

А. Бинц, Э.К. Боронбаев, Р. Кунц, Э.О. Тохлукова, А.М. Абдылдаева

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛООВОГО ЭФФЕКТА СОЛНЦА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЗДАНИЕ ИЗ СОЛОМЕННЫХ ТЮКОВ

Оптимизация организации и предотвращения затенения окон дешевого и экологичного здания из соломенных тюков улучшает внутренний микроклимат и снижает расход теплоты на его отопление более чем на 90 %. Для этого здания реален вариант полного солнечного нагревания, исключая затраты тепловой энергии на отопление.

A.Binz, E.K. Boronbaev, R.Kunz, E.O. Tohlukova, A.M. Abdylдаeva

OPTIMIZATION OF THERMAL SOLAR EFFECT TO THE ENERGY EFFICIENCY STRAW-BALE BUILDING

Energy efficiency organization and preventing of window shadowing of cheap and harmless straw-bale building improve internal microclimate and decrease heat demand for its heating more than 90 %. The version of full solar heating, excluding the heat consumption for space heating, is real for this building.

В условиях резконтинентального климата во многих районах Кыргызстана здания имеют большой расход энергии как на отопление, так и на охлаждение. Это связано, во-первых, с отсутствием достаточной теплоизоляции наружных ограждений, во-вторых, здания запроектированы, созданы и используются не в должном соответствии с суточным и сезонным тепловым эффектом Солнца и окружающей среды.

Очень низким качеством обладают здания в селах, особенно в горных регионах. По этой причине, а также из-за повышения цен на энергоносители часто около половины дохода семьи уходит на отопление жилья. К тому же низкий уровень теплового комфорта в таких зданиях сильно подрывает здоровье населения, особенно детей и пожилых людей.

Отсутствие должной теплоизоляции зданий является также одной из главных причин загрязнения окружающей среды продуктами сгорания топлива, беспощадной вырубке лесов и насаждений, а также деградации плодородной почвы из-за сжигания потенциальных органических удобрений.

При сотрудничестве Центральноазиатской горной программы (САМР, г. Бишкек), института Энергии Университета прикладных исследований (УПИ) г. Базеля (Швейцария) и кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры (КГУСТА) в 2002 г. проведен тематический семинар. В последующем теплоизолированы более 20 жилых домов в горных регионах в 5 областях Кыргызской Республики, в некоторых селах Таджикистана и Казахстана. При этом команда из выпускников, аспирантов и студентов этой кафедры, на практическом опыте обучала сельчан различным методам теплоизоляции [1] с использованием местного сырья (соломы, камыша, опилок, стружек, глины и др.).

Как следующий этап долгосрочного сотрудничества УПИ и КГУСТА осуществляется передача населению идей и технологий по созданию энергоэффективных зданий. Основу концепции этого шага составляет простота и низкая стоимость таких зданий, использование местных, доступных и экологически чистых материалов, применение известных и привычных способов строительства. При этом можно ожидать широкого и быстрого распространения опыта, поскольку соответствующие навыки могут получить и реализовать обычные мастера ручного труда. В качестве показательного служит энергоэффективное здание из обычных (прессованных) тюков соломы в горном селе (Жарды-Суу Московского района).

Здание «Айыл-Ордо» имеет многофункциональное назначение и состоит из зала собраний и рабочей комнаты (с внутренними размерами в плане 11,5 м x 6,0 м и 4,0 м x 2,0 м при высоте 3,2 м). Несущей конструкцией здания служит деревянный каркас из обычных реек, образующих стойки стен и фермы перекрытия. Стены и перекрытие представляют собой соломенные тюки, плотно уложенные друг к другу между указанными элементами каркаса. Потолок и стены имеют защитный слой в виде относительно толстого слоя глины (на основе дранки из мелких отходов реек и прямых веток ивы) и соответствующей штукатурки. Тюки соломы чердачного перекрытия также надежно защищены сверху слоем цементно-песчаной стяжки. Тюки из соломы создают слой качественной теплоизоляции толщиной 0,5 м.

Приняты пластиковые окна с двумя слоями стекла.

