



PARAMETRIC STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF A SEISMIC BASE ISOLATED BUILDING WITH AIR SOLAR HEATING SYSTEM

Vladimir ERMURATSCHI¹, Nicolai EREMENKOV², Cristina EFREMOV²

¹Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova

²S.A. "GRADIENT-CO"

Abstract. The concept of a seismically isolated building with solar heating system (SHS) with air solar collectors (ASC) and the seasonal heat storage (LTS), situated under the house has been proposed. Houses with solar heating system with different heat consumption have been examined: 21.15, 9.35 and 3.75 MWh. Influence of the main design and operational parameters on energy and economic indicators of the SHS have been investigated. Solar share of the building's heating ranged between 0.2-1. Two types of ASC have been considered: with selective and non-selective matrix absorber. LTS parameters were calculated for the variant without any heat exchanger with the use of plastic containers with water. Maximum water temperature inside LTS was varied in the range 55-95° C. Minimum cost of solar thermal energy is achieved with a solar fraction equal to 1, and it is approximately two times lower than using natural gas. We also consider the effectiveness of seismic impact on the house through the use of the LTS as a massive foundation of the house and its flexible insulation for seismic isolation of the house in case of earthquakes. It's shown the possibility of reducing the intensity of exposure up to 2-3 points on the MSK-64 scale. This will make the superstructure of the house lighter and less expensive, which further improves the economical indicators of the project.

Keywords: thermal insulation, base isolation, solar heating system, energy efficiency, seasonal heat storage.

STUDII PARAMETRICE ALE CARACTERISTICILOR CLĂDIRII IZOLATE SEISMIC CU SISTEMUL AERIAN DE TERMOAPROVIZIONARE SOLARĂ

Vladimir ERMURATSCHI¹, Nicolai EREMENKOV², Cristina EFREMOV²

¹Institutul de Energetică Academia de Științe a Republicii Moldova,

²S.A. "GRADIENT-CO"

Abstract. A fost propus conceptul unei clădiri izolate seismic cu sistemul de termoaprovizionare solară (ATS) cu colectoare solare aeriene (CA) și acumulatorul de căldură sezonieră (ACS), situat sub casă. Se examinează clădirile ce sunt echipate cu sistem de încălzire solară, cu consum diferit de căldură: 21.15, 9.35 și 3.75 MWh. Este efectuată cercetarea influenței parametrilor principali de proiectare și funcționare, privind energia și indicatorii economici ai ATS. Cota-parte a energiei solare în termoaprovizionarea clădirilor a variat între 0,2-1. Se studiază aplicarea a două tipuri de CA: matrice cu absorbant selectiv și neselectiv. Parametrii ACS au fost calculați și pentru varianta fără schimbătoare de căldură, cu utilizarea rezervoarelor din plastic cu apă. Temperatura maximală a apei în ACS a variat în intervalul 55-95° C. Costul minim al energiei termice solare se realizează prin cota solară egală cu o unitate și este aproximativ de două ori mai mică decât în cazul utilizării gazelor naturale. De asemenea, se examinează eficiența diminuării impactului seismic asupra casei datorite utilizării ACS în calitate de fundament masiv al casei și izolație flexibilă pentru case izolate seismic în timpul cutremurelor de pământ. Se reprezintă posibilitatea reducerii intensivității și expunerii cu 2-3 puncte pe scara MSK-64. Aceasta va permite executarea părții de la sol a clădirii, mai ușoară și mai puțin costisitoare, ceea ce va îmbunătăți și indicatorii economici ai proiectului.

Cuvinte cheie: izolare termică, izolație seismică, sistemul solar de alimentare cu căldură, eficiența energetică, acumulator de căldură sezonier.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМОИЗОЛИРОВАННОГО ДОМА С ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМОЙ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

V.V.Ермуратский¹, Н.Г.Ерёменков², К.М.Ефремова²

¹Институт энергетики АН Молдовы

²Градиент-К

Аннотация. Предложена концепция сейсмически изолированного дома с солнечной системой теплоснабжения с воздушными солнечными коллекторами (СВК) и сезонным аккумулятором тепла (САТ), расположенным под домом. Рассмотрены солнечные системы теплоснабжения домов с разным теплопотреблением: 21.15, 9.35 и 3.75 МВтч.

