

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 697.13
DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-2-146-155



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА АРХИВНЫХ ДАННЫХ УЗЛОВ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Гашо Е.Г.¹, Фокин А.М.²

¹ Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

² Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Россия

Аннотация. На теплоснабжение зданий используется до 45% всех энергетических ресурсов страны. При этом качество и стоимость теплоснабжения – важнейшее условие социальной стабильности и формирования комфортных условий проживания. Уровень потребления тепловой энергии даже в однотипных жилых домах крайне неоднороден. Для планирования и проведения работ по повышению эффективности теплоснабжения жилых домов необходимы дешевые и быстрые инструменты, позволяющие выявить причины, наиболее влияющие на теплопотребление жилого здания. В качестве такого инструмента предлагается использовать зависимость тепловой мощности на отопление жилого дома от различных факторов. Исходными данными для анализа служат архивы общедомовых узлов учета тепловой энергии и данные о среднесуточной температуре наружного воздуха и скорости ветра. При построении зависимости использованы методы математической статистики, строительной теплофизики и инженерных сетей зданий и сооружений. В ходе работы установлено, что отопительная характеристика здания меняется в течение отопительного периода, что свидетельствует о том, что удельное количество тепловой энергии на отопление зависит не только от теплозащитных свойств наружных ограждений, но и от других факторов. Результатом работы является регрессионное уравнение, по которому можно определить количество тепловой энергии на отопление в зависимости от температуры наружного воздуха, скорости ветра, температуры теплоносителя и располагаемого перепада давления на вводе в здание.

Ключевые слова: теплоэнергетика, теплоснабжение, учет тепловой энергии, теплоэнергетические характеристики, отопительная характеристика здания

© Гашо Е.Г., Фокин А.М., 2023

Для цитирования

Гашо Е.Г., Фокин А.М. Определение теплоэнергетических характеристик зданий на основе анализа архивных данных узлов учета тепловой энергии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №2. С. 146-155. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-146-155>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

DETERMINATION OF THERMAL POWER CHARACTERISTICS OF BUILDINGS BASED ON THE ANALYSIS OF ARCHIVAL DATA OF HEAT METERING STATIONS

Gasho E.G.¹, Fokin A.M.²

¹ National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

² Smolensk Branch of National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk, Russia

Abstract. Building heating requires up to 45% of all energy resources of this country. The quality and cost of heat supply is the most important condition for social stability and the formation of comfortable living conditions. A level of the thermal energy consumption even in residential buildings of the same type is extremely inhomogeneous. To plan and carry out work aimed at improving efficiency of heat supply of residential buildings, we need cheap and quick tools to identify the causes, having a major effect on the heat consumption of a residential building. Regarding such tool, it is proposed to use the dependence between heat power for heating a residential building and various factors. Source data for the analysis are taken from history logs of common building heat metering stations and data on average daily outdoor temperature and wind speed. When plotting the curve, we used methods of mathematical statistics, building thermal physics and utility networks of buildings and structures. The research revealed that the heating characteristic of the building varied during the heating period, indicating that the specific quantity of thermal energy for heating depended not only on the heat protection properties of the cladding, but also on other factors. The result of the research is a regression equation used to determine the quantity of thermal energy for heating depending on outdoor temperature, wind speed, heating medium temperature and available pressure drop at the input to the building.

Keywords: thermal power engineering, heat supply, thermal energy metering, thermal power characteristics, building heating characteristic

For citation

Gasho E.G., Fokin A.M. Determination of Thermal Power Characteristics of Buildings Based on the Analysis of Archival Data of Heat Metering Stations. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 146-155. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-146-155>

Введение

Повышение эффективности потребления тепловой энергии на отопление зданий является необходимым условием снижения энергопотребления во всей системе теплоснабжения страны. Поэтому в последнее время большое внимание уделяется определению показателей энергоэффективности жилых зданий. При этом, как показывают исследования, энергоэффективность даже однотипных зданий существенно различается.

Определение фактических характеристик зданий с точки зрения потребляемой на отопление тепловой энергии является необходимым условием для принятия решений о мероприятиях по повышению энергоэффективности.

Решению данной проблемы посвящено большое количество публикаций. Так, авторы [1] показывают возможность использования для анализа данных архивов общедомовых приборов учета тепловой энергии. В публикации [2] введено понятие удельной отопительной характеристики здания, согласно которому необходимо оценивать энергоэффективность здания потреблением тепла

на 1 м² отапливаемой площади, и проведена работа по выявлению зданий, имеющих большее энергопотребление на отопление. В статьях [3-5] сделана попытка увязать удельное теплопотребление здания с характеристиками наружных ограждающих конструкций зданий. В работе [6] потребление тепла на отопление рассмотрено в функции времени, то есть полученная модель используется для прогноза потребления тепловой энергии. При этом следует отметить, что в вышеперечисленных публикациях зависимость теплопотребления рассмотрена как бы «снаружи», не затрагивая отопительный комплекс здания в целом. В то время как теплопотребление зависит не только от температуры наружного воздуха и термического сопротивления наружных ограждений, но и от других факторов – скорости ветра, параметров теплоносителя и т.д.

