

УДК 621.47:662.997:662.99:771.449.2

UDC 621.47:662.997:662.99:771.449.2

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ ОБОРУДОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ ГЕЛИОМОДУЛЕЙ****LABORATORY SETUP FOR EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF INNOVATIVE ENERGY-EFFICIENT SYSTEMS' EQUIPMENT EXAMPLES OF AGRICULTURAL ENTERPRISES OFF-LINE POWER SUPPLY ON THE BASIS OF HELIOMODULUSES**

Брагинец Андрей Валерьевич  
аспирант, младший научный сотрудник отдела  
электроэнергетики SPIN-код=6352-1932  
E-mail: al.55552015@yandex.ru  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ФГБНУ СКНИИМЭСХ), Зерноград, Россия*

Braginets Andrey Valeryevich  
postgraduate student, junior research scholar of the  
Department of energy, RSCI SPIN-code=6352-1932  
E-mail: al.55552015@yandex.ru  
*Federal State financed scientific institution North Caucasus scientific- research institute of mechanization and electrification of agriculture (FSBSI NCSRIMEA), Zernograd, Russia*

Разработка лабораторной установки связана с необходимостью создания и экспериментального исследования образцов оборудования для инновационной энергосберегающей системы автономного энергообеспечения сельскохозяйственных предприятий на базе гелиомодулей и обусловлена потребностями эффективного теплоэнергоснабжения сельскохозяйственных объектов, работающих в природно-климатических зонах с низкоинтенсивной и непродолжительной во времени солнечной активностью. На основе проведения предварительных опытов выявляются режимы работы, производится подбор и обоснование необходимых элементов конструкции энергосберегающей гелиосистемы и определяется наиболее рациональная ее компоновка. При формировании требований к конструкциям и функциональным возможностям гелиомодулей горячего водоснабжения, при подборе элементной базы и выполнении сборки установок, должны учитываться особенности географического расположения сельхозпредприятий (основным ориентиром при этом служат интенсивность солнечной инсоляции и углы солнцестояния, характерные для данного региона) и уровень социально-экономической освоенности территорий. Необходимость проведения экспериментальных исследований на лабораторной установке в комнатных условиях при искусственных источниках теплового излучения, имитирующего солнечное, связана с тем, что в реальных природно-климатических условиях опыты могут быть затруднены из-за непостоянства погоды и изменения климата в целом во времени, невозможности соблюдения требований к точности размещения установок на местности, и ограниченности режимов работы гелиоколлектора узким диапазоном солнечной активности, характерной только для исследуемого географического

The development of laboratory setup is connected with a necessity of designing and experimental investigation of equipment examples for innovative energy efficient system of agricultural enterprises off-line power supply on the basis of helio moduluses and is stipulated by needs of efficient heat electro supply of agricultural enterprises working in climatic regions with low and short-term solar activity. Operating regimes, matching and justification of necessary elements for the construction of the energy efficient helio system and the most efficient their arrangement are determined based on preliminary experiments. Geographical location of agricultural enterprise (the principal checkpoints should be insolation intensity and solstice angle typical for the region) and social-economic development level of the region should be taken into consideration at forming demands to the constructions and abilities of heat water supply helio modules. The necessity of investigations at laboratory setup with artificial heat sources, simulating solar heat, is explained by impossibility of experiments' carrying out in the real nature conditions, notably because of weather inconstancy and climate in tote, because of impossibility of setups exact placement on ground location, because of helio collector's modes of operation limitation by the range of solar activity only in the investigated region etc. The list of technological parameters and helio water heating process factors, which are measured and controlled during the experiments, is built into the designing of the setup. These parameters are based on the statistical data given by meteorological stations of late years. All that will ease the designing of manufacturing helio collectors and will allow to get more precise information, oriented to the maintenance of energy efficient equipment in different zones of researched region with highest possible usage of their potential. With a glance of foresaid, we have designed the la-

района, а также другими факторами. Перечень варьируемых в лабораторной установки технологических параметров, а так же измеряемых и контролируемых в опытах факторов процесса гелиоводоподогрева закладывается при разработке установки, опираясь на статистические материалы, предоставляемые метеорологическими станциями данного региона за последние годы и с учётом производственных требований к процессам и оборудования аналогичного назначения. Это облегчает в будущем разработку промышленных гелиоколлекторов и позволяет получать более точные данные, ориентированные на последующую эксплуатацию энергосберегающего оборудования в разных зонах исследуемого региона с максимальным использованием их потенциала. С учётом всего выше сказанного, нами было создана конструкция лабораторной установки для экспериментальных исследований составных элементов модульных солнечных коллекторов

