С.М. Насирдинова, В.И. Саньков, Н. Дегембаева
Кыргызский Государственный Технический Университет им. И. Раззакова

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СЕЗОННОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

В работе рассматриваются экологические факторы, влияющие на здоровье населения, и предлагаются методы их устранения с применением возобновляемых источников энергии. Исследование проводится для условий города Бишкек, Кыргызская Республика. В качестве примера расчетным путем определены выбросы одной средней образовательной школы нашей столицы, которая в отопительный период для теплоснабжения использовала уголь. В результате расчета определено количество выбрасываемых вредных веществ в атмосферу за один отопительный период. Далее нами предлагается метод решения данной проблемы. Целью работы является оценка выбросов вредных веществ при сжигании твердого топлива и методы их устранения за счет использования солнечных коллекторов и сезонного аккумулирования тепла.

Ключевые слова: солнечное теплоснабжение, сезонное аккумулирование тепла, возобновляемые источники энергии, загрязнение атмосферного воздуха, выбросы загрязняющих веществ, угольное отопление, теплоизоляция зданий, теплопотери, солнечные коллекторы, бак-аккумулятор тепла, экологическая безопасность, расчет тепловой нагрузки, бишкек, школа №19, базальтовое волокно, коэффициент теплоотдачи, система отопления, энергоэффективность, программа расчета теплопотерь, термическое сопротивление.

Введение

Одним из серьезнейших экологических факторов, затрагивающих здоровье каждого человека, является загрязнение атмосферного воздуха.

Столица Кыргызстана г. Бишкек в последние годы каждую зиму занимает передовые места в мировом рейтинге по уровню загрязнения воздуха, и это обстоятельство создает большую экологическую угрозу для нашей страны.

Зимой этого года столица Кыргызстана вновь оказалась в топе мирового рейтинга по качеству воздуха. В декабре 2022 и январе 2023 года в среднем данные датчиков показывали не ниже 200 IQA, что является нездоровым показателем [9].

В этот период, по данным сайта контроля качества воздуха, уровень загрязнения составлял в определенных районах 430 AQI и оценивался как чрезвычайно опасный для здоровья.

В течение дня человек пропускает через свои легкие более чем два миллиона литров воздуха, совершая при этом около 20 тысяч вдохов. Почти все вещества, принесенные воздухом, попадая в легких человека, минуя печень, растворяются в крови. Далее вредные частицы распределяются по всем органам и больше всего вредят работе сердца [1].

Существует множество успешных действий, одно из которых предлагается ниже.

Бишкек является одним из крупнейших и наиболее населенных городов в стране. В столице для теплоснабжения различных зданий, в том числе и школ, существуют 160 котельных. Из них 46 работают на твердом топливе, а остальные на газе. Кроме этого, вокруг Бишкека насчитывается 54 жилмассива, где проживают около 300 тысяч человек. Соответственно, в частном секторе люди в зимний период времени для теплоснабжения используют низкокалорийный уголь. [10].

Он меньше горит, но больше дымит. Но и уголь тоже для многих жителей жилмассивов недоступен. Вместо него используют текстильные отходы, резину, поскольку это бесплатно. Существенную роль загрязнения атмосферного воздуха, конечно же, оказывает угольное отопление, но и не только, другие факторы тоже.

С целью исследования причин экологической обстановки в Бишкеке и для предложения метода решения нами был выбран объект исследования, которым является средняя образовательная школа (СОШ).

Был проведен анализ угольных котельных среднеобразовательных школ [3]. Уголь, являясь ископаемым топливом, при сжигании выделяет огромное количество углекислого газа (CO2) и других вредных веществ. К примеру, за 2019 год угольная котельная СШ №21

использовала 186,900 тонны угля (в перерасчете в условное топливо составляет 108403,275 т.у.т.), что естественно привело к значительным выбросам углекислого газа, загрязняя при этом атмосферу. Такая же ситуация наблюдается и в угольных котельных СШ №19 и СШ №40 [3].

Нами проведена оценка выброса вредных веществ в атмосферу СШ №19 при сжигании твердого топлива в количестве 204240,0 тонны угля за отопительный период 2022/23 года. Расчет выполнен по методике, которая предлагается в литературе [2].

Предположим, использовали местный сулюктинский уголь, у которого следующие теплотехнические характеристики:

- низкая теплота сгорания сулюктинского угля – $Q_н$ =18.4 МДж/кг;
- зольность угля (на рабочую массу) A=17%;
- содержание серы (на рабочую массу) S=0.7%.