Выполнено исследование влияния основных конструктивных и режимных параметров на энергетические и экономические показатели ССТ. Солнечная доля в теплоснабжении дома варьировалась в пределах 0,2-1. Рассмотрено применение двух видов СВК: с селективным и неселективным матричным абсорбером. Параметры САТ рассчитывались для варианта без теплообменника с использованием пластиковых ёмкостей с водой. Максимальная температура воды в САТ варьировалась в диапазоне 55-95° С. Минимальная стоимость солнечной тепловой энергии достигается при солнечной доле равной единице, и она примерно в два раза ниже, чем при использовании природного газа. Рассмотрена также эффективность снижения сейсмического воздействия на дом за счёт использования САТ в качестве массивного фундамента дома и его эластичной теплоизоляции для сейсмической изоляции дома при землетрясениях. Показана возможность снижения интенсивности воздействия на 2-3 балла по шкале МСК-64. Это позволит сделать наземную часть дома более лёгкой и менее дорогой, что дополнительно улучшит экономические показатели проекта.

Ключевые слова: тепловая изоляция, сейсмическая изоляция, солнечная система теплоснабжения, энергетическая эффективность, сезонный аккумулятор тепла.

ВВЕДЕНИЕ.

Известно, что энергетически эффективный дом должен иметь малые потери тепла, а также использовать ВИЭ. В конечном итоге это должно позволить достичь уровня близкого к нулю потребления покупной энергии или даже создать энергетически активный дом [1]. Разумеется, что степень приближения к энергетически «идеальному дому» должна быть экономически и социально обоснована. При этом рассматривается проблема замещения традиционной энергии возобновляемой и снижения потребности в энергии не только новых зданий, но также уже существующих. Это означает оценку не только энергетических характеристик, но также экономических, экологических и социальных.

К настоящему времени проблема широкомасштабного использования солнечной энергии для горячего водоснабжения и отопления с краткосрочными аккумуляторами тепла получила теоретическое разрешение, а сами системы практическое распространение [2, 3]. Однако в таких системах достигается замещение не более 30% традиционной энергии. Большее замещение можно достигнуть, применяя долгосрочные аккумуляторы тепла (АТ) [3]. Крупные солнечно-топливные централизованные системы теплоснабжения с жидкостными солнечными коллекторами и долгосрочными АТ имеют недостаточно высокие экономические показатели [4]. Это связано, прежде всего, с высокой стоимостью солнечных коллекторов и, особенно, долгосрочных аккумуляторов явного тепла.

Ещё менее проработанным является решение проблемы создания для индивидуального дома децентрализованной системы с высокой солнечной долей и себестоимостью тепла ниже, чем у традиционных источников. Так, в работе [5] показано, что простой срок окупаемости комбинированной системы теплоснабжения с использованием воды в сезонном аккумуляторе тепла (САТ) и в качестве теплоносителя превышает 25 лет. И это не смотря на то, что замещается наиболее дорогой вид традиционных энергоресурсов – электроэнергия.

Вместе с тем, незаслуженно «забытым» оказалась солнечная система теплоснабжения (ССТ) с использованием воздуха в качестве теплоносителя. Её применение при низкотемпературной системе отопления здания может быть очень перспективным

при использовании эффективных солнечных воздушных коллекторов (СВК) [2].

В последнее время появились публикации результатов теоретических исследований сейсмической стойкости домов с малым потреблением энергии [6]. В этой работе показано, что у пассивного дома с теплоизолированным фундаментом повышаются расчётные ускорения и снижается устойчивость к землетрясениям.

В настоящей работе рассматривается дом с активной солнечной архитектурой в условиях Республики Молдова, которая является зоной повышенной сейсмической опасности [7]. На примере условий Республики Молдова выполнен параметрический анализ энергетических и экономических показателей солнечной воздушной системы теплоснабжения, а также возможности сейсмической изоляции дома с помощью САТ. Данная работа не решает указанную проблему для конкретной конструкции, но в некоторой мере проясняет ситуацию в возможных путях её решения и помогает сравнить альтернативные варианты. Это важно обеспечить на ранних этапах оценки жизнеспособности предлагаемых технических решений, которые повышают энергетическую эффективность системы теплоснабжения.

Анализ публикаций по данной задаче показал, что основным факторами, влияющими на энергетическую эффективность дома, являются: уровень тепловой защиты дома, погодно-климатические условия, солнечная доля в теплоснабжении дома.

Факторы, влияющие на энергетические и экономические показатели эффективности ССТ, отмеченные в работах [2,3] следующие:

- поступление солнечной энергии через непрозрачное и прозрачное ограждение; тепловая защита наземной и подземной части здания (потери тепла через непрозрачное и прозрачное ограждение здания и аккумулятора тепла);
- параметры тепловой подсистемы: площадь коллекторов, ёмкость САТ, эффективность коллекторов солнечной энергии и САТ, а также режимы работы этих элементов (минимальная, средняя и максимальная температура). Площадь солнечных коллекторов зависит от потребления тепловой энергии на горячее водоснабжение и отопление дома. Зависимости этих величин от параметров влияющих факторов проще всего выявить, используя параметрический анализ. Параметрический анализ позволяет выявить чувствительность

показателей энергетической и экономической эффективности ССТ к вышеуказанным факторам, а также получить оценки достижимости и конкурентоспособности этих показателей со стандартными техническими решениями. Для параметрического исследования энергетической и экономической эффективности дома использовались упрощённые методики, основанные на работах [2,3]. Параметрическое исследование выполнено для случая обеспечения теплового режима дома с помощью солнечной системы теплоснабжения с использованием воздуха в качестве теплоносителя. В качестве сезонного аккумулятора тепла (САТ) рассматривалось применение варианта накопителя явного тепла с водой по патенту [8]. В таком аккумуляторе не требуется специальный теплообменник, поскольку передача тепла происходит за счёт прохождения воздуха между пластиковыми ёмкостями, установленными в каналах САТ.