Ключевые слова: СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ, ГЕЛИОРАДИАЦИЯ, ГЕЛИОТЕХНИКА.

boratory setup for the experimental investigations of the module solar collectors' elements

Keywords: SOLAR COLLECTORS, HELIORADIATION, HELIO TECHNICS

Проведём обоснование выбора конструктивных элементов лабораторной установки и начнём с источника излучения. Для экспериментальных исследований образцов оборудования инновационной энергосберегающей системы автономного энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий на базе гелиомодулей требуется длительная фиксация потока излучения, падающего на тепловоспринимающую поверхность коллектора. В естественных условиях этого сделать не представляется возможным. Поэтому для опытного образца установки следует подобрать источник излучения, имитирующий заданные уровни облученности и экспозиции. От газоразрядных и светодиодных источников оптического излучения следует сразу же отказаться, так как регулирование потоков излучения их весьма затруднительно, диапазон возможных регулировок ограничен и не удовлетворяет требуемым для эксперимента значениям.

Для экспериментальных исследований образцов оборудования инновационной энергосберегающей системы выберем источники оптического излучения, основанные на тепловом излучении.

Для выбора типа источника излучения проанализируем основные законы теплового излучения [1-3].

Основные законы теплового излучения сформулированы к абсолютно черному телу, под которыми понимается приемник оптического излучения, полностью поглощающий падающее на него излучение независимо от направления падения, спектрального состава и поляризации.

Закон Кирхгофа устанавливает связь между способностями тела излучать и поглощать излучения: отношение плотностей излучения тел с одинаковой температурой равно отношению их коэффициентов поглощения:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \quad (1)$$

или

$$\frac{R_1}{\lambda_1} = \frac{R_2}{\lambda_2} = \dots = \frac{R_N}{\lambda_N} = const = R_m, \quad (2)$$

где  $R_m$  – плотность излучения абсолютно черного тела при той же температуре, Вт/м<sup>2</sup>.

Согласно закону Стефана – Больцмана плотность излучения абсолютно черного тела зависит только от его температуры и пропорциональна её четвертой степени:

$$R_m = C_1 T^4, \quad (3)$$

где  $R_m$  – плотность излучения абсолютно черного тела, Вт/м<sup>2</sup>;

$C_1$  – постоянная, равная  $5,672 \cdot 10^{-8}$  Вт·м<sup>-2</sup>·град<sup>-4</sup>;

$T$  – абсолютная температура, К.

Распределение энергии в спектре теплового излучения абсолютно черного тела описывается формулой Планка:

$$R_{\lambda T} = C_2 \lambda^{-5} \left( e^{\frac{C_3}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1}, \quad (4)$$

где  $R_{\lambda T}$  – спектральная плотность потока излучения абсолютно черного тела, Вт·м<sup>-2</sup>;

$C_2$  – постоянная, равная  $3,74 \cdot 10^8$  Вт·м<sup>-2</sup>·мкм<sup>4</sup>;

$C_3$  – постоянная, равная  $1,43 \cdot 10^4$  мкм·град;

$e$  – основание натуральных логарифмов.

При этих значениях  $\lambda_{\max} \cdot T$  будет равно 2896 мкм·град,

где  $\lambda_{\max}$  – длина волны, соответствующая максимуму кривой спектральной плотности потока излучения, мкм.

Это уравнение выражает закон Вина: при повышении температуры излучающего тела максимум кривой спектральной плотности его потока излучения смещается в сторону более коротких длин волн.

Немецкий ученый Вильгельм Вин также установил, что:

$$(R_{\lambda T})_{\max} = C_4 T^5, \quad (5)$$

где  $C_4$  – постоянная, равная  $1,041 \cdot 10^{-11}$  Вт·м<sup>-2</sup>·мкм<sup>-1</sup>·гр<sup>-5</sup> [4-6].

