

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С УСТРОЙСТВОМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

*И.Р. Рахматулин*

Рассматривается процесс написания математической модели для солнечной опреснительной установки. Описан процесс проведения лабораторных испытаний над опреснительной установкой для выявления коэффициентов, учитывающих влияние начальной температуры и солености воды на производительность установки. Исходя из полученных результатов производительности солнечной опреснительной установки и результатов производительности, полученных в экспериментальных исследованиях, сделаны выводы о возможности использования математической модели для предварительных расчетов в проектировании опреснительных комплексов на солнечной энергии. Приведены рекомендации для увеличения точности расчета.

*Ключевые слова:* математическая модель, солнечная опреснительная установка, солнечный коллектор.

В эпоху технологического прогресса и жесткой конкуренции в любой сфере деятельности для повышения конкурентоспособности важно иметь возможность быстрого реагирования на любые изменения в протекании технологического процесса разрабатываемого устройства и, как следствие, мгновенного предоставления конечного результата эффективности устройства потребителю.

В связи с чем, для возможности получения результата при различных начальных условиях работы солнечной опреснительной установки и для подтверждения правильности полученных результатов в ходе лабораторных испытаний было принято решение о создании математической модели.

Солнечная опреснительная установка создана для решения проблемы дефицита пресной воды (рис. 1) [1]. Для получения результатов производительности установки были проведены лабораторные испытания над установкой, с устройством слежения за солнцем и без использования устройства слежения.

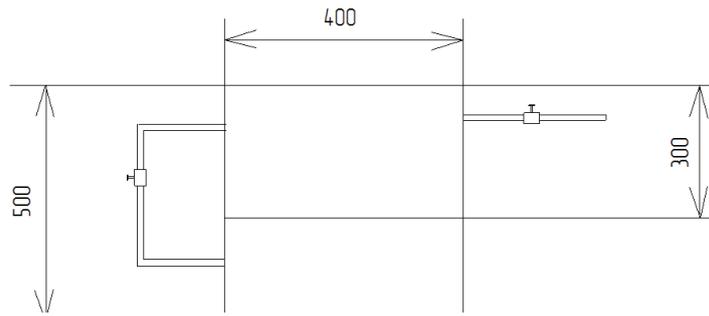


**Рис. 1.** Общий вид солнечной опреснительной установки

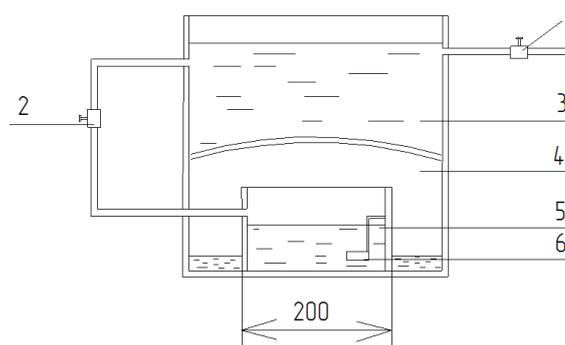
Расчет разработанной опреснительной установки несет в себе ряд сложностей при определении общего количества обессоленной воды, вследствие того, что часть образовавшегося дистиллята осаждается по всему объему внутренней стенки опреснителя и попадает в емкость для дистиллята через неопределенное время, часть образовавшегося пара конденсируется на боковых стенках, а часть пара конденсируется на поверхности емкости для конденсации. В связи с этим было принято решение о написании уравнения производительности опреснительной установки с помощью результатов, полученных в ходе лабораторных испытаний.

С учетом того, что существующие опреснительные установки не рассчитаны на работу с вакуумными коллекторами, была создана экспериментальная опреснительная установка, способная работать на энергии от солнечных коллекторов (см. рис. 1).

Схема экспериментальной опреснительной установки изображена на рис. 2, вид в разрезе – на рис. 3.