1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ.

На рис.1 приведен эскиз дома с САТ и показаны основные элементы подсистем.

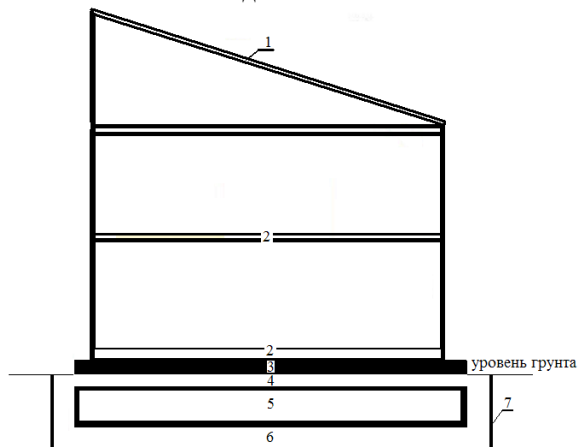


Рис.1. Эскиз конструкции здания. 1 – крыша дома с СВК; 2 – тёплые полы; 3 – фундаментная плита дома; 4 – теплоизоляция; 5 – САТ; 6 – эластичная теплоизоляция; 7 – наружное ограждение САТ

Система теплоснабжения состоит из двух основных подсистем: группы солнечных коллекторов и сезонного аккумулятора тепла. Солнечные коллекторы встроены в крышу дома, наклонённую к горизонту под углом $\pi/6$. Рассматриваются СВК с селективным и проницаемым для воздуха поглотителем солнечного излучения. Такие СВК при работе в диапазоне температур 60-100 °С имеют высокие КПД (40-70%) и низкое аэродинамическое сопротивление (20-40 Па) [2].

Сезонный аккумулятор тепла представляет собой систему из каналов, внутри которых размещены пластиковые ёмкости с водой [8]. Каналы расположены внутри коробчатого железобетонного фундамента дома, который окружён слоем теплоизоляции. На верхней части САТ расположена фундаментная плита дома, на которой уложен слой теплоизоляции пола первого этажа дома.

Режим работы система при зарядке САТ был принят с регулируемым расходом воздуха, при котором обеспечивается его постоянная температура на выходе СВК. Это обеспечивает высокую степень использования ёмкости САТ и большую производительность СВК.

2. МОДЕЛИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДОМА.

Исследование энергетических показателей системы отопления осуществлялось путём расчёта для каждого месяца года его потребности в тепле, доли солнечной системы и источника энергии, использующего природный газ. Для расчетов, учитывая сложность системы и предварительный характер исследования, использовались упрощённые модели.

Теплопотребление дома задано двумя составляющими энергии:

$$Q_A = Q_1 + Q_2 \quad (1),$$

где Q_1 – отопительная нагрузка; Q_2 – горячее водоснабжение. Уравнения баланса энергии ССТ для периодов зарядки и разрядки САТ имеют следующий вид [2]:

$$A_{СК} Q_{СК} - \rho c V (T_K - T_H) - Q_D - Q_{П} = 0 \quad (2)$$

$$A_{СК} Q_{СК} + \rho c V (T_K - T_H) - Q_D - Q_{П} = 0 \quad (3),$$

где $A_{СК}$ – площадь СВК; $\rho c V$ – плотность, удельная теплоёмкость и объём воды в САТ; $Q_{СК}$ – удельная производительность СВК в соответствующем интервале времени года, кВтч/м²; T_H и T_K – температура САТ в начале и конце интервалов зарядки и разрядки; $Q_{П}$ – потери энергии через теплоизоляцию элементов ССТ (СВК, САТ, воздуховоды).