Выводы из основных законов теплового излучения:

1. Поток излучения абсолютно черного тела пропорционален четвертой степени температуры нагрева;

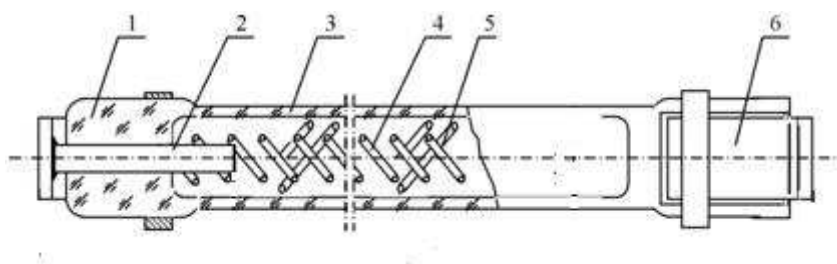
2. Значение максимума спектральной плотности потока излучения абсолютно черного тела пропорционально пятой степени температуры нагрева;

3. С повышением нагрева абсолютно черного тела максимум кривой спектральной плотности его потока излучения смещается в сторону более коротких волн.

На основании сделанных выводов целесообразным представляется остановить выбор на галогенных лампах накаливания.

Повышению температуры нагрева нити и, следовательно, его эффективности препятствует процесс распыления тела накала. В кварцевых лампах с йодным циклом процесс распыления нити накала не устранен, но найдено надежное средство борьбы с его последствиями.

Цилиндрическая колба (рис. 1) изготовлена из кварцевого стекла, имеющего температуру размягчения выше  $1373^{\circ}\text{K}$ . В колбу помещено дозированное количество йода, и она наполнена аргоном до давления примерно 800 ГПа. Тело накала, выполненное в виде моноспирали из особо чистого вольфрама, смонтировано по оси трубки на вольфрамовых подержках. Ввод в лампу выполнен молибденовыми электродами, впаянными в кварцевые ножки. В сеть лампу включают контактными поверхностями [4].



1 – плоскозаштампованные ножки лампы; 2 – молибденовые электроды; 3 – кварцевая колба; 4 – моноспиральное тело накала; 5 – вольфрамовые держатели; 6 – плоские контактные поверхности

Рисунок 1 – Устройство кварцевой галогенной лампы накаливания

КГ 220–1000

Регенеративный йодный цикл состоит в следующем. Образующиеся в результате распыления тела накала частицы вольфрама движутся от нити к стенкам колбы, где вступают в соединение с йодом, образуя йодид вольфрама  $WI_2$ .

Образование йодида вольфрама происходит при температуре в зоне колбы от 523 до 1473<sup>0</sup>К. При более низких температурах интенсивность реакции недостаточна для поддержания цикла.

При более высоких температурах разложение йодида у поверхности колбы более вероятно, чем его образование.

Степень диссоциации йодида в зоне спирали на несколько порядков выше, чем у стенок. Следовательно, и концентрация  $WI_2$  там меньше, чем у поверхности колбы. Образовавшийся йодид вольфрама перемещается к спирали в сторону меньшей концентрации. Достигнув зоны спирали, в условиях высокой температуры йодид вольфрама разлагается. Вольфрам осаждается на спираль, а йод освобождается и вновь принимает участие в цикле [5].

Основные достоинства ламп накаливания с йодным циклом следующие:

1. Высокая удельная плотность излучения;
2. Стабильность потока излучения в течение срока службы;
3. Относительно малые габариты;
4. Способность выдерживать длительные и большие перегрузки по напряжению;
5. Возможность плавного регулирования потока излучения в широких пределах путем изменения подводимого напряжения.

Выполненный анализ подтверждает целесообразность выбора галогенной лампы для опытных образцов оборудования инновационной энергосберегающей системы автономного энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий на базе гелиомодулей.

Для расширения режимов работы, а также с целью проверки экспериментальных образцов на все рабочие и экстремальные режимы, используются данные взятые со справочников климата за последние годы, а также данные, полученные с метеорологических станций для определённых климатических зон. Имитация освещённости в течение светового дня происходит благодаря двум составляющим: это правильная фиксация лампы (ламп) над рабочей поверхностью и управление её интенсивностью излучения. С этой целью был разработан штатив с полезной длиной 70 см, на котором размещалось устройство, удерживающее нужное количество ламп и способное к перемещению вдоль штатива, так же имеющего функцию фиксации на нём. Мощность и количество ламп выбиралась в зависимости от создания широкого диапазона освещённости на тепловоспринимающей поверхности опытного образца, имитируя при этом разные показатели солнечной инсоляции. Изменение интенсивности лампы происходит посредством повышения или понижения питающего напряжения, в роли которого выступает ЛАТР (автотрансформатор). Контроль и создание требуемой освещённости на тепловоспринимающих поверхностях опытных образцов установки производится при помощи пиранометра, с подключённым к нему цифровым мультивольтметром, по показаниям которого, вычислялись нужные для опыта параметры освещённости.

