

УДК 628.336:621.472

Серёгин А.А., д.т.н., проф.;

Осьмак А.А.;

Рябоконт Н.В.;

Национальный университет пищевых технологий;

Сегай. А.М., к.т.н., доцент

Академия муниципального управления

КОМПЕНСАЦИОННАЯ СИСТЕМА СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЗДАНИЙ

Показан пример термической реновации здания с использованием компенсационной системы.

Наведен приклад термічної реновації будинку з використанням компенсаційної системи.

The example of thermal renovation of the building using the compensation system.

Структура теплопотерь дома состоит из теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь на вентиляцию. В свою очередь теплопотери через ограждающие конструкции можно разделить на теплопотери через окна и двери и теплопотери через остальные ограждающие конструкции: пол на грунте, кровля, наружные стены.

Доля необходимой для покрытия теплопотерь на вентиляцию тепловой энергии в случае, например, 9-ти этажного многоквартирного дома составляет порядка 10 %, для покрытия теплопотерь через окна и двери - порядка 55 %, для покрытия теплопотерь через другие ограждающие конструкции - порядка 35 %. В этом случае наиболее оправданы усилия по применению энергоэффективных оконных систем.

В современном односемейном доме доля необходимой для покрытия теплопотерь на вентиляцию тепловой энергии может составлять порядка 5 %, для покрытия теплопотерь через окна и двери – порядка 30 %, для покрытия теплопотерь через другие ограждающие конструкции – порядка 65 %.

Для существенного снижения потребностей в тепловой энергии для покрытия теплопотерь через ограждающие конструкции (пол на грунте, кровля, наружные стены) предлагается экологически чистая, энергоэффективная технология компенсации теплопотерь.

Компенсационная система состоит из пассивного солнечного абсорбера, заряжающего грунтовый аккумулятор тепловой энергии под зданием и настенного компенсатора, обеспечивающего заданную

температуру в стенах. Настенный компенсатор запитывается от грунтового аккумулятора тепла или от грунтового контура охлаждения [1].

Теплопотери через многослойную ограждающую конструкцию прямо пропорциональны коэффициенту теплопередачи и разности температур между внутренним и наружным воздухом.

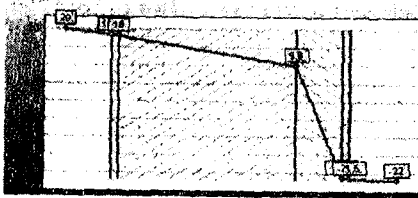


Рис. 1 График температуры внутри многослойной конструкции 0,51 м (0,015 м штукатурка, 0,38 м кирпичная кладка, 0,10 м теплоизоляции, 0,015 м штукатурка)

© Серёгин А.А., Осьмак А.А., Кухарский В.Г., 2013

Коэффициент теплопередачи $0,318 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, разность температур 42°C ($20^\circ\text{C} - -22^\circ\text{C}$). Теплопотери $13,356 \text{ Вт/м}^2$.

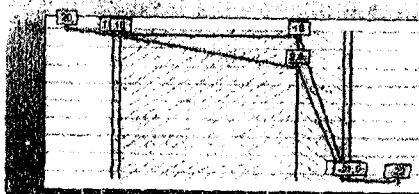


Рис. 2 График температуры внутри многослойной конструкции с учётом размещения настенного компенсатора.

Размещение настенного компенсатора между кирпичной кладкой и слоем теплоизоляции и подача в него теплоносителя, например, 18°C обеспечит снижение теплопотерь более чем в 5 раз на каждом кв.м наружной стены. Коэффициент теплопередачи $1,248 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, разность температур 2°C ($20^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}$). Теплопотери $2,496 \text{ Вт/м}^2$.

Расходы на эксплуатацию компенсационной системы не велики и включают в себя только оплату электроэнергии для работы двух циркуляционных насосов системы зарядки грунтового аккумулятора и системы настенного компенсатора. Бесплатная энергия солнца зарядит аккумулятор тепла, бесплатная энергия земли охладит контур охлаждения.