В статье была сделана попытка обобщить опыт предыдущих исследований и построена зависимость тепловой мощности на отопление от различных факторов. Для этого архивные данные общедомового теплосчетчика дополнили информацией о параметрах наружного воздуха, в рассмот-

рение были введены параметры теплоносителя на вводе в здание и построено регрессионное уравнение, связывающее потребляемую тепловую мощность с вышеуказанными величинами. Также была построена зависимость фактической отопительной характеристики от наружной температуры.

В ходе исследования было установлено, что отопительная характеристика здания меняется в зависимости от температуры наружного воздуха. При высоких температурах наружного воздуха отопительная характеристика больше, что свидетельствует о большем расходе тепла на отопление, при низких температурах – меньше. Данный факт позволяет оценить количество тепла, которое можно сэкономить в начале и конце отопительного периода, когда на улице тепло.

Кроме того, построенное уравнение зависимости тепловой мощности от температуры наружного воздуха, скорости ветра, температуры и располагаемого напора теплоносителя показывает хорошую сходимость с фактическими значениями, измеренными теплосчетчиком.

Материалы и методы исследования

Чтобы ответить на вопрос о причине перерасхода тепла на отопление, необходима полная информация о составляющих уравнения теплового баланса отапливаемого здания ($Q_o + Q_{инф} + Q_{вн} + Q_{отр} = 0$). Получить эту информацию можно в результате энергетического обследования здания, что потребует больших затрат времени и финансов. При большом объеме здания работы становятся дорогостоящим и длительным мероприятием.

Хорошим выходом из сложившейся ситуации может быть использование в качестве источника информации коммерческих приборов учета тепловой энергии, которые получили в последнее время большое распространение.

Каждый современный теплосчетчик измеряет и архивирует основные параметры, необходимые для решения поставленной задачи (за час, за сутки, за месяц):

- количество потребленной тепловой энергии;
- расход и объем теплоносителя;
- температуру теплоносителя;
- давление теплоносителя.

Тогда задачу определения теплоэнергетических характеристик зданий можно разбить на следующие этапы:

1. Система отопления.

С одной стороны, мощность системы отопления здания определяется уравнением теплово-

го баланса: $Q = Gc_p(t_3 - t_2)$, где t_3 – температура в подающем трубопроводе системы отопления.

Любая система отопления проектируется на работу по температурному графику. Наиболее распространенный 95/70°C. Именно системы отопления, график тепловой сети в этом случае 150/70°C при коэффициенте смешения $u = (150-70)/(95-70) = 2,2$. На этот график рассчитывается расход теплоносителя тепловой сети. И расход теплоносителя, и температуру в обратном трубопроводе можно оценить по теплосчетчику. Отклонения расхода и температуры от графика будут отражать отклонения в работе системы. Это, так сказать, «снаружи», со стороны тепловой сети.

С другой стороны, мощность системы отопления определяется теплом, отдаваемым отопительными приборами, из уравнения теплопередачи для отопительного прибора: $Q = KF(t_{п} - t_{вн})$, где $t_{п}$ – температура отопительного прибора.

Температура внутреннего воздуха $t_{вн}$ в общем случае неизвестна. Но, при отсутствии жалоб потребителей ее можно считать соответствующей нормативной (для жилых зданий +20°C). Тогда из соотношения тепловой мощности, расхода и температуры можно оценить проблемы в самой системе отопления, так сказать, «изнутри».

2. Здание.

Уравнение теплового баланса отапливаемого помещения:

$$Q_o + Q_{отр} + Q_{инф} + Q_{вн} = 0, \quad (1)$$

где Q_o – мощность системы отопления зависит от типа системы, вида и площади отопительных приборов, расхода и температуры теплоносителя, температуры внутреннего воздуха и т.д.; $Q_{отр}$ – мощность тепловых потерь через наружные ограждения, определяется температурой и скоростью наружного воздуха, температурой внутреннего воздуха, свойствами наружных ограждений; $Q_{инф}$ – потери теплоты с инфильтрацией, зависят как от параметров наружного и внутреннего воздуха, так и от наружных ограждений; $Q_{вн}$ – мощность внутренних источников тепла.

При этом мощность системы отопления Q_o измерена теплосчетчиком. К данному параметру предъявляется одно требование: мощность системы отопления должна быть минимальной при требуемой температуре внутреннего воздуха. Остальные составляющие уравнения теплового баланса можно попробовать определить по часовым архивам теплосчетчика методами статистического анализа.