Потери тепловой энергии за некоторый промежуток времени, обусловленные теплопередачей в окружающую среду, рассчитывались по формуле:

$$Q_{П} = A \Delta T \tau \lambda / L \quad (4),$$

где A – площадь теплоизоляции; ΔT – разность между средней температурой внутри элемента ССТ и температурой окружающей среды; τ – промежуток времени; λ – удельная теплопроводность материала теплоизоляции; L – толщина теплоизоляции. Площадь теплоизоляции определялась по конструктивным данным для элементов ССТ, а оптимальная толщина теплоизоляции по формуле, приведенной в работе [9]:

$$L = (\lambda C_{T3} \Delta T \bar{T} / C_{TH})^{0,5} \quad (5),$$

где $C_{TЭ}$ – цена тепловой энергии; C_{TI} – стоимость 1м^3 теплоизоляции; \bar{T} – интервал приведения доходов и затрат.

Для расчётов суточного значения полезной энергии СВК была применена методика, основанная на работе [2]. Расчёт осуществлялся для условий ясных солнечных дней срединного дня каждого месяца. Месячное значение $Q_{СК}$ определялось перемножением суточной величины на расчётное число ясных дней. Последняя величина находилась путём деления числа часов солнечного сияния на продолжительность дня в каждом месяце года. Для СВК с селективным и неселективным матричным (проницаемым для воздуха) абсорбером солнечной энергии среднегодовое значение рассчитывалось по формулам (6) и (7):

$$Q_{СК} = 660 - 6,1(T_{MAX} - 65) \quad (6)$$

$$Q_{СК} = 490 - 9,3(T_{MAX} - 55) \quad (7),$$

где \dot{O}_{MAX} – максимальная температура воздуха на выходе солнечных коллекторов.

Максимальное значение энергии, которое накапливается в САТ, зависит от объёма воды (V_B), минимального и максимального значения её температуры:

$$Q_{САТ} = \rho c V_B (T_{MAX} - T_{MIN}) \quad (8),$$

где ρ и c – плотность и удельная теплоёмкость воды. Объём воды в САТ зависит от его конструкции, и он связан с габаритным объёмом САТ следующим соотношением:

$$V_{САТ} = K_3 V_B \quad (9)$$

где K_3 – коэффициент заполнения водой внутреннего объёма САТ.

Солнечная доля в теплоснабжении дома рассчитывалась по формуле:

$$f_s = Q_{CCT} / Q_D \quad (10)$$

где Q_{CCT} – полезная энергия ССТ, которая равна разности значений полезной энергии СВК и потерь тепла в системе.

Расчёт тепловой эффективности ССТ производился по формуле:

$$K_9 = Q_{CCT} / (Q_{CCT} + Q_{П}) \quad (11),$$

где Q_{CC} – полезная энергия ССТ (отопление и горячее водоснабжение).

Для выполнения расчётов энергетических и экономических показателей ССТ была подготовлена

специальная программа (среда Delphi 5, язык Turbo Pascal). В программе предусмотрено выполнение расчётов для двух вариантов расхода тепла домом в отопительный сезон: с заданным постоянным значением и при оптимальной толщине теплоизоляции дома. Оптимальная толщина теплоизоляции САТ и дома рассчитывалась по методике работы [9]. Учитывая предварительный характер проводимого исследования затраты на воздухопроводы, вентиляторы и систему управления были приняты не зависящими от площади СВК и ёмкости САТ и равными 1000 и 2000€. При расчётах поступлением в дом солнечной энергии в отопительный сезон через окна и от внутренних источников тепла, кроме вспомогательного источника тепла, пренебрегалось.

Для оценки экономической эффективности капиталовложений в ССТ здесь использовались такие показатели как себестоимость тепловой энергии ($C_{TЭ}$), срок возврата инвестиций (срок окупаемости проекта); внутренняя норма рентабельности инвестиций (IRR).

При расчетах экономических показателей были приняты следующие допущения:

1. Проект реализуется в течение одного года без привлечения заёмных средств и поддержки субсидиями со стороны государства.
2. Годовой доход за счёт замещения органического топлива солнечной энергией является постоянным для всего интервала экономического анализа.
3. Норма дисконтирования дохода принята равной реальной банковской ставке по вкладам с учётом ожидаемого и постоянного темпа роста цен органического топлива.
4. Текущие расходы на обслуживание и работу ССТ составляют 5% от начальных инвестиций.

Для оценки экономических показателей системы отопления использовались методы, изложенные в работах [10,11], учитывающие банковские ставки и темп роста цены природного газа. Себестоимость тепловой энергии, получаемой от совместного использования солнечной системы теплоснабжения и вспомогательного источника тепла с использованием органического топлива, определялась по формуле [2]:

$$C_{TЭ} = f_s C_1 + (1 - f_s) C_2 \quad (12),$$

где C_1 – себестоимость тепловой энергии, получаемой от солнечной системы; C_2 – себестоимость тепловой энергии вспомогательного источника тепла.

