

А. Ю. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;
Р. А. РЫЛЬСКИЙ, студент НТУ «ХПИ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРОВ

Описана і приведена схема конструкції розробленого експериментального стенду для дослідження характеристик прозорих матеріалів, використовуваних в геліоколекторах. Розраховані втрати тепла через ізоляцію геліоколектора. Приведені експериментальні дані з листами скла та полікарбонату. Дані практичні рекомендації.

Described and resulted chart of construction of the developed experimental stand for research of descriptions of very thin materials, in-use in geliokollektor. Defervescences are expected through the isolation of geliokollektor. Experimental information is resulted with the folias of glass and polikarbonat. Practical recommendations are given.

Введение. Высоковольтная испытательная техника и энергетика поставили на повестку дня проблему исследования оборудования мегавольтными импульсами напряжения, что привело к необходимости строительства соответствующих генераторов импульсов напряжения вдали от населенных пунктов [1]. Для создания комфортных условий работы обслуживающего персонала в полевых условиях: отопления производственных помещений, подогрева воды зачастую используется электрическая энергия. В настоящее время большое внимание уделяется применению возобновляемых источников энергии [2], в частности, гелиоколлекторов для отопления помещений и нагрева воды. Одним из основных элементов гелиоколлектора является прозрачный материал, который с одной стороны должен пропускать солнечное излучение, а с другой являться хорошим теплоизолятором [3].

Цель работы. Создание экспериментального стенда и исследование характеристик прозрачных материалов, используемых в гелиоколлекторах.

Экспериментальная установка. Для исследования характеристик прозрачных материалов была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, фотография которой представлена на рис. 1, а схема – на рис. 2.

Данная установка позволяет ориентировать с высокой точностью экспериментальный стенд на солнечное излучение под заданным углом и удерживать его в этом положении во время всего эксперимента.

Экспериментальная установка состоит из подставки 1, которая устанавливается вертикально на земле. На подставке смонтирована поворотная ферма 3, ось которой 2 должна быть направлена точно на север под углом $\beta = 50$ градусов к горизонту (β – широта местности). На оси 2 находится шестерня 4 со стопором 5 для фиксации всей поворотной системы в нужном положении. Шаг зубов на шестерне 4 позволяет следить за положением солнца с точностью до

± 4 градусов в плоскости звездного экватора. Таким образом, вся подвижная часть может двигаться вокруг оси параллельной земной оси. На ферме 3 установлена площадка 8, на которой монтируется с помощью посадочных мест 9 экспериментальный стенд 10. Посадочная площадка 8 может вращаться вокруг оси 6 на угол C от 0 до 48 градусов в зависимости от времени года и, соответственно, высоты солнца над горизонтом. Угол C устанавливается с помощью тяги 7 таким образом, чтобы угол A (угол между направлением солнечных лучей и плоскостью экспериментального стенда) равнялся 90 градусов. Слежение за солнцем осуществляется с помощью вращения всей системы с экспериментальным стендом вокруг оси 2.



Рисунок 1 – Фото экспериментальной установки

Корпус экспериментального стенда (рис. 3), геометрические размеры которого 990 x 680 x 145 мм, изготовлен из корпуса солнечного нагревателя, из которого удален теплообменник. Материал корпуса 1 – оцинкованная сталь, толщиной 0,5 мм. Во внешнем корпусе 1 имеется открытая стальная прямоугольная емкость 3. Между внешним корпусом и емкостью 3 находится теплоизоляция 2 – базальтовая вата, толщиной 45 мм. Базальтовая вата прозрачна для инфракрасно-

го излучения при температурах 50 – 100 °С. Применение пенопласта при указанных температурах невозможно, так как он плавится. Для сведения к минимуму тепловых потерь, и уменьшения температуры, воздействующей на пенопласт, стандартный корпус солнечного нагревателя был доработан – рис. 4.