Известно, что здание с хорошей теплоизоляцией имеет высокую энергоэффективность, если обеспечить зимой солнечное нагревание, например, через окна. Необходимо также создать круглогодично приемлемый внутренний тепловой микроклимат. Поэтому требуется максимально предотвратить затенение окон зимой, а в жаркие месяцы лета, наоборот, организовать максимальное их затенение.

Принята ориентация длинного фасада строго на юг при расположении всех окон заподлицо поверхности этого фасада.

Для целей оптимизации круглогодичного теплового эффекта Солнца на окна в общем случае необходимо решать следующие взаимоопределяющие задачи*:

- определить общую площадь окон здания;
- определить принцип размещения окон на фасадах различной ориентации;
- определить места расположения каждого окна относительно периметра и толщи рассматриваемой стены;
- определить места расположения границ (конфигурацию) кромок, угла наклона и материал устройств затенения;

* Эти задачи теоретически обоснованы и решаются на кафедре «Теплогасоснабжение и вентиляция» КГУСТА.

- определить (уточнить) энергоэффективную форму окна;
- определить целесообразную способность остекления и рамы окна пропускать теплоту солнечной радиации и оказывать сопротивление теплопередаче.

Энергоэффективность здания в холодный период года связана с балансом суммарных потерь теплоты воздуха помещения в кВт·ч (путем теплопередачи через ограждения Q_O и на нагревание проникающего наружного воздуха Q_B) и ее поступлений (от людей, электрических приборов и др. $Q_Г$ за счет солнечной радиации Q_C) в виде:

$$Q_Г + Q_C - Q_O - Q_B + Q_M \pm \Delta Q = 0. \quad (1)$$

Для долгосрочного, например, месячного периода величина ΔQ , связанная с процессами нагревания и охлаждения ограждений, мебели и др., становится незначительной [2, 3].

Тогда необходимое количество искусственных ресурсов теплоты на отопление определяется как

$$Q_M = Q_C + Q_Г - Q_O - Q_B. \quad (2)$$

Компьютерные расчеты динамики изменения среднемесячных составляющих этого уравнения позволяют отыскивать целесообразные пути повышения энергоэффективности здания.

Для оценки ожидаемых энергозатрат на отопление предлагаемого здания решено сравнить его показатели с данными здания с обычными, наиболее распространенными в селе ограждениями, в частности, с кирпичной стеной толщиной 0,38 м.

Оба варианта зданий имеют идентичные объемы, формы, ориентации, окна и двери. Как элемент, служащий устройством затенения, принят выступающий скат крыши. Предварительные размеры трех окон зала составляют 1,95 x 2,0 м, окна кабинета – 1,30 м x 2,0 м.

На рис. 1, а представлена динамика изменения потерь и поступлений теплоты в зале собраний с обычными ограждениями.

Коэффициенты теплопередачи сравниваемых зданий и их ограждений представлены в табл. 1. Потери, поступления и подача теплоты определены [4] при среднемесячных значениях температуры наружного воздуха с учетом среднесуточной амплитуды их колебания [5]. Расчетная температура наружного воздуха холодной пятидневки – минус 24 °С. Она за расчетный отопительный период (162 сут) составляет минус 1 °С. Расчетные температуры воздуха [6] в зале собраний 16 °С, в кабинете 18 °С. Кратность воздухообмена в обоих помещениях принята равной 0,5 ч⁻¹, а расчетное количество людей в зале – 20 чел.

