

Филюшина Кристина Эдуардовна

канд. экон. наук, доцент

Ярлакабов Аброрбек Абдукахарович

студент

Волокитин Олег Геннадьевич

д-р техн. наук, профессор

ФГБОУ ВО «Томский государственный

архитектурно-строительный университет»

г. Томск, Томская область

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МАЛОЭТАЖНОГО ДОМА

Аннотация: статья посвящена методике оптимального выбора теплоснабжения малоэтажного дома. Предметом исследования является развитие малоэтажного жилищного строительства. Целью является оптимальный выбор источника теплоснабжения малоэтажного дома в зависимости от региональных и климатических особенностей объекта строительства. Результаты исследования имеют практическую значимость, а именно путем математических расчетов можно определить, какой источник теплоснабжения наиболее эффективен для использования в малоэтажном доме.

Ключевые слова: малоэтажное жилищное строительство, инвестиционно-строительный проект, теплоснабжение, энергоэффективность.

Статья выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации №МК-2273.2018.6 «Разработка и технико-экономическое обоснование выбора объемно-планировочных и конструктивных решений в малоэтажном жилищном строительстве в аспекте повышения энергетической эффективности и ресурсосбережения»

Для реализации энергоэффективного инвестиционно-строительного проекта малоэтажного строительства необходимо определиться с источником теплоснабжения малоэтажного дома в зависимости от региональных и

климатических особенностей объекта строительства (централизованное или децентрализованное (автономное)). Для этого приведем перечень источников тепловой энергии и основные показатели, по которым можно произвести выбор энергоэффективного источника теплоснабжения малоэтажного дома. К основным источникам тепловой энергии можно отнести:

1. Автономные котельные агрегаты: на твердом топливе (на дровах, угле, пеллеты, пиролезные котлы); на газообразном топливе (традиционные, газоконденсационные); на жидком топливе; электрические котлы.
2. Тепловые насосы
3. Солнечные коллекторы
4. Солнечные панели
5. Ветрогенераторы
6. Централизованное теплоснабжение

Для разработки методики оптимального выбора теплоснабжения дома необходимы следующие исходные данные для проведения расчетов:

1. Район постройки жилого малоэтажного дома.
2. Климатическая характеристика района.

Данные по СП 131.13330.2012: температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки; средняя температура отопительного периода; продолжительность отопительного периода;

Представленные показатели являются основными и наиболее важными, так как необходимы для учета влияния климатических характеристик и влияют на выбор источника теплоснабжения малоэтажного дома.

Для выбора автономных котельных агрегатов осуществляется расчет: тепловых потерь здания и тепловой нагрузки на горячее водоснабжение. Устанавливаемый в здании котельный агрегат должен обеспечивать выработку тепловой энергии покрывающей тепловые потери здания и затраты тепловой энергии на нагрев воды для нужд горячего водоснабжения. Таким образом, мощность котла

должна быть чуть больше суммы тепловых потерь здания и затрат тепловой энергии на нагрев воды для нужд горячего водоснабжения.

Определение годового расхода топлива необходимо производить для двух сезонов: отопительного и неотопительного. Соответственно, при расчете расхода топлива необходимо определить средний расход тепловой энергии в отопительный и неотопительный период. В отопительный период в здании имеется: расход теплоты на отопление, который зависит от температуры наружного воздуха и расход теплоты на горячее водоснабжение, который зависит от температуры нагреваемой холодной воды.

В неотопительный период в здании имеется расход теплоты только на горячее водоснабжение. Для разработки методики расчета и подбора автономного котельного агрегата приведем основные формулы [1], расчет данных показателей необходим для оптимального выбора теплоснабжения малоэтажного дома, таблица 1.

Таблица 1

Расчет и подбор автономного котельного агрегата

Показатели		Формула расчета	Обозначения
1. Отопительный период	1.1. Расход теплоты на отопление (Гкал)	$Q_o^{o.p} = Q_{тп} \cdot 24 \cdot \frac{(t_b - t_{от. пер})}{(t_b - t_n)} \cdot z_{от. пер}$	где $Q_{тп}$ – расчётное значение тепловой нагрузки отопления, Гкал/ч (1 кВт = 0,00086 Гкал/час); t_b – усреднённое расчётное значение температуры воздуха внутри отапливаемых зданий; $t_{от. пер}$ – средняя температура отопительного периода со средней суточной температурой наружного воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$; t_n – расчётное значение температуры наружного воздуха для проектирования отопления; $z_{от. пер}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