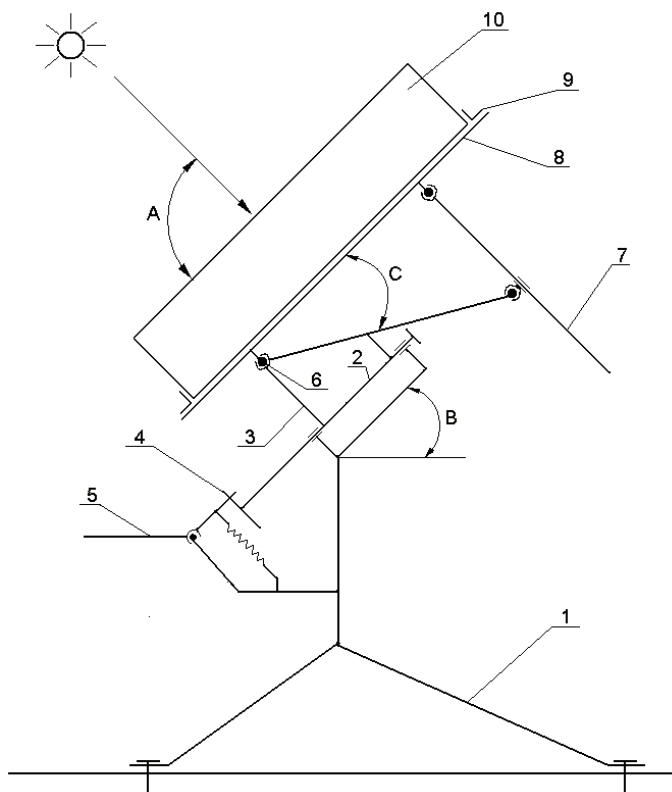


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

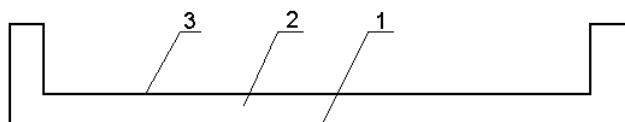


Рисунок 3 – Корпус штатива

Внутри емкости 3 по всему периметру были установлены доски 4 толщиной 20 мм, изготовленные из дерева легкой породы. Легкая порода древесины имеет теплопроводность всего в два раза больше чем у пенопласта. Эти доски термостойки и непрозрачны для инфракрасного излучения, и являются дополнительной теплоизоляцией и силовым каркасом штатива. Пенопласт 5 имеет

толщину 30 мм. Сверху пенопласта 5 установленный экран 6 из алюминиевой фольги. Экран отражает инфракрасное излучение, которое проходит через базальтовую вату 7. Базальтовая вата 7 изолирует пенопласт 5 от прямого контакта с абсорбером 8, который нагревается до высокой температуры, и представляет собой лист стали, толщиной 0,5 мм покрытый слоем ржавчины. На самом абсорбере устанавливается датчик температуры 10. Сверху на стенде устанавливается исследуемый прозрачный материал.

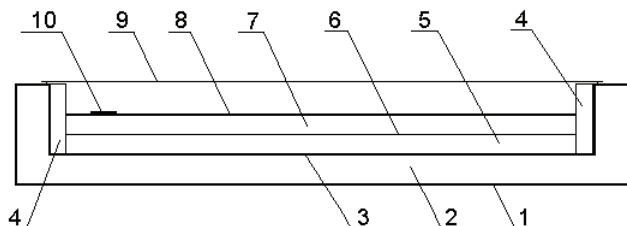


Рисунок 4 – Стенд в сборе

Тепловые расчеты. Примем, что теплообмен происходит через плоскую стенку. Тогда для расчета потерь тепла через изоляцию стенда воспользуемся формулами работы [4] и справочными данными [5].

$$q_1 = \frac{K \cdot f (T_\partial - T_0)}{d}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где K – коэффициент теплопроводности теплоизоляции, $K = 0,05 \text{ Вт/м}^2$; f – средняя поверхность теплоизоляции, $f = 0657 \text{ м}^2$, d – толщина используемой теплоизоляции, $d = 0,105 \text{ м}$; T_∂ , T_0 – температура датчика и окружающего воздуха в градусах Цельсия. Для упрощения последующих выражений обозначим

$$C_1 = \frac{K \cdot f}{d} = \frac{0,05 \cdot 0,57}{0,105} = 0,2828 \text{ Вт/град}, \quad (2)$$

тогда

$$q_1 = C_1 (T_\partial - T_0), \text{ Вт}.$$

По этому же принципу рассчитываем тепловой поток через боковые поверхности стенда

$$q_2 = \frac{K \cdot f (T_\partial - T_0)}{d}, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где $f = 0,31 \text{ м}^2$, d – приведенная толщина теплоизоляции боковой стенки стенда (базальтовая вата + дерево), $d = 0,055 \text{ м}$.

Обозначим приведенный коэффициент теплопроводности для боковых стенок:

$$C_2 = \frac{K \cdot f}{d} = \frac{0,05 \cdot 0,31}{0,055} = 0,2818 \text{ Вт/град}. \quad (4)$$

Общий тепловой поток через изоляцию дна и стенок экспериментального стенда запишем в виде

$$q = q_1 + q_2 = C_1(T_\delta - T_0) + C_2(T_\delta - T_0) = 0,5532 \cdot (T_\delta - T_0). \quad (5)$$

Такой вид формулы с одной переменной позволяет упростить расчеты динамических процессов теплообмена.

