетей крупных промышленных объектов (например, металлургического завода) и объектов гражданского назначения с использованием теплонасосных установок.

Существующая практика проектирования инженерных сетей с использованием теплонасосных установок не учитывает региональных климатических условий, удельных тепловых нагрузок на сети теплоснабжения, тарифы на энергоносители и т. д. Это негативно сказывается на общей эффективности работы и на размерах вложений инвестиций в подобные сети.

Проведение системного анализа возможности использования теплонасосных установок в металлургическом производстве требует применения оперативных компьютерных моделей. С этой целью в статье разработана и опробована модель экспресс-анализа модернизации локальных систем теплоснабжения.

Системы теплоснабжения следует отнести к крупнейшим потребителям невозобновляемых энергетических ресурсов. Традиционные системы теплоснабжения характеризуются нулевым эксергетическим КПД. Поэтому в конечном итоге вся использованная в системе тепловая энергия необратимо рассеивается в окружающей среде.

Рассеянная в окружающей среде тепловая энергия является практически неисчерпаемой. Однако использовать эту энергию непосредственно для целей теплоснабжения невозможно из-за ее низкого температурного потенциала. Вместе с тем существует принципиальная возможность возврата части тепла окружающей среды в цикл теплоснабжения с использованием специальных тепловых двигателей, которые известны в теории и практике как *тепловые насосы*.

Особый практический интерес представляют абсорбционные тепловые насосы, в которых расход электрической энергии минимален, так как она используется только для перемещения теплоносителей в пределах технического устройства. К весьма перспективным преобразователям теплоты нового поколения следует отнести абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы. В России системы теплоснабжения, включающие тепловые насосы, пока не находят широкого распространения, и их доля в общем балансе не превышает 2 % [1]–[8]. Вместе с тем практическая значимость решения проблемы возврата тепла окружающей среды в системы теплоснабжения очевидна. При ее решении за счет экономии топлива обеспечивается не только энергосбережение, но и одновременно снижается загрязнение среды продуктами сгорания.

Недостаточное внимание к энергосбережению в локальных системах теплоснабжения, на наш взгляд, не может быть объяснено только традициями и складывающейся текущей конъюнктурой рынка в стране. Во многом решение этой проблемы сдерживается недостаточно активной технико-экономической проработкой перспективы модернизации систем на базе тепловых насосов.

Проведение технико-экономического обоснования модернизации и привлечения инвестиций требует использования сложных методик и расчетов [9], [10]. Следовательно, выдаче задания на разработку исчерпывающего технико-экономического обоснования модернизации должно предшествовать принятие управленческого решения на принципиальном уровне.

Для того чтобы на стадии принятия решения достаточно прозрачно оценить целесообразность включения в традиционные локальные системы теплоснабжения тепловых насосов, рационально использовать математические модели с высоким уровнем формализации. В статье для решения такой задачи предлагается использовать математическую модель, включающую оптимальное количество технико-экономических показателей.

Основная часть

Модернизированная система декомпозируется на две составные части: подсистему в виде традиционной системы теплоснабжения и подсистему в виде тепловых насосов. На стадии формализации для математического описания системы в рассмотрение введены следующие определяющие параметры:

- Q_{max} – максимальная тепловая мощность системы теплоснабжения;
- $Q(t)$ – текущая мощность системы теплоснабжения с учетом фактора сезонности;
- Q_T – мощность тепловых насосов, включенных в систему теплоснабжения;
- ΔQ – тепловая мощность, возвращаемая в систему теплоснабжения из окружающей среды;
- μ – отопительный коэффициент теплового насоса;
- c – коммерческая стоимость тепловой энергии;
- ω – частота сезонных колебаний температур.