Согласно расчетам, расход угля в самый холодный месяц потребляется 2,2 тонны угля в день с учетом продолжительности отопительного периода около 165 дней, тогда в среднем за месяц потребляется для отопления 37,14 тонны.

При сжигании твердого топлива в атмосферу от котельной выбрасываются твердые частицы, диоксиды азота и серы и оксид углерода.

1) Валовой выброс твердых частиц в дымовых газах (в тоннах за отопительный период) [2]:

$$M_т = A\,m \cdot x \left(1 - \frac{\eta_т}{100}\right), \quad (1)$$

где A – зольность топлива в %, M – количество израсходованного топлива в год, $\eta_т$ – эффективность золоуловителя (≈ 97), x – безразмерный коэффициент, характеризующий долю уносимой с дымовыми газами летучей золы, зависит от топки и топлива.

Максимально разовый выброс твердых частиц в дымовых газах, г/с [2]:

$$G_т = A \cdot m' \cdot x \left(1 - \frac{\eta_т}{100}\right). \quad (2)$$

Расчет предельно-допустимых выбросов загрязняющих веществ проводится для случая максимального расхода топлива.

2) Количество оксида углерода (CO), выбрасываемого в атмосферу (г/с, тонна за отопительный период) при сжигании жидкого и твердого топлива, рассчитывают по формуле [2]:

$$M_{CO} = C_{CO} \cdot m \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot 0.001, \quad (3)$$

где C_{CO} – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т, или:

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q_н, \quad (4)$$

где q_3 – потери вследствие химической неполноты сгорания топлива в %.

Для угля q_3 = 2, R – коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленную наличием в продуктах неполного сгорания оксида углерода, для угля R=1 – теплоты, вызванной механической неполнотой сгорания топлива, для угля $q_4 = 8$ [2].

3) Расчет выбросов оксида азота:

$$M_{NO_2} = m \cdot Q_н \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta) \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где: K_{NO2} – параметр, характеризующий количество окислов азота в кг, образующихся на один ГДж тепла, K_{NO2}=0.15 кг/кДж, β – коэффициент, учитывающий степень снижения выбросов окислов азота в результате применения технических средств, β = 0 [2].

Максимально разовый выброс:

$$G_{NO_2} = m \cdot Q_н \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta) \cdot 10^{-3}, \text{ г/с}. \quad (6)$$

3) Расчет выбросов оксидов серы (so_2):

$$M_{SO_2} = 0{,}02 \cdot m \cdot S \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \, x \left(1 - \eta''_{SO_2}\right), \quad (7)$$

где S – содержание серы в топливе на расчетную массу, %, η'_{so2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива и для прочих углей =0.1, η''_{so2} = 0.02 для масла [2], η''_{SO2} – для оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе, в данном случае равно нулю [2].

Максимально разовый выброс оксида серы, г/с:

$$G_{SO_2} = 0{,}02 \cdot m' \cdot S \cdot \left(1 - \eta'_{SO_2}\right) \times \left(1 - \eta''_{SO_2}\right). \quad (8)$$

Таким образом, при сжигании 240204 тонн угля за отопительный период, при отсутствии системы очистки продуктов сгорания, расчетные данные показывают, что за отопительный сезон выбрасывается в атмосферу 12,43 тонны экологически вредных веществ, результат которых представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу

Единица измерения	SO_2, (оксид серы)	CO	NO_2 (оксид азота)	Твердые вещества (зола)
Тонна за отопительный период	2,57	6,91	0,56	2,39
г/с	0,17	0,469	0,038	5,35

Таким образом, если только одна школа за отопительный период выбрасывает такое количество вредных веществ, не трудно представить количество вредных веществ от всех других организаций и частного сектора вокруг столицы, которые отапливаются только углем.

Методика расчета солнечной системы теплоснабжения сезонного аккумулирования тепла

Нами предлагается метод аккумулирования тепловой энергии с использованием сезонного бака-аккумулятора тепла, и ниже приведены расчеты для ее реализации [5;7]. Этот способ можно применить не только для всех образовательных учреждений, но и для всех других организаций, где применяется для теплоснабжения уголь. Использование газа для отопления, конечно, очень привлекательно, но надо учитывать тот фактор, что газ для нас тоже импортируемое топливо, а это означает – зависимость.