Рассчитаем тепловые потери через прозрачные материалы. Во время экспериментов температура в стенде может подниматься до 100 °С и выше, поэтому необходимо учитывать две составляющие тепловых потерь через прозрачные материалы. Первая – тепловые потери излучения пропорциональны разнице четвертых степеней температур. Вторая составляющая потерь зависит от характеристик прозрачного материала, по-разному пропускающего спектр солнечного излучения. Тепловой поток, который определяется излучением

$$q_u = C_u [(T_\delta + 273)^4 - (T_0 + 273)^4], \text{ Вт}, \quad (6)$$

где C_u , Вт – приведенный коэффициент излучения. Для определения обоих коэффициентов C_T и C_u для одного материала необходимо иметь как минимум два эксперимента с разными температурами окружающей среды. Результаты этих экспериментов следующие: $C_T = 0,5$; $C_u = 0,55$ для поликарбоната, $C_T = 1,0$; $C_u = 0,35$ – для стекла. C_T , Вт/град – приведенный коэффициент теплопроводности (уточняется во время эксперимента).

Тепловой поток, определяемый теплопроводностью равен

$$qT = C_T(T_\delta - T_0), \text{ Вт}. \quad (7)$$

В связи с тем, что коэффициент теплопроводности для прозрачных материалов известен с большой погрешностью при комнатных температурах, а в промежутке 50-150 °С справочные данные отсутствуют, то появляется необходимость в его экспериментальном определении.

Для этого определяется максимально возможная температура в стенде, при падении солнечного излучения на него под прямым углом, во время всего эксперимента.

При расчете тепловых потерь учитывались следующие коэффициенты: прозрачности атмосферы, исследуемого материала, и степени черноты абсорбера. После проведения ряда экспериментов со стеклом были получены данные для проведения более точного теплового расчета стенда.

Исходные данные эксперимента: $T_0 = 9$ °С – температура окружающего воздуха; $T_\delta = 111$ °С – температура датчика; $f = 0,464$ м² – эффективная поверхность облучения; $p = 1000$ Вт/м² – солнечная постоянная на уровне земли; $p_a = 0,8$ – прозрачность атмосферы; $r = 0,75$ – коэффициент прозрачности атмосферы; $c = 0,85$ – степень черноты абсорбера; $C_T = 1,0$ Вт/град – приведенный коэффициент теплопроводности для стекла; $C_u = 0,35$ Вт/град – приведенный коэффициент излучения для стекла.

В результате эксперимента получаем, что тепловой поток, попадающий в нагреватель и поглощенный абсорбером равен

$$q_s = f \cdot p \cdot p_a \cdot r \cdot c = 236 \text{ Вт}. \quad (8)$$

Эта величина получена при динамическом равновесии тепловых потоков. Тепловые потери через теплоизоляцию – 80 Вт, получены расчетным путем.

Оставшаяся часть тепловых потерь ($236 - 80 = 156$ Вт) приходится на остекление. Из них теплопроводностью через стекло – 102 Вт, и излучением – 54 Вт, соответственно. Суммарные потери составляют 236 Вт.

Экспериментально получено и подтверждено расчетом, что через теплоизоляцию стенда теряется 34 % всей энергии. Остальная часть попадающей энергии на нагреватель теряется через прозрачную часть конструкции стенда. Расчетная мощность тепловых потерь 236 Вт, а экспериментально определенная 236 Вт, что подтверждает правильность теплового расчета.

Результаты экспериментов. Эксперименты проводились на материалах наиболее часто применяемых в гелиоколлекторах, причем, толщины листов разные: поликарбонат – 6 мм, стекло – 3 мм. Это обусловлено тем, именно, что листы такой толщины используются на практике. Применение стекла с толщиной листа 6 мм не оправдано из-за его высокой стоимости и большого веса.

Методика проведения эксперимента следующая: датчик температуры, который представлял собой электронный термометр, монтировался в гелиоколлектор, затем устанавливался исследуемый материал – лист поликарбоната или стекла. С помощью экспериментальной установки гелиоколлектор устанавливался так, чтобы направление падения солнечных лучей было перпендикулярно плоскости гелиоколлектора. В начале эксперимента, когда температура внутри гелиоколлектора быстро возрастает, замер температуры проводился через 2 мин., затем, по мере достижения установившегося режима работы гелиоколлектора, временной шаг снятия показаний увеличился до 15 мин.

Экспериментальные зависимости максимальной температуры внутри гелиоколлектора от времени воздействия солнечного излучения при использовании различных прозрачных материалов и при разных температурах окружающего воздуха приведены на рис. 5. Цифрами на рис. 5 обозначены: 1 – стекло, толщиной 3 мм, температура окружающего воздуха $+9$ °С; 2 – стекло, толщиной 3 мм, температура окружающего воздуха -9 °С; 3 – поликарбонат, толщиной 6 мм температура окружающего воздуха $+9$ °С.