Значение C_1 определялось по формуле [10]:

$$C_1 = K_{93} [C_1 + C_2 + C_3] / (\bar{T} Q_{СК}) \quad (13),$$

где K_{93} – коэффициент, учитывающий затраты на обслуживание и эксплуатацию системы; C_1 – стоимость оборудования, независимого от площади абсорберов; C_2 – стоимость СНВ, зависящая от площади абсорберов; C_3 – стоимость САТ; \bar{O} –

интервал приведения доходов и затрат для системы солнечного теплоснабжения. Начальные инвестиции в ССТ были приняты равными сумме стоимостей основных элементов подсистем (СВК и САТ). В стоимость оборудования, независимого от площади абсорберов, входит стоимость автоматики, управляющей режимами работы нагревателей воздуха. В стоимость оборудования, зависящего от площади абсорберов, входит стоимость вентиляторов для прокачки воздуха, стоимость прозрачного ограждения и абсорберов солнечного излучения.

Интервал приведения будущих доходов и расходов к нулевому году проекта рассчитывался по следующей формуле [10]:

$$\bar{T} = [1 - (1 + i)^{-T_{\text{ЭА}}}] / i \quad (14)$$

где i – норма дисконта; $T_{\text{ЭА}}$ – интервал экономического анализа.

Норма дисконта определялась как значение эффективной банковской ставки [11]:

$$i = (i_b - i_f) / (1 + i_f) \quad (15),$$

где i_b и i_f – прогнозные для интервала $T_{\text{ЭА}}$ значения номинальной банковской ставки по вкладам и темп роста цены на природный газ.

Исходные данные, которые использовались при параметрическом исследовании энергетических и экономических показателей ССТ, приведенные в табл.1.

Таблица 1.

Величина	Значение
Жилая площадь, м ²	160
Размеры фундамента дома, м	8x10
Расход на отопление, МВтч	19,2 и 8,4
Расход тепла на ГВС, МВтч	1,95 и 0,95
Угол наклона крыши, градусы	30
Ориентация дома	Вост.–Зап.
Период работы ССТ, месяцев	12
Основная зарядка САТ март–окт.	15.03 – 15.10
Отопительный период	15.10 – 15.3
T_{max} , °С	55 – 95
T_{min} , °С	25
K_3	0,75
$T_{\text{ЭА}}$, годы	25
Банковская ставка, %	7
Годовой темп роста цены ПГ, %	5
Цена тепла котла на ПГ, €/кВтч	0,045
Коэффициент $K_{\text{ЭЗ}}$	1,05
$\lambda_{\text{ТИ}}$, Вт/м ² °С	0,04
Константы стоимости ССТ, €	1000 и 2000
Цена СВК с сел. абсорбером, €/м ²	50 и 35
Цена СВК с несел. абс., €/м ²	15
теплоизоляции, €/м ³	45
Цена стены корпуса САТ, 45 €/м ³	

Данные, приведенные в табл.1, получены путём обобщения информации из Интернета для Молдовы в июле 2016г. На первом этапе было проведено исследование показателей энергетической и экономической эффективности комбинированной системы теплоснабжения с использованием солнечной энергии и природного газа. При этом солнечная доля (f_s) в теплоснабжении варьировалась от 0,2 до 1. Результаты этой части исследования из-за ограниченности объёма статьи здесь не приводятся.

Численные эксперименты показали, что максимальные значения $IRR > 0$ (проект рентабелен) достигаются при солнечной доле в теплоснабжении дома равной единице. Это обусловлено тем, что при $f_s < 1$ экономия топлива от использования солнечной энергии не всегда компенсирует затраты на ССТ. Ниже в табл.2-4 приведены результаты параметрического исследования ССТ при $f_s = 1$. Кроме варианта дома с теплопотреблением, указанным в табл.1, в таблице 4 приведены данные расчётов для дома, у которого теплоизоляция стен и потолка верхнего этажа оптимизируется по методике, приведенной в работе [9].

Анализ полученных данных показал, что на энергетические и экономические показатели ССТ с САТ сильно влияют следующие факторы:

- тепловая нагрузка дома (расход энергии на отопление и горячее водоснабжение);
- максимальная рабочая температура воды в САТ;
- селективные свойства абсорбера СВК.

Как и ожидалось, ССТ для дома с повышенной потребностью в тепловой энергии, характеризуется максимальными значениями площади СВК и объёмов САТ. Для постройки такой ССТ требуются большие капитальные затраты (I_0 в табл. 2–4), но одновременно, она имеет более низкий срок окупаемости и себестоимость тепловой энергии. Это обусловлено использованием сравнительно недорогих СВК и САТ и снижением влияния постоянной составляющей стоимости ССТ (табл.1) при увеличении площади СВК. Более низкий срок окупаемости уменьшает риски и увеличивает ожидаемый за время $T_{\text{ЭА}}$ доход от использования солнечной энергии.