Потери теплоты через наружные ограждения $Q_{огр}$ определяются как [7]

$$Q_{огр} = \sum_i K_i F_i (t_{вн} - t_n), \quad (2)$$

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}}, \quad (3)$$

где K_i – коэффициент теплопередачи соответствующего наружного ограждения, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; F_i – площадь наружного ограждения, м^2 ; $t_{вн}$ и t_n – температура внутреннего и наружного воздуха, °C ; $\alpha_{вн}$ и α_n – коэффициенты теплоотдачи со стороны внутренней поверхности наружного ограждения и с наружной стороны наружного ограждения, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; δ_i – толщина i -го слоя ограждения, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя наружного ограждения, $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$.

В принципе, можно рассчитать мощность теплопотерь по подробной методике, но по трудоемкости это будет не сильно отличаться от энергетического обследования.

Если к архивам теплосчетчика добавить температуру наружного воздуха и скорость ветра, можно попробовать из сочетания значений потребленного тепла, температуры воздуха и скорости ветра определить долю тепла, приходящегося на потери теплоты через наружные ограждения.

Затраты тепла на инфильтрацию $Q_{инф}$. Здесь возможен такой же подход, как к потерям теплоты через ограждения: из сочетания параметров наружного воздуха и потребленного тепла попробовать идентифицировать объект, то есть

определить, какая часть из потребленного тепла приходится на теплопотери с инфильтрацией.

Мощность внутренних источников тепла $Q_{вн}$ в каждом конкретном случае будет величиной постоянной, определяться свойствами самого объекта и, в принципе, являться независимым параметром. В основном мощность внутренних источников можно определить по показаниям общедомового узла учета электрической энергии.

Полученные результаты и их обсуждение

Таким образом, анализ архивов теплосчетчиков, установленных в жилых домах, следует проводить в следующем порядке:

1. По данным суточных архивов (средние параметры за сутки) строится зависимость теплопотребления от температуры наружного воздуха, определяется отопительная характеристика здания, а также зависимость отопительной характеристики от температуры наружного воздуха.

2. По данным часовых архивов можно определить зависимость теплоэнергетических характеристик не только от наружной температуры, но и от других факторов – скорости ветра и мощности внутренних источников тепла.

Так, для одного из домов г. Смоленска были сняты архивы теплосчетчика. Данные дополнили температурой наружного воздуха за отопительный период 2021-2022 гг. и построили зависимость теплопотребления здания от наружной температуры (**рис. 1**).

Стоит отметить, что такой вид зависимость имеет практически для всех жилых домов, то есть является типичной для данного вида объектов.

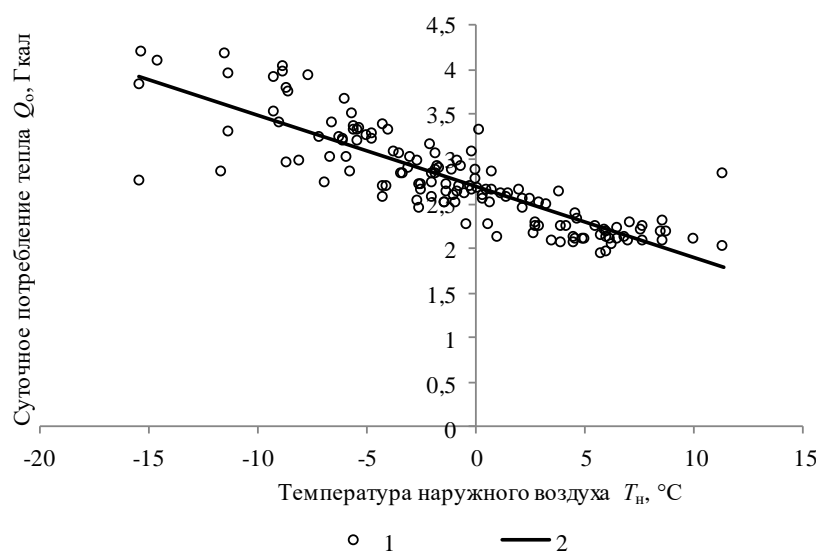


Рис. 1. Зависимость суточного потребления зданием тепла от температуры наружного воздуха: 1 – потребленное тепло; 2 – линия тренда (линейная)

Fig. 1. Dependence between the daily heat consumption of the building and outdoor temperature: 1 is consumed heat, 2 is a trend line (linear)

Кроме того, данная зависимость вполне согласуется с выражением (2). Таким образом, по архивным данным теплосчетчика была построена фактическая зависимость потребления тепла зданием от наружной температуры, Гкал:

$$Q_o = -0,087 \cdot t_n + 2,696. \quad (4)$$

По формуле (4) можно определить среднесуточное потребление тепла зданием.

Если разделить полученные значения потребленного тепла на разность температур между температурой воздуха внутри помещений и температурой наружного воздуха, получим удельное теплоспо потребление g , Гкал/°С, – фактически отопительную характеристику здания, или, другими словами, тепловую мощность, приходящуюся на 1°С разницы температур воздуха внутри здания и наружного воздуха:

$$q = \frac{Q_o}{20 - t_n}. \quad (5)$$

Так как внутренняя температура в общем случае неизвестна, примем ее значение 20°С.