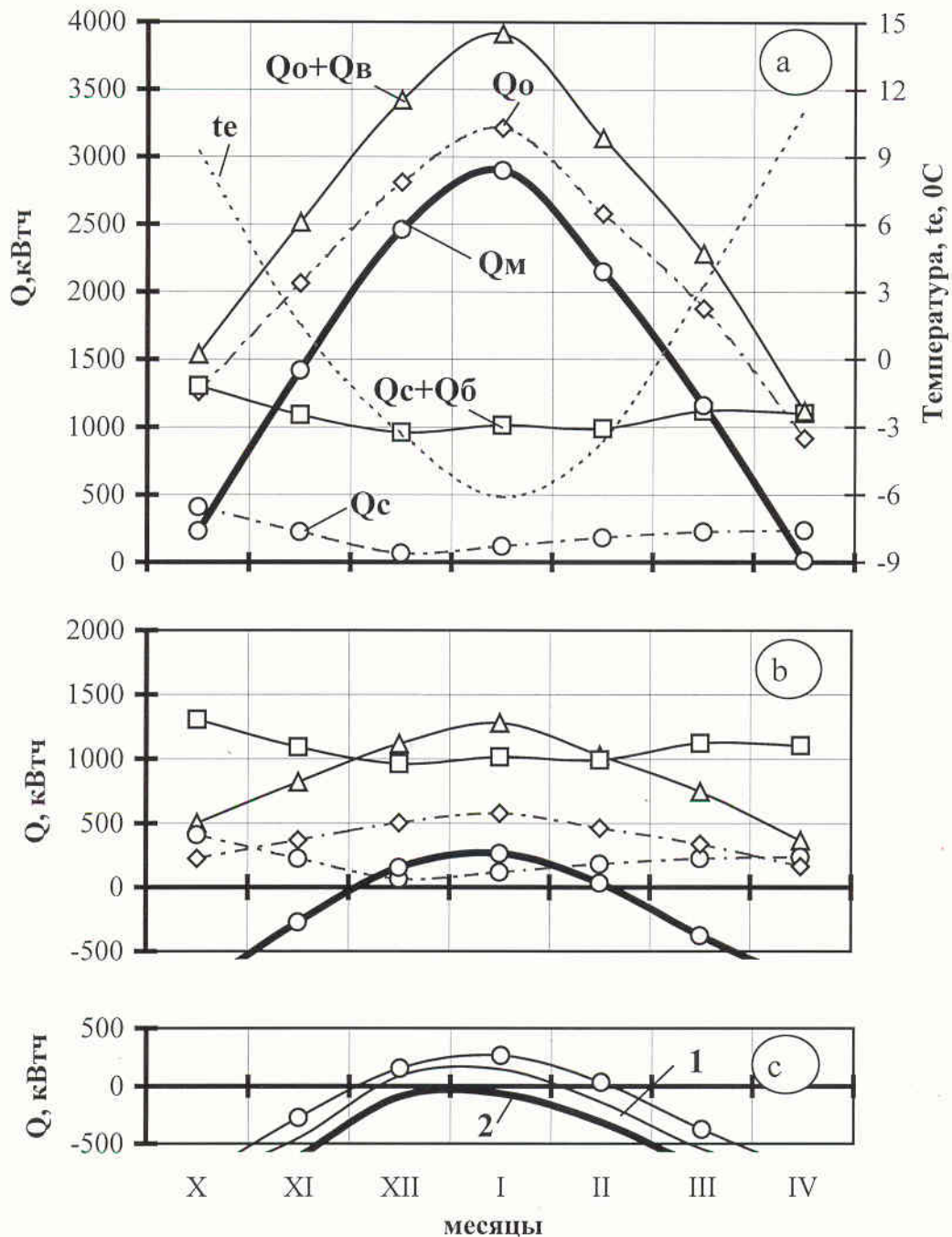


Рис. 1. Динамика изменения потерь (Q_0 и Q_B), поступлений ($Q_б$ и Q_c) и подачи Q_M теплоты зала собраний с ограждениями: а) обычными; б) из соломенных тюков; с) из соломенных тюков – линии: 1 – при увеличении площади окон в 2 раза (до $22,8 \text{ м}^2$); 2 – при остеклении бетонной стены южного фасада ($25,4 \text{ м}^2$) и площади окон $11,4 \text{ м}^2$ с $Q_M = 0$.

В целях оптимизации теплового эффекта Солнца рассчитана* динамика изменения поступления теплоты солнечной радиации (в ожидаемые периоды отопления и летнего перегревания помещений) при средней облачности неба и условии затенения окон. Требуется, во-первых, полностью предотвратить затенение окон в период с низкой температурой наружного воздуха, во-вторых, максимально затенить их летом в период наибольшего повышения этой температуры.

