

Виктор МИЛЕЙКОВСКИЙ, Ольга ШУБАЕВА

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ПАССИВНОГО ОТОПЛЕНИЯ В РЕГИОНАХ С ДЛИТЕЛЬНОЙ ОБЛАЧНОЙ ПОГОДОЙ

Выполнены серии численных экспериментальных исследований пассивного солнечного отопительного прибора повышенного термического сопротивления, который состоит из прозрачной стенки и тепло-светового абсорбера, пространство между которыми разделено наклонными прозрачными антиконвективными перегородками. Полученные результаты показали влияние ориентации отопительного прибора на его КПД. Приведены рекомендации по эффективной ориентации солнечного отопительного прибора и соответствующие КПД в зависимости от даты и времени суток.

Ключевые слова: пассивное солнечное отопление, солнечный отопительный прибор, антиконвективные поверхности

ВВЕДЕНИЕ

Экономия ископаемых энергоресурсов, а также их рациональное использование на сегодняшний день является достаточно острым и актуальным вопросом для Украины, как и для всего мира. Один из способов решения этого вопроса - это использование возобновляемых источников энергии, в том числе солнечной [1-8].

В условиях экологического и экономического кризиса, а также невысоких доходов большинства населения Украины, высокая стоимость современных солнечных коллекторов и отопительных приборов ограничивает их широкое внедрение. Также ограничением для их использования являются районы с нестабильным поступлением солнечной энергии, где количество пасмурных дней значительно превышает количество солнечных дней, и присутствуют длительные непрерывные периоды пасмурной погоды. Пассивные солнечные системы отопления также имеют высокую стоимость и другие существенные недостатки. Поэтому на сегодняшний день разработка эффективных солнечных отопительных приборов для пассивных систем отопления, которые сочетают низкую стоимость и высокую эффективность, является актуальным вопросом.

1. АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На сегодняшний день достаточно большое количество высокоэффективных систем солнечного теплоснабжения, в том числе и пассивного, разработаны и внедрены для зданий и сооружений различного назначения [1-8]. Но солнечные отопительные приборы для пассивных систем имеют ухудшенные теплозащитные свойства ограждающих конструкций и имеют ряд других существенных недостатков. Основные их недостатки - это значительный срок окупаемости при длительных облачных периодах, которые могут продолжаться месяцами, и высокая себестоимость оборудования. При этом во время длительной облачной погоды за счёт сниженного термического сопротивления конструкций теряется больше энергии, чем экономится в течение солнечных дней. Это делает подобные решения нецелесообразными для таких регионов. Сезонная аккумуляция теплоты используется при длительном количестве облачных дней в холодный период года. Основным недостаток теплоаккумуляторов - это их значительные размеры и большой объём. Этот объём соизмерим с объёмом нескольких комнат.

Системы, предложенные в [1-8], имеют дополнительную воздушную прослойку извне непрозрачных ограждающих конструкций, отделённую от наружного воздуха стеклопакетом или одинарным остеклением. Солнечная радиация нагревает внешнюю поверхность ограждающей конструкции. Если ограждающая конструкция будет иметь высокое сопротивление теплопередачи, то в помещение попадёт лишь малая часть абсорбированной теплоты. Альтернативой предлагается увеличить площадь светопрозрачных ограждающих конструкций и использовать внутренние поверхности помещений в качестве тепло-светового абсорбера. Как упомянуто выше, основной недостаток таких конструкций пассивных систем отопления - это низкое сопротивление теплопередачи. Кроме того, увеличение площади светопрозрачных ограждающих конструкций приводит к повышенной инсоляции в помещении, что мешает использованию телевизоров и компьютеров в холодный период года. Сплошная прозрачная наружная стена в помещении создаёт ощущение «незащищённости», возникает психологический дискомфорт [8].

Пассивные солнечные системы, которые объединены с естественной вентиляцией (потолочные пассивные солнечные воздухонагреватели, стены Тромба-Мишеля), перегревают верхнюю зону помещения. Существуют пассивные солнечные системы, не имеющие таких недостатков [6-8]. В таких системах используется теплоизоляционная засыпка, которая изымается и засыпается с помощью пневматической системы. Подобные системы имеют высокую цену и не могут быть использованы большинством населения из-за недостаточного уровня доходов. Таким образом, существует необходимость разработки пассивного солнечного отопительного прибора повышенного термического сопротивления.