**Рис. 2. Схема установки для опреснения соленой воды**

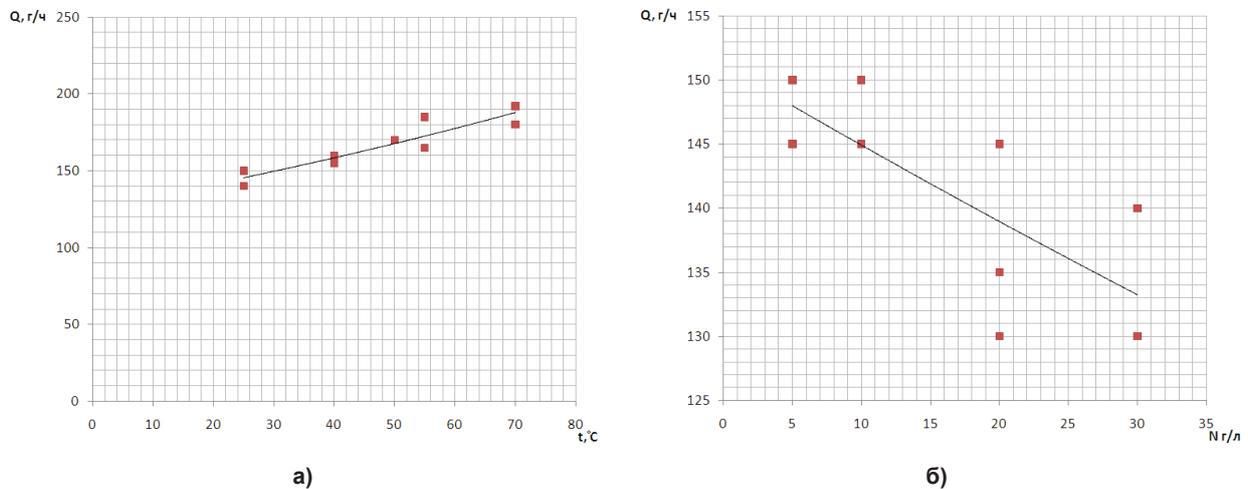


**Рис. 3. Схема установки для опреснения воды (вид в разрезе): 1 – кран для подачи соленой воды, 2 – кран для подачи соленой воды в секцию опреснения, 3 – секция для конденсации, 4 – секция емкости дистиллята, 5 – секция для опреснения, 6 – электрический нагреватель**

Установка состоит из трех секций. Соленая вода через трубопровод 1 подается в секцию для конденсации, откуда по трубопроводу 2 – в секцию для опреснения. Взамен солнечному коллектору использовался электрический нагреватель.

В секции для опреснения 5 соленая вода нагревается электрическим нагревателем 6 и испаряется. Образовавшийся пар поднимается и вследствие теплообмена с нижней поверхностью секции для конденсации 3 конденсируется. Далее образовавшийся дистиллят опускается на дно секции для дистиллята 4.

Результаты лабораторных испытаний представлены на рис. 4.



**Рис. 4. Зависимость производительности экспериментальной установки от начальной температуры соленой воды (а) и от содержания соли в опресняемой воде (б)**

Исходя из полученных результатов было составлено уравнение опреснительной установки:

$$S_{dis} = k_{na} H k_{tran} k_{water},$$

где  $k_{tran} = 2,5$  г/Вт – коэффициент перевода тепловой энергии;  $k_{na}$  – коэффициент, учитывающий соленость опресняемой воды;  $k_{water}$  – коэффициент, учитывающий начальную температуру опресняемой воды.

Зависимость величины коэффициента солености опресняемой воды  $k_{na}$  от концентрации соли в воде получена из результатов лабораторных испытаний и представлена в табл. 1.

Таблица 1

Влияние концентрации соли на коэффициент  $k_{na}$ 

$N$ , г/л	0	20	40	60	80
$k_{na}$	1	0,995	0,99	0,987	0,983

Зависимость величины коэффициента –  $k_{water}$  от температуры опресняемой воды получена из результатов лабораторных испытаний и представлена в табл. 2.

Таблица 2

Влияние начальной температуры воды перед входом в емкость для опреснения на производительность опреснительной установки

$T$ , °	20	25	30	35	40
$k_{water}$	0	0,2	0,5	0,7	1

В программе Matlab была написана программа для вычисления производительности солнечной опреснительной установки с устройством слежения и без. Фрагмент программы изображен на рис. 5.