Зависимость фактической отопительной характеристики здания от температуры наружного воздуха представлена на **рис. 2**.

Из **рис. 2** видно, что фактическая отопительная характеристика здания меняется с температурой наружного воздуха: при высоких температурах наружного воздуха относительное количество тепла на отопление больше, чем при низких температурах.

На **рис. 3** приведена зависимость тепловой мощности от скорости ветра. Значение получено по формуле $q = \frac{Q_o}{24}$, где Q_o – суточное потребление тепла зданием по счетчику. При этом для анализа были выбраны записи архивов при температуре наружного воздуха в диапазоне -1 ÷ +1°С.

Средние значения тепловой мощности при различных температурах и скоростях ветра приведены в **табл. 1**.

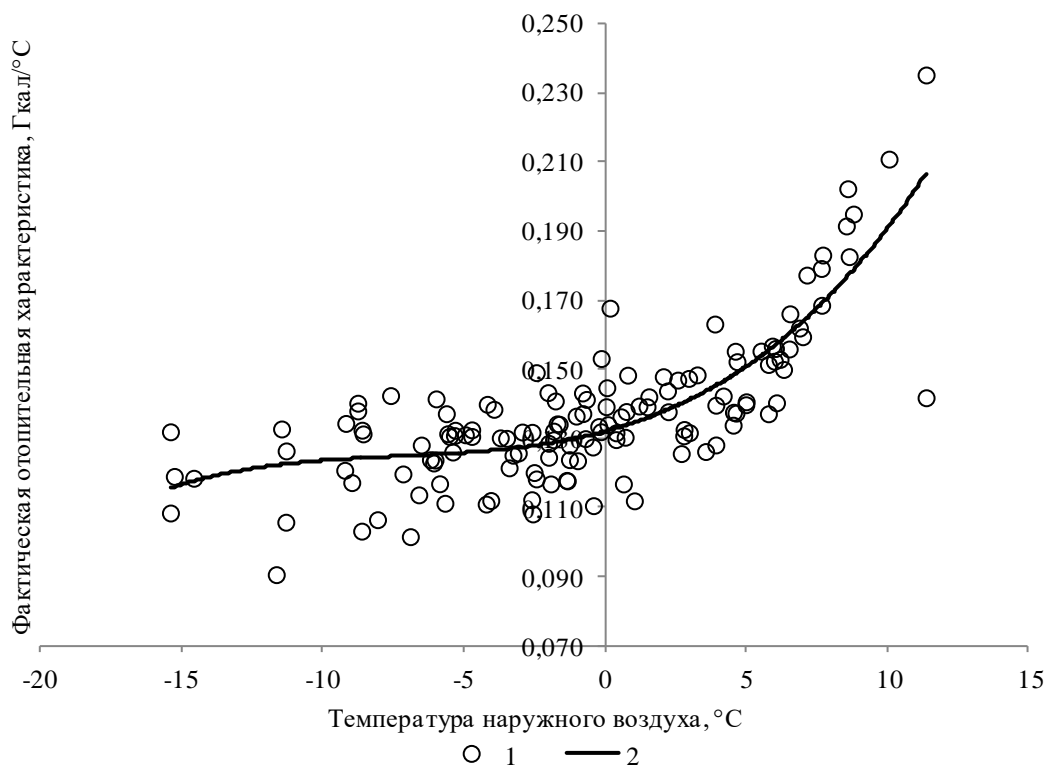


Рис. 2. Зависимость фактической отопительной характеристики здания от температуры наружного воздуха: 1 – фактическая отопительная характеристика; 2 – линия тренда (полиномиальная)

Fig. 2. Dependence between actual heating characteristic of the building and outdoor temperature: 1 is actual heating characteristic; 2 is a trend line (polynomial)