2. ФОРМУЛИРОВКА ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ В СТАТЬЕ

Целью данной работы является определение эффективности пассивных солнечных отопительных приборов и разработка рекомендаций по их применению по результатам завершённой серии численных экспериментальных исследований.

3. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для регионов с нестабильным поступлением солнечной энергии авторами разработаны эффективные конструкции солнечных отопительных приборов для пассивного отопления (рис. 1), термическое сопротивление которых достигает термического сопротивления наружных стен. Способ передачи теплоты от них в помещение - радиационный. Солнечные пассивные отопительные приборы могут быть использованы в комбинации с системами отопления на вторичных, возобновляемых или ископаемых энергоресурсах [9, 10]. Глубокая воздушная прослойка предложенного солнечного пассивного отопительного прибора разделена наклонными прозрачными антиконвективными перегородками, что уменьшает конвективную теплопередачу внутри конструкции. Наклонные перегородки могут быть расположены вверх к внешней поверхности, что уменьшает поглощение света. Однако, холодная стенка оказывается выше горячей, что, соответственно, снижает термическое сопротивление конструкции.

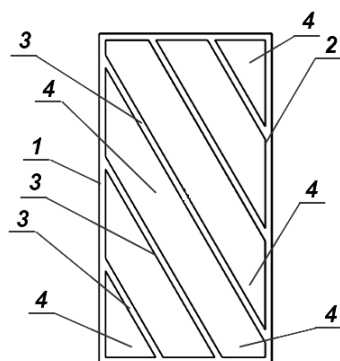


Рис. 1. Солнечный пассивный отопительный прибор: 1 - тепло-световой абсорбер, 2 - наружная стенка, 3 - прозрачные или частично прозрачные антиконвективные перегородки, 4 - воздушные прослойки

Выполнена серия экспериментальных исследований термического сопротивления пассивных солнечных отопительных приборов [11, 12]. Толщина моделей принята 50 мм. Полученные результаты позволили оптимизировать геометрические размеры конструкции. Результаты экспериментального определения коэффициента теплопередачи показали, что наиболее эффективными являются модели пассивных солнечных отопительных приборов с вертикаль-

ным расстоянием между перегородками, равное $1/6$ их высоты. Коэффициент теплопередачи моделей, в которых перегородки расположены вниз к горячей поверхности, ориентировочно вдвое больше, чем коэффициент теплопередачи при противоположном расположении перегородок. Уменьшение угла наклона и расстояния между перегородками снижает коэффициент теплопередачи, но при этом увеличивается количество перегородок, что, соответственно, делает конструкцию более тяжёлой и удорожает её.

Для определения КПД солнечного отопительного прибора выполнено серию численных экспериментальных исследований (рис. 2). КПД солнечного отопительного прибора определяется по формуле:

$$\eta = q_{\text{int}}/q_{\text{solar}} \quad (1)$$

где:

q_{int} - теплоотдача внутренней поверхности, Вт/м²;

q_{solar} - поток солнечной радиации, Вт/м², на перпендикулярную солнечным лучам поверхность.

Такой КПД является характеристикой не только конструкции пассивного солнечного отопительного прибора, но и его ориентации. Отклонение фактического расположения поверхности пассивного солнечного отопительного прибора от нормального солнечным лучам учтено как снижение КПД, что позволяет упростить инженерный расчёт.

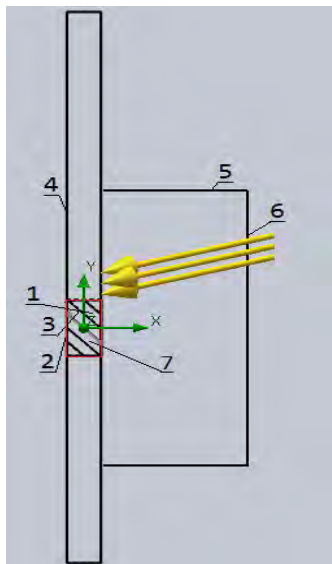


Рис. 2. Моделирование процессов в солнечном пассивном отопительном приборе:

1 - модель пассивного солнечного отопительного прибора, 2 - тепло-световой абсорбер, 3 - прозрачные или частично прозрачные антиконвективные перегородки,

