

ТЕПЛО - ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ СКРЫТУЮ ТЕПЛОТУ КОНДЕНСАЦИИ

Мирзаев М.С

Кобилев Б.Б

ARTICLE INFO.

Аннотация

Ключевые слова: солнечный наклонно-многоступенчатый опреснитель, скрытая теплота конденсации, тепловой эффект камеры конденсации, модель физических процессов.

Экспериментально исследованы в естественных условиях: производительность дистиллята; скрытая теплота конденсации; скорость конденсации; давление насыщенного водяного пара; тепловая эффективность камеры конденсации солнечной водоопреснительной установки в течении дня по часовой шаговой времени. Выявлена величина теплового эффекта паравоздушной камеры конденсации при суточной солнечной радиации. Определена динамика теплотехнических параметров установки в часовой интервал дня.

<http://www.gospodarkainnowacje.pl/> © 2022 LWAB.

1. Введение

Для повышения ежедневного производства питьевой воды и тепловой эффективности солнечных опреснительных установок многими авторами мира рекомендуется использовать в установках дополнительные солнечные коллекторы параболического концентратора [1], вертикальные отражатели [2]. Кроме того, некоторые авторы отмечают, что позиции внешних отражателей, его геометрические размеры и угол расположения по отношению горизонта оказывает влияние на суточное производство дистиллята (конденсата) [3]. Чтобы интенсифицировать передачу тепла между поверхностью конденсатора и окружающей средой дополнительно использовали металлические ребра [4]. Для аккумуляции солнечного излучения (для хранения поглощенного солнечного излучения в режиме разумного тепла) некоторыми авторами рекомендованы использовать в солоноватую воду солнечного опреснителя камни, уголь, красные кирпичи, куски железа пески и т.д.

2. Описание

Анализ научных статей показывают, что в научных журналах редко встречаются материалы по разработке и исследованию транспортируемых солнечных опреснительных установок.

Данная статья именно посвящена результатам разработки и экспериментальному исследованию транспортируемой солнечной наклонно-многоступенчатой опреснительной установки.