Дом с оптимальной теплоизоляцией (табл.4) характеризуется минимальными капитальными затратами на ССТ, но одновременно у него самые высокие сроки окупаемости и себестоимость тепловой энергии. Это является следствием того, что для хорошо изолированного дома требуется малая площадь СВК, и ёмкость САТ, что увеличивает влияние постоянной составляющей стоимости ССТ. При увеличении этой составляющей экономические показатели снижаются, и при определённом значении проект становится нерентабельным.

Анализ полученных данных показал, что оптимальное значение максимальной температуры в САТ находится в диапазоне 65–75 °С при применении

СВК с неселективным абсорбером и 75-85 °С в случае СВК с селективным абсорбером.

Сезонный аккумулятор тепла является элементом, который даёт основной вклад в стоимость ССТ. Поэтому оптимизация его конструкции совместно с наземной частью дома может улучшить показатели экономической эффективности ССТ. Здесь рассмотрен САТ в форме параллелепипеда, однако возможно, что цилиндрическая форма будет предпочтительней.

Для параметрического исследования сейсмической изоляции была принята модель кинематического возбуждения системы первого порядка, которая содержит упругий элемент с рассеиванием энергии при деформации и массивное тело [12]. Период собственных колебаний такой системы приближённо определяется следующим выражением:

$$T_o = 2\pi(M/K)^{0,5} \quad (16),$$

где M – масса и K – жёсткость эластичной теплоизоляции САТ.

На рис.2 показано влияние этих параметров на значение T_o .

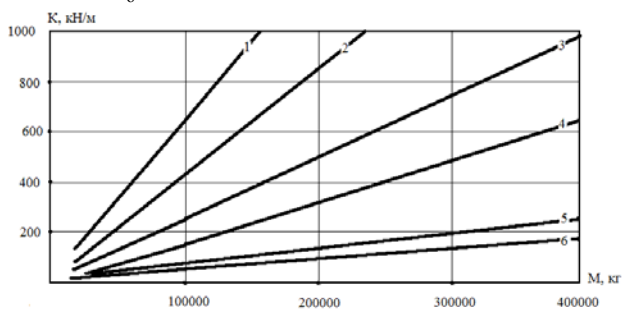


Рис.2 Влияние массы САТ (M) и жёсткости теплоизоляции (K) на период собственных колебаний САТ (T_o). 1– $T_o=2,5с$; 2– $T_o=3с$; 3 – $T_o= 4с$; 4 – $T_o=5с$; 5– $T_o= 8с$; 6– $T_o= 10с$.

Показатели сейсмической изоляции дома определены для установившегося режима вынужденных гармонических колебаний системы (дом + САТ) под действием её кинематического возбуждения от поверхности грунта. Использовалась модель с упругим элементом, обладающим возвращающей силой и силой трения пропорциональной скорости деформации этого элемента [12]. Коэффициенты жёсткости и демпфирования системы варьировались в широких пределах с целью выяснения предельных возможностей снижения сейсмических воздействий на конструкцию дома с САТ.

В табл. 5 приведены результаты расчетов коэффициента передачи, равного отношению амплитуды колебаний системы к амплитуде колебаний грунта. Варьировалось отношение периодов собственных колебаний системы и колебаний грунта при землетрясениях $T^* = T_o/T_z$ и коэффициенты демпфирования колебаний системы β . Из данных табл.5 следует, что при значениях $T^* = 2...4$ и $\beta = 0,25...0,8$, можно ожидать значение

коэффициента передачи амплитуды колебаний от грунта к основанию дома от 0,12 до 0,25. Это означает ослабление амплитуды колебаний системы в 4 - 8раз.

Для Молдовы преобладающий период колебаний грунта при землетрясениях (T_z) находится в пределах = 0.5 – 1.0 секунд, а продолжительность до десятков секунд [13]. Таким образом, для существенного снижения сейсмического воздействия на дом, период собственных колебаний системы T_o должен быть более 3-4 секунд.

Коэффициент затухания колебаний системы также влияет на её динамические и кинематические показатели [12]. Увеличение затухания, что связано с преобразованием в эластичном изолирующем слое механической энергии в тепловую энергию, приводит к росту коэффициента передачи, что видно из данных табл. 5. Кроме того, поскольку наземная часть дома установлена на фундаментной плите со слоем теплоизоляции между нею и САТ (Рис.1), эта подсистема имеет свой период собственных колебаний. Для неё аналогичным образом был определён коэффициент передачи амплитуды колебаний верхней плиты САТ к фундаментной плите дома с учётом жёсткости и коэффициента демпфирования слоя теплоизоляции между этими плитами.