4 - ограждающая конструкция, в которой находится пассивный прибор,

5 - расчетная область, 6 - поток солнечной энергии, 7 - воздушные прослойки между прозрачными или частично прозрачными антиконвективными перегородками

Солнечная радиация моделируется по стоянию солнца согласно календарю, ориентации модели и времени суток. Условия моделирования: ясная погода, атмосферное давление - 101 325 Па, температура наружного воздуха $T = 253,15; 263,15; 273,15; 283,15; 293,15$ К (последнее значение - без перепада температуры, для полноты информации). Параметры модели пассивного солнечного отопительного прибора: коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности $\alpha = 8,7$ Вт/(м²·К), температура воздуха в помещении $T = 293,15$ К, шероховатость стенки модели 5 мкм, материал - стекло, все поверхности - стекло - за исключением тепло-светового абсорбера, для которого задано поверхность «абсорбер» (все приходящие лучи поглощаются полностью). Поток солнечной радиации принят 1000 Вт/м². Ориентация принята: 0° - север; 45° - северо-восток; 90° - восток; 135° - юго-восток; 180° - юг; 225° - юго-запад; 270° - запад; 315° - северо-запад. Солнечная радиация моделировалась для периода с октября по март, с 10 до 16 часов включительно.

Наиболее вероятный режим движения воздуха в исследуемых моделях - ламинарное движение или неподвижный воздух, для которого использованы уравнения Навье-Стокса и уравнение энергии. Но данные модели автоматически определяют возможную турбулизацию потока. В этом случае автоматически применяется k-ε модель турбулентных течений. Для твёрдых элементов применено уравнение теплопроводности.

В результате получено достаточно высокие значения КПД (рис. 3-8), пассивных солнечных отопительных приборов повышенного термического сопротивления, достигающие 30÷40%.

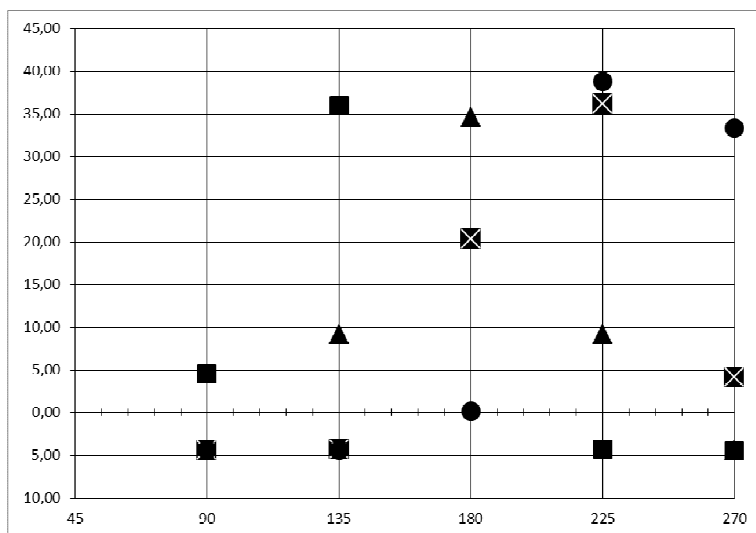


Рис. 3. Значения КПД в зависимости от ориентации абсорбера по отношению к северному направлению - октябрь, температура наружного воздуха минус 10°C: квадрат - 10 часов, треугольник 12 часов, квадрат с белым крестиком - 14 часов, круг - 16 часов

