УДК 504.03 DOI: 10.34031/ES.2022.2.007

УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ИСТОЧНИКА ТЕПЛА

Гашо Е.Г. [1], Киселева А.И. [1], Фокин А.М.[2]

[1]Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва;
[2] Филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск

Аннотация
В настоящей статье предложено оценивать влияние системы теплоснабжения на окружающую среду в зависимости от типа источника тепла и доли потерь теплоты в тепловых сетях. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что для минимизации количества парниковых газов при теплоснабжении городов схемы теплоснабжения необходимо разрабатывать на основе баланса между централизованным теплоснабжением, децентрализованным, а также с оптимальной долей тепла, вырабатываемого по теплофикационному циклу.

Ключевые слова: *углеродный след, теплоэнергетика, экология энергетики, энергоэффективность, промышленная теплоэнергетика.*

CARBON PAWPRINT OF HEATING SYSTEMS DEPENDING ON THE TYPE OF THE HEAT SOURCE

Evgeniy Gasho, Aleksandra Kiseleva, Aleksey Fokin

[1]National Research University «MPEI», Moscow, Russia
[2]Smolensk branch of National Research University «MPEI», Smolensk, Russia

Abstract
The article proposes to evaluate the impact of the heat supply system on the environment depending on the type of heat source and the proportion of heat losses in heat networks. The data obtained allow us to conclude that in order to minimize the amount of greenhouse gases in the heat supply of cities, heat supply schemes must be developed on the basis of a balance between centralized heat supply, decentralized and with the optimal share of heat generated by the heating cycle also.

Keywords: *carbon pawprint, steam power industry, energy ecology, energy efficiency, industrial thermal power engineering.*

Введение

Стратегия низкоуглеродного развития РФ предусматривает постепенный отказ от углеродоёмких видов энергии в пользу низкоуглеродных и безуглеродных, а также сдерживание роста энергопотребления за счет повышения энергоэффективности и снижения потерь.

Одним из основных потребителей тепла и, соответственно, источником углекислоты, являются системы отопления зданий.

Анализ Схем теплоснабжения городов показывает, что в каждом крупном населенном пункте имеются как централизованные, так местные и индивидуальные системы теплоснабжения. Каждый из видов систем теплоснабжения имеет свои достоин-

ства и недостатки и, следовательно, условия, при которых применение данного вида системы наиболее целесообразно.

В общем случае, система теплоснабжения состоит из источника тепла, тепловых сетей и тепловых установок потребителей.

Углеродный след источников тепла проявляется в виде углекислоты, образующейся в процессе сжигания топлива в установках источника.

Кроме того, свою лепту вносят тепловые сети, в которых происходят тепловые потери, уменьшая полезный отпуск тепла и вынуждая увеличивать общую выработку тепла на источнике.

Оценке влияния энергетики вообще и теплоэнергетики в частности в последнее время посвящено большое количество публикаций [1-2]. Основным (прямым) источником углекислоты в системе теплоснабжения являются теплогенераторы [3]. В теплоэнергетике не принято определять количество выброшенной углекислоты. Вместо этого оценивают экономичность котельной или ТЭЦ по удельному расходу топлива на выработку теплоты [4]. Вклад тепловых сетей в генерацию диоксида учитывают в гораздо меньшей степени.

Особый интерес при этом представляет задача оптимизации системы теплоснабжения города в целом, то есть требуется найти баланс между централизованным, местным и индивидуальным теплоснабжением с целью минимизировать выбросы углекислоты [5].

В настоящей статье предложено оценивать влияние системы теплоснабжения на окружающую среду в зависимости от типа источника тепла и доли потерь теплоты в тепловых сетях. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что для минимизации количества парниковых газов при теплоснабжении городов схемы теплоснабжения необходимо разрабатывать на основе баланса между централизованным теплоснабжением, децентрализованным, а также с оптимальной долей тепла, вырабатываемого по теплофикационному циклу.

Материалы и методы

В качестве источников тепла в централизованных системах теплоснабжения служат ТЭЦ и районные отопительные котельные [6]. В индивидуальных системах – индивидуальные котлы, устанавливаемые, в случае поквартирного отопления, в каждой квартире многоэтажного дома или коттеджа.

Углеродный след источников тепла проявляется в виде углекислоты, образующейся в процессе сжигания топлива в установках источника.

Кроме того, свою лепту вносят тепловые сети, в которых происходят тепловые потери, уменьшая полезный отпуск тепла и вынуждая увеличивать общую выработку тепла на источнике.

Особый интерес при этом представляет задача оптимизации системы теплоснабжения города в целом, то есть требуется найти баланс между централизованным, местным и индивидуальным теплоснабжением с целью минимизировать выбросы углекислоты.