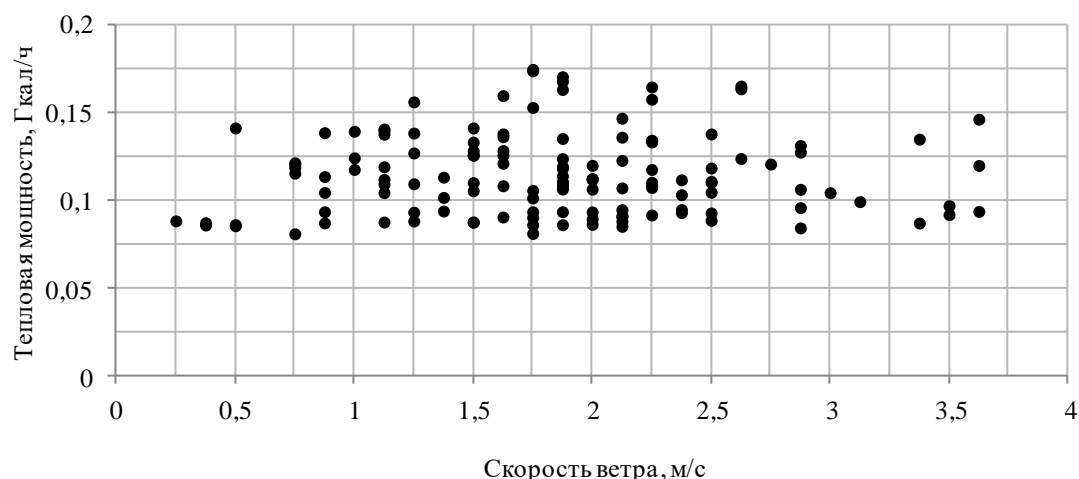


Рис. 3. Зависимость тепловой мощности от скорости ветра
 Fig. 3. Dependence between heat power and wind speed

Таблица 1. Средние значения тепловой мощности при различных температурах и скоростях ветра
 Table 1. Average heat power at various temperatures and wind speeds

Q_{cp} , Гкал/ч	T_n		W_n	
	$T_n < -0,8^\circ\text{C}$	$T_n > -0,8^\circ\text{C}$	$W_n < 1,8 \text{ м/с}$	$W_n > 1,8 \text{ м/с}$
0,130	0,125	0,149	0,132	0,142

Таким образом, тепловая мощность на отопление здания зависит от параметров наружного воздуха: при более высокой температуре воздуха потребление тепла больше, при более низкой – меньше. Функционально эта зависимость имеет вид в соответствии с (4). Зависимость тепловой мощности от скорости ветра также измеряется теплосчетчиком, но менее ярко выражена. Это можно объяснить большим количеством шумовых факторов, влияющих на результат.

При сравнении удельного теплопотребления зданий с одинаковыми отопительными характеристиками, расположенных в различных климатических условиях [8], обычно принимается, что удельная отопительная характеристика не зависит от наружной температуры. По этому же принципу проектируются наружные ограждения зданий (СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003).

Для рассматриваемого здания повышенное относительно среднего значение удельной отопительной характеристики (более 0,140 Гкал/°С) наблюдается более чем в 35 наблюдениях из 221, таким образом, на протяжении по крайней мере 15% отопительного сезона здание получает избыточное количество тепла. Следовательно, данный график может служить для оценки количества тепла, сэкономленного зданием за счет устране-

ния осенне-весенних перетопов.

Изменение удельного теплопотребления можно объяснить действием следующих факторов:

1. Температура внутреннего воздуха, принятая при расчете удельной отопительной характеристики постоянной и равной +20°С, на самом деле меняется. Соответственно, при высокой температуре наружного воздуха люди регулируют температуру внутри помещений форточками, сбрасывая «лишнее» тепло на улицу.

2. Как известно, температурный график тепловой сети не соответствует отопительному графику системы отопления здания. Отопительный график имеет зону излома: «зона излома» (диапазон спрямления) графика температур – интервал температур наружного воздуха в переходный (теплый) период отопительного сезона, в котором температура сетевой воды в подающем трубопроводе тепловой сети поддерживается постоянной. Вследствие этого при высокой температуре наружного воздуха (от температуры начала отопительного периода +8°С до примерно +2°С) в систему отопления подается избыточное количество тепла, при низкой – недостаточное [9].

По данным архивов теплосчетчика также можно оценить зависимость теплопотребления от гидравлического режима тепловой сети. Зависимость тепловой мощности от располагаемого напора на вводе в здание представлена на рис. 4.