Под сезонным аккумулированием тепла понимается накопление тепла в баке-аккумуляторе с помощью солнечных коллекторов вне отопительного периода с 1 апреля по 31 октября [7].

Основным параметром, определяющим потребность здания в тепловой энергии, является его тепловая нагрузка. В основном тепловая нагрузка определяется теплофизическими свойствами строительных материалов, конструкцией, объемом здания, а также климатологическими факторами, где расположено здание.

Для этой цели, разработанной ранее нами методикой, определены тепловые потери СШ №19, которая построена в 1965 году и расположена в г. Бишкеке.

Из проекта плана здания школы определены следующие параметры: расчетная высота h=3,2 м, расчетная общая площадь 1-го и 2-го этажей школы

F=2323,1 м^2.

Школа двухэтажная, кирпичные стены, кровля местами металлическая, местами шиферная. В аудиториях: полы и двери деревянные с советских времен, окна–пластиковые, в вестибюле и в коридорах полы бетонные.

Рисунок 1 – Средняя образовательная школа №19

Для расчета тепловых потерь здания нами было построена расчетная схема, которая приведена на рисунке 2.

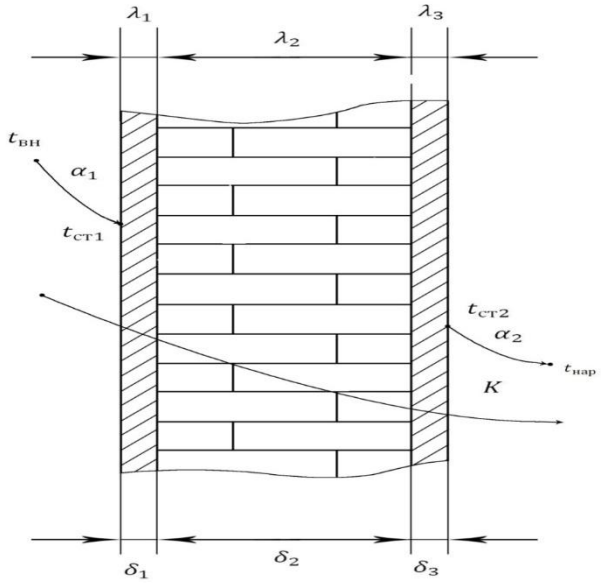

Рисунок 2 – Расчетная схема ограждающей конструкции зданий (фрагмент),

где $t_2 = t_н$ – температура наружного воздуха не постоянная; $t_{вн}$ = t_1 – температура внутри здания, принимается согласно СНиП; δ_1 – толщина штукатурки из цементно-песчаного раствора с внутренней стороны стены; δ_2 – толщина кирпичной стены; δ_3 – толщина штукатурки наружной стены; λ_1 – коэффициент теплопроводности штукатурки с внутренней стороны стены; λ_2 – коэффициент теплопроводности кирпичной стены; λ_3 – коэффициент теплопроводности штукатурки с внутренней стороны стены; α_1 – коэффициент теплоотдачи внутри помещения; α_2 – коэффициент теплоотдачи снаружи помещения.

Как было нами отмечено ранее, для расчета тепловых потерь здания с учетом реального изменения среднегодовых величин температуры окружающего воздуха необходимо каждый раз определять величину коэффициента теплоотдачи α_2 снаружи помещения и осуществлять коррекцию теплопотерь с учетом этих изменений. Т.е. практически задачи определения тепловых потерь здания в сравнении с классическим (холодная пятидневка при -19^0C) подходом переходит в задачу с нестационарным режимом теплопередачи.

Для решения этой задачи нами был использован следующий подход.

Величину теплопотери здания определяли как:

$$Q = (t_1 - t_2) \cdot F \cdot K \cdot x \cdot y, \qquad (9)$$

где F = a·b – поверхность стены, окна, двери и пола и т.д.; a – ширина здания, $a \neq const$; b – высота здания, b≠const задаются; x – добавки на стороны света; Y – коэффициент на две и более стен.

Коэффициент теплопередачи есть функция термического сопротивления:

$$K = \frac{1}{R_0}. \qquad (10)$$

Сопротивление теплопередачи – R_0 можем определить как:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} R_{\lambda i} + \frac{1}{\alpha_2}, \qquad (11)$$

где $R_{\lambda i} = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – термическое сопротивление ограждающей конструкций 1-го слоя.