В качестве объекта исследования выделим три вида систем теплоснабжения:

1) централизованное теплоснабжение от ТЭЦ;

2) централизованное теплоснабжение от районной котельной4

3) индивидуальное теплоснабжение.

К слову сказать, теплоснабжение от районной котельной и индивидуальное теплоснабжение различаются лишь наличием или отсутствием тепловых сетей.

В качестве топлива примем природный газ.

Известно, что при сжигании 1 м^3 природного газа образуется 1,82 кг CO_2.

Теплота сгорания природного газа, в среднем, 8000 ккал/м^3, тогда для получения 1Гкал теплоты необходимо сжечь 125 м^3 газа.

С учетом к.п.д. котла необходимый объем газа будет больше. Также необходимо учесть потери теплоты в тепловых сетях.

Тогда количество углекислоты, получающееся при передаче потребителю 1 Гкал теплоты, будет:

$$M_{CO_2} = \frac{1{,}82 \cdot 1 \cdot 10^9}{8000 \cdot 10^3 \cdot (\eta_к - \eta_{тс})}, \quad (1)$$

где 1,82 – масса углекислоты при сжигании 1 м^3 природного газа, кг; $8000 \cdot 10^3$ – теплота сгорания природного газа, кал/м^3; $\eta_к$ – к.п.д. котла; $\eta_{тс}$ – доля потерь тепла в тепловых сетях.

При производстве 1 кВт·ч электроэнергии образуется 510 г CO_2. Примем, что на 1 кВт·ч выработанного на ТЭЦ электричества приходится 3 кВт·ч тепла (или $2{,}58 \cdot 10^{-3}$ Гкал)

Тогда количество углекислоты при отпуске ТЭЦ 1 Гкал составит 197 кг/Гкал. Это без учета тепловых потерь в сетях. С учетом потерь в тепловых сетях количество углекислоты при отпуске тепла от ТЭЦ можно выразить следующим образом:

$$M_{CO_2} = \frac{197}{\eta_{тс}}. \quad (2)$$

Примем к.п.д. котлов районной котельной 90%, к.п.д. индивидуального котла 85%. Тогда можно построить график зависимости углеродного следа для различных источников тепла в зависимости от потерь в тепловых сетях, представленный на рис.1.

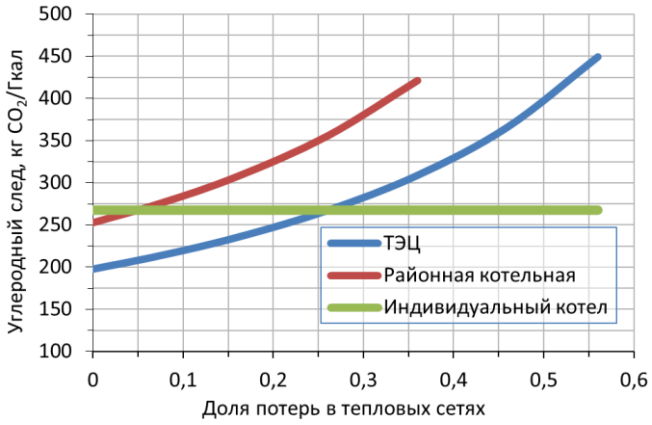

Рис. 1. Углеродный след системы теплоснабжения

Таким образом, при принятых допущениях (кпд районной котельной 90%, кпд индивидуального котла 85%, соотношение выработки тепла и электрической энергии на ТЭЦ составляет три к одному) даже предварительные оценки показывают большую эффективность теплофикации по сравнению с отоплением от котельных

Соответственно, с точки зрения эффективности и минимизации выбросов при централизованном теплоснабжении альтернативы теплофикации при существующем уровне развития техники нет.

Исходя из вышеизложенного, можно поставить следующую задачу – определение оптимального соотношения видов теплоснабжения для городского района.

Потребление тепла населением в РФ в 2019 году составило 542,5 млн. Гкал [7], что составляет более 45% от всего тепла, выработанного в стране. При этом средние потери при транспортировке тепла составляют порядка 7,5%. По структуре источников в Отчете отражены следующие данные: порядка 50% тепла отпущена с коллекторов электростанций, около 40% – крупными котельными (мощностью более 20 Гкал/ч), до 10% тепла выработано малыми котельными и индивидуальными источниками тепла.

Попробуем оценить углеродный след от теплоснабжения населенного пункта в зависимости от соотношения установленной мощности источников тепла. Для примера рассмотрим три случая:

1. Теплоснабжение от ТЭЦ.

2. Теплоснабжение при соотношении мощности источников, усредненное по всей стране (50% мощности – ТЭЦ, 40% мощности – центральные котельные, 10% - индивидуальное теплоснабжение, потери теплоты при транспортировке – 7,5%).

3. Теплоснабжение только от индивидуальных источников.

Потери тепла при транспортировке от центральных источников примем равными средними по стране – 7,5%.