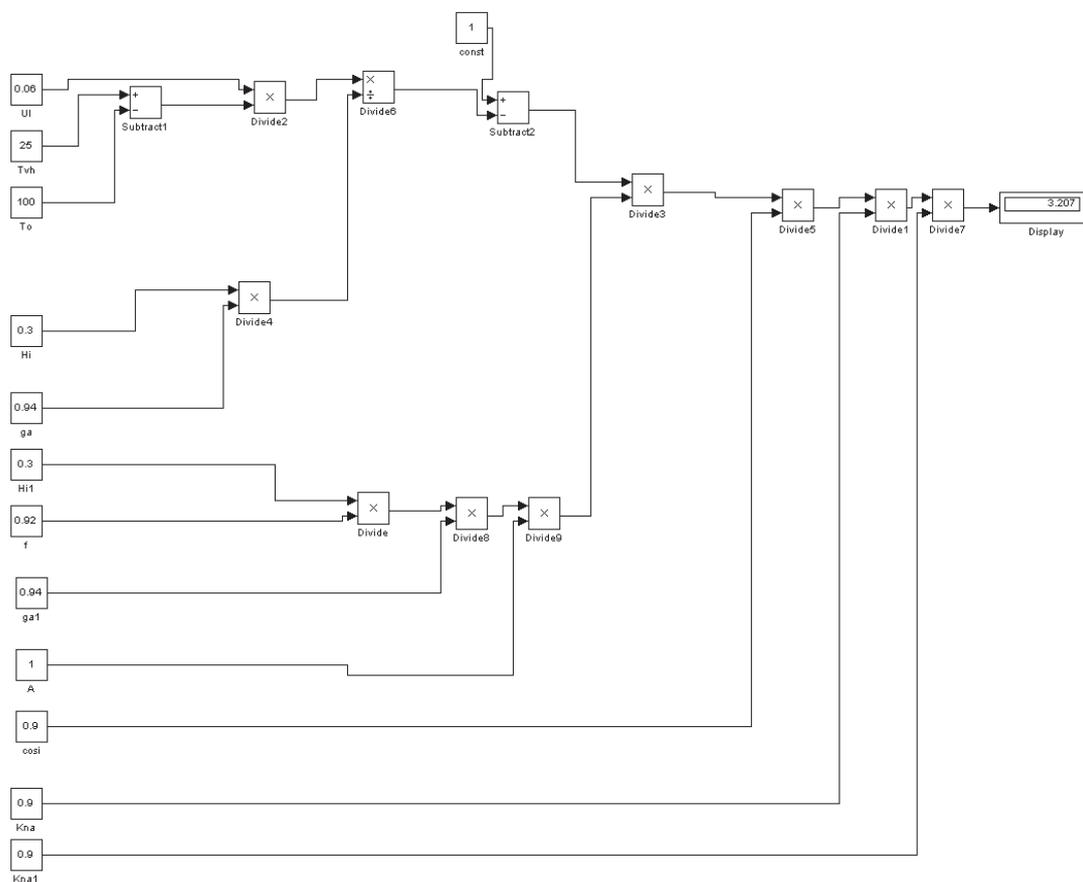


Рис. 5. Фрагмент программы солнечной опреснительной установки в Matlab

В нашем случае солнечный коллектор является единственным источником энергии и правильность работы математической модели во многом зависит от правильности расчета солнечного коллектора. В связи с чем, были рассмотрены несколько возможных вариантов расчетов производительности солнечного коллектора и выбрана оптимальная формула, учитывающая основные коэффициенты и величины, влияющие на производительность солнечного коллектора [2].

$$Q_{уд.i}^{дн} = F_R (\bar{\tau} \cdot \bar{\alpha}) H_i \left[ 1 - \frac{U_L (T_{вх} - T_0)}{(\bar{\tau} \cdot \bar{\alpha}) H_i} \right] A,$$

где  $F_R$  – коэффициент переноса тепла от коллектора к жидкости;  $(\bar{\tau} \cdot \bar{\alpha})$  – оптический КПД установки;  $U_L$  – коэффициент тепловых потерь;  $T_0$  – среднемесячная температура окружающего воздуха;  $T_{вх}$  – температура на входе в коллектор,  $A$  – площадь солнечного коллектора,  $H_i$  – интенсивность солнечного излучения.

Для расчета производительности коллектора в программе можно задать только тип коллектора, а технические характеристики прописать в Matlab, но недостатком данного метода является неточность конечного результата, так как характеристики солнечных коллекторов во многом зависят от производителя. Желательно вводить технические характеристики коллектора самостоятельно, это не предоставляет большой сложности, так как заводы-производители снабжают свою продукцию технической документацией, в которой указаны все необходимые показатели.

Влияние устройства слежения за солнцем на производительность опреснительной установки учитывается следующей формулой [3]:

$$E = H \sin i,$$

где  $H$  – интенсивность излучения, падающего на горизонтальную поверхность,  $i$  – угол наклона луча к нормали этой поверхности.

$$\cos i = \cos(f - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(f - \beta) \sin \delta,$$

где  $\delta$  – угол склонения, градус;  $f$  – широта местности, градус (координата северной широты, для Челябинской области составляет  $55^{\circ}09'00''$ );  $\beta$  – угол наклона рассматриваемой поверхности к плоскости.

Угол склонения рассчитывался по следующей формуле:

$$\delta = 23,45^{\circ} \cdot \sin \left[ 360^{\circ} \cdot \frac{284 + n}{365} \right],$$

где  $n$  – порядковый номер дня года, отсчитываемый с 1 января.

На рис. 6 показана производительность солнечной опреснительной установки в августе месяце с устройством слежения 1 и без устройства слежения 2, полученные опытным путем; производительность солнечной опреснительной установки с устройством слежения (3) и без устройства слежения (4), полученные расчетным путем.

