

Small solar grids generate alternative energy alternatives that might be a better source than diesel since it is green energy that is inexpensive in cost and can be easily deployed in rural regions, improving the lives of a huge number of Yemenis.

The struggles endured by Yemenis due to a lack of public energy and the search for alternatives due to high gasoline prices, and how they eventually switched to solar energy and benefited from solar energy transfers that can benefit countries from these experiences that have improved the use of sunlight, which Belarus can also benefit from in order to improve the environment from other energies.

УДК 536.2

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ АККУМУЛИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ И ОПТИМАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

М. Якубов

*Туркменский государственный университет имени Махтумкулы,
г. Ашхабад*

Научный руководитель М. Рахимов

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Аккумуляция солнечной энергии (АСЭ) в отличие от других способов производства энергии имеет свои преимущества. В условиях Туркменистана использование большого количества солнечной радиации в течение 5–6 месяцев и превращение ее в электрическую энергию говорит об актуальности проблемы АСЭ. Нами проведены опыты АСЭ с использованием солнечного соленого бассейна и рассолов с различными химическими составами без каких-либо дополнительных элементов. Исследован термический потенциал аккумуляции растворов солей из комбината «Гувлыдуз», расположенного на берегу Каспийского моря, и из солей (бишофит) озера Гарабогаз, а также соленой воды пруда Ханховуз.

С целью превращения АСЭ в электроэнергию была построена математическая модель оптимального режима насоса, определены скорости течения жидкости по трубе и расхода солевого раствора. Использовалось уравнение Навье–Стокса, решена задача оптимального моделирования турбулентного течения жидкости.

Ключевые слова: аккумуляция солнечной энергии, солнечный бассейн, соли, рассол, уравнение Навье–Стокса, уравнение Беллмана, оптимальное моделирование.

ABOUT ONE METHOD OF SOLAR ENERGY ACCUMULATION AND OPTIMAL MODELING OF THE HEAT TRANSFER PROCESS

M. Yakubov

Magtymguly Turkmen State University, Ashgabat

Science supervisor M. Rakhimov

State Energy Institute of Turkmenistan, Mary

Solar energy storage (SES) differs from other energy production methods in its advantages. In the conditions of Turkmenistan, the use of large amounts of solar radiation for 5-6 months, the possibility of accumulating and converting it into electrical energy proves the relevance of the ASE problem. We have conducted ACE experiments using a solar salt pool and brines with various chemical compositions without any additional elements. We have conducted ACE experiments us-

ing a solar salt pool and brines with various chemical compositions without any additional elements. The thermal potential of accumulation of salt solutions from the Guvlyduz plant, located on the shores of the Caspian Sea, and from salts (bishofit) of Lake Garabogaz, as well as salt water of a pond from the Khankhovuz, have been studied.

In the problem of converting ASE into electricity, a mathematical model of the optimal pump mode, the speed of liquid flow through the pipe and the flow rate of the saline solution was built. The Navier-Stokes equation was used and the problem of optimal modeling of turbulent fluid flow was solved.

Keywords: solar energy storage, solar pool, salts, brine, Navier-Stokes equation, Bellman equation, optimal modeling.

Постановка задачи

Аккумуляция солнечной энергии (АСЭ) в отличие от других способов производства энергии имеет свои преимущества [1–3]. В литературе приводятся технические схемы и характеристики энергоресурсов солнечной энергии. Аккумуляция солнечной энергии с использованием солнечного бассейна (СБ) имеет ряд преимуществ: простая конструкция СБ, малые затраты. Солнечный бассейн образуется вертикальный градиент температуры. Горячая жидкость (50–90 °С) подается в теплообменник с помощью насоса, для образования пара используются химические вещества, испаряющиеся при более низких температурах. Паротурбина в теплообменнике приводит в движение турбогенератор, расположенный на его оси и производится электроэнергия.

С точки зрения использования аккумуляции солнечной энергии и теплоты продуктов сгорания в электростанциях необходимо исследовать следующие задачи:

- 1) возможности АСЭ в Туркменистане способом СБ, а также применение тепла рассолов из местных прудов Туркменистана;
- 2) составить соответствующие математические модели скорости подачи горячей жидкости в теплообменник;
- 3) составить математическую модель использования горячей жидкости для обеспечения нормальной температуры в помещении.

Решение задачи

В Государственном энергетическом институте Туркменистана был построен небольшой СБ размером $4 \times 4 \text{ м}^2$. В связи с расположением СБ вблизи дренажа и низкой местностью был проверен грунт на глубине 3 м. Ввиду наличия подземных вод на глубине около 2 м вырытая яма была засыпана слоем грунта, гравия и бетонного щебня толщиной 1 м. Построенный СБ с железобетонной конструкцией имеет формы усеченной пирамиды, он плотно изолирован, дно и боковые стенки залиты железобетонным монолитом толщиной 20 см. Глубина бассейна 2 м, наклон стенок бассейна примерно равен 20–21°. Объем бассейна составляет 21 м^3 .