В результате проведенной формализации для оценки модернизации локальной системы теплоснабжения предлагается математическая модель, представленная следующей системой уравнений:

$$Q(t) = \frac{Q_{max}}{2} \sin(\omega \cdot t),$$

$$\varphi = \frac{Q_T}{Q(t)},$$

$$\Delta Q = \varphi \cdot Q(t) \cdot (\mu - 1),$$

$$P = \Delta Q \cdot c.$$

Для компьютерного моделирования предлагаемая математическая модель реализована в виде блок-схемы в среде Matlab-Simulink (см. рис. 1). Блок Sine Wave1 моделирует сезонное потребление тепловой энергии в системе; блок Constant моделирует возврат тепловой энергии из окружающей среды (ОС); блок Integrator суммирует возвращаемое в систему тепло из ОС; блок Gain моделирует стоимость тепловой энергии; блоки Scope1 и 2 являются виртуальными осциллографами.

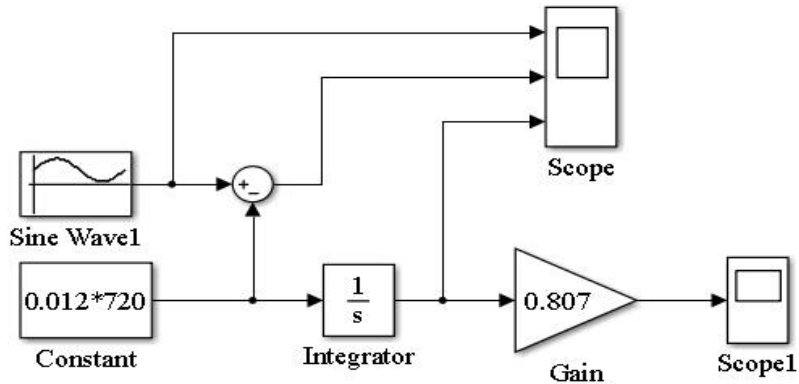


Рис. 1. S-модель системы теплоснабжения

Модель применена для количественной оценки обобщенных технико-экономических показателей локальной системы теплофикации с заданной тепловой мощностью $Q = 185$ МВт. За коммерческую стоимость тепловой энергии принята $c = 1121$ руб/МВт·ч. Мощность тепловых насосов в общей мощности системы теплоснабжения $Q_T = 20$ МВт. Отопительный коэффициент теплового насоса $\mu = 1,6$.

В качестве обобщающих показателей в статье принята потребляемая системой коммерческая тепловая энергия и прибыль, получаемая за счет экономии потребляемой тепловой энергии при включении в состав системы тепловых насосов. Если локальная система теплоснабжения не потребляет коммерческую тепловую энергию, а вырабатывает ее сама путем сжигания топлива, то в качестве обобщающего показателя следует принять расход топлива и дополнительную прибыль за счет экономии топлива при включении в систему тепловых насосов. Технология компьютерного моделирования при этом не меняется. Достаточно изменить только количественные значения входных параметров, принимая во внимание в математической модели, что потребляемая тепловая энергия и расход топлива связаны соотношением:

$$Q(t) = G(t) \cdot q,$$

где $G(t)$ – расход условного топлива; q – теплотворная способность условного топлива.

Результаты экспресс-моделирования представлены на рис. 2, 3. Начало отсчета на графиках соответствует времени минимального потребления тепловой энергии (июль).

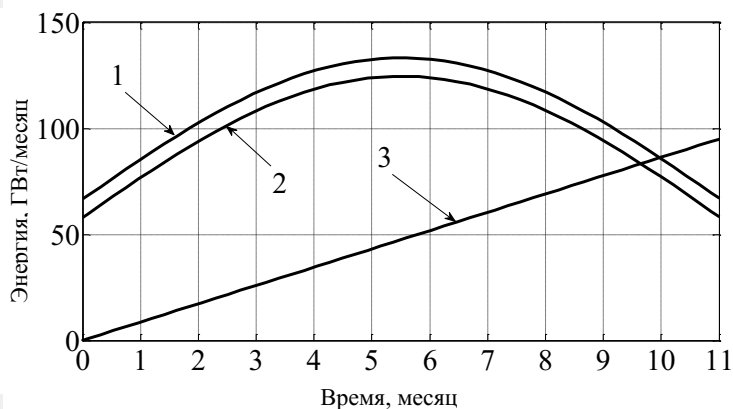


Рис. 2. Энергетические характеристики локальной системы теплоснабжения в зависимости от сезонного спроса:

- 1 – потребление системой коммерческой тепловой энергии без использования тепловых насосов;
- 2 – потребление системой коммерческой тепловой энергии при использовании тепловых насосов;
- 3 – снижение потребления системой коммерческой тепловой энергии за счет возврата ее части из окружающей среды.