В данном случае поскольку температура внутри помещения постоянная, то коэффициент теплоотдачи α_1 является величиной постоянной, тогда как коэффициент теплоотдачи снаружи помещения α_2 есть функция некоторых параметров и может быть записана как:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}. \qquad (12)$$

Число Нуссельта определяется по критериальному уравнению в зависимости от режима течения жидкости:

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^{0,25} \ (Pr_ж/Pr_{ст})^{0,25}, \qquad (13)$$

где $(Pr_ж/Pr_{ст})^{0,25}$ = 1 так как для воздуха их отношение стремится к 1; $Pr_{ст}$, $Pr_ж$ – критерий Прандтля соответственно для воздуха и стенки выбирается из таблицы /7/; C – постоянное число, которое зависит от режима течения жидкости; Gr – критерий Грасгофа, который определяется по формуле:

$$Gr = \frac{g\beta(t_c - t_2) \cdot l^3}{\nu^2}, \qquad (14)$$

где g – скорость свободного падения, м^2/с; β – коэффициент объемного расширения, β= 1 ⁄ (1+273,15) , /1⁄ К/; t_c – температура стенки, ^{o}C; t_2 – температура воздуха, ^{o}C; ν – коэффициент кинематической вязкости, который выбирается из таблицы |7| . Физические свойства воздуха по заданной температуре, которая изменяется в течение отопительного периода, тоже определяются из этой же таблицы, т.е. λ= f (t); Pr=f(t). Критерий Грасгофа определяется, предварительно задаваясь температурой наружной поверхности стенки t_c.

Знание коэффициента теплоотдачи α_2 и коэффициента теплопередачи К позволяет определить плотность теплового потока из уравнений:

$$q_a = K \cdot (t_1 - t_2), \qquad (15)$$

$$q_в = \alpha_2 \cdot (t_c - t_2). \qquad (16)$$

Теперь можем уточнить температуру стенки:

$$t_{Суточ.} = t_c + q_a \frac{1}{\alpha_2}. \qquad (17)$$

Эта процедура должна повторяться до тех пор, пока не выполняется условие равенства плотности теплового потока $q_a = q_в$ и условие равенства температуры наружной стенки $t_{Суточ.} = t_{ci} \pm 0{,}01^0$C.

Данные условия обеспечивают достаточную точность расчетов при определении коэффициентов теплоотдачи α_2 и теплопередачи К. После достижения этих условий и получения окончательных значений α_2 и К определяем тепловые потери через заданную поверхность по уравнению (9).

Разработка алгоритма программы для определения тепловой нагрузки (тепловой потери) здания

Тепловые потери определяются как сумма потерь через все наружные поверхности здания на основании вышеизложенной методики расчета. Нами был разработан алгоритм программы определения тепловых потерь здания.

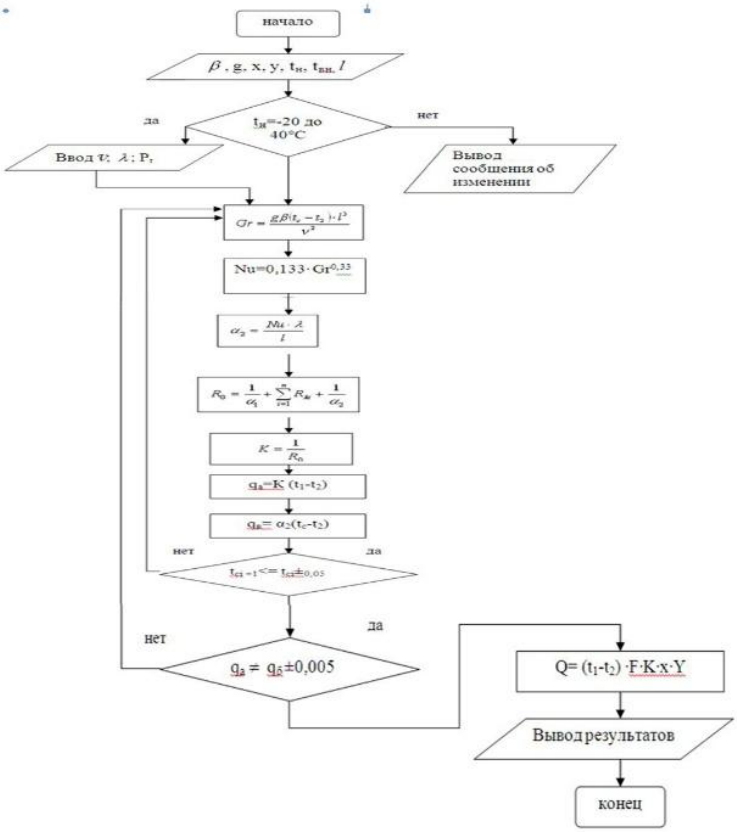

Рисунок 3 – Блок-схема программы теплопотерь здания

С использованием разработанной программы исследовали влияние теплотехнических параметров средней школы на величину теплопотерь.