Таблица 1

Коэффициенты теплопередачи ограждений и оболочки зданий

| Показатели | Коэффициенты теплопередачи, k , Вт/(м ² °С) | |
|---|--|------------------------|
| | обычное здание | здание из тюков соломы |
| Стены | 0,981 | 0,088 |
| Чердачное перекрытие | 0,637 | 0,088 |
| Пол на грунте - для I зоны - для II зоны | 0,465 | 0,182 |
| | 0,233 | 0,131 |
| Окна | 2,564 | 2,564 |
| Наружные двери | 2,294 | 1,151 |
| Здание, k_{cp} | 0,748 | 0,214 |

Таблица 2

Месячные потери и поступления теплоты и ее требуемый расход на отопление многофункционального зала, кВт·ч

| Месяцы | Поступления теплоты | | При обычном здании | | | При здании из тюков соломы | | |
|--------|---------------------|-------|--------------------|--------|----------------|----------------------------|-------|----------------|
| | | | потери теплоты | | расход теплоты | потери теплоты | | расход теплоты |
| | $Q_{с.ок}$ | $Q_б$ | $Q_в$ | $Q_о$ | $Q_м$ | $Q_в$ | $Q_о$ | $Q_м$ |
| X | 339,9 | 894,5 | 274,6 | 1263,3 | 303,5 | 274,6 | 198,5 | -761,3 |
| XI | 225,7 | 865,6 | 448,4 | 2062,9 | 1419,9 | 448,4 | 324,2 | -318,8 |
| XII | 66,7 | 894,5 | 610,9 | 2810,7 | 2460,4 | 610,9 | 441,7 | 91,5 |
| I | 111,6 | 894,5 | 699,3 | 3214,4 | 2907,6 | 699,3 | 527,6 | 220,8 |
| II | 182,1 | 807,9 | 560,5 | 2578,7 | 2149,3 | 560,5 | 405,2 | -24,3 |
| III | 225,7 | 894,5 | 407,4 | 1874,4 | 1161,6 | 407,4 | 294,5 | -418,2 |
| IV | 214,9 | 865,6 | 199,4 | 917,5 | 36,4 | 199,4 | 144,2 | -737,0 |

Разработанная программа расчета [8] позволяет (на основе данных динамики изменения затененной площади окон и соответствующих часовых, суточных, месячных, сезонных и круглогодичных поступлений теплоты солнечной радиации на его плоскость любой ориентации и любого наклона) определить оптимальный вылет нижней кромки кровли крыши. Этапы решения этой оптимизационной задачи представлены на рис. 2.

Сначала рассмотрен наиболее удобный (дешевый) конструктивный вариант устройства окон, когда верх их рам упирается в плоскость потолка. При этом указанная кромка кровли с вылетом 1 м оказывается на 0,56 м выше уровня верхнего края остекления окон. Закономерности изменения теплоты солнечной радиации, поступающей на окна зала,

* Осуществлена аспиранткой Э.О. Тохлуковой.

представлены на рис. 2, б и с. Установлено, что полное отсутствие затенения в ожидаемый период отопления возможно при указанном вылете, равном 0,26 м. Но такой вылет в летний период не обеспечивает благоприятного затенения. По летним условиям лучше вылет в 1 м.