Рекомендуем применять компенсационную систему как при проектировании новых энергоэффективных, пассивных домов, так и в рамках проектов по снижению теплопотерь существующих зданий. 1

Проведем расчет компенсационной системы для сооружения, находящегося в киевском регионе [2]. Сооружение представляет собой одноэтажное здание прямоугольной формы, вытянутое по оси восток-запад, с пятном застройки 12×36 м, высотой стен 3 м, высотой конька 6 м, с двускатной кровлей, без окон, с двумя воротами в восточном и западном торцах здания площадью 3×2 м каждая, со свободным внутренним пространством. Наружные стены – кирпичная кладка 380 мм, пол по грунту – бетонная плита 100 мм, крыша шиферная.

В отопительный период необходимо поддерживать температуру внутреннего воздуха $+18^\circ\text{C}$ с учетом обеспечения однократного воздухообмена. Отопительный период в киевском регионе характеризуется величиной 3572 градусов/суток, температурой наружного воздуха самой холодной пятидневки -22°C .

Проведем расчет теплопотерь. В результате расчета получены следующие данные:

Площадь $[\text{м}^2]$:	432
Кубатура здания $[\text{м}^3]$:	1296
Расчетные теплопотери Q_0 [Вт]:	85465
Расход тепла на вентиляцию $Q_{\text{вент}}$ [Вт]:	5962
Потребление тепла на м^2 поверхности отоплен Q_b $[\text{Вт}/\text{м}^2]$:	197.8
Потребление тепла на м^3 кубатуры отопления Q_v $[\text{Вт}/\text{м}^3]$:	65.9

Таблица 1.

Значения расчетных теплопотерь по отдельным участкам здания

	$\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{K}$	м^2	Вт
Ворота	2.500	12.0	1200
Пол на грунте I зона	0.358	192.0	10429
Пол на грунте II зона	0.809	240.0	1942
Крыша	2.364	432.0	40850
Стена наружная	1.277	312.0	15936

величина расчетного годового теплопотребления на отопление составит

$$Q_{\text{год}} = 0,086 \cdot Q \cdot S / (t_n - t_{\text{н}}), \text{ ГДж},$$

где Q – теплопотери объекта, кВт

S – расчетное количество градусо-суток отопительного периода

t_n – расчетная внутренняя температура объекта, $^\circ\text{C}$

$t_{\text{н}}$ – наружная температура воздуха самой холодной пятидневки, $^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{год}} = 0,086 \cdot Q \cdot S / (t_n - t_{\text{н}}) = 0,086 \cdot 85,465 \cdot 3572 / (18 - (-22)) = 659,41 \text{ ГДж или } 183 \text{ } 160 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Для производства такого количества тепла с использованием газовых котлов потребуется сжигать ежегодно 19,5 тыс. м³ газа или расходовать 183 тыс. кВт·ч электроэнергии при использовании электрокотлов.

Удельные теплотраты на отопление дома за отопительный период составят

$$q_{зд} = Q_{год} / F = 183160 / 432 = 423,98 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 \cdot \text{год. или } 183160 / 1296 = 141,33 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3 \cdot \text{год.}$$

Нормативные максимальные теплотраты малоэтажных зданий для рассматриваемого случая составляют $E_{max} = 104 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 \cdot \text{год.}$

Разница в процентах расчетного или фактического значения теплотрат от максимально допустимого определяется по формуле

$$[(q_{зд} - E_{max}) / E_{max}] \cdot 100\% = ((423,98 - 104) / 104) \cdot 100\% = 307,67 \text{ .}$$

Класс энергетической эффективности здания – F. 3

Очевидно, что рассматриваемое здание требует проведения мероприятий по снижению теплопотерь.

Рассмотрим мероприятия по увеличению термического сопротивления ограждающих конструкций путем монтажа в полу по грунту, с наружной стороны стен слоя пенополистирола 100 мм, в стропильной части кровли – 200 мм пенополистирола. В результате проведения указанных мероприятий в составе пола по грунту, наружных стен и кровли появились слои теплоизоляции объемом 160,8 м³. Определим теплопотери здания с учетом этой теплоизоляции.

Расчетные теплопотери Q_0 [Вт]:	18532
Расход тепла на вентиляцию $Q_{вент}$ [Вт]:	5962
Потребление тепла на м ² поверхности отоплен Q_0 [Вт/м ²):	42.9
Потребление тепла на м ³ кубатуры отопления Q_v [Вт/м ³):	14.3

Таблица 2.