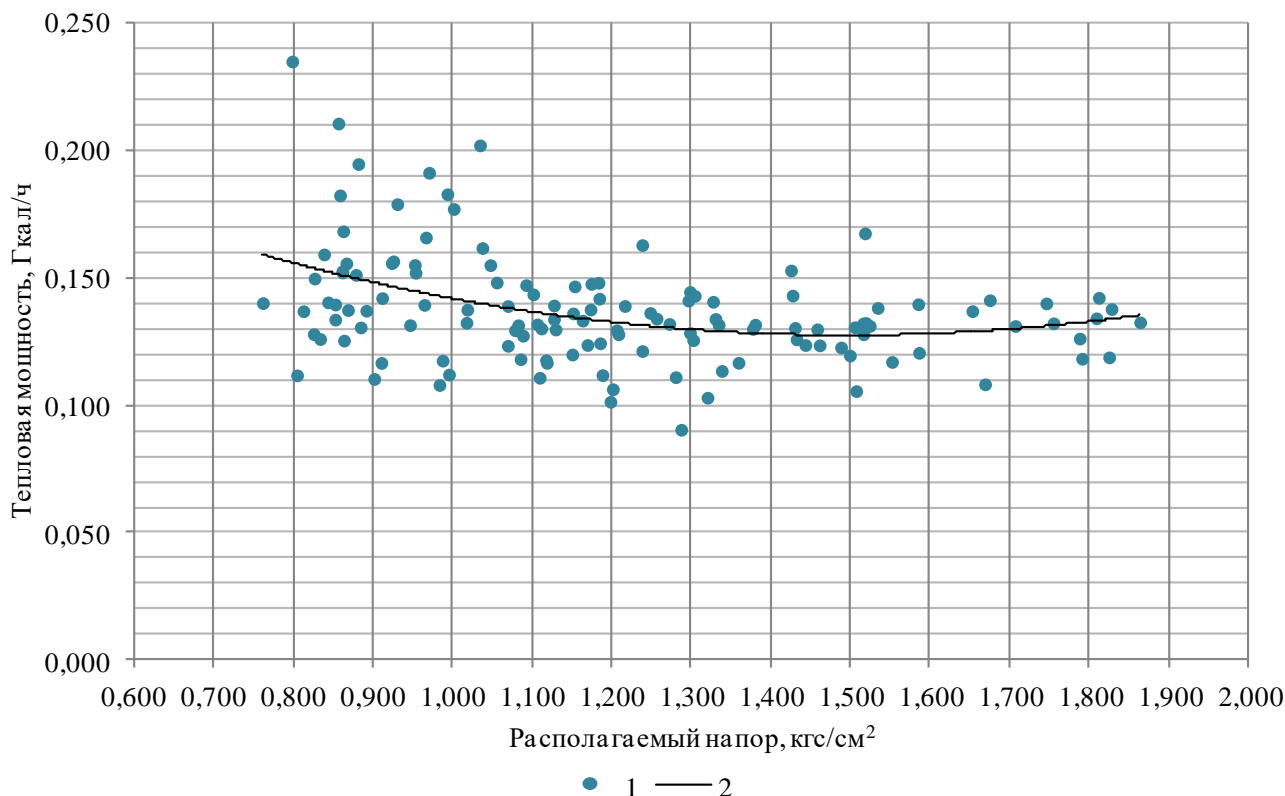


Рис. 4. Зависимость тепловой мощности от располагаемого напора теплоносителя:

1 – часовое потребление тепла; 2 – линия тренда (полиномиальная)

Fig. 4. Dependence between heat power and available pressure of the heating medium:

1 is the hourly heat consumption; 2 is a trend line (polynomial)

На графике виден большой разброс значений теплопотребления при изменении располагаемого напора, но при среднем напоре за рассматриваемый период 1,206 кгс/см² среднее значение тепловой мощности на отопление здания при малом напоре (менее 1,206 кгс/см²) 0,130 Гкал/ч, при большом (более 1,206 кгс/см²) – 0,143 Гкал/ч. Таким образом, тепловая мощность меняется с изменением располагаемого напора [10].

Регрессионное уравнение зависимости суточного расхода тепла Q , Гкал/сут, на отопление здания в зависимости от температуры наружного воздуха, скорости ветра и располагаемого напора теплоносителя на вводе в здание имеет вид

$$Q = -0,01624 \cdot T_n + 0,02177 \cdot w + 1,64624 \cdot \Delta P + 0,72807. \quad (6)$$

Для проверки адекватности полученной зависимости по этому уравнению рассчитаем суточный расход тепла за январь 2022 года и сравним с архивными данными узла учета. Полученные результаты сведены в **табл. 2**.

Графически соответствие рассчитанного теплопотребления от фактического приведено на **рис. 5**.

Как следует из **рис. 5**, расчетное теплопотребление с фактическим практически полностью совпадает.

Таким образом, можно говорить об адекватности модели рассматриваемому объекту.

Таблица 2. Данные узла учета тепловой энергии и расчетное теплотребление
 Table 2. Data from the heat metering station and estimated heat consumption