Произведём обоснование выбора прозрачной теплоизоляции: главные тепловые потери солнечных коллекторов происходят вследствие загрязнения, затенения от стоек и перемычек каркаса, отражения от стеклянных покрытий, [6] наибольшие тепловые потери, от которых значительно зависит производительность солнечного коллектора при эксплуатации и

проведении опытов, происходят за счет теплового излучения и конвекции через прозрачную изоляцию. Эти потери могут составлять до 70-80 % всех тепловых потерь СК, поэтому выбор прозрачной изоляции с высоким сопротивлением теплопередаче – важная стадия конструирования, как экспериментальной установки, так и солнечного коллектора. Согласно ГОСТ Р 51595-2000 [7] прозрачная изоляция СК должна быть выполнена из стекла или полимерных материалов, устойчивых к атмосферным осадкам и эксплуатационным воздействиям. Преимущество прозрачной изоляции из полимерных материалов заключается в большей прочности по сравнению со стеклом, но она является менее стойкой к высоким температурам, УФ-излучению и обладает меньшей пропускательной способностью, чем стекло. Наибольшее же распространение в солнечных коллекторах получила прозрачная изоляция в виде стекла.

Как правило, в солнечных коллекторах в качестве прозрачной изоляции применяется одинарное остекление, которое имеет коэффициент сопротивления теплопередаче  $0,13 \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт}$  при средней температуре приемника  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , температуре окружающей среды  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и коэффициенте теплоотдачи в окружающую среду  $20 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

Двойное остекление имеет сопротивление теплопередаче  $0,24 \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , а двойное остекление с селективным покрытием –  $0,36 \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт}$  при тех же параметрах. Но использование двойного остекления усложняет конструкцию СК из-за увеличения толщины воздушных зазоров между стеклами, а также увеличивает вес конструкции.

Согласно ГОСТ Р 51595-2000 не ограничивается число слоев прозрачной изоляции СК. Как было сказано, при увеличении слоев прозрачной изоляции возрастает сопротивление теплопередаче, но уменьшается пропускание и возникает сложность при монтаже вследствие увеличения толщины прозрачной изоляции. Поэтому в СК, как правило, используют одинарное остекление. Обычно для целей горячего водоснабжения (темпе-



ратура теплоносителя около 60 °С) используют СК с одинарным остеклением, а для отопления – СК с двойным остеклением.

Тепловые потери излучением через стекло так же можно снизить за счет использования селективных (низкоэмиссионных) стекол, среди которых И-стекло (с мягким селективным покрытием) и К-стекло (с твердым селективным покрытием). Селективные покрытия наносятся на поверхности стекол ВСП для того, чтобы отразить инфракрасное излучение (с длиной волны более 3 мкм, максимум на 10 мкм) со стороны помещения (или теплового приемника в случае солнечного коллектора). При этом интегральная пропускательная способность стекла с низкоэмиссионным покрытием уменьшается на 3 - 5% по сравнению со стеклом без покрытия.

Доказано, что вакуумированные стеклопакеты (ВСП) с коэффициентом сопротивления теплопередаче, превосходящим одинарное и двойное остекления за счет вакуумного зазора, в котором теплопроводность разреженного газа и конвекция незначительны, могут применяться в качестве прозрачной теплоизоляции солнечных коллекторов. Испытания промышленных солнечных коллекторов подтвердили преимущество вакуумированных стеклопакетов перед одинарным остеклением. КПД солнечного коллектора повысился на 8 % [8,10,11,12]. Применение для остекления пакетов сокращает потери энергии в зависимости от пространственной ориентации установки и типа стеклопакета на 44 - 79%, причем максимальный эффект достигается на южной стороне [9]. При изобретении солнечного коллектора желательно учитывать место его установки, так как в некоторых случаях можно заменить традиционную теплоизоляцию на прозрачную и получать дополнительную энергию, конечно при условии, что установка не потеряет свои основные характеристики.

Основываясь на выше сказанном, было принято решение использовать вакуумированный стеклопакет с нанесённым на внутреннюю часть селективным покрытием. Оно нанесено таким образом, что препятствие

его прохождению солнечной энергии минимально, главной же функциональной способностью его является удержание полученной энергии внутри коллектора, тем самым позволяя уменьшить дополнительно тепловые потери в солнечной установке.

Выполним обоснование выбора теплоизоляции. Энергоэффективная работа солнечного коллектора зависит от выбора теплоизоляционных материалов и их характеристик.