Значения расчетных теплопотерь по отдельным участкам здания

	Вт/м ² ·К	м ²	Вт
Ворота	2.500	12.0	1200
Пол на грунте I зона	0.307	192.0	2358
Пол на грунте II зона	0.266	240.0	638
Крыша	0.185	432.0	3196
Стена наружная	0.299	312.0	3732

величина расчетного годового теплопотребления на отопление составит

$$Q_{год} = 0,086 \cdot Q \cdot S / (t_a - t_n), \text{ ГДж,}$$

где Q – теплопотери объекта, кВт

S – расчетное количество градусо-суток отопительного периода

t_a – расчетная внутренняя температура объекта, °C

t_n – наружная температура воздуха самой холодной пятидневки, °C

$$Q_{\text{год}} = 0,086 \cdot Q \cdot S / (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) = 0,086 \cdot 18,532 \cdot 3572 / (18 - (-22)) = 142,984 \text{ ГДж или } 39716 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Для производства такого количества тепла с использованием газовых котлов потребуется сжигать ежегодно 4,3 тыс. м³ газа или расходовать 39,7 тыс. кВт·ч электроэнергии при использовании электродкотлов.

Удельные теплотраты на отопление дома за отопительный период составят

$$q_{\text{зд}} = Q_{\text{год}} / F = 39716 / 432 = 92 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{год или } 39716 / 1296 = 30,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3 \cdot \text{год.}$$

Нормативные максимальные теплотраты малоэтажных зданий для рассматриваемого случая составляют $E_{\text{max}} = 104 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.

Разница в процентах расчетного или фактического значения теплотрат от максимально допустимого определяется по формуле

$$[(q_{\text{зд}} - E_{\text{max}}) / E_{\text{max}}] \cdot 100\% = ((92 - 104) / 104) \cdot 100\% = 11,54.$$

Класс энергетической эффективности здания – В. 3

Термическая реновация здания с использованием компенсационной системы предусматривает:

1. Реконструкцию пола по грунту с построением грунтового аккумулятора тепла под пятном здания или, если это не возможно, - рядом с ним. Для снижения воздействия зоны промерзания грунта имеет смысл рассматривать площадь II зоны – 240 м². При необходимости использования большей площади необходимо предусматривать организацию теплой отмостки по периметру здания. В данном случае аккумулятор может представлять собой монтаж системы полимерных труб по существующей бетонной плите, бетонирование системы труб, укладку пенополистирольных плит 50 мм и организацию чистового пола, включая бетонную плиту над слоем теплоизоляции.

2. Реконструкцию крыши, в рамках которой должны быть организованы пассивный солнечный абсорбер, слой теплоизоляции под ним, кровельная часть компенсационной системы. Стропильная система подшивается снизу плитами OSB, в свободную зону укладываются пенополистирольные плиты 50 мм, поверх них – кровельная часть компенсационной системы. Над ней укладывается еще один слой теплоизоляции 50мм. Затем монтируется в плоскости обрешетки пассивный солнечный абсорбер в составе отражающей теплоизоляции и системы полимерных труб – сепарированный полиэтилен с антидиффузионной защитой. Завершается реконструкция крыши укладкой финишного покрытия, например – металлочерепицы или профнастила.

3. Реконструкцию наружных стен: монтаж настенной части компенсационной системы в составе системы полимерных труб, нанесения слоя штукатурки покрывающей слой труб, монтаж слоя теплоизоляции 50 мм и финишной отделки, например, штукатурки с покраской.

4. Монтаж гидравлической части компенсационной системы, в рамках которого устанавливаются соединения системы солнечного

абсорбера с системой аккумулятора, группа безопасности, заполнения и слива, насосная группа, контроллер, монтаж соединения аккумулятора с компенсационной системой в стенах и кровле с отдельной насосной группой.

В результате проведения указанных мероприятий в составе пола по грунту, наружных стен и кровли появились слои теплоизоляции объемом 80,4 м³. Определим теплотери здания с учетом этой теплоизоляции, но без учета действия компенсационной системы.

Расчетные теплотери Q _o [Вт]:	26219
Расход тепла на вентиляцию Q _{вент} [Вт]:	5962
Потребление тепла на м ² поверхности отоплен Q _в [Вт/м ²):	60,7
Потребление тепла на м ³ кубатуры отопления Q _v [Вт/м ³):	20,2

Таблица 3.