Дата	$Q_{\text{факт}}$, Гкал	$T_{\text{нгр}}$, °C	$w_{\text{ср}}$, м/с	ΔP , кгс/см ²	$Q_{\text{расч}}$, Гкал
01.01.22	3,056	-3,500	1,250	1,458	3,212
02.01.22	3,328	0,163	1,250	1,518	3,252
03.01.22	3,254	-7,175	1,875	1,499	3,353
04.01.22	3,206	-6,088	2,250	1,488	3,326
05.01.22	2,858	-5,688	0,750	1,280	2,944
06.01.22	2,887	0,050	2,000	1,298	2,908
07.01.22	3,086	-0,150	1,500	1,425	3,109
08.01.22	3,231	-4,738	2,250	1,430	3,208
09.01.22	3,204	-5,413	1,500	1,432	3,206
10.01.22	3,272	-4,963	2,125	1,512	3,344
11.01.22	3,679	-6,000	1,750	1,675	3,621
12.01.22	4,035	-8,775	1,875	1,746	3,786
13.01.22	3,840	-15,413	1,625	1,669	3,761
14.01.22	2,868	-11,663	1,125	1,287	3,061
15.01.22	2,850	0,788	2,500	1,183	2,717
16.01.22	2,980	-0,813	2,625	1,304	2,945
17.01.22	2,979	-2,600	1,875	1,334	3,007
18.01.22	3,068	-1,775	2,875	1,327	3,004
19.01.22	3,245	-6,200	3,375	1,443	3,278
20.01.22	3,025	-6,613	1,500	1,338	3,071
21.01.22	3,158	-2,038	2,875	1,427	3,173
22.01.22	3,316	-3,950	2,500	1,534	3,372
23.01.22	3,353	-5,325	1,000	1,516	3,332
24.01.22	3,334	-5,525	0,875	1,513	3,328
25.01.22	3,398	-6,525	0,500	1,516	3,341
26.01.22	3,398	-8,988	1,500	1,552	3,462
27.01.22	3,317	-5,350	1,625	1,505	3,328
28.01.22	3,025	-5,875	1,625	1,359	3,096
29.01.22	2,871	-1,038	1,875	1,248	2,840
30.01.22	2,915	-1,713	1,625	1,256	2,859
31.01.22	2,904	-3,088	2,750	1,302	2,982

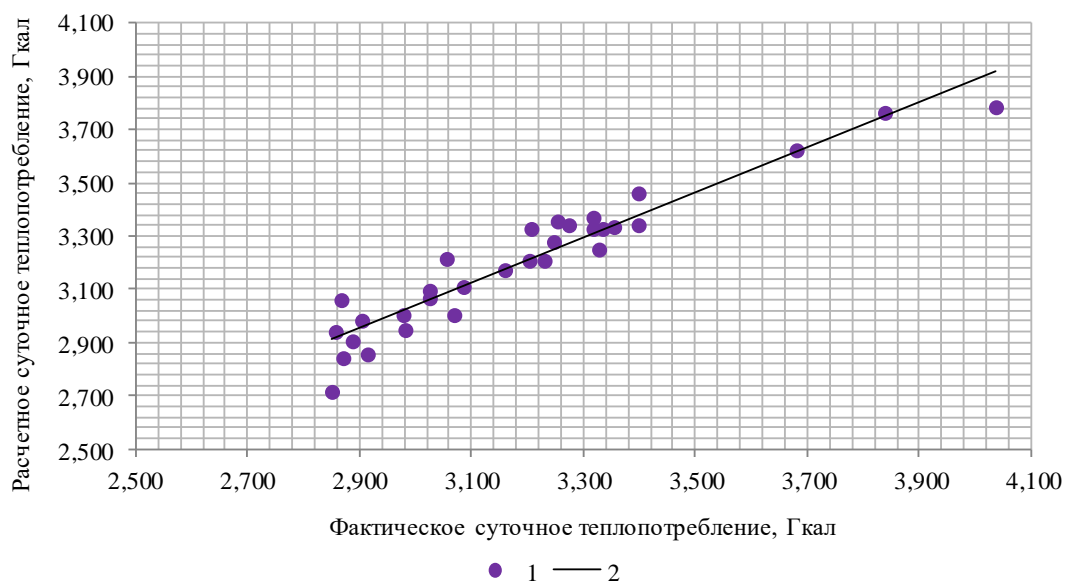


Рис. 5. Фактическое и рассчитанное значения теплотребления: 1 – суточное потребление; 2 – линия тренда (линейная)
 Fig. 5. Actual and calculated heat consumption: 1 is the daily heat consumption; 2 is a trend line (linear)

Заключение

Планирование и проведение работ по повышению эффективности потребления тепловой энергии в сфере ЖКХ невозможно без простых инструментов, которые позволят выявить дома, в которых удельное потребление тепловой энергии существенно выше среднего. Основным недостатком существующих методов является большая трудоемкость или недостаточный объем информации о рассматриваемом объекте.

В данной работе предложен способ, сочетающий в себе простоту и, с другой стороны, достаточное количество информации для принятия решения о принимаемых мерах по повышению эффективности теплоснабжения. В результате было построено уравнение, учитывающее основные факторы, влияющие на потребляемую на цели отопления тепловую мощность: температура наружного воздуха, скорость ветра, температура и давление теплоносителя на вводе в здание.

Зависимость отопительной характеристики здания от температуры наружного воздуха может быть использована для выработки решения о повышении эффективности теплоснабжения здания путем установки автоматизированного индивидуального теплопункта. Сравнение теплотребления, рассчитанного с помощью полученной зависимости с фактически наблюдаемым за рассматриваемый период показало хорошую сходимость результатов. Большую точность предложенного способа определения отопительной характеристики здания можно было бы достичь при использовании не только суточных архивов теплосчетчиков, но и часовых. Также стоит отметить, что в рамках данной работы не получилось выделить долю тепловой мощности $Q_{\text{инф}}$, расходуемой на нагрев воздуха, инфилирующего в здание.