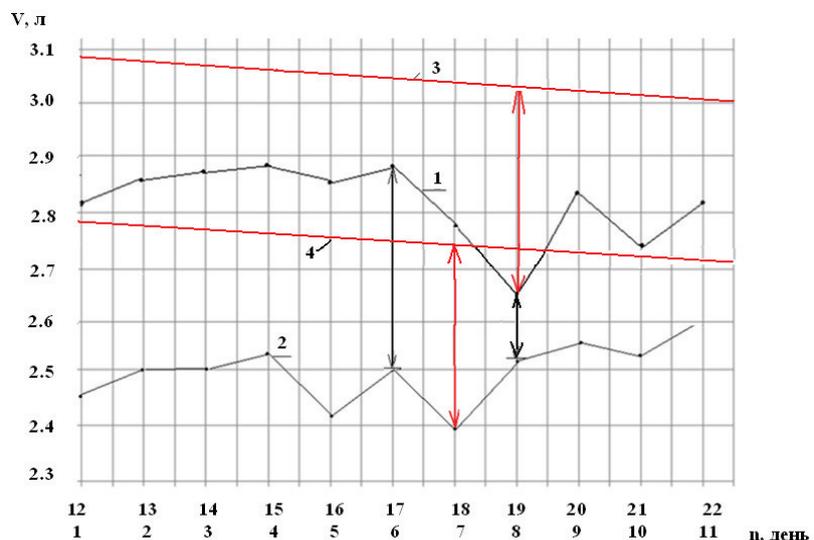


Рис. 6. Производительность солнечной опреснительной установки с устройством слежения (1) и без устройства слежения (2), полученные опытным путем; производительность солнечной опреснительной установки с устройством слежения (3) и без устройства слежения (4), полученные расчетным путем

В ходе сравнения полученных результатов пришли к ожидаемому выводу, что математическая модель не дает точного результата производительности солнечной опреснительной установки, это связано с невозможностью точного определения наличия облачности в конкретный момент времени в будущем. Результаты максимально приближены в дни, в которые отсутствовали облака, и интенсивность солнечного излучения была максимальна в течение всего дня. Разница в показаниях для установки без устройства слежения составляет 0,1 л (4 %) с устройством слежения – 0,15 л (5 %). Исходя из полученных результатов сделан вывод о возможности использования математической модели для расчета производительности солнечной опреснительной установки. Для увеличения точности конечного результата желательно использовать величину интенсивности солнечного излучения с учетом облачности.

#### *Литература*

1. Создание новых ультрафильтров для очистки воды / Т.В. Алыкова, Л.В. Боронина, А.Е. Кудряшова, О.Е. Сулоева // *Геология, география и глобальная энергия*. – 2010. – № 4. – С. 111–115.
2. Ярмухометов, У.Р. Солнечные энергетические установки с системой слежения за солнцем для энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.02 / У.Р. Ярмухометов. – Уфа, 2008 – 178 с.
3. Солнечная энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. – М.: Издат. дом МЭИ, 2008. – 276 с.

**Рахматулин Ильдар Рафикович**, аспирант кафедры электротехники и возобновляемых источников энергии, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); ildar.o2010@yandex.ru.

---

*Bulletin of the South Ural State University*  
*Series "Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics"*  
2014, vol. 14, no. 1, pp. 110–115

---

## **MATHEMATICAL MODEL OF SOLAR DESALINATION PLANT WITH TRACKING DEVICE FOR THE SUN**

**Rakhmatulin I.R.**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
ildar.o2010@yandex.ru

The article discusses the process of writing a mathematical model for the solar desalination plant. Describes the process of carrying out laboratory tests on the desalination plant to identify the factors take into account the effect of the initial temperature and salinity on plant productivity. Based on the results of the performance of solar desalination plant and productivity results from experimental studies, the conclusions about the possibility of using mathematical models to preliminary calculations in the design of desalination systems for solar energy. Recommendations for increasing the accuracy of the calculation.

*Keywords: mathematical model, solar desalination plant, solar collector.*

### References

1. Alykova T.V., Boronina L.V., Kudryashov A.E., Suloeva O.E. Create a New Ultrafilters for Water [Sozdanie novykh ul'trafil'trov dlya ochistki vody]. *Geografiya i global'naya energiya [Geography and global power]*, 2010, no.4, pp. 111– 115.
2. Yarmuhometov U.R. Solar Power Plants with Sun Tracking System for Power Supply to Agricultural Consumers [Solnechnye energeticheskie ustanovki s sistemoy slezheniya za solntsem dlya energosnabzheniya sel'skohozyaystvennykh potrebiteley]. *Dis. ... Candidate. those. Sciences [dis. ... kand. teh. nauk]*. 05.20.02. Ufa, 2008. 178 p.
3. Vissarionov V.I. *Solnechnaya energetika* [Solar Energy]. Moscow, Publishing House of MEI, 2008. 276 p.

*Поступила в редакцию 16 ноября 2013 г.*