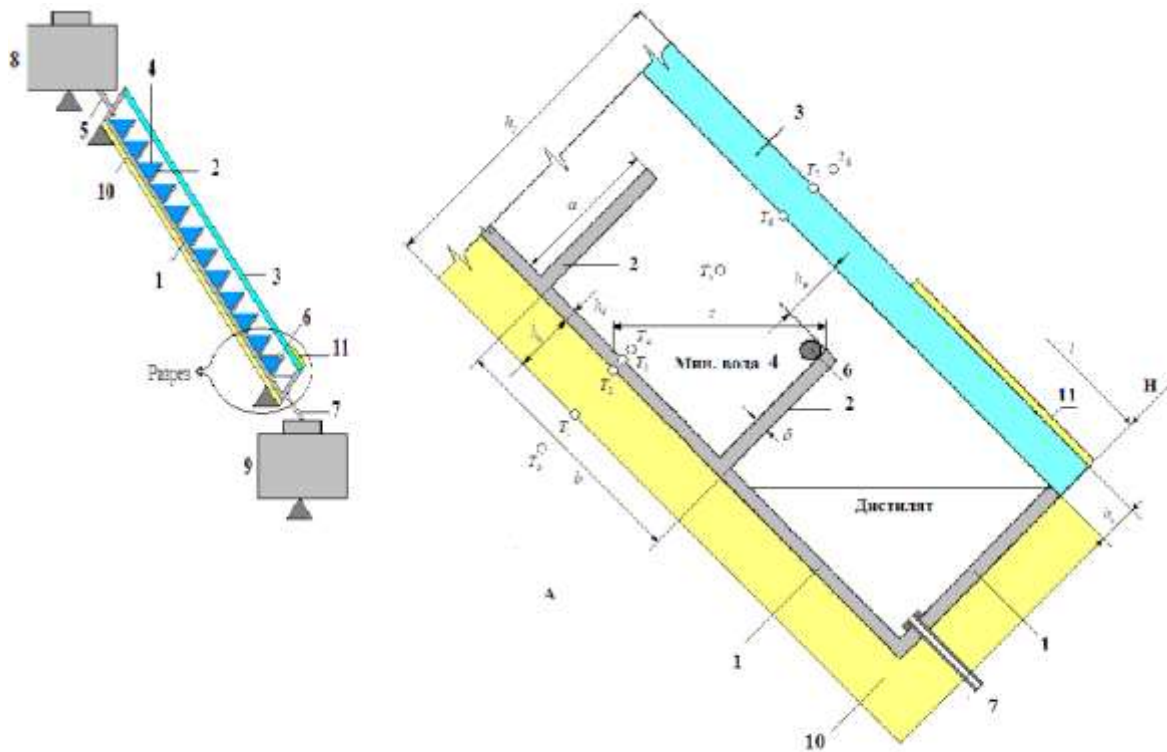


Рис.1. Схематический вид солнечной наклонно-многоступенчатой опреснительной установки (А-разрез).

1-металлический корпус; 2-металлические ступеньки; 3-светопрозрачный материал (стекло); 4-минерализованная вода; 5-подрубка для ввода минерализованной воды в каждую секцию; 6-подрубка для слива излишней минерализованной воды; 7-подрубка для вывода дистиллята; 8-емкость для минерализованной воды; 9-ёмкость для дистиллята; 10-теплоизолятор; 11-маркировочный материал.

Солнечная наклонно-многоступенчатая опреснительная установка в основном состоит (Рис.1.) из металлического корпуса (ящик) 1, дно корпуса разделен на несколько секций с металлическими ступеньками 2, в которых помещена солоноватая вода 4. На верхней части корпуса 1 установлен прозрачный материал (стекло) 3. По боковым стенкам корпуса установлены подрубки: подрубка 5 для ввода солоноватой воды в каждую секцию между ступеньками; подрубка 6 для слива излишней солоноватой воды; подрубка 7 для вывода дистиллята изнутри корпуса 1 установки. Для ввода солоноватой воды в внутрь установки подрубка 5 герметически соединена с ёмкостью 8 и для вывода дистиллята подрубка 7, которая соединена в ёмкость 9.

Отметим, что первая секция – пространство между нижней боковой стенки корпуса и первой ступеньки (высота которого больше чем в других ступеней), предназначена для поступления и слива дистиллята с подрубков 7 в емкость 9. Вторая секция – пространство между первой и второй ступеньками с подрубкой 6,

предназначена для слива излишней солоноватой воды, изнутри установки в наружу.

Для того чтобы защищать от явления повторного испарения дистиллята накопленного в первой секции, на наружную поверхность стекла против этой секции прикладывается маркировочный (темный бархат) материал 11.

Металлические ступеньки 2 и корпус 1 опреснительной установки герметично приварены между собой. Боковые стенки и дно корпуса 1 с наружной части изолированы от тепла отдачи с окружающей средой натуральным безопасным минералом-утеплителем марки «Тепло knauf» 10. Корпус 1 и ступеньки 2 изготовлены из нержавеющей стали и окрашены эмалированной черной краской.

Экспериментальные исследования показывают, что для выбора геометрических размеров элементов модельной конструкции установки непосредственно, знать длину пробега молекул водяных паров внутри камеры конденсации. Для этого выявлена формула определения пробега молекул водяных паров, испускаемых с поверхности солоноватой воды до внутренней площади поверхности стекла (методика расчета подробно описана в работе [5]):

$$\lambda_o = \left[a \cdot \cos(90 - \alpha) + \frac{h_x}{\cos(90 - \alpha)} \right] \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Испытываемая солнечная опреснительная установка наклонен под углом к горизонту, равный северной географической широте $38^\circ N$ Бухары (г. Бухара Республика Узбекистан). В таком случае минимально - допустимое расстояние от поверхности солоноватой воды до внутренней площади поверхности стекла, принято $h_x = 3,65 \text{ см}$.