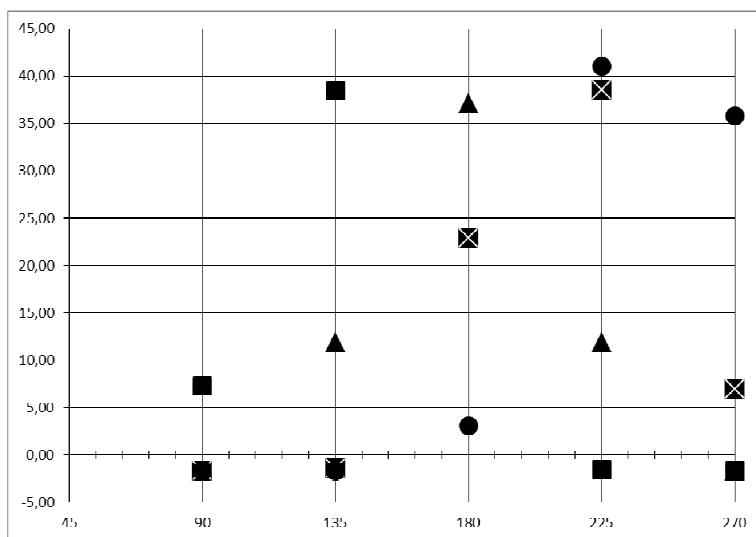


Рис. 4. Значения КПД в зависимости от ориентации абсорбера по отношению к северному направлению - октябрь, температура наружного воздуха плюс 10°C. Обозначения см. рис. 3

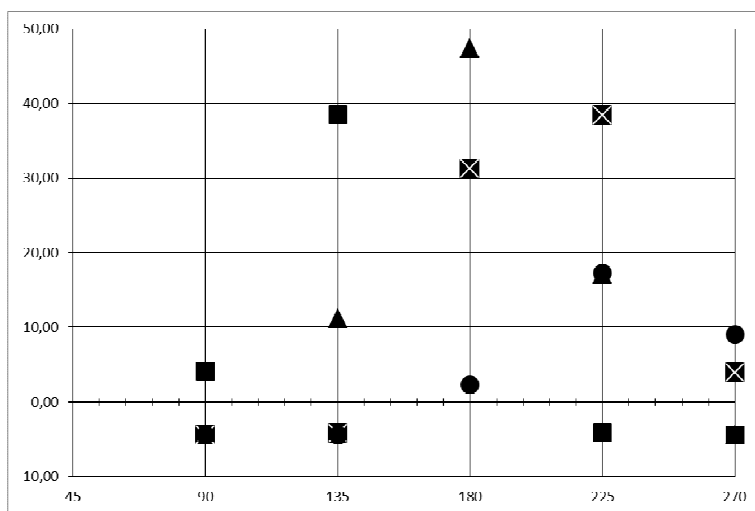


Рис. 5. Значения КПД в зависимости от ориентации абсорбера по отношению к северному направлению - декабрь, температура внешнего воздуха минус 10°C. Обозначения см. рис. 3

Это достаточно высокий показатель для данного типа приборов, особенно, с учётом невозможности оптимального размещения по архитектурным соображениям. Поскольку термическое сопротивление моделей близко к термическому сопротивлению наружных ограждающих конструкций, то такие отопительные приборы не повышают теплопотери в окружающую

среду при облачной погоде, которая может длиться большую часть времени отопительного периода.

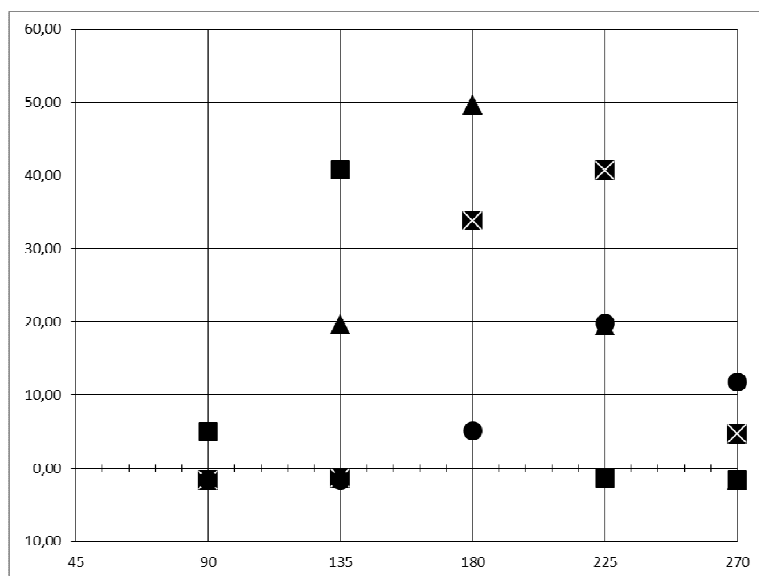


Рис. 6. Значения КПД в зависимости от ориентации абсорбера по отношению к северному направлению - декабрь, температура внешнего воздуха плюс 10°C. Обозначения см. рис. 3