Список источников

1. Пасынков С.Г., Тенякова Р.В. Анализ работы программного комплекса в части учета тепловой энергии в ЖКХ // Энергосбережение. 2008. №2. С. 62-64.
2. Гашо Е.Г., Гилев А.А. Сбалансированность энергетических параметров зданий в городской системе теплоснабжения // Энергосбережение. 2015. №7. С. 36-41.
3. Ливчак В.И. Фактическое теплотребление зданий как показатель качества и надежности проектирования // АВОК. 2009. № 2. С. 4-14.
4. Лупей А.Г. О диагностике состояния систем отопления потребителей тепловой энергии // СОК. 2004. №8. С. 48-52.
5. Самарин О.Д. Зависимость теплотехнической однородности наружных стен жилых зданий от их

геометрических характеристик и климатических параметров // СОК. 2022. №03(219). С. 52-54.

6. Басалаев А.А. Прогнозирование потребления тепловой энергии, расходуемой на отопление и горячее водоснабжение // Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции / отв. ред. С.Д. Ваулин. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. С. 633-638.
7. Заварзин Б.Б., Рюмин Р.В., Чукарев А.Г. Методика расчета теплопотерь для помещений // Молодой ученый. 2017. № 43(177). С. 40-43.
8. Гашо Е.Г., Фокин А.М. Анализ зависимости тепловой энергии, затраченной на отопление и охлаждение зданий, от различных факторов // СОК. 2022. №02(242). С. 64-67.
9. Борисов К.Б. Влияние качества теплоснабжения на фактические тепловые нагрузки систем отопления и горячего водоснабжения многоквартирных домов. Опыт Кемерово // Энергосбережение. 2021. №7. С. 58-67.
10. Немченко В.И., Посашков М.В. Методика оценки качества теплоснабжения по данным коммерческого учёта тепловой энергии // СОК. 2019. №08(212). С. 44-47.

References

1. Pasyнков S.G., Tenyakova R.V. Analysis of the software suite operation in terms of thermal energy metering in housing and communal services. *Energoberezhenie* [Energy Saving]. 2008;(2):62-64. (In Russ.)
2. Gasho E.G., Gilev A.A. Balancing the energy parameters of buildings in the urban heat supply system. *Energoberezhenie* [Energy Saving]. 2015;(7):36-41. (In Russ.)
3. Livchak V.I. Actual heat consumption of buildings as an indicator of the quality and reliability of design. *AVOK* [Association of HVAC Engineers]. 2009;(2):4-14. (In Russ.)
4. Lupey A.G. Diagnostics of the state of heating systems of thermal energy consumers. *SOK* [Plumbing. Heating. Conditioning]. 2004;(8):48-52. (In Russ.)
5. Samarin O.D. Dependence between thermotechnical uniformity of external walls of residential buildings and their geometrical characteristics and climatic parameters. *SOK* [Plumbing. Heating. Conditioning]. 2022;(03(219)):52-54. (In Russ.)
6. Basalaev A.A. Predicting the consumption of thermal energy spent on heating and hot water supply. *Nauka YuURGU: materialy 66-y nauchnoy konferentsii* [SUSU Science: Proceedings of the 66th Scientific Conference]. Chelyabinsk: South Ural State University, 2014, pp. 633-638. (In Russ.)
7. Zavarzin B.B., Ryumin R.V., Chukarev A.G. A method for calculating heat loss for rooms. *Molodoy uchenyi* [Young Scientist]. 2017;(43(177)):40-43. (In Russ.)
8. Gasho E.G., Fokin A.M. Analysis of the dependence between thermal energy spent on heating and cooling buildings and various factors. *SOK* [Plumbing. Heating. Conditioning]. 2022;(02(242)):64-67. (In Russ.)

9. Borisov K.B. The influence of the heat supply quality on the actual heat loads of heating and hot water supply systems in apartment buildings. Experience of Kemerovo. *Energoberezhnie* [Energy Saving]. 2021;(7):58-67. (In Russ.)
10. Nemchenko V.I., Posashkov M.V. Methodology for assessing the quality of heat supply according to the commercial metering of heat energy. *SOK* [Plumbing. Heating. Conditioning]. 2019;(08(212)):44-47. (In Russ.)

Поступила 08.12.2022; принята к публикации 03.03.2023; опубликована 27.06.2023
Submitted 08/12/2022; revised 03/03/2023; published 27/06/2023

Гашо Евгений Геннадьевич – доктор технических наук, профессор,
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия.
Email: 290461@bk.ru. ORCID 0000-0003-3685-5636

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

Evgeniy G. Gasho – DrSc (Eng.), Professor,
National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia.
Email: 290461@bk.ru. ORCID 0000-0003-3685-5636

Aleksey M. Fokin – Senior Lecturer,
Smolensk Branch of National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk, Russia.
Email: fokssm@yandex.ru. ORCID 0000-0002-9116-7089