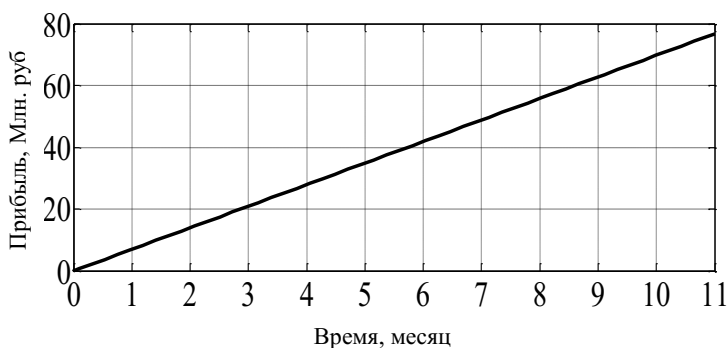


Рис. 3. Прибыль в локальной системе теплоснабжения при использовании тепловых насосов.

Как следует из рис. 2, снижение потребления коммерческой тепловой энергии при включении в систему тепловых насосов составляет 90 ГВт в год. При этом достигается прибыль 75 млн. рублей в год (см. рис. 3).

Выводы

Разработанная математическая модель позволяет оперативно прогнозировать возможность модернизации систем теплоснабжения за счет включения в них энерго-сберегающих тепловых насосов. Она может быть применена для анализа при планировании модернизации крупных объектов промышленного назначения, а также ло-

кальных систем теплоснабжения микрорайонов городов, поселков и отдельных жилых комплексов.

Литература

1. Горшков А. Г. Российские абсорбционные бромистолитиевые преобразователи теплоты нового поколения – практика и перспективы применения // Материалы Международной конференции «Тепловые насосы в странах СНГ». Алушта, 14–16 мая 2013 г. URL: http://www.itp.nsc.ru/files/20131120090418/Rossiyskie_ABPT_novogo_pokoleniya_praktika_i_perspektivy_primeneniya.pdf (дата обращения: 25.04.2019).
2. Андриущенко А. И. Возможная экономия топлива от использования утилизационных ТНУ в системе энергосбережения предприятий // Промышленная теплоэнергетика. 2003. № 2. С. 7–10.
3. Николаев Ю. Е., Бакшеев А. Ю. Определение эффективности тепловых насосов, использующих теплоту обратной сетевой воды // Промышленная энергетика. 2007. № 9. С. 14–17.
4. Ротов П. В., Шарапов В. И. Регулирование нагрузки городских тепловых теплофикационных систем. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2013. 309 с.
5. Ротов П. В. О зонировании температурного графика центрального регулирования теплофикационных систем // Промышленная энергетика. 2013. № 6. С. 21–25.
6. Ротов П. В., Орлов М. Е., Шарапов В. И. О работе систем теплоснабжения без излома температурного графика // Энергосбережение и водоподготовка. 2012. № 2. С. 12–17.
7. Ротов П. В., Орлов М. Е., Шарапов В. И. и др. Способ работы открытой системы теплоснабжения. Патент № 2474765(RU). МПК⁷ F24D3/00 // Изобретения. Полезные модели. 2013. № 4.
8. Ротов П. В., Орлов М. Е., Шарапов В. И., Ежов П. А. Способ работы закрытой системы теплоснабжения Изобретения. Патент № 2468301(RU). МПК F24D3/08 // Полезные модели. 2012. № 33.
9. Ротов П. В., Орлов М. Е., Шарапов В. И., Сивухин А. А. Повышение эффективности работы централизованных систем теплоснабжения за счет применения теплонасосных установок // Промышленная энергетика. 2014. № 7. С. 27–31.
10. Султангузин И. А., Потапова А. А. Высокотемпературные тепловые насосы большой мощности для теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2010. № 10. С. 23–27.