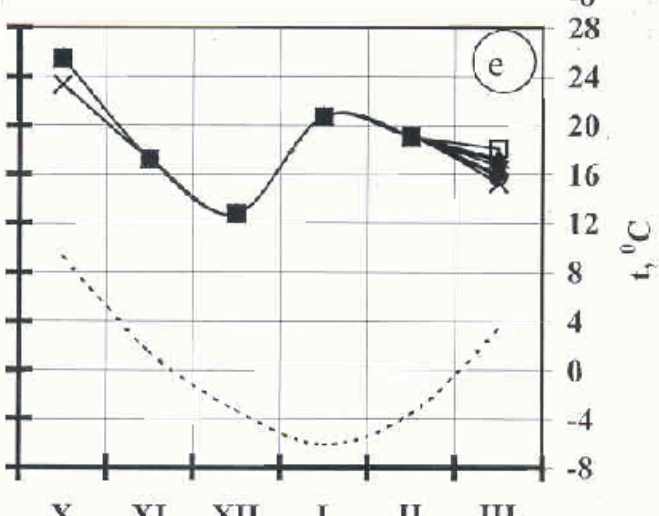
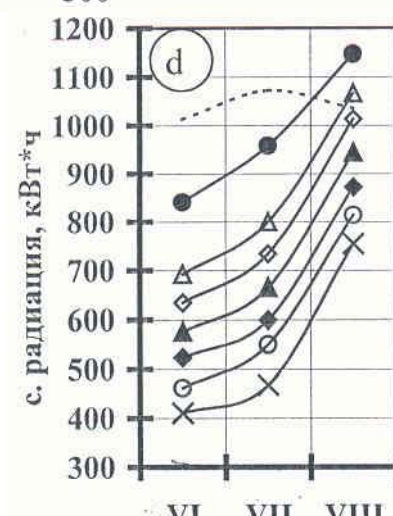
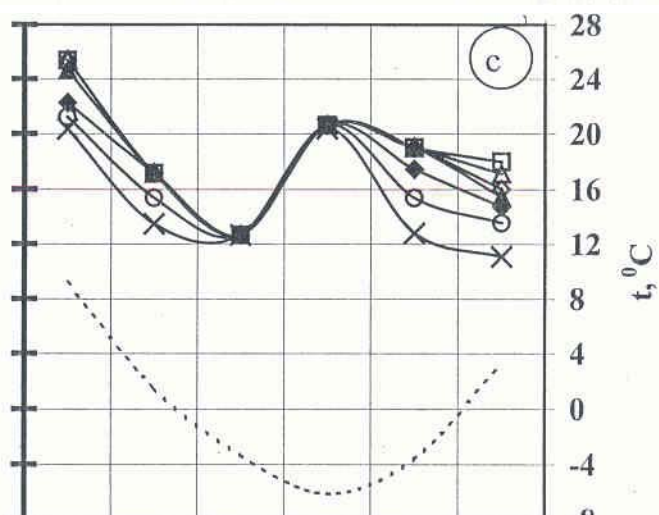
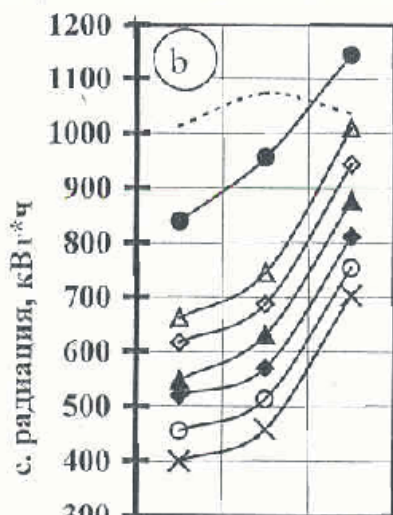
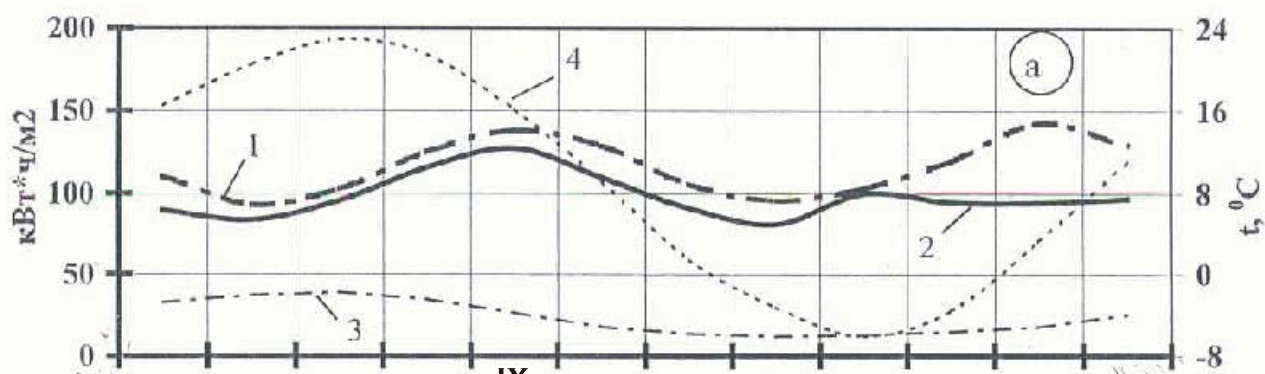
По закономерностям динамики дневных изменений величины затененной суммарной площади трех окон зала решено принять другой – целесообразный уровень верха остекления, который, к тому же, соответствует конструктивно приемлемому вылету кромки, равный 1 м.