К основным характеристикам теплоизоляционных материалов относятся:

1. Коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , характеризующий теплопроводность материала. Он равен количеству теплоты, проходящей через материал толщиной 1 м и площадью 1 кв.м за час при разности температур на двух противоположных поверхностях в 1 °С. Измеряется в Вт/(м·К) или Вт/(м·°С). Теплопроводность зависит от влажности материала и его температуры, химического состава материала, структуры, пористости.

2. Пористость - доля объема пор в общем объеме материала. Для теплоизоляции пористость начинается от 50% и до 90-98% (например, у ячеистых пластмасс). Она определяет основные свойства теплоизоляции: плотность, теплопроводность, прочность, газопроницаемость и др. Важно равномерное распределение воздушных пор в материале и характер пор. Поры бывают открытые, закрытые, крупные, мелкие.

Выбор теплоизоляционного материала для солнечного коллектора должен соответствовать следующим критериям [12-13]:

- низкая теплопроводность;
- антикоррозионные свойства;
- долговечность;
- невысокая стоимость.
- малый вес;
- простота раскроя и монтажа;
- экологическая чистота;

- компактность;
- морозостойкость;
- устойчивость к действию прямых солнечных лучей;
- температуростойкость.
- влагопоглощение;
- прочность.

Теплоизоляция не должна быть отдельным элементом солнечного коллектора, так как это приведёт к его удорожанию, утяжелению, снижению компактности, увеличению времени изготовления, поэтому выбор должен так же обосновываться и с данной точки зрения.

Выбор был остановлен на применении сэндвич панели, в которой теплоизоляционный слой с обеих сторон закрыт профилированным листом из тонкой стали. Как правило, это оцинкованная сталь толщиной около 0,5-0,7 мм с полимерным покрытием или со специальным гигиеническим покрытием. Такие облицовочные материалы устойчивы к коррозии, к УФ-излучению и кислотным средам, обладают высоким сопротивлением к истиранию, что является несомненным преимуществом при проектировке солнечных систем.

При создании сэндвич панелей сокращается часть выбранных критериев, так как благодаря применению данной технологии можно применять теплоизоляцию разных видов. Например, минеральная вата, пенополистирол, вспененный пенополиэтилен, пенополиуретан и много других видов теплоизоляции, обладающих нужными свойствами и малой стоимостью.

Сэндвич панель позволяет крепить на себе элементы, участвующие в создании и установке солнечного коллектора, тем самым исчезает необходимость в изготовлении специального каркаса для сборки.

Рассмотрим методы, рекомендации, а так же элементы, повышающие качество проведения опыта на разработанной лабораторной установке (рис. 2) и (рис.3).



1 – штатив; 2 – лампа; 3 – алюминиевый корпус; 4 – керамический патрон; 5 – пиранометр №1505; 6 – светопоглощающая поверхность; 7 – корпус установки; 8 – латер; 9 – водопроводный кран; 10 – силиконовая трубка (расширитель); 11 – вольтметр; 12 – мультиметр;

Рисунок 2 – Лабораторная установка для экспериментальных исследований образцов оборудования энергосберегающей системы автономного энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий на базе гелиомодулей без защитного корпуса

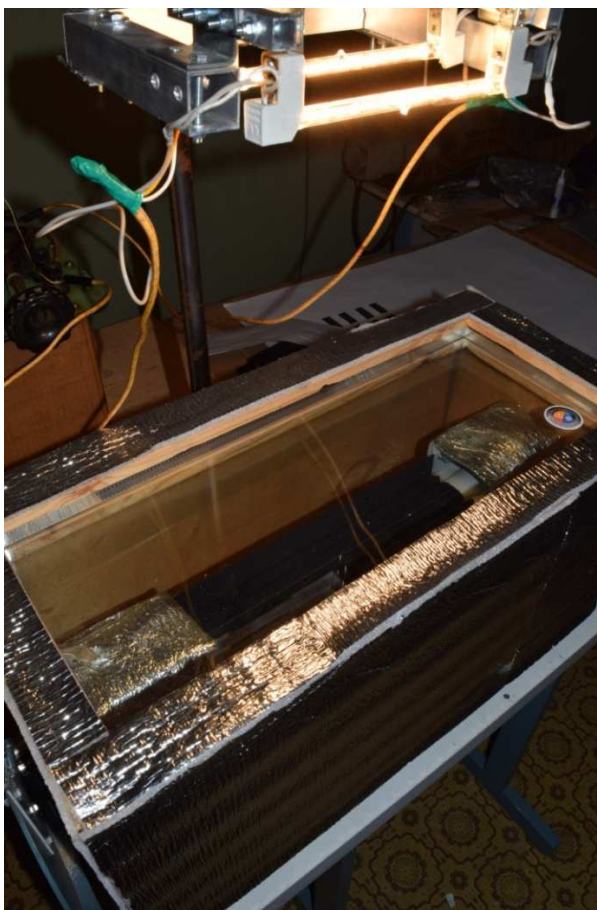


Рисунок 3 – Лабораторная установка для экспериментальных исследований образцов оборудования энергосберегающей системы автономного энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий на базе гелиомодулей в процессе работы