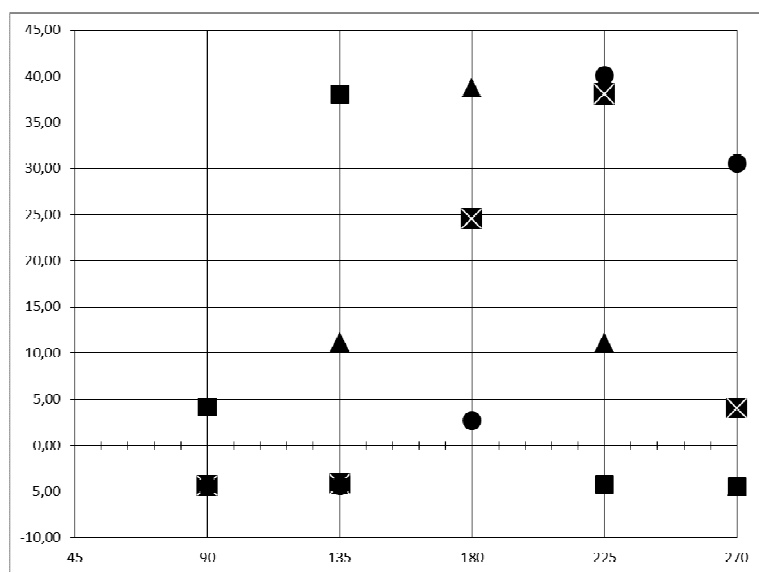


Рис. 7. Значения КПД в зависимости от ориентации абсорбера по отношению к северному направлению - март, температура внешнего воздуха минус 10°C. Обозначения см. рис. 3

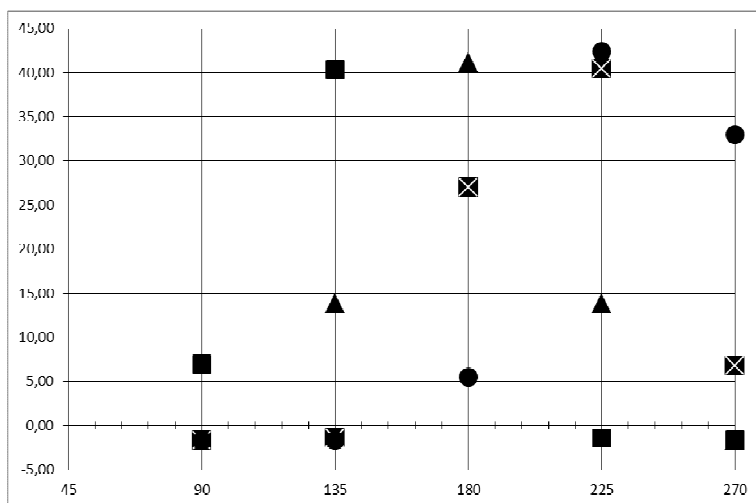


Рис. 8. Значения КПД в зависимости от ориентации абсорбера по отношению к северному направлению - март, температура внешнего воздуха плюс 10°C. Обозначения см. рис. 3

Таким образом экономится теплота на отопление при солнечной погоде. Это также позволяет выполнить широкое внедрение предложенных отопительных приборов повышенного термического сопротивления.

На графиках (рис. 3-8) максимальное значение КПД соответствует наиболее эффективной ориентации и времени суток: для углов 135° (юго-восток) - 10 часов; 180° (юг) - 12 часов; 225° (юго-запад) - 16 часов. Направления 0° (север), 45° (северо-восток), 90° (восток) и 315° (северо-запад) не эффективны. В холодный период года с 16 часов до 10 часов следующих суток нет значимых поступлений солнечной радиации. В холодный период года солнце поднимается на небольшую высоту над горизонтом. В этом случае вертикальное расположение пассивного солнечного отопительного прибора позволяет увеличить поступления солнечной энергии с последующим её преобразованием в тепловую. Соответственно, в тёплый период года вертикальные поверхности малоэффективно воспринимают прямую солнечную радиацию, что приводит к уменьшению тепlopоступлений в помещение. Однако, с учётом рассеянной и диффузной солнечной радиации, рекомендуется оборудовать пассивные солнечные отопительные приборы регулируемой (жалюзи или ролеты) солнцезащитой даже при условии южной ориентации и установки солнцезащитного козырька.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ, ВЫВОДЫ

Предложены пассивные солнечные отопительные приборы повышенного термического сопротивления, которое близко к термическому сопротивлению наружных ограждающих конструкций. Такие отопительные приборы

не повышают теплотери в окружающую среду при облачной погоде, которая может длиться большую часть времени отопительного периода. Это позволит сэкономить теплоту на отопление при солнечной погоде и обеспечить широкое внедрение предложенных отопительных приборов.

