

Список литературы: 1. Высоковольтные электротехнологии: учеб. пособ. / *Аношин О.А., Белогловский А.А., Верещагин И.П.* и др.; под. ред. *И.П. Верещагина*. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 204 с. 2. Применение наносекундного коронного разряда для очистки дымовых газов от оксидов азота / *Амиров Р.Х., Асиновский Э.И., Самойлов И.С., Шепелин А.В.* // Энергетическое строительство. – 2003. – № 9. – С. 9-15. 3. Конверсия газовых выбросов при помощи импульсного коронного разряда с частотой следования импульсов более 10000 импульсов в секунду / *Бойко Н.И., Борцов А.В., Ездошенко Л.С.* и др. // Озон и другие экологически чистые окислители: Наука и технологии: 31-й Всероссийский семинар, 2 – 3 июня 2010 г.: сборник материалов / под ред. *В.В. Лунина, В.Г. Самойловича, С.Н. Ткаченко*. – М.: МАКС Пресс, 2010. – 292 с. – С. 121-126. 4. *Бойко Н.И.* Высоковольтные импульсные электротехнологии очистки и обеззараживания воды и газовых выбросов / *Н.И. Бойко* // Вода и экология: Проблемы и решения. – 2008. – № 1. – С. 60-72.

Поступила в редколлегию 08.04.2011

УДК 697.329

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.



Рисунок 1 – Фото экспериментальной установки

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 уста-

новлена 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.

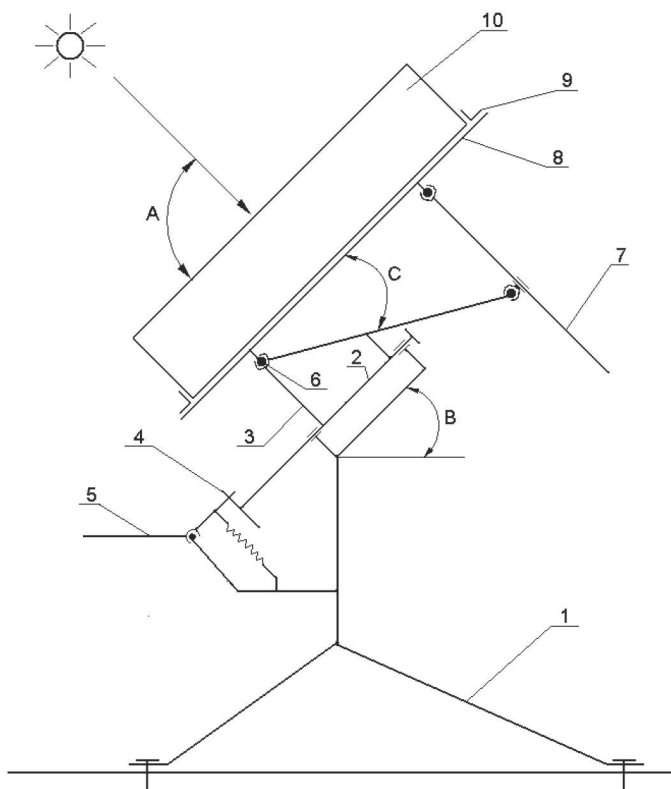


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

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 инфракрасного излучения при температурах 50 – 100 °С. Применение пенопласта при указан-

ных 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.

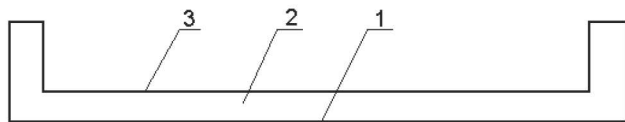


Рисунок 3 – Корпус стэнда

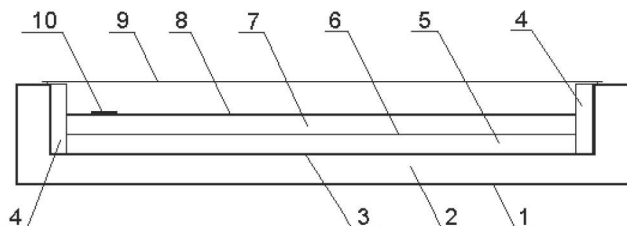


Рисунок 4 – Стэнд в сборе

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 стэнда. 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 стэнде устанавливается исследуемый прозрачный материал.

Тепловые расчеты. Примем, что теплообмен происходит через плоскую стенку. Тогда для расчета потерь тепла через изоляцию стэнда 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, $f = 0,657 \text{ м}^2$, 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

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

По этому же принципу рассчитываем тепловой поток через боковые поверхности стенда

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

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 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 $50\text{-}150 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 абсор-

бера. 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; $T_0 = 111$ °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, толщи-

ной 3 мм, температура окружающего воздуха -9°C ; 3 – поликарбонат, толщиной 6 мм температура окружающего воздуха $+9^{\circ}\text{C}$.

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

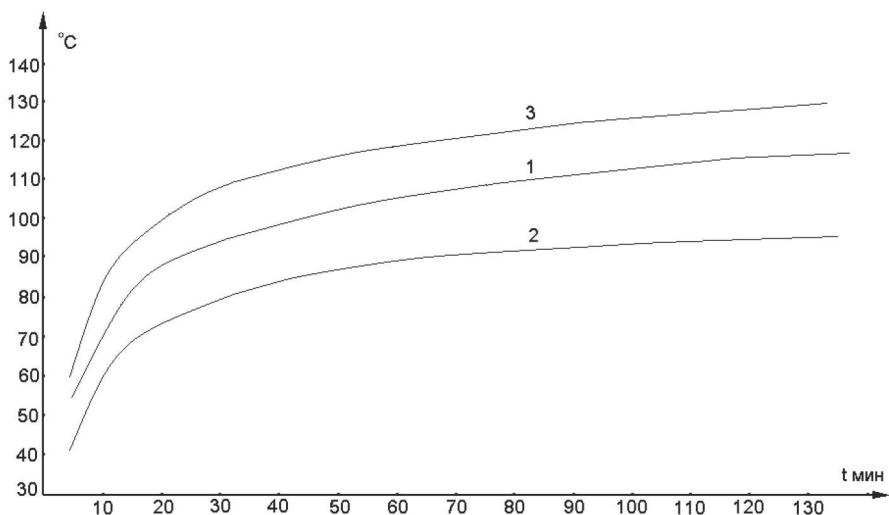


Рисунок 5 – Экспериментальные зависимости

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 $45-50^{\circ}\text{C}$. 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 $100\text{ л с } 1\text{ м}^2$ за солнечный день.

Во-вторых, конструкция подобная данному стенду может применяться для отопления жилых и производственных помещений теплым воздухом в те-

чение всего отопительного сезона, в солнечные дни. Для этого воздух из помещения направляется в нагреватель, где нагревается до температуры 40 °С 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., Вахрив 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.