1. Отопительный период	1.1.1. Расчетные теплопотери помещений жилого здания вычисляются по уравнению теплового баланса (Гкал/ч) [2]:	$Q_{\text{тп}} = Q_o + \sum Q_d + Q_{\text{ин}} - Q_6$	где Q_o – тепловые потери помещения через наружные ограждения, Вт; $\sum Q_d$ – суммарные добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции здания, Вт; $Q_{\text{ин}}$ – потери теплоты на инфильтрацию, Вт; Q_6 – бытовые тепловыделения, Вт.
	- расчет тепловых потерь через наружные ограждения;	$Q_o = F \cdot k \cdot (t_v - t_n) \cdot n$	где F – площадь ограждающей конструкции, м ² ; k – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций; t_v – температура воздуха в помещении; t_n – температура воздуха наиболее холодной пятидневки; n – коэффициент, учитывающий ориентацию ограждения по отношению к наружному воздуху.
	- расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха;	$Q_{\text{ин}} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_v \cdot c \cdot (t_v - t_n)$	где c – теплоемкость воздуха, 1 кДж/(кг·°С); L – расход удаляемого воздуха, м ³ /ч, принимаемый для жилых зданий равным 3 м ³ /ч на 1 м ² площади жилых помещений и кухни, для административных помещений равным 4 м ³ /ч на 1 м ² площади; ρ_v – плотность внутреннего воздуха, кг/м ³ , определяемая по формуле $\rho_v = \frac{353}{273 + t_v}$.
	- бытовые тепlopоступления определяются.	$Q_6 = 10 \cdot F_{\text{пл}}$	где $F_{\text{пл}}$ – площадь пола, рассматриваемого отапливаемого помещения, м ² .

1. Отопительный период	1.2. Расход теплоты на горячее водоснабжение (Гкал)	$Q_{г.в.}^{о.п} = m \cdot Q_T \cdot z_{от. пер}$	где Q_T – средний часовой расход теплоты на горячее водоснабжение, Гкал/час (см. п. 5); m – количество часов потребления горячей воды в сутки, ч;
	1.2.1. Расход теплоты за средние сутки.	$Q_{т,м} = \frac{q_{т,м} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_m^h - t^c) \cdot (1 + \beta)}{24} \cdot 0,238 \cdot 10^{-6}$	где ρ – плотность воды, принимаемая равной 1000 кг/м ³ ; c – удельная теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/(кг·К); t_m^h – температура горячей воды в точке водоразбора, принимаемая равной 55 °С; t^c – температура холодной воды, принимаемая равной 5 °С; β – коэффициент, принимаемый для изолированных стояков равным 0,05–0,2, для неизолированных $\beta = 0,1–0,3$.
	- расход горячей воды в средние сутки (м ³ /сут)	$q_{т,м} = \frac{q_{и,м} \cdot U}{1000}$	где $q_{и,м}$ – норма расхода горячей воды, л, в средние сутки, принимается равным 105 л.
2. Неотопительный период	Расход теплоты на горячее водоснабжение (Гкал/час)	$Q_{г.в.}^{н.п} = m \cdot Q_T \cdot \frac{55 - t_{л}}{55 - t_3} \cdot L \cdot (350 - z_{от. пер})$	где L – коэффициент, учитывающий снижение среднечасовых расходов на горячее водоснабжение в летний период по отношению к отопительному периоду (допускается принимать $L = 0,8$); $t_{л}$, t_3 – средняя летняя и зимняя температуры холодной воды, соответственно (допускается принимать 15 °С, 5 °С – соответственно); 350 – число суток в году работы системы горячего водоснабжения.

3. Суммарное количество потребляемой тепловой энергии в году (Гкал)	$Q_p = Q_o^{o.п} + Q_{г.в.}^{o.п} + Q_{г.в.}^{н.п}$	$Q_o^{o.п}$ – расход теплоты на отопление; $Q_{г.в.}^{o.п}$ – расход теплоты на горячее водоснабжение (в отопительный период); $Q_{г.в.}^{н.п}$ – расход теплоты на горячее водоснабжение (в неоперительный период).
4. Годовой расход топлива (кг/год или м ³ /год)	$B_{топл.}^{год} = \frac{Q_p \cdot 10^6}{Q_{топл.} \cdot \eta_{к.а.}}$	где $Q_{топл.}$ – теплотворная способность топлива, ккал/кг; $\eta_{к.а.}$ – коэффициент полезного действия котельного агрегата, доля.
5. Расход денежных средств, на топливо за 10-и летний период (кроме электрокотла) (руб.)	$З_{топл.} = B_{топл.}^{год} \cdot C_{топл.} \cdot 10$	где $C_{топл.}$ – стоимость топлива для региона, руб./кг или руб./м ³
6. Расход денежных средств, исходя из продолжительности работы котла и реально действующих тарифов в регионе (для электрокотла) (руб.)	$З_{э.к.} = Q_p \cdot T_{э}$	где Q_p – суммарное количество потребляемой тепловой энергии в году, кВт·ч (1 Гкал = 1163 кВт·ч); $T_{э}$ – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

Расчеты по формулам, а также данные о стоимости котельных агрегатов сводим в таблицу для выявления наиболее экономически выгодного источника тепловой энергии для строительства малоэтажного дома. Для этого на основе международной и отечественной практики можно выделить следующие методы:

1. Метод выбора по Борда. Согласно данному методу, источники тепловой энергии ранжируются в порядке убывания с присвоением значения ранга, а затем подсчитывается суммарный ранг для каждого источника.