Для имитации хода солнца относительно корпуса и исследуемой поверхности было принято решение сделать подвижными с возможностью жёсткой фиксации следующие устройства: первое крепило на себе разные виды тепловоспринимающей поверхности (рис. 4а), и способно показывать на какой угол мы отклоняем поверхность относительно имитируемого излучения, так как было важно знать, как поведут себя переотражённые потоки на тепловоспринимающих поверхностях разных типов; второе (рис. 4б) позволяло вращать теплоизолированный корпус относительно той же поверхности, над которой проводился опыт, и создавало условия, при которых происходило перекрытие солнечных лучей на тепловоспринимаю-

щую поверхность из-за конструктивных особенностей корпуса солнечной установки в момент низкой солнечной активности (восход и заход солнца) или относительно мест их расположения (горная местность, лес и т.д.).



а

б

Рисунок 4 – Устройства фиксации

В реальных условиях работы солнечного коллектора, чтобы исключить затенение абсорбера от стенок корпуса солнечного коллектора, перекрывающих попадание солнечной энергии, стенки рекомендуется выполнить из прозрачной теплоизоляции (стеклопакета), это даст дополнительный прирост энергии при приёме и дальнейшем поглощении дополнительных солнечных лучей (отражённых и рассеянных).

Измерение температуры нагрева происходило как самой поверхности, так и теплоносителя, который участвовал в теплообмене, тем самым измерения получались более качественные. Для точности измерения было решено использовать датчики температуры DS18B20 с применением термомасты для лучшего теплообмена, которые располагались по всему измеряемому периметру опытных образцов, после чего выводилось среднее значение, которое заносилось в специальную программу (Microsoft Office). Время опроса датчиков производилось в зависимости от того, какой тип поверхности, а так же отталкиваясь от предварительно проведённых поисковых опытов [15-18].

Расположение опытной установки должно находиться на отдаленном расстоянии от отражающих поверхностей, которые способны излучать переотражаемую энергию. Так же можно искусственно создать такие виды поверхностей, которые будут имитировать те условия, в которых будет установлена энергосберегательная установка, это могут быть, например, листья деревьев или крыши домов. Так же на функционирование процесса нагрева исследуемых образцов существенное влияние оказывает множество возмущающих воздействий, которые были учтены и устранены в процессе создания данного оборудования для проведения опытов.

Подводя итоги по разработанной установке для экспериментальных исследований образцов оборудования инновационной энергосберегающей системы автономного энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий на базе гелиомодулей, можно сказать, что предлагаемая установка позволяет на практике моделировать реальные фотоэнергетические условия для любой территории РФ, и в конечном итоге позволит создавать солнечные системы более энергоэффективными и конкурентно способными на рынке «Зелёной энергии».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петрушевский М.Г. Квантовая природа излучения: учебное пособие / М.Г. Петрушанский. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. – 107 с.
2. Глава 26 Квантовая природа излучения. § 197. Тепловое излучение и его характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tkreople.dax.ru/fizika/all.htm> (дата обращения 22.05.2015)
3. Кузнецов, С.И. Физика. Ч. III. Оптика. Квантовая природа излучения. Основы атомной физики и квантовой механики. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие / С.И. Кузнецов, Э.В. Подзеева, Э.Б. Шошин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 212с.
4. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства: учебное пособие по выполнению лабораторных работ / И.П. Машкарева, Н.В.Трутнев. - Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. – 200с.
5. Смирнов, Е. А., Черниговский В. В. Автоматизированный расчет и проектирование приборов квантовой электроники. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2005. – 96 с.