Значения расчетных теплотер по отдельным участкам здания

	Вт/м ² ·К	м ²	Вт
Ворота	2.500	12.0	1200
Пол на грунте I зона	0.498	192.0	3825
Пол на грунте II зона	0.399	240.0	958
Крыша	0.346	432.0	5978
Стена наружная	0.478	312.0	5966

величина расчетного годового теплотребления на отопление составит:

$$Q_{\text{год}} = 0,086 \cdot Q \cdot S / (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \text{ ГДж},$$

где Q – теплотери объекта, кВт

S – расчетное количество градусо-суток отопительного периода

t_в – расчетная внутренняя температура объекта, °С

t_н – наружная температура воздуха самой холодной пятидневки, °С

$$Q_{\text{год}} = 0,086 \cdot Q \cdot S / (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) = 0,086 \cdot 26,219 \cdot 3572 / (18 - (-22)) = 202,293 \text{ ГДж или } 56190 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Для производства такого количества тепла с использованием газовых котлов потребуются сжигать ежегодно 6,0 тыс. м³ газа или расходовать 56,2 тыс. кВт·ч электроэнергии при использовании электродкотлов.

Удельные теплотраты на отопление дома за отопительный период составят

$$q_{\text{зд}} = Q_{\text{год}} / F = 56190 / 432 = 130 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{год. или } 56190 / 1296 = 43,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3 \cdot \text{год.}$$

Нормативные максимальные теплотраты малоэтажных зданий для рассматриваемого случая составляют E_{max} = 104 кВт·ч/м²·год.

Разница в процентах расчетного или фактического значения теплотрат от максимально допустимого определяется по формуле

$$[(q_{\text{зд}} - E_{\text{max}}) / E_{\text{max}}] \cdot 100\% = ((130 - 104) / 104) \cdot 100\% = 25.$$

Класс энергетической эффективности здания – D. 3

Рассмотрим отдельные элементы компенсационной системы. Зона пола по грунту после построения аккумулятора и его зарядки создаст под слоем теплоизоляции слой грунта с температурами на уровне 20 °С по периметру аккумулятора и более высокими температурами в центральной зоне. Это создает условия для отсутствия теплопотерь через пол по грунту.

Величина тепловой энергии компенсированная зоной аккумулятора составляет $0,086 \cdot 4,783 \cdot 3572 / (18 - (-22)) = 36,9$ ГДж или 10 250 кВт·ч.

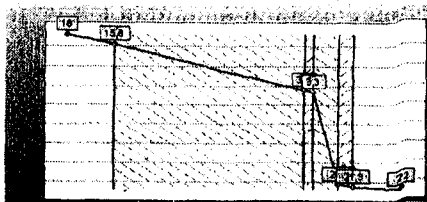


Рис. 3 Температурный режим в плоскости компенсационной системы наружной стены.

Температурный режим в плоскости компенсационной системы наружной стены находится на уровне 3 °С. Направление в настенную часть компенсационной системы теплоносителя из аккумулятора с температурой, например, 18 °С полностью компенсирует теплопотери через наружные стены.

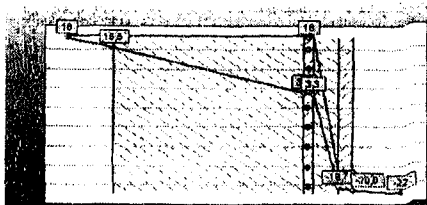


Рис.4 Температурный режим в плоскости компенсационной системы наружной стены с учётом теплоносителя

Определим теплопотери от настенной части компенсационной системы наружу.

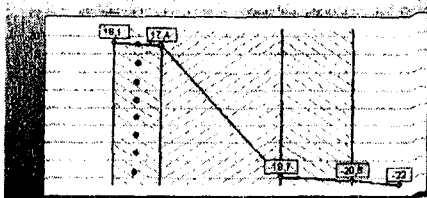


Рис. 5 Теплопотери в плоскости компенсационной системы наружной стены.

Таблиця 4.

Значения расчетных теплотерь по наружной части здания			
	Вт/м ² ·К	м ²	Вт
Стена наружная, наружная часть	0.675	312.0	8424

Величина тепловой энергии необходимой для настенной части компенсационной системы составляет $0,086 \cdot 8,424 \cdot 3572 / (18 - (-22)) = 65,0$ ГДж или 18 054 кВт·ч.