Численность населения города условно примем сто тысяч человек.

Расход тепла на одного человека будет

$$Q_ч=542{,}5\cdot10^6/146{,}3\cdot10^6=3{,}71 \text{ Гкал/чел в год,}$$

где $146{,}3\cdot10^6$ – численность населения РФ.

Количество выбросов CO_2 при теплоснабжении квартала будем определять по формуле:

$$M_{кв} = 3{,}708\cdot10^5\cdot10^{-3}\cdot\left(\frac{M^0_{ТЭЦ}\cdot\delta_{ТЭЦ}}{1-\eta^{ТЭЦ}_{тс}}+\frac{M^0_К\cdot\delta_К}{1-\eta^К_{тс}}+M_{И.К.}\cdot\delta_{И.К.}\right), \quad (3)$$

где $M^0_{ТЭЦ}$ – количество CO_2 на выработку одной Гкал тепла на ТЭЦ, кг/Гкал; $\delta_{ТЭЦ}$ – доля тепла, вырабатываемого на ТЭЦ; $\eta^{ТЭЦ}_{тс}$ – относительная величина потерь тепла от выработки ТЭЦ; $M^0_К = 253кг/Гкал$ – количество CO_2 на выработку одной Гкал тепла на центральной котельной; $\delta_К$ – доля тепла, вырабатываемого на центральных котельных; $\eta^К_{тс}$ – относительная величина потерь тепла от выработки центральных котельных; $M_{И.К.} = 268кг/Гкал$ – количество CO_2 на выработку одной Гкал тепла в индивидуальном котле; $\delta_{И.К.}$ – доля тепла, вырабатываемого в индивидуальных котлах.

Тогда выбросы углекислоты от систем отопления населенного пункта при различных вариантах теплоснабжения будут, т :

Таблица 1

Выбросы CO_2 при теплоснабжении за год, т

Вид теплоснабжения города		ТЭЦ	Центральные котельные	Индивидуальное теплоснабжение	Соотношение установленной мощности источников среднее по стране
Величина потерь в тепловых сетях, %	7,5	79255	102251	99244	90452
	16	87275	113996	99244	99160
	26	99069	131808	99244	112182

Выводы

Оценка углеродного следа теплоэнергетики представляется важной и интересной технической задачей. Приоритетным направлением развития энергетики страны является развитие теплофикации – углеродный след теплоснабжения от ТЭЦ по выработанному теплу будет гораздо ниже, чем при теплоснабжении от котельной практически независимо от величины потерь в тепловых сетях. Кроме того, теплоснабжение от ТЭЦ эффективнее индивидуального при гораздо большей величине потерь в тепловых сетях, чем от центральной котельной – количество образовавшейся углекислоты при работе ТЭЦ будет не выше, чем при работе индивидуальных котлов при доле потерь в сетях до 26% от отпущенного в сеть тепла. Но при этом даже небольшая доля потерь в тепловых сетях (более 5% от отпуска) дает более заметный углеродный след от централизованного теплоснабжения от котельной по сравнению с индивидуальными источниками. Высокая степень теплофикации в целом по стране дает существенный выигрыш по количеству выбросов CO_2 по сравнению с прямым сжиганием топлива в котлах – 79255 т против 99244 т. Значительную роль в количестве выбросов углекислоты играет величина потерь при транспортировке тепла – при соотношении установленной мощности источников, взятом по средним данным по стране и величине потерь на уровне 16% от отпущенного тепла углеродный след всей системы теплоснабжения будет таким же, как при индивидуальном теплоснабжении. При росте потерь в сетях до 26% никакого эффекта с точки зрения выбросов CO_2 не даст и теплофикация. Результаты, полученные в данной статье, являются приблизительными, расчет приведен только для газообразного топлива. Для большей точности в дальнейшем необходимо произвести исследования для других видов топлив, конкретных источников и тепловых сетей.