6. Сабади П.Р. Солнечный дом/ П.Р. Сабади; Пер. с англ. Н. Б. Гладковой. – М.: Стройиздат, 1981. – 113 с.
7. ГОСТ Р 51595-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия. – М.: Госстандарт, 2000.
8. Митина И.В. Повышение эффективности солнечных коллекторов с вакуумированными стеклопакетами: дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.08/ Митина Ирина Валерьевна. – М.: ВИЭСХ, 2009. – 148 с.
9. Лимитовский В. Экономический эффект применения современного остекления за счет уменьшения потерь энергии [Электронный ресурс] / В. Лимитовский, С. Чесноков // Институт стекла. – Электрон. дан. [М.]: runet, сор. 2011. - Режим доступа: [http://glassinfo.ru/articles/2002\\_08\\_ekonomicheskij\\_efekt\\_osteklenia\\_teplopoter.pdf](http://glassinfo.ru/articles/2002_08_ekonomicheskij_efekt_osteklenia_teplopoter.pdf). - 6 с. (дата обращения 22.05.2015)
10. Гладушко О.А. Светопропускание остекления [Электронный ресурс] / О. А. Гладушко, Е.А. Черемхина, А.Г. Чесноков// Институт стекла. – Электрон. дан. [М.]: runet, сор. 2011. - Режим доступа: [http://www.glassinfo.ru/articles/2003\\_03\\_svetopropuskanie\\_osteklenia.pdf](http://www.glassinfo.ru/articles/2003_03_svetopropuskanie_osteklenia.pdf) 5 с. (дата обращения 22.05.2015)
11. Фурман Ш.А. Тонкослойные оптические покрытия. – Л.: Машиностроение, 1977. –264 с.
12. Технология тонких пленок. Справочник / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга.– М.: Сов. радио, 1977. – Т. 1. – 662 с.
13. Пирог П.И. Теплоизоляция холодильников. – М.: Изд-во Пищевая промышленность, 1966. – 270 с.
14. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
15. Определение уточненных параметров и режимов работы: Модульного всепогодного комбинированного электрогелиоводонагревателя для технологических нужд; Модульной солнечной электростанции для электропитания обособленных сельскохозяйственных потребителей (до 2 кВт): Отчет о НИР (промеж.): 09.03.03.01 /ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии; рук. Пахомов А.И. -Зерноград, 2013 -36с. - Исполн.: Пахомов А.И., Газалов В.С., Максименко В.А., Джанибеков К.А.-А., Брагинец А.В., Андреев А.И., Громакова Л.В. - № ВР RASHN. 7721019635.11.8.003.4. - Инв. № 129-13.1
16. Патент на полезную модель № 146885 РФ, МПК F24 J2/26. Солнечный коллектор/ В.С. Газалов, А.В. Брагинец (ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии). – №2014123052/06, заявл.: 05.06.2014, опубл.: 20.10.2014, Бюл. №29. – 2с.: ил.
17. Патент № 2540192 РФ, МПК F24 J2/26. Модульный солнечный коллектор/ В.С. Газалов, А.В. Брагинец (ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии). – №2013127491/06, заявл.: 17.06.2013, опубл.: 27.12.2014, Бюл. №36. – 4с.: ил.
18. Патент № 2550289 РФ, МПК F24 J2/26. Солнечный коллектор с концентратором для гелиоводоподогрева/ В.С. Газалов, А.В. Брагинец (ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии). – №2013146771/06, заявл.: 18.10.2013, опубл.: 10.05.2015, Бюл. №13. – 4с.: ил.

## REFERENCES

1. Petrushevskij M.G. Kvantovaja priroda izluchenija: uchebnoe posobie / M.G. Petrushanskij. – Orenburg: GOU OGU, 2007. – 107 s.
2. Glava 26 Kvantovaja priroda izluchenija. § 197. Teplovoe izluchenie i ego ha-rakteristiki [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://tkpeople.dax.ru/fizika/all.htm> (data obrashhenija 22.05.2015)



3. Kuznecov, S.I. Fizika. Ch. III. Optika. Kvantovaja priroda izluchenija. Osnovy atomnoj fiziki i kvantovoj mehaniki. Fizika atomnogo jadra i jelementarnyh chastic: uchebnoe posobie / S.I. Kuznecov, Je.V. Podzeeva, Je.B. Shoshin. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2012. – 212s.

4. Mehanizacija i jelektifikacija sel'skohozjajstvennogo proizvodstva: ucheb-noe posobie po vypolneniju laboratornyh rabot / I.P. Mashkareva, N.V.Trutnev. - Perm': Izd-vo FGBOU VPO Permskaja GSHA, 2012. – 200s.

5. Smirnov, E. A., Chernigovskij V. V. Avtomatizirovannyj raschet i proektirovanie priborov kvantovoj jelektroniki. – SPb.: Izd-vo SPbGJeTU “LJeTI”, 2005. – 96 s.