Максимальное значение КПД пассивных солнечных отопительных приборов соответствует рекомендуемым ориентациям при времени суток: для углов 135° (юго-восток) - 10 часов, 180° (юг) 12 часов, 225° (юго-запад) - 16 часов и составляет 38,5, 47,3, 39,1. Направления моделей отопительных приборов повышенного термического сопротивления: 0° (север), 45° (северо-запад), 315° (северо-восток), не эффективны.

В последующих статьях планируется провести исследования по КПД пассивных солнечных отопительных приборов при отсутствии и прямого облучения их солнечными лучами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Афанасьева О.К., Архитектура малоэтажных жилых домов с возобновляемыми источниками энергии. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры, О.К. Афанасьева, МАРХИ, М.: 2009, 20 с.
- [2] Гужулев Э.П., Основы современной малой энергетики. Том 3. Учеб. пособие: в 3 т., Э.П. Гужулев, В.В. Шалай, А.Н. Лямин, А.Б. Калистратов, Изд-во ОмГТУ, Омск 2006, Т. 3, 528 с.
- [3] Габриель И., Ладенер Х., Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома, И. Габриель, Х. Ладенер, БХВ-Петербург, СПб.: 2011, 480 с.
- [4] Виссарионов В.И., Солнечная энергетика, В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, Издательский дом МЭИ, Москва 2008, 276 с.
- [5] Казаченко С.В., Солнечная энергетика в Крыму. Методическое пособие для специалистов и всех интересующихся проблемами использования солнечной энергии, С.В. Казаченко, С.А. Кибовский и др., Киев-Симферополь 2008, 202 с.
- [6] Blight T.S., Coley D.A., Sensitivity analysis of the effect of occupant behaviour on the energy consumption of passive house dwellings, Energy and Buildings 2013, 66, 183-192.
- [7] Rosenthal, Elisabeth (December 26, 2008). "Houses With No Furnace but Plenty of Heat". The New York Times. Retrieved 2008-12-27. There are now an estimated 15,000 passive houses around the world, the vast majority built in the past few years in German-speaking countries or Scandinavia.
- [8] Габриель И., Ладенер Х., Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома. Vom Altbau zum Niedrigenergieund Passivhaus, БХВ, СПб.: 2011, 478 с.
- [9] Патент № 100523 UAMPK (2013.01) F 24 J 2/04 (2006.01) F 04 B 23/00. Соначный коллектор (Варианты), О.П. Любарец, В.О. Милейковский, О.Ю. Шуваева.
- [10] Патент № 98800 UAMPK (2013.01) F 24 J 2/24 (2006.01). Соначный коллектор, О.П. Любарец, В.О. Милейковский, О.Ю. Шуваева.
- [11] ГОСТ 26602.1-99. Межгосударственный стандарт. Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче. / НИИ строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. - взамен ГОСТ 26602-85, СТ СЭВ 4183-83. - Введ. 01.01.2000, Госстрой России, ГУП ЦПП, М.: 2000, 30 с.
- [12] Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник, Вип. 20 / відповідальний редактор Е.С. Малкін, КНУБА, СПб.: 2016, 112 с.

RESEARCH OF EFFICIENCY SOLAR HEATING DEVICE FOR PASSIVE HEATING IN THE REGIONS WITH PROLONGED CLOUDY WEATHER

Series of numerical experimental research are performed on models of passive solar heater of high thermal resistance, which consists of a transparent wall and the heat and light absorber, the space between wall and absorber is divided by inclined transparent anti-convective barriers. The results showed the influence of the orientation of the heater on its efficiency. The recommendations for an effective orientation of the solar heater and the corresponding efficiency depending on the date and time of day are presented.

Keywords: passive solar heating, solar heater, anti-convective surface