Особенностью рассматриваемой концепции сейсмической изоляции дома является то, что толщина эластичной теплоизоляции, расположенной под САТ, зависит также от статической нагрузки на неё. Статическая нагрузка определяется суммой масс САТ и собственно дома, размещённого на этом элементе конструкции. Механическое напряжение сжатия в эластичной теплоизоляции определяется по формуле:

$$\sigma = M_{\Sigma} / A_{mi} \quad (17)$$

где M_{Σ} – суммарная масса дома и САТ; A_{mi} – площадь дна жёсткой оболочки САТ. Это напряжение не должно превышать допустимое для данного вида теплоизоляции значения [6]. Для расчёта начальной деформации теплоизоляции используем линейную модель при её сжатии:

$$\Delta = M_{\Sigma} / K \quad (18)$$

Оптимальные параметры для элементов конструкции зависят от данных по сейсмической опасности, энергетическим и экономическим условиям в месте расположения дома. Расчёты показали, что толщина теплоизоляции из вспененного полистирола, определённая из условия начальной деформации, существенно (в 2-2,5 раза) превышает значение, полученное при экономической оптимизации.

Показатель сейсмической изоляции дома в свою очередь должен использоваться для оптимизации конструкции наземной части дома. Кроме того,

необходимо оптимизировать конструкцию САТ, в частности форму и вид эластичной теплоизоляции, обеспечивая минимальную стоимость его изготовления.

землетрясениях (с 7 баллов до 3 баллов по шкале сейсмической интенсивности MSK-64.).

ВЫВОДЫ

1. Применение недорогих СВК и САТ позволяет создать систему теплоснабжения, обеспечивающую 100% солнечное отопление и горячее водоснабжение домов с разными уровнями тепловой нагрузки. При низкой удельной стоимости СВК (15-25€/м²) и САТ (40-80€/м³) себестоимость тепловой энергии в 2-4 раза ниже, чем у источника с использованием природного газа.
2. Снижение потребности дома в тепловой энергии за счёт улучшения теплоизоляции, обуславливает увеличение солнечной доли в теплоснабжении. Однако одновременно ухудшаются экономические показатели ССТ из-за уменьшения площади солнечных коллекторов и возрастании вклада постоянной составляющей стоимости ССТ.
3. Наилучшие энергетические и экономические показатели ССТ достигаются при солнечной доле равной единице и наибольшем значении разности максимальной и минимальной температуры в САТ. Тепловая эффективность ССТ (формула 11) находится в пределах 0,73 – 0,78 и мало изменяется в исследованных пределах параметров системы.
2. 4. Размещение сезонного аккумулятора тепла с эластичной теплоизоляцией непосредственно под домом, снижает потери тепла из него, а также улучшает сейсмическую изоляцию дома при

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Eriksen and A. Alliance, *Active House—Specification* 2011 - donau-uni.ac.at
2. J. Duffie and W. Beckman, *Solar Engeneering of Solar Processes*, -3rded, J.Wiley and Sons, 2006, - 908 pp.
3. P. Lund, *Sizing and applicability considerations of solar combisystems*, Solar Energy, vol.78, 2005, pp. 59–71.
4. G. Pavlov and B. Olesen, *Seasonal ground solar thermal energy storage – review of systems and applications*, ISES Solar World Congress, 2011, pp.515-526.
5. A. Hugo and R. Zmeureanu, *Residential Solar-Based Seasonal Thermal Storage Systems in Cold Climates: Building Envelope and Thermal Storage*, *Energies*, vol.5, 2012, pp. 3972-3985.
6. V.Kilar, B.Azinović and D.Koren, *Energy Efficient Construction and the Seismic Resistance of Passive Houses*. World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Civil, Architectural Science and Engineering, vol.8, No.4, 2014, pp. 26-32.
7. А.В.Друмя, Н.Я.Степаненко, Н.А.Симонова, *Сильнейшие землетрясения Карпатского региона в XVIII – XX веке*. 2006. Buletinul Institutului de Geofizică și Geologie al AȘM, N 1: pp. 37-62.
8. Vl. Ermuratschii și V. Ermuratsky, *Colector-acumulator de caldura/frig natural*. Brevet de invenție MD4066 C1 2010.08.31.
9. В.В. Ермуратский, *Определение оптимальной толщины теплоизоляции компонентов гелиотермических установок*. Проблемы региональной энергетики. №1, 2005, с.31-33.
10. Т.Аmbros ș.a., *Surse regenerabile de energie*. –Manual. Chșinău. Ed. „Tehnica – Info”, 1999,- 434p.
11. Е.М. Фрейдкина, *Методы и критерии оценки эффективности энергосбережения: учебное пособие / СПбГТУРП*. СПб., 2013. – 52 с. – ISBN-978-5-91646-068-1.
12. П.А.Корчагин, *Уравновешивание и виброзащита: Учебное пособие*, Омск: Изд-во СибАДИ, 2006, 72 с.
13. С.-Е. Baciu and G. Atanasiu, *Decreasing seismic effects of structures using base isolation systems*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Tomul LX (LXIV), Fasc. 2, 2014, pp.73-82.