Создана экспериментальная солнечная наклонно – многоступенчатая опреснительная установка совершенствованной конструкции со следующими исходными размерами элементов (Рис.1):

-толщины стенок ступеней и металлического корпуса, $\delta = 0,15 \text{ см}$; высота ступеней, $a = 4,5 \text{ см}$;

-расстояние между поверхностями параллельно расположенных двух ступеней (ширина одной секции), $b = 5,8 \text{ см}$;

-ширина площади поверхности солоноватой воды, помещенная в одной секции (в начале эксперимента), $c = 7,34 \text{ см}$;

-толщина стекла, $h_c = 0,4 \text{ см}$; расстояние между внутренней поверхностью стекла до края ступеней, $h_x = 3,65 \text{ см}$;

-толщина теплового изоляционного материала, $h_u = 1,4 \text{ см}$; полная высота стенки установки, $h_o = 10,0 \text{ см}$.

3.Измерения

Для экспериментального исследования физических процессов в разра-ботанной

установке измеряли теплоэнергетические характеристики: радиацию солнечного излучения на горизонтальную поверхность; температуру на границах соприкасающихся поверхности элементов установки и в самих элементах; выделяемую массу дистиллята; влажность воздушно-паровой смеси.

Эксперименты проводились в естественных условиях, в ноябре 2018 года.

Измерение потока солнечной радиации было проведено электрическим измерительным прибором – актинометром модели *AT-5*, присоединенный к гальванометру модели *ГСА*. Чувствительность прибора – $c < 7 \cdot 10^{-7}$ А/дел, активное электрическое сопротивление $r_{ак} = 850 \text{ Ом}$, реактивное сопротивление $r_p = 460 \text{ Ом}$, класс точности "5", год выпуска прибора-1981 год.

Для измерения температур, на границах соприкасающиеся поверхностей элементов модельной конструкции установки использованы термопары, связанные с измерительным прибором модели: **ТМ-4** с электронным экраном. Краткие характеристики: диапазон измерения температуры от -30 до 50°C , -50 до 70°C ; точность $\pm 1^\circ\text{C}$; разрешение $0,1^\circ\text{C}$ ($> -20^\circ\text{C}$), 1°C ($< -20^\circ\text{C}$). Требования к окружающей среде: температура от -10 до 60°C , влажность 20–85% (без конденсата).

Для измерения относительной влажности внутри камеры установки использован прибор модели: **НСW** с электронным экраном, краткие характеристики: диапазон температуры в помещении от -10 до 50°C ; на открытом воздухе от -50 до 70°C . Диапазон относительной влажности от 20% ÷ 99%.

Масса дистиллята измеряли обычной мензуркой 0–100ml разметками.

Для измерения температур, на границах соприкасающихся поверхностей элементов модельной конструкции установки выбраны следующие точки измерения, с разметками букв (Рис 1):

-точка измерения температуры между окружающей средой и наружной поверхностью теплового изоляционного материала, T_1 ;

-точка измерения температуры между внутренней поверхностью теплового изоляционного материала и наружной поверхностью металлического дна корпуса установки, T_2 ;

-точка измерения температуры между внутренней поверхностью металлического дна корпуса установки и солоноватой воды, T_3 ;

-точка измерения температуры между поверхностью солоноватой воды и воздушно-паровой смеси, T_4 ;

-точка измерения температуры в объеме воздушно-паровой смеси, T_5 ;

-точка измерения температуры между воздушно – паровой смесью и внутренней поверхностью стекла, T_6 ;

-точка измерения температуры между наружной поверхностью стекла и окружающей средой, T_7 ;

- точка измерения температуры в окружающей среде, T_0 и T_8 ;
- относительная влажность внутри опреснительной установки, RH ;
- поток солнечной радиации, R .

Для измерения относительной влажности внутри установки, наружную термопару прибора модели **HCW** установили под стеклом, в нижний угол, а его наружную термопару установили в точке пересечения двух диагоналей между внутренней поверхностью стекла и поверхностью солоноватой воды, конкретно, в объеме воздушно-паровой смеси.

Результаты измерения упомянутыми измерительными приборами: значений суммы потока солнечной радиации R , масса выделяемого дистиллята M , относительная влажность воздушно-паровой смеси RH в камере конденсата как зависимость от часового интервала дня (в период 8 часов) представлены на рис.1. Результаты измерения температуры окружающей среды $T_o = T_8$, температуры в упомянутых точках измерения ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ и T_7) и динамика теплотехнических параметров в часовой интервал дня представлены в таблице №1.