References

1. Gorshkov A. G. Rossiiskie absorbtionnye bromistolitievye preobrazovateli teploty novogo pokoleniia – praktika i perspektivy primeneniia [Russian lithium bromide absorption heat converters of the new generation – the practice and prospects of application]. *Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii “Teplovyie nasosy v stranakh SNG”* [Proceedings of the international conference “Heat pumps in the CIS”]. Alushta, 14–16 May 2013. Available at: http://www.itp.nsc.ru/files/20131120090418/Rossiyskie_ABPT_novogo_pokoleniya_praktika_i_perspektivy_primeneniya.pdf (accessed: 25.04.2019).
2. Andriushchenko A. I. Vozmozhnaia ekonomiiia topliva ot ispol'zovaniia utilizatsionnykh TNU v sisteme energosberezheniia predpriatii [Possible fuel economy from the use of waste heat in the system of energy saving enterprises]. *Promyshlennaiia energetika* [Industrial Power Engineering], 2003, no. 2, pp. 7–10.

3. Nikolaev Iu. E., Baksheev A. Iu. Opredelenie effektivnosti teplovykh nasosov, ispol'zuiushchikh teplotu obratnoi setevoi vody [Efficiency determination of heat pumps using the heat of return network water]. *Promyshlennaia energetika* [Industrial Power Engineering], 2007, no. 9, pp. 14–17.

4. Rotov P. V., Sharapov V. I. *Regulirovanie nagruzki gorodskikh teplovykh teplofikatsionnykh sistem* [The load regulation of the heat cogeneration systems]. Ul'ianovsk: Ul'ianovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2013. 309 p.

5. Rotov P. V. O zonirovanii temperaturnogo grafika tsentral'nogo regulirovaniia teplofikatsionnykh sistem [About zoning of the temperature schedule of central regulation of heat supply systems]. *Promyshlennaia energetika* [Industrial Power Engineering], 2013, no. 6, pp. 21–25.

6. Rotov P. V., Orlov M. E., Sharapov V. I. O rabote sistem teplosnabzheniia bez izloma temperaturnogo grafika [About work of heat supply systems without temperature schedule break]. *Energosberezhenie i vodopodgotovka* [Energy Conservation and Water Treatment], 2012, no. 2, pp. 12–17.

7 Rotov P. V., Orlov M. E., Sharapov V. I. i dr. Sposob raboty otkrytoi sistemy teplosnabzheniia [Method of operation of open heat supply system]. Patent RF, no. 2474765. MPK⁷ F24D3/00. *Izobreteniia. Poleznye modeli* [Inventions. Utility models], 2013, no. 4.

8. Rotov P. V., Orlov M. E., Sharapov V. I., Ezhov P. A. Sposob raboty zakrytoi sistemy teplosnabzheniia [Method of operation of closed heat supply system]. Patent RF, no. 2468301(RU). MPK F24D3/08. *Izobreteniia. Poleznye modeli* [Inventions. Utility models], 2012, no. 33.

9. Rotov P. V., Orlov M. E., Sharapov V. I., Sivukhin A. A. Povyshenie ehffektivnosti raboty centralizovannykh sistem teplosnabzheniia za schet primeneniia teplonasosnykh ustanovok [Increasing the efficiency of centralized heat supply systems through the use of heat pump installations]. *Promyshlennaia energetika* [Industrial Power Engineering], 2014, no. 7, pp. 27–31.

10. Sultanguzin I. A., Potapova A. A. Vysokotemperaturnye teplovye nasosy bol'shoi moshchnosti dlia teplosnabzheniia [High temperature heat pumps of large capacity for heating]. *Novosti teplosnabzheniia* [News of heat supply], 2010, no. 10, pp. 23–27.

Для цитирования: Синицын Н. Н., Андреев А. С., Полеводова Л. А. Модель для экспресс-анализа модернизации локальных систем теплоснабжения // Вестник Череповецкого государственного университета. 2019. № 3 (90). С. 24–30. DOI: 10.23859/1994-0637-2019-3-90-3

For citation: Sinitsyn N. N., Andreev A. S., Polevodova L. A. The model for the rapid analysis of local heating systems modernization. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2019, no. 3 (90), pp. 24–30. DOI: 10.23859/1994-0637-2019-3-90-3