Таблица 2 Дом I (теплопотребление 21,15МВтч)

Величина	Абсорбер	T _{max} , °C				
		55	65	75	85	95
Аск, м ²	Неселективный	50	63	82	119	209
	Селективный	34	38	42	47	53
V _{САТ} , м ³	Неселективный	540	422	345	292	252
	Селективный	540	421	345	292	253
C ₁ €/МВтч	Неселективный	36	28	24	22	24
	Селективный	37	29	24	22	21
τ _{ок} , годы	Неселективный	19	14	12	11	12
	Селективный	20	14	12	11	10
I ₀ , €	Неселективный	14326	11080	9517	8960	9705
	Селективный	14800	11491	9764	8795	8260

Таблица 3 Дом II (теплопотребление 9,35МВтч)

Величина	Абсорбер	T _{max} , °C				
		55	65	75	85	95
Аск, м ²	Неселективный	25	31	40	58	102
	Селективный	17	18	20	23	26
V _{САТ} , м ³	Неселективный	245	191	157	132	114
	Селективный	245	191	157	133	115
C ₁	Неселективный	35	30	28	28	31

€/МВтч	Селективный	36	32	29	28	27
$\tau_{ок}$, годы	Неселективный	18	15	14	14	16
	Селективный	19	16	15	14	14
I_0 , €	Неселективный	6517	5642	5265	5240	5800
	Селективный	6759	5851	5391	5157	5062

Таблица 4 Дом III (с оптимальным теплотреблением)

Величина	Абсорбер	$T_{max}, ^\circ C$				
		55	65	75	85	95
Аск, м ²	Неселективный	16	19	23	31	49
	Селективный	10,6	11,1	11,6	12,2	12,8
$V_{САТ}$, м ³	Неселективный	128	96	75	60	46
	Селективный	127	96	75	60	48
C_1 €/МВтч	Неселективный	42	41	42	45	54
	Селективный	44	42	43	44	48
$\tau_{ок}$, годы	Неселективный	23	22	22	25	31
	Селективный	24	23	23	24	27
I_0 , €	Неселективный	4452	4130	4012	4056	4374
	Селективный	4600	4250	4080	4022	4013

Таблица 5 Коэффициенты передачи амплитуды колебаний почвы

β	T^*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,1	5,1	0,35	0,14	0,085	0,06	0,04	0,04	0,025	0,022	0,02
0,2	2,7	0,42	0,19	0,126	0,093	0,074	0,06	0,05	0,046	0,04
0,5	1,4	0,74	0,39	0,27	0,21	0,17	0,15	0,13	0,11	0,1
0,8	1,18	0,75	0,5	0,4	0,32	0,27	0,23	0,2	0,18	0,16

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Ермурацкий Владимир Васильевич.
Киевский Политехнический
Институт, 1960- Центральные
электрические станции, сети и
системы. Институт энергетики
Академии Наук Молдовы, главный
научный сотрудник, доктор
технических наук. Область научных

интересов: возобновляемые источники энергии, солнечная
энергетика, энергетическая эффективность,
теплоэнергетика, теплотехника. E-mail
ermuratskie@gmail.com

*Ermuratschii Vladimir. Kiev Polytechnic Institute, 1960-
Central Electric stations, networks and systems. Institute of
Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova,
Chief Scientist, Doctor of Technical Sciences. Research
interests: renewable energy, solar energy, energy efficiency,
heat power engineering, heat engineering. E-mail
ermuratskie@gmail.com*



Nicolai G. Eremenkov: Licensed engineer -
Higher Engineering and Construction
Institute, Department of Heat, Gas and
Ventilation, Novosibirsk, Russia. The
development of project and exploitation
documents in regard to environment
protection; Being a Chairman of the
Technical Committee in Constructions under

*the State Institute of Metrology and Standardization, I have an
excellent knowledge on existing building legislation, energy
efficient and construction standards and normative documents
in the Republic of Moldova; author of a series of national*

*normative documents (methodologies, SNIPs and GOSTs and
standards) in construction and energy saving including the Heat
Rehabilitation of Buildings and Energy Conservation in Buildings*



Cristina M. Efrefov: Master - Technical
University of Moldova – Energetics and
Electrical Engineering Faculty. Director
on scientific sector S.A. "Gradient-Co",
working on: schemes of heat supply to
residential areas (towns, villages, etc.),
various industries; boilermaking industrial
heating and steam boiler technology with
individual capacity to 50 tons of steam /

*hour; thermal units; solar water heating systems; autonomous
heat supply sources; loss of heat from technological equipment;
energy efficiency in buildings; use made emissions of heat
efficiency; steam supply technological equipment.*