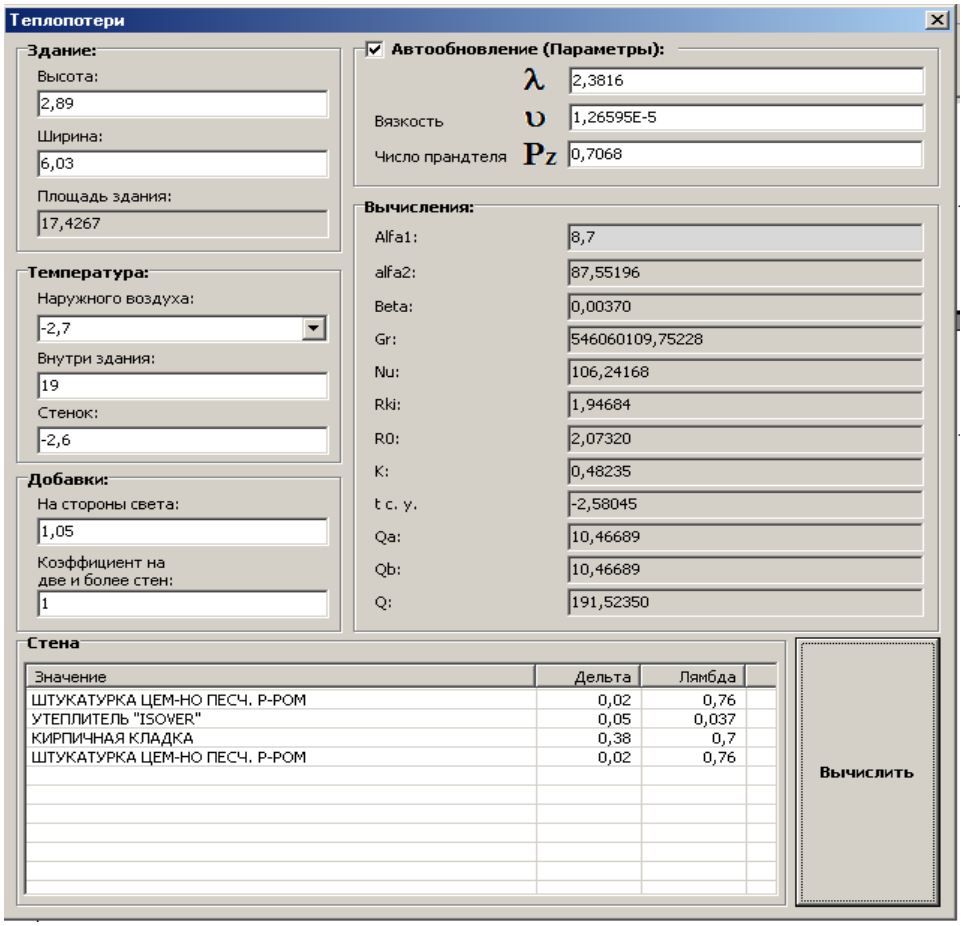

Рисунок 4 – Интерфейс программы тепловых потерь здания средней школы

Расчеты теплопотерь здания проведены при среднемесячной температуре воздуха за отопительный период с ноября по март. Данные результатов расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчеты теплопотерь здания школы

	Ноябрь 2,5 °С	Декабрь -2,7 °С	Январь -5 °С	Февраль -2,9 °С	Март 4 °С	Суммарные теплопотери школы (с учетом, что школа 2-этажная), кДж за отопительный период
Изоляция дома при	$Q_{п3}$, Вт за месяц					
$\delta_{из}$ = 0 см	55386,7	58090,83	60956,7	58016,29	54899,24	$1{,}554939*10^{9}$
$\delta_{из}$ = 10см	10545,95	10949,18	12115,05	11674,64	10457,59	288963469
$\delta_{из}$ = 20см	5632,6	6036,79	7202,66	6762,86	5545,2	146085690
$\delta_{из}$ = 30см	3703,9	4108,03	5273,9	4833,79	3616,44	111642728

Суммарные теплопотери здания школы определили по формуле:

$$Q^{п3}{}_{\delta=0} = \sum Q^{п3}{}_{5мес.} \cdot 30 \cdot (3600 \cdot 10^{-3}) \cdot 24, \text{кДж за 5 месяцев.} \quad (17)$$

Результаты расчета представлены в таблице 2.