Расчеты показали, что требуется опустить верх остекления окон еще на 0,28 м для предотвращения значительного их затенения в отопительный период. Конструктивно удобно принять это расстояние равным ширине соломенного тюка 0,3 м. Тогда указанная разница уровней составляет 0,86 м (вместо 0,56 м). При первоначальном принятом уровне низа остекления окон решено установить окна с целесообразными размерами – с высотой остекленной части 1,65 м, шириной – 2,35 м. При этом предотвращается затенение всех трех окон с начала октября до середины марта. Появление затенения во второй половине марта снижает поступление теплоты солнечной радиации за этот месяц лишь на 7 %. Можно отметить, что это незначительное снижение полностью предотвращается с начала октября до конца марта, если вместо указанного расстояния 0,86 м принять 0,4 м. Установлено, что для принятого случая в 0,86 м период полного отсутствия затенения (с 8 октября по 11 марта) общее количество теплоты поступающей солнечной радиации составляет 3145 кВт·ч. При этом эффективное затенение летом позволяет снизить соответствующее количество теплоты в июне на 51,6 %, в июле – на 51,2 % и в августе – на 30,6 %.

Для принятых конструктивных условий и ожидаемого периода отопления осуществлен окончательный расчет динамики изменений потерь и поступлений теплоты для обоих вариантов и их помещений.

Результаты компьютерного расчета* месячных потерь и поступлений теплоты и требуемый ее расход на отопление многофункционального зала представлены на рис. 1 и табл. 2. Как видно из этой таблицы и рис. 1, б, дефицит теплоты в зале предлагаемого здания наблюдается лишь в три наиболее холодных месяца. Динамика изменения требуемого количества теплоты Q_M на отопление зала с обычными ограждениями (рис.1, а) показывает, что продолжительность периода необходимого искусственного его нагревания превышает 176 сут. Установлено (рис.1, б), что ожидаемый период отопления зала здания из соломенных тюков сокращен на 100 сут, т.е. составляет всего лишь около 76 сут. За эти периоды для обоих вариантов ограждений зала и кабинета (соответственно, с обычными ограждениями около 188 и 86 сут), а также для здания в целом были рассчитаны потери и поступления (табл. 3).

* Осуществлены аспиранткой А.М. Абдылдаевой.



- × вылет крошки кровли в 1 м
- 0,8 м
- ◊ 0,6 м
- без затенения (при b - 0,28 м; d - 0,4 м)
- 0,9 м
- ▲ 0,7 м
- △ 0,5 м
- температура наружного воздуха

Рис. 2. Динамика изменения среднемесячной теплоты поступающей солнечной радиации на окно южной ориентации: а – на 1 м^2 – линии: 1 и 2 – без учета и с учетом средней облачности неба, 3 – рассеянной радиации (4 – температура наружного воздуха); б и с – при разнице уровней верха остекления окна и нижней крошки кровли в 0,56 м; д и е – то же, в 0,86 м.

Следует отметить, что данные рис. 1 и табл. 2 и 3 получены с учетом среднестатистических климатических данных места строительства. В частности, учтены

среднемесячные условия облачности неба [7, 8], средние за месяц суточной амплитуды колебания и общего изменения температуры наружного воздуха [5]. Как конструктивные элементы здания, позволяющие пассивно использовать солнечное нагревание, выступают окна южной ориентации и бетонная стяжка (толщиной 0,1 м) над соломенными тюками пола. Сопоставление показателей сравниваемых зданий показывает, что улучшенная теплоизоляция ограждений здания из соломенных тюков позволяет сэкономить расход теплоты на его отопление на 84,4 %.

Общая экономия теплоты при этих условиях составляет (см. табл. 3) около 92 %.

Расчетная требуемая мощность нагревательного прибора системы отопления зала (когда расчетная температура наружного воздуха минус 24 °С и $Q_c = 0$) равна 1,77 кВт (а кабинета – 0,92 кВт). Соответственно для здания нет необходимости создавать специальную систему отопления – достаточно иметь для зала электрический радиатор с термостатом и мощностью 1,8 кВт.