2. Метод БОФа. Сравнительная оценка альтернатив по множеству показателей.

Используя данные методы выявим наиболее оптимальный источник теплоснабжения для строительства малоэтажного дома блокированного типа, для этого введем следующие обозначения:

- A_{ji} – соответствующий котельный агрегат с номером i по показателю с номером j ;
- W_{ji} – необходимые для выбора котельного агрегата показатели с номером i по котельному агрегату с номером j ;
- R_{ji} – соответствующий ранг котельного агрегата с номером i по показателю с номером j .

Далее согласно правилу Борда варианты котельных агрегатов ранжируются по каждому показателю в порядке убывания с присвоением им соответствующих значений ранга (таблица 2), затем подсчитывается суммарный ранг по каждому котельному агрегату $\sum_j^i A_{ji}$.

Таблица 2

Присвоение рангов по правилу Борда

Ранги	W_{ji}	...	W_{ji}
i	A_{ji}	...	A_{ji}
...	...	...	...
2	A_{12}	...	A_{1i}
1	A_{11}	...	A_{1i}

Выбор котельного агрегата определяется по максимальной сумме суммарного ранга $\sum_j^i A_{ji} \rightarrow \max$. Для этого добавляется специальный столбец в таблице ранжирования технико-экономических показателей котельных агрегатов, значения в котором соответствуют рангу строки. Следовательно, котельный агрегат, имеющий наилучшее значение по одному из показателей, имеет ранг 7, а ранг 1 соответствует наихудшему значению. Наилучшими вариантами считаются котельные агрегаты, набравшие наибольшую сумму рангов, дальнейшее исследование строится по выявленным вариантам.

Далее для того, чтобы определиться в оставшихся альтернативах необходимо воспользоваться методом БОФа, суть которого заключается в следующем:

1. Провести ранжирование показателей необходимых для выбора котельного агрегата (W_{ji}), таблица 3.

Присвоение рангов по методу БОФа

Ранг (R_j)	Показатели (W_j)			
	W_1	W_2	...	W_n
	1	2	...	n

Из таблицы следует, что показатели записываются в порядке важности, самый важный показатель $W_1 = 1$, следующий по важности $W_2 = 2$ и т. д.

2. Определить весовые коэффициенты (V_j) для каждого j -го показателя:

$$V_j = 1 - \frac{R_j - 1}{N}; j = 1, N,$$

где N – число показателей необходимых для выбора котельного агрегата

3. Провести нормирование полученных весовых коэффициентов:

$$\tilde{V}_j = \frac{V_j}{\sum_{m=1}^N V_m},$$

4. Нормализация показателей необходимых для выбора котельного агрегата в соответствии с условиями максимума или минимума каждого из рассматриваемых показателей и составление таблицы нормализованных значений показателей, таблица 4.

Нормализация на максимум и минимум показателей находится по следующим формулам:

$$H_{max} = \frac{A_{ij}}{A_{max}},$$

$$H_{min} = 1 - \frac{A_{ij}}{A_{max}}.$$

Нормализованные значения показателей по правилу Борда

Показатели Котельный агрегат	N_{ji}	...	N_{ji}
A_n	N_{ji}	...	N_{ji}
....	...	...	...
A_2	N_{12}	...	N_{1i}
A_1	N_{11}	...	N_{1i}
V	V_1	...	V_{1i}
Условие нормализации	max / min	max / min	max / min

5. Расчет значений обобщенного показателя $\bar{W}_j$ по каждому источнику теплоснабжения:

$$\bar{W}_j = \sum_{i=1}^N \hat{V}_{ij},$$

$$\hat{V}_{ij} = \tilde{V}_j \cdot V_{ij},$$

$$\bar{W}_j \rightarrow \max.$$

Результаты расчета значений обобщенных показателей по каждому котельному агрегату сводятся в итоговую таблицу 5.

Таблица 5

Результаты расчета значений обобщенных показателей
по каждому котельному агрегату

N_i	N_1	...	N_n
$\bar{W}_i$	$\bar{W}_1$	...	$\bar{W}_n$

Представленная методика позволяет по критериям наибольшего результата сделать выбор оборудования для оптимального теплоснабжения малоэтажного дома, для наглядности результаты расчетов могут быть приведены в таблице [3].

Список литературы

1. Хуторной А.Н. Котельные установки: учебное пособие с грифом УМО / А.Н. Хуторной. – Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2016. – 220 с.
2. Хрусталева Б.М. Теплоснабжение и вентиляция: методические указания к курсовому и дипломному проектированию / под ред. проф. Б.М. Хрусталева. – М.: АСВ, 2008. – 784 с.
3. Спешилова Н.В. Применение математических методов к оценке эффективности инвестирования агропромышленного комплекса Оренбургской области / Н.В. Спешилова, А.Ю. Сгибнева // Науковедение. – 2015. – Т. 7, №6. – С. 1–14.