По данным таблицы 2 построена диаграмма теплопотерь здания в отопительный период, которая приведена на рисунке 5.

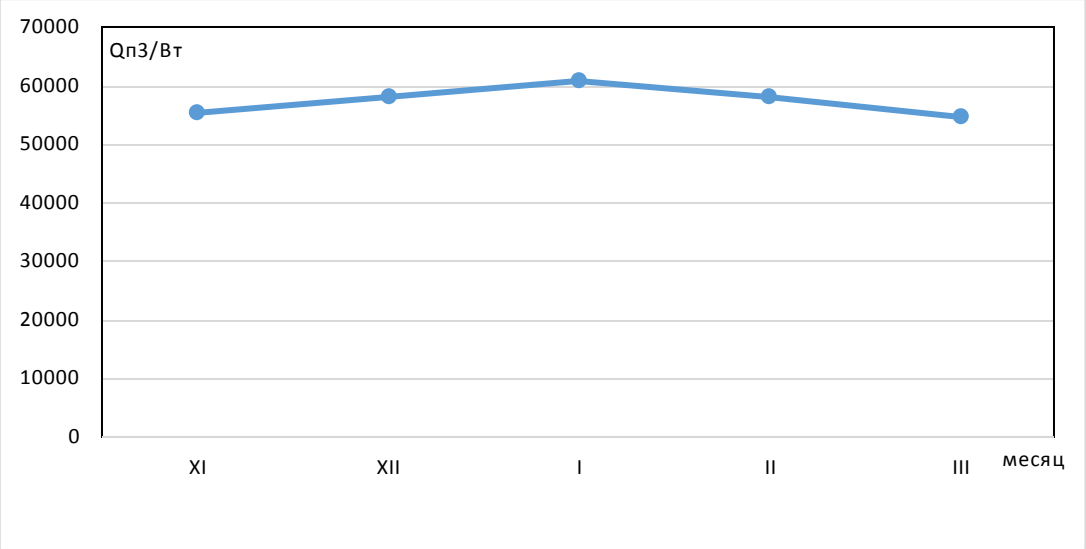

Рисунок 5 –Теплопотери без изоляции средней школы №19 за отопительный период, кДж

Отслеживание характера изменения кривой в зависимости от температуры окружающей среды показывает адекватность полученных результатов. Так, на диаграмме видно, что максимальная величина теплопотерь здания достигается в январе, что соответствует самой низкой среднемесячной температуре воздуха (-5 ^{o}C).

Таким образом, можно констатировать, что разработанная методика и предложенная программа позволяют осуществить более точный расчет теплопотерь здания и тем самым способствуют правильному проектированию и выбору системы отопления.

Как известно, использование теплоизоляционных материалов для утепления здания путем облицовки внешних ограждающих конструкций существенным образом позволяет снизить теплопотери. С использованием разработанной программы нами были исследованы влияния толщины изоляционного материала и его теплотехнические свойства на величину теплопотерь.

При этом в качестве изоляционного материала было выбрано базальтовое волокно как наиболее широко используемое в практике строительства, коэффициент теплопроводности которого составляет (0,039 Вт/м К).

Надо отметить, что программа позволяет исследовать теплоизоляционные материалы и других видов с разными коэффициентами теплопроводности.

Результаты расчетов представлены в виде диаграмм на рисунке (6).