На следующем этапе оптимизации теплового эффекта Солнца на здание поставлена задача исключить затраты искусственных ресурсов теплоты на его отопление. Расчет варианта увеличения суммарной площади окон зала в два раза (до 22,8 м²) не позволяет решить поставленную задачу (рис. 1, с, линия 1). Установлено, что полное пассивное солнечное отопление зала удастся обеспечить при варианте с тремя принятыми ранее окнами при дополнительном одинарном остеклении почти всей наружной поверхности стены южного фасада (с площадью 25,4 м² и невентилируемой воздушной прослойкой между остеклением и стеной). Как известно, такая стена должна иметь черную остекленную поверхность и теплоаккумулирующую массу, например, из бетона. Эти решения, хотя и позволяют получить реальный оригинальный практический результат с «нулевым» расходом теплоты на отопление, приводит к значительному увеличению капитальных затрат на создание как энергоэффективной стены, так и всего здания.

Во многих климатических зонах солнечное нагревание дешевого и экологичного здания из соломенных тюков позволяет снизить расход тепловой энергии на его отопление более чем на 90%.

Таблица 3

Показатели энергоэффективности зданий с обычными ограждениями и с ограждениями из тюков соломы

| Показатели | | | Кабинет | | Зал | | Здание | |
|---|---|--|--------------------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| | | | При вариантах ограждений | | | | | |
| | | | обычн ых | тюков соломы | обычны х | тюков соломы | обычны х | тюков соломы |
| Количество теплоты, кВт·ч | Потери | через ограждения, Q_O | 8930,8 | 986,7 | 14721,8 | 2335,9 | 23652,6 | 3322,5 |
| | | на нагревание поступающего воздуха, Q_B | 536,9 | 536,9 | 3200,5 | 3200,5 | 3737,4 | 3737,4 |
| | Поступления | от солнечной радиации, Q_C | 268,6 | 268,6 | 1366,6 | 1366,6 | 1635,2 | 1635,2 |
| | | от людей, электроосвещения и приборов, Q_6 | 1553,9 | 1553,9 | 6117,1 | 6117,1 | 7670,9 | 7670,9 |
| | | от системы отопления, Q_M | 7108,3 | 152,7 | 10438,7 | 312,2 | 17547,0 | 465,0 |
| Удельный расход теплоты – на 1 м^2 пола | | | 592,7 | 12,7 | 151,3 | 4,5 | 216,6 | 5,7 |
| – на 1 м^3 объема | | | 185,1 | 4,0 | 47,3 | 1,4 | 67,7 | 1,8 |
| Годовая экономия теплоты, в %, за счет ис- | тюков соломы | | - | 89,0 | - | 84,1 | - | 86,0 |
| | теплоты солнечной радиации | | 2,8 | 17,6 | 7,6 | 24,7 | 6,0 | 23,2 |
| | тюков соломы и теплоты солнечной радиации | | - | 91,8 | - | 97,1 | - | 92,0 |

Список использованных источников

1. Энергосбережение и комфорт: теплоизоляция жилых домов в горных регионах / Составитель Э.К. Боронбаев – Бишкек: Издательский центр «МОК», 2004. – 44 с., ил.
2. EN 832. Thermal Performance of Buildings – Calculation of Energy Use for Heating – Residential Buildings. – Brussels: European Committee for Standardization, 1998. – 46 p. (The corrigendum EN 832: 1998 / AC: 2000. – 4 p.)
3. Боронбаев Э.К. Особенности динамики охлаждения и нагревания ограждений здания // Объединенный научный журнал. – М.: Тезарус, 2002, № 6 (29), с. 42-48.
4. Боронбаев Э.К., Абдылдаева А.М. Солнечное нагревание зданий через лучепрозрачные и остекленные массивные ограждения. // Горный Кыргызстан и экология: Сб. науч. тр. /Кырг. гос. ун-т строит., трансп. и архит. – Бишкек, 2002, с. 57-70.
5. Справочник по климату СССР: Вып. 32, Киргизская ССР. Часть II. Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 256 с.
6. СНиП 23-01-98 КР. Строительная теплотехника / Госархстройинспекция КР. – Бишкек: 1998. – 86 с.
7. Справочник по климату СССР: Вып. 32, Киргизская ССР. Часть V. Облачность и атмосферные явления. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 204 с.
8. Атлас Киргизской ССР, т.1. Природные условия и ресурсы. – М.: ГУГК СССР, 1987. – 158 с.
9. Боронбаев Э.К., Тохлукова Э.О. Энергосберегающее затенение ограждений здания с учетом облачности неба // Объединенный научный журнал. – М.: Тезарус, 2002, № 31 (56), с. 76-79.