6. Sabadi P.R. Solnechnyj dom/ P.R. Sabadi; Per. s angl. N. B. Gladkovej. – M.: Stro-jizdat, 1981. – 113 s.

7. GOST R 51595-2000. Netradicionnaja jenergetika. Solnechnaja jenergetika. Kollektory solnechnye. Obshhie tehničeskie uslovija. – M.: Gosstandart, 2000.

8. Mitina I.V. Povyshenie jeffektivnosti solnechnyh kollektorov s vakuumi-rovannymi steklopaketami: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.14.08/ Mitina Irina Valer'-evna. – M.: VIJeSH, 2009. – 148 s.

9. Limitovskij V. Jekonomičeskij jeffekt primenenija sovremennogo ostekle-nija za schet umen'shenija poter' jenerгии [Jelektronnyj resurs] / V. Limitovskij, S. Chesnokov // Institut stekla. – Jelektron. dan. [M.]: runet, cop. 2011. - Rezhim dostupa: [http://glassinfo.ru/articles/2002\\_08\\_ekonomičeski\\_efekt\\_osteklenia\\_teplopoter.pdf](http://glassinfo.ru/articles/2002_08_ekonomičeski_efekt_osteklenia_teplopoter.pdf). - 6 s. (data obrashhenija 22.05.2015)

10. Gladushko O.A. Svetopropuskanie osteklenija [Jelektronnyj resurs] / O. A. Gladushko, E.A. Cheremhina, A.G. Chesnokov// Institut stekla. – Jelektron. dan. [M.]: runet, cop. 2011. - Rezhim dostupa: [http://www.glassinfo.ru/articles/2003\\_03\\_svetopropuskanie\\_osteklenia.pdf](http://www.glassinfo.ru/articles/2003_03_svetopropuskanie_osteklenia.pdf) 5 s. (data obrashhenija 22.05.2015)

11. Furman Sh.A. Tonkoslojnye optičeskie pokrytija. – L.: Mashinostroenie, 1977. – 264 s.

12. Tehnologija tonkih plenok. Spravochnik / Pod red. L. Majssela, R. Gljenga.– M.: Sov. radio, 1977. – T. 1. – 662 s.

13. Pirog P.I. Teploizoljacija holodil'nikov. – M.: Izd-vo Pishhevaja promysh-lennost', 1966. – 270 s.

14. Bobrov Ju.L., Ovcharenko E.G., Shojhet B.M., Petuhova E.Ju. Teploizoljacionnye materialy i konstrukcii. – M.: INFRA-M, 2003. – 268 s.

15. Opredelenie utohnennyh parametrov i rezhimov raboty: Modul'nogo vsezonnogo kombinirovannogo jelektrogeliovodonagrevatelja dlja tehnologičeskikh nuzhd; Modul'noj solnečnoj jelektrostanicii dlja jelektropitanija obosoblennyh sel'skohozjajstvennyh potrebitelej (do 2 KVt): Otchet o NIR (prometoch.): 09.03.03.01 /GNU SKNIIMJeSH Rossel'hozakademii; ruk. Pahomov A.I. -Zernograd, 2013 -36s. -Ispoln.: Pahomov A.I., Gazalov V.S., Maksimenko V.A., Džhanibekov K.A-A., Braginec A.V., Andreev A.I., Gromakova L.V. - № VR RASHN. 7721019635.11.8.003.4. - Inv. № 129-13.1

16. Patent na poleznuju model' № 146885 RF, MPK F24 J2/26. Solnechnyj kollektor/ V.S. Gazalov, A.V. Braginec (GNU SKNIIMJeSH Rossel'hozakademii). – №2014123052/06, zajavl.: 05.06.2014, opubl.: 20.10.2014, Bjul. №29. – 2s.: il.

17. Patent № 2540192 RF, MPK F24 J2/26. Modul'nyj solnechnyj kollektor/ V.S. Gazalov, A.V. Braginec (GNU SKNIIMJeSH Rossel'hozakademii). – №2013127491/06, zajavl.: 17.06.2013, opubl.: 27.12.2014, Bjul. №36. – 4s.: il.

18. Patent № 2550289 RF, MPK F24 J2/26. Solnechnyj kollektor s koncentratorom dlja geliovodopodogreva/ V.S. Gazalov, A.V. Braginec (GNU SKNIIMJeSH Rossel'hozakademii). – №2013146771/06, zajavl.: 18.10.2013, opubl.: 10.05.2015, Bjul. №13. – 4s.: il.