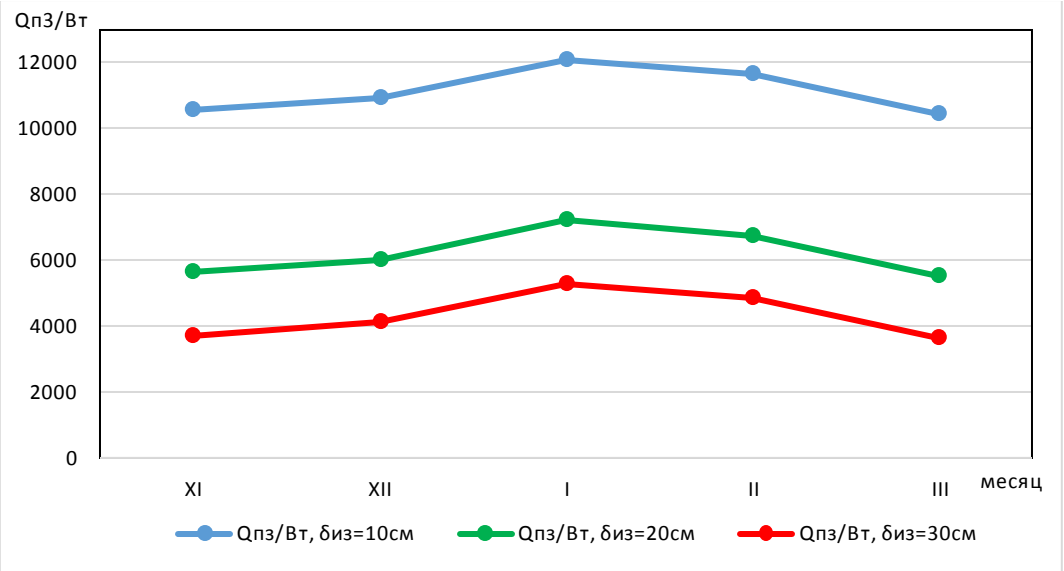

Рисунок 6 – Теплопотери средней школы №19 за отопительный период (кДж) с разной толщиной изоляции

Результаты и сравнения

По результатам исследований из полученных диаграмм можно увидеть, как меняются теплопотери здания с разной толщиной изоляции. В данном случае расчет теплопотери здания проводился также лишь для отопительного периода времени. Как видно из полученных диаграмм, увеличение толщины материала приводит к существенному снижению теплопотерь. Однако это зависимость явно не линейная. Если первоначальное увеличение толщины изоляции лишь в 10 см приводит практически к снижению теплопотерь на 70–80%, то дальнейшее увеличение толщины до 30 см уже не дает такого эффекта. Этот вывод очень хорошо согласуется с известным положением в критически оптимальной величине толщины изоляционного материала при превышении, когда эффективность практически сводится к нулю.

Например, когда здание школы изолируем с толщиной изоляции 30 см, тогда теплопотери в самое холодное время по сравнению с неизолированным зданием сокращаются в 11,5 раза. В цифровых значениях в январе теплопотери неизолированного дома составляет $157{,}99 \cdot 10^6$ кДж в сутки (рис.5), а теплопотери здания с изоляцией 30 см равны $13{,}67 \cdot 10^6$ кДж в сутки.

Здание без изоляции в это же время по сравнению со зданием школы с изоляцией 10 см имеет теплопотери в 5 раз больше, поскольку здание с изоляцией 10 см дает значение $31{,}402 \cdot 10^6$ кДж в сутки.

Разница теплопотери между зданием с изоляцией 30 см и с изоляцией 10 см составляет 2,29 раза, а если изоляцию сократим от 30 см до 20 см, тогда теплопотери увеличатся в 1,36 раза.

Солнечная система сезонного аккумулирования тепла

Для покрытия теплопотери здания мы должны удовлетворить условие $Q_{пз} = Q_j$. Мы предварительно определили поступление солнечной радиации с 1410м^2 коллекторов с учетом наклона солнечных коллекторов, которое составило Q_j=146696400 кДж за отопительный период. Предположим, если размер солнечного коллектора 2×1, то для покрытия тепловой нагрузки здания понадобится 705 штук солнечных коллекторов.

Теперь перед нами стоит задача аккумулирования этой энергии и определение ориентировочного объема бака-аккумулятора [6].

Нам известно, что потери здания $Q_{пз}$ должны быть равны количеству тепла бака-аккумулятора $Q_{ба}$, т.е. $Q_{пз} = Q_{ба}$, а $Q_{ба} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1)$.

Тогда:

$$Q_{пз} = Q_{ба} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1), \qquad (18)$$

где V – объем бака-аккумулятора, м^3; ρ – плотность теплоносителя, кг\м3; C_p – теплоемкость теплоносителя, кДж\ кг; t_2 – температура воды к началу отопительного периода, ^oC; t_1 – температура воды к 1 апреля, которая должна согреться до 95 ^oC к 31 октября.