Аналогично рассмотрим теплотери от кровельной части компенсационной системы наружу.

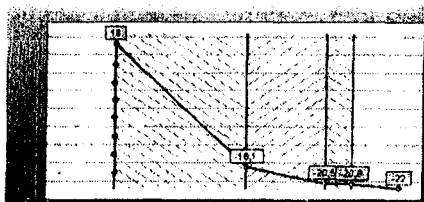


Рис. 6 Теплотери в плоскости компенсационной системы от кровельной части.

Таблиця 5

Значения расчетных теплотерь по крыше и наружной части здания

	Вт/м ² ·К	м ²	Вт
Крыша, наружная часть	0.639	432.0	11042

Величина тепловой энергии необходимой для кровельной части компенсационной системы составляет $0,086 \cdot 11,042 \cdot 3572 / (18 - (-22)) = 85,19$ ГДж или 23 664 кВт·ч.

Суммарная величина тепловой энергии необходимой для работы компенсационной системы с поддержанием в системе теплоносителя 18 °С составляет 41 718 кВт·ч.

Пассивный солнечный абсорбер представляющий собой 216 м² ориентированной на юг крыши способен обеспечить на широте Киева производство 43270 кВт·ч тепловой энергии. Этот объем перекрывает потребности компенсационной системы. Удельный тепловой поток утилизируемый абсорбером составляет 200 кВт·ч/м².

Расчетный годовой срок работы составляет 4380 часов. Максимальная мощность абсорбера 16,39 кВт в июле, средняя мощность составляет 9,88 кВт.

Удельный тепловой поток, утилизируемый пассивным абсорбером в 3,75 раза ниже, чем в случае использования традиционных солнечных коллекторов. Но с учетом более чем в 7 раз низкой стоимости оборудования пассивного абсорбера по сравнению со стоимостью традиционных коллекторов, - такое решение представляется оправданным.

Не покрытая компенсационной системой часть потерь тепла составляет 1,2 кВт через ворота и потери на вентиляцию.

Величина тепловой энергии необходимой для покрытия теплопотерь через ворота составляет $0,086 \cdot 1,2 \cdot 3572 / (18 - (-22)) = 9,26$ ГДж или 2 572 кВт·ч.

Вместе с потерями на вентиляцию 5,962 кВт мощность источника тепла должна составлять 7,2 кВт.

Теплопотери на вентиляцию определяются по формуле

$$Q_v = 0.34 \cdot (t_n - t_{вн}) \cdot V \cdot 9 \cdot K_{уб}, \text{ Вт}$$

где

V , м³/ч расчетный расход воздуха подаваемого в помещение

$K_{уб}$, м³ объем помещения.

Расчет годового объема тепловой энергии необходимой для покрытия теплопотерь на вентиляцию составляют 2920 кВт·ч.

Удельные теплотраты на отопление дома за отопительный период составят

$$q_{зд} = Q_{год} / F = (2572 + 2920) / 432 = 12,7 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 \cdot \text{год} \text{ или } 56190 / 1296 = 4,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3 \cdot \text{год}.$$

Нормативные максимальные теплотраты малоэтажных зданий для рассматриваемого случая составляют $E_{max} = 104$ кВт·ч/м²·год.

Разница в процентах расчетного или фактического значения теплотрат от максимально допустимого определяется по формуле $[(q_{зд} - E_{max}) / E_{max}] \cdot 100\% = ((12,7 - 104) / 104) \cdot 100\% = -89$

Класс энергетической эффективности здания – А. 3

Для производства такого количества тепла с использованием газовых котлов потребуется сжигать ежегодно 0,586 тыс. м³ газа или расходовать 5,49 тыс. кВт·ч электроэнергии при использовании электродкотлов [3].

Вывод. Таким образом, мы показали пример расчета компенсационной системы обеспечивающей снижение теплопотерь с использованием 50 % объема необходимой теплоизоляции и ежегодную экономию 19 тыс. м³ газа.

Использованные источники информации:

1. www.prolin.com.ua
2. Пособие по проектированию систем водяного отопления, КиевЗНИИЭП, Киев 2000
3. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель ДБН.В. 2.6-31.2006, МБАЖКГ України, 2006