Библиографический список

1. Хомяков П.М. Влияние глобальных изменений климата на функционирование экономики и здоровье населения России. М: ЛЕНАНД, 2005. 424 с.
2. Зинченко Ю.В., Терентьев Н.Е. Риски климатических изменений здоровью и адаптация населения: обзор мирового опыта и уроки для России // Проблемы прогнозирования. 2022. № 6 (195). С. 131-144. EDN: AQMWIJ. DOI: 10.47711/0868-6351-195-131-144
3. Некрасов А. С. Анализ и прогнозы развития отраслей топливно-энергетического комплекса. Избранные труды. М.: ООО «ЛЕТО Индастриз», 2013. 592 с.
4. Николаев Ю.Е., Вдовенко И.А. Топливная экономичность действующих региональных ТЭЦ // Новости теплоснабжения. 2018. №3 (211). С. 18-21. URL: https://www.rosteplo.ru/img/nt/nt211.pdf
5. Заседание Энергетического семинара им А.С. Некрасова №195 «Приоритеты и механизмы развития энергетики России» / И.А. Башмаков , С.С. Белобородов, Е.Г. Гашо и др. [Сайт]: ИНП РАН. [2019]. URL: https://ecfor.ru/publication/prioritety-i-mehanizmy-razvitiya-energetiki-rossii/.
6. Эффективность и перспективы развития теплофикации в современных экономических условиях [Электронный ресурс] / Волкова Е.А., Макарова А.С., Хоршев А.А. и др. // Энергетический семинар № 108: «Эффективность и перспективы развития теплофикации в современных экономических условиях». М.: ИНП РАН, 2010. 69 с. URL: https://ecfor.ru/publication/energeticheskij-seminar-108/ (дата обращения 01.012.2022).
7. О состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2019 году: Информационно-аналитический доклад [Электронный ресурс]. М.: Минэнерго России, ФГБУ «РЭА» Минэнерго России. URL: https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/20641/155834. (дата обращения 01.012.2022).

References

1. Homyakov, P. M. (2005). *Vliyanie global'nyh izmenenij klimata na funkcionirovanie ekonomiki i zdorov'e naseleniya Rossii* [*The impact of global climate change on the functioning of the economy and the health of the Russian population*]. Lenand. [In Russian]
2. Zinchenko, YU. V., & Terent'ev, N. E. (2022). Riski klimaticheskikh izmeneniy zdorov'yu i adaptatsiya naseleniya: obzor mirovogo opyta i uroki dlya Rossii [Risks of climate change to health and adaptation of the population: a review of world experience and lessons for Russia]. *Forecasting problems, 6(195)*, 131-144. https://doi.org/10.47711/0868-6351-195-131-144 [In Russian]
3. Nekrasov, A. S. (2013). *Analiz i prognozy razvitiya otrasley toplivno-energeticheskogo kompleksa* [*Analysis and forecasts for the development of branches of the fuel and energy complex*]. LETO Industries. [In Russian]
4. Nikolaev, yu. E., & Vdovenko, I. A. (2018). Toplivnaya ekonomichnost' deystvuyushchikh regional'nykh TETS [Fuel efficiency of existing regional CHPPs]. *Novosti teplosnabzheniya, 3 (211),* 18-21. https://www.rosteplo.ru/img/nt/nt211.pdf [In Russian]
5. Bashmakov, I. A., Beloborodov, S. S., Gasho E. G., Kopylov A. E., Kudrin, B. I., Mastepanov, A. M., Nigmatulin, B. I., Semikashev, V. V., Sinyak, YU. V., CHernavskij, S. YA., SHkatov, & V. A. (2019). *Prioritety i mekhanizmy razvitiya energetiki Rossii* [*Priorities and mechanisms for the development of the Russian energy sector*]. Retrieved December 1, 2022 from https://ecfor.ru/publication/prioritety-i-mehanizmy-razvitiya-energetiki-rossii/. [In Russian]
6. Volkova, E. A., Makarova, A. S., & Khorshev, A. A. (February 24, 2010). *Effektivnost' i perspektivy razvitiya teplofikatsii v sovremennykh ekonomicheskikh usloviyakh* [*Efficiency and prospects for the development of heating in modern economic conditions*]. Retrieved December 1, 2022 from https://ecfor.ru/publication/energeticheskij-seminar-108/. [In Russian]
7. Ministry of Energy of the Russian Federation (2019). *O sostoyanii teploenergetiki i tsentralizovannogo teplosnabzheniya v Rossiyskoy Federatsii v 2019 godu* [*On the state of thermal power and district heating in the Russian Federation in 2019*]. Retrieved December 1, 2022 from https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/20641/155834. [In Russian]

Сведения об авторах

Гашо Евгений Геннадьевич – д-р техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия.
Email: 290461@bk.ru, SPIN-код: 1538-3965, ORCID: 0000-0003-3685-5636

Киселева Александра Игоревна – аспирант, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия.
Email: aleksandrakiselevampei@yandex.ru ORCID: 0000-0002-8925-0107

Фокин Алексей Михайлович – старший преподаватель, Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Россия.
Email: fokssm@yandex.ru ORCID: 0000-0002-9116-7089

Authors about

Evgeniy Gasho – DrSc (Eng.), Professor, National Research University «MPEI», Moscow, Russia. Email: 290461@bk.ru ORCID: 0000-0003-3685-5636

Aleksandra Kiseleva – Postgraduate student, National Research University «MPEI», Moscow, Russia. Email: aleksandrakiselevampei@yandex.ru ORCID: 0000-0002-8925-0107

Aleksey Fokin – Senior Lecturer, Smolensk branch of National Research University «MPEI», Smolensk, Russia. Email: fokssm@yandex.ru ORCID: 0000-0002-9116-7089