Из формулы (19) определяем ориентировочный объем бака при разной толщине изоляции дома. Здание без изоляции, ($\delta_{из}$ = 0 см):

$$V = [Q_{пз} / (\rho \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1))] = 1{,}554939 \cdot 10^9 / (1000 \cdot 4{,}19 \cdot (95\text{-}10)) = 4365{,}96 \text{ м}^3. \qquad (19)$$

Аналогичным образом определили объемы баков с разной толщиной изоляции дома:

при $\delta_{из}$ =10 см: V= 811 м^3;

при $\delta_{из}$ =20 см: V= 410,18 м^3;

при $\delta_{из}$ =30 см: V= 313,47 м^3.

Заключение

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Для оценки экологической обстановки в Бишкеке, а также для исследования тепловой нагрузки здания объектом была выбрана СОШ №19. Из типового проекта здания (технический паспорт школы) определены его конструктивные и архитектурно-планировочные решения.

2. Разработанная нами методика расчета тепловых потерь здания и коэффициента теплоотдачи с учетом изменяющихся параметров внешней среды позволила создать блок-схему алгоритма расчета. На основе этого алгоритма нами разработана компьютерная программа расчета теплопотерь здания с использованием программного продукта DELFI.

3. Обобщение многолетних метеорологических данных, взятых их климатологического центра о температуре воздуха в городе Бишкек, позволило получить реальное изменение среднемесячных температур воздуха в годовом цикле, т.е. $t_н = t(\tau)$.

4. Результат расчета показывает, что с учетом реальной температуры окружающего воздуха компьютерная программа позволила выбрать оптимальную толщину изоляции здания школы. Рекомендуемой толщиной изоляции здания является 20 см изоляционного материала базальтового волокна, как широко распространенного на нашем рынке.

5. Для покрытия теплопотери здания определили поступление солнечной радиации с 1410 $м^2$ коллекторов, что соответствует 705 штукам солнечных коллекторов размером 2×1.

6. На основе исследования влияния толщины теплоизоляции на теплопотери здания установлено, что имеется разумный предел толщины теплоизоляции, который не должен превышать 30 см. Для покрытия теплопотери здания школы рекомендуется ориентировочный объем сезонного бака-аккумулятора, который равен V= 410,18 $м^3$ при толщине изоляции дома $\delta_{из}$ =20 см.

В целом разработанная нами методика позволяет определить тепловую потребность любого здания, также подобрать систему солнечного теплоснабжения к этому зданию.

Литература

1. Аналитическое исследование ЦППИ «Экологическая катастрофа в Бишкеке: необходимо внедрять лучшие модели поведения для обеспечения чистого воздуха» [Электронный ресурс]: https://center.kg/article/295, 4 февраля 2021 года.
2. Бондалетова Л.И., Новиков В.Т., Алексеев Н.А. «Расчеты выбросов загрязняющих веществ при сжигании твердого топлива в котлоагрегатах котельных». Методическое пособие по выполнению практических занятий по курсу «Промышленная экология». – Томский политехнический университет, 2000 г.
3. https://studfile.net/preview/3914754/
4. Мэрия города Бишкек. КП «Бишкектеплоэнерго». Расход угля и газа за один отопительный сезон https://bishkek.gov.kg/ru/resolution/97
5. Национальный статистический комитет Кыргызской Республики [Электронный ресурс]: http://www.stat.kg/ru/opendata/category/435/
6. Мазуренко А.С., Климчук А.А. и др. Разработка схемы комбинированной системы теплоснабжения с использованием сезонного аккумулирования тепла от гелиосистем. Одесский национальный политехнический университет. – Украина, Одесса, 2015. – С.15–20.
7. Насирдинова С.М. Результаты экспериментальных исследований процессов теплопередачи в солнечном баке-аккумуляторе (https://kstu.kg/journal/journalkstu@gmail.com) Известия, КГТУ им. И. Раззакова, 1(34). – Бишкек, 2015. – С.165–170.

8. H. Godd, S. Werner. Thermal energy storage systems for district heating and cooling. «Advances in Thermal Energy Storage Systems», Methods and Applications. Wood head Publishing seris in Energy, 2015, Pages 467–478.
9. https://www.sciencedirect.com/science/book/9781782420880
10. Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений), 19 декабря 2022 года. https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health
11. Самые загрязненные страны и регионы мира, 2018–2023 годы. https://www.iqair.com/ru/world-most-polluted-countries
12. https://kaktus.media/doc/433823_ndpk_15:_novostroyki_eto_bishkek.html#:~:text=% . (Дата обращения 17.03.2021)