При относительной влажности в объемных долях больше 0,5 автором [6] рекомендуется использовать более простую формулу для приблизительного расчета точки росы, дающая погрешность $\pm 1,0^\circ C$:

$$T_{1p} \approx \Delta T_1 - \frac{1 - RH}{0,05} \quad \text{и} \quad T_{2p} \approx \Delta T_2 - \frac{1 - RH}{0,05} \quad \text{и}$$

где RH - относительная влажность водяного пара в течение часового интервала.

Для определения скрытой теплоты конденсации и скорости конденсации использовали следующие формулы, предлагаемые автором [7].

Скрытая теплота конденсации:

$$L_{cond} = 3.141 \times 10^6 (1 - 7.6 \times 10^{-4} \Delta T_2), \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} .$$

Скорость конденсации:

$$\dot{m}_{cond} = \frac{85.0 \cdot (T_5 - T_6) \cdot RH}{L_{cond}} = \frac{85.0 \cdot \Delta T_2 \cdot RH}{L_{cond}}, \quad \frac{\text{град}}{(\text{Дж} / \text{кг})} .$$

Для определения давления насыщенного воздушно-паровой смеси использовали формулу, которую предлагает автор [8].

$$P = 10^5 \cdot 10^{(17.443 - \frac{2795}{T_6} - 3.686 \log(T_6))}, \quad \text{Па} .$$

Для оценки тепловой эффективности камеры конденсации использовали предлагаемую автором формулу [9]:

$$\eta_{cond} = \frac{M_{cond} \cdot L_{cond}}{\sum_{k=1}^{nk} Q_{ak} \cdot \Delta t}$$

где M_{cond} – почасовое количество дистиллята, кг; $Q_{u,akum}$ – запасенная полезная энергия для воздушно - водяной паровой смеси в течение шага времени k и nk – количество ступенчатого времени в час.

Вывод

Экспериментально исследованы теплотехнические параметры опреснительной установки в естественных условиях работы: производительность дистиллята; скрытая теплота конденсации; скорость конденсации; давление насыщенного водяного пара; тепловая эффективность камеры конденсации установки в течении часового шагового времени.

Выявлено, что когда температура россы на внутренней поверхности стекла положительная и больше 2°C , величина теплового эффекта камеры конденсации обнаруживается и имеет значения $12\% \div 64\%$, при суточной солнечной радиации - $15,0 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Singh S.K., Bhatnagar V.P. and Tiwari G.N. Design Parameters for Concentrator Assisted Solar Distillation. // Energy Conversion and Management 1996.V.37. pp. 247-252.
2. Badran A.A., Al-Hallaq I., Eyal Salman I. A and Odat M. Z. A Solar Still Augmented with a Flat-Plate Collector. // Desalination 2005. V. 172. pp. 227-234.
3. Tanaka H. Monthly Optimum Inclination of Glass Cover and External Reflector of a Basin Type Solar Still with internal and External Reflector. // Solar Energy 2010.V. 84. pp. 1959-1966.
4. Fath H., Hosny S. M. Thermal Performance of a Single-Sloped Basin Still with an Inherent Built-in Additional Condenser. Desalination 2002. V. 142. pp. 19-27.
5. Akhatov Zh.S., Samiev K.A., Mirzaev M.S., and Ibragimov A.E., Appl. Sol. Energy, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 119–125.
6. Mirzaev M. S., Samiev K. A., and Mirzaev Sh. M., Applied Solar Energy, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 36–40.
7. Aybar H.S. Mathematical modeling of an inclined Solar Water Distillation System. // Desalination 2006. V. 190. pp. 63-70.
8. Bruhat G. Thermodynamique. // Paris: Masson. 1968.
9. Rabah K., Zeghmati B. Filali ghalia El., Touhami A. Effect of climatic and operational parameters on the performance of an indirect solar stil. // International Journal of Sustainable Energy 2013. Vol.34. pp. 578-593.