Во всех экспериментах угол падения солнечных лучей к плоскости поверхности исследуемого материала составлял 90 градусов.

Быстрый первоначальный рост температуры связан с тем, что масса абсорбера незначительна, тепловые потери минимальны, а направление солнечных лучей перпендикулярно плоскости гелиоколлектора.

Теплоизоляционные характеристики поликарбоната на 15 % выше, чем у стекла.

Разработанный экспериментальный стенд может иметь практическое применение для создания комфортных условий работы обслуживающего персонала в полевых условиях.

Во-первых, для подогрева воды до температуры 45-50 °С. Для этого используется теплообменник с развитой поверхностью для отбора тепла от воздуха, нагреваемого внутри стенда. Площадь поверхности теплообменника должна составлять 0,5 от эффективной поверхности стенда. Теплообменник

устанавливается в верхнюю часть нагревателя и через него прокачивается вода, которая в дальнейшем может использоваться непосредственно потребителем, либо накапливаться в теплоизолированной емкости и использоваться по мере необходимости. Недостаток такой системы в том, что она может работать только при положительной температуре окружающего воздуха. Производительность ее порядка 100 л с 1 м² за солнечный день.

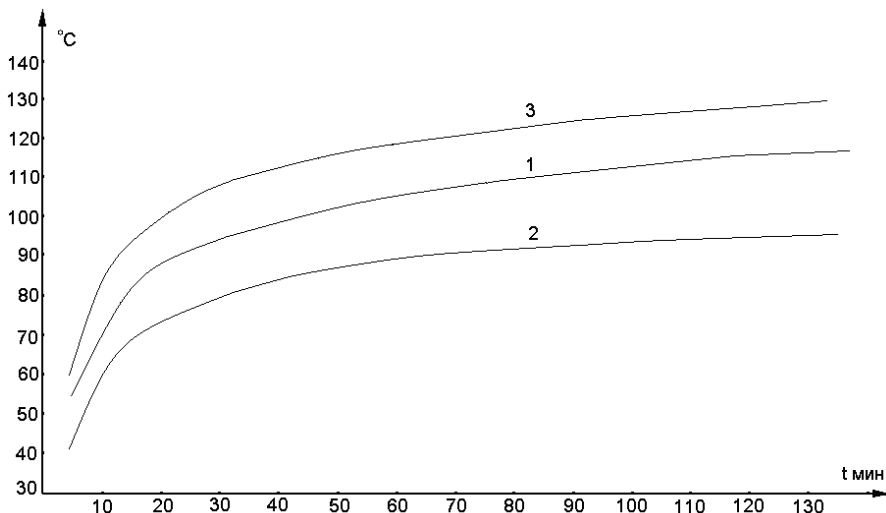


Рисунок 5 – Экспериментальные зависимости

Во-вторых, конструкция подобная данному стенду может применяться для отопления жилых и производственных помещений теплым воздухом в течение всего отопительного сезона, в солнечные дни. Для этого воздух из помещения направляется в нагреватель, где нагревается до температуры 40 °C и снова возвращается в помещение. Циркуляция принудительная и осуществляется вентилятором. Коэффициент использования энергии солнца составляет не менее 50 %. Возможен комбинированный вариант – отопление помещения теплым воздухом и нагрев воды.

Выводы

1. Спроектирован и создан экспериментальный стенд для исследования характеристик прозрачных материалов для гелиоколлекторов. Произведен расчет потерь тепла через изоляцию стенда.
2. Результаты экспериментальных исследований стекла и поликарбоната показали, что первоначальный подъем температуры в гелиоколлекторе происходит достаточно быстро. По истечении 40 минут подъем температуры замедляется и через 60-70 минут устанавливается динамическое равновесие.

3. Применение поликарбоната по сравнению со стеклом в гелиоколлекторе предпочтительнее.
4. Приведены варианты использования гелиоколлектора для создания комфортных условий работы обслуживающего персонала генераторов импульсных напряжений в полевых условиях.

Список литературы: 1. *Гладков В.С., Гученко А.А., Шестериков А.В., Ваврик Л.В.* Ретроспектива созданных НИПКИ «Молния»обострителей мегавольтных импульсов напряжения // Вісник НТУ «ХП». Тем. вип. Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків, НТУ «ХП», 2004. – № 35. – С. 21-29. 2. *Твайдел Дж., Уэйр А.* Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с. 3. *Брикфорд Дж.* Солнечная энергия для человека. – М.: Мир, 1976. – 291 с. 4. *М.А. Михеев, И.М. Михеева* Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973. – 320 с. 5. *Справочник по физико-техническим основам криогеники / Под ред. М. П. Малкова.* : изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Энергия, 1973. – 392 с.

Поступила в редколлегию 07.04.2011.