В течение последних двух лет проводились опыты АСЭ с использованием СБ и рассолов с различными химическими составами без каких-либо дополнительных элементов. Исследован термический потенциал аккумуляции растворов солей, привезенных из комбината «Гувлыдуз», расположенного на берегу Каспийского моря, и из солей (биошифт) озера Гарабогаз (ПО «Туркменхимия»), а также соленая вода пруда рядом с Ханховузским мостом дороги Мары-Ашхабад и реки Каракум. Рассол солей «Гувлыдуз» содержал кристаллы (примерно 20 %). В эксперименте, проведенном в июле 2021–2022 г., температура окружающей среды днем составлял 52–54 °С, а температура рассола пруда Ханховуз достигала 64–66 °С, а ночью при температуре

окружающей среды 35–365 °С температура рассола пруда Ханховуз составляла 58–60 °С. Но температура раствора соли «Гувлыдуз» составляла днем 52–54 °С. Установлена возможность получения более высоких температур в слоях раствора при смешивании соли биошифта с рассолом из Ханховузского массива. В связи с этим был исследован химический состав солей. Химический состав рассолов проверен 01.06.2021 г. в центральной технической лаборатории производственного объединения Marykarbomit Туркменистана (см. таблицу).

| Наименование солей | ρ , % | C, % | Cl, % | ммоль/л (жесткость) | SO_4^{2-} , % | Fe^{3+} , % | Mg^{2+} , % | Ca^{+2} , % | Нерастворимые вещества %, мг | Аммиак |
|--|------------|------|-------|---------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|--------|
| Пруд Ханховуз | 1,230 | 28,0 | 2,1 | 0,2 | 0,8 | 0,006 | 1,1 | Ots. | – | 0,8 |
| Дренаж | 1000 | 0,8 | 0,9 | 104 | 2,4 | 0,0075 | 0,11 | 0,003 | – | 1,0 |
| Комбинат «Гувлыдуз» | 1,056 | 8 | 0,6 | 33 | 1,24 | 0,0070 | 0,042 | 0,013 | – | 0,52 |
| Пруд Ханховуз + комбинат «Гувлыдуз» + пищевая соль | 1,232 | 30 | 1,17 | 860,39 | 0,83 | 0,0068 | 1,02 | 0,05 | 36,0 | – |

Было выявлено, что количество хлорида магния в привезенном рассоле из пруда Ханховуза больше, чем других солей. Это позволило получить более высокую температуру в рассоле, чем в других жидкостях.

Исследование АСЭ в Туркменистане проводилось и в октябре–декабре; с более низкой температурой рассола из «Гувлыдуза», по сравнению с другими жидкостями составила более 25 °С. Таким образом заключаем, что рассолы из природных прудов Туркменистана, без добавления дополнительных химических элементов, аккумулируют солнечную энергию с необходимой температурой, обеспечивающей в летнее время выработку электроэнергии, а в прохладное – обогрев помещения [1–3].

Таким образом, можно констатировать:

1. Для того чтобы шире использовать СБ АСЕ, необходимо создать дорожную термическую карту солей прудов Туркменистана и продолжить научные исследования в этом направлении. Создать многочисленные искусственные пруды с целью использования СБ и очищения плодородных земель от солей.

2. Необходимо найти оптимальные модели установок СБ в озерах Туркменистане, найти формулы оптимальной скорости турбулентного течения жидкости и математические модели процесса использования температуры рассолов из прудов и продуктов сгорания для отопления теплиц и других помещений.

Для превращения АСЭ в электроэнергию необходимо найти оптимальный режим насоса, скорости течения жидкости по трубе и расхода солевого раствора. При этом отметим, что для решения этой задачи необходимо привлечь математический аппарат оптимального моделирования. С другой стороны, известно, что для определения скорости жидкости в общем виде используются нелинейные уравнения Навье–Стокса. В связи с этим представляет теоретический интерес исследование уравнения

Навье–Стокса с точки зрения оптимального математического моделирования, отвечающее требованиям практических технических задач, также разработки удобного способа для приближенного вычисления решения указанного выше уравнения.

3. Для решения задач 2 и 3 используются нелинейные уравнения Навье–Стокса [1–3].

Для нестационарного и нелинейного двумерного (трехмерный случай рассматривается аналогично) векторного дифференциального уравнения Навье–Стокса рассматриваются начально-граничные условия (плотность полагают $\rho = 1$):

$$\begin{cases} \frac{\partial v_1}{\partial t} + \alpha \left(v_1 \frac{\partial v_1}{\partial x} + v_2 \frac{\partial v_1}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \nu \Delta v_1 + f_1 + q_1 \\ \frac{\partial v_2}{\partial t} + \alpha \left(v_1 \frac{\partial v_2}{\partial x} + v_2 \frac{\partial v_2}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \nu \Delta v_2 + f_2 + q_2 \end{cases}, \quad \frac{\partial v_1}{\partial x} + \frac{\partial v_2}{\partial y} = 0; \quad (1)$$

$$\begin{cases} v_1(x, y, 0) = a(x, y), v_2(x, y, 0) = b(x, y); \quad \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial b}{\partial y} = 0; \\ v_i(0, y, t) = g_{i1}(t), v_i(h, y, t) = g_{i2}(t), \quad 0 \leq y \leq l; \\ v_i(x, 0, t) = 0, v_i(x, l, t) = 0, \quad 0 \leq z \leq h; \quad i = 1, 2, \end{cases} \quad (2)$$

где α – неотрицательное число; $t \in [0, T]$; $(x, y) \in \Omega = \{0 \leq x \leq h, 0 \leq y \leq l\}$ – прямоугольная область с границей $-S = \{x = 0, x = h, 0 \leq y \leq l, 0 \leq x \leq h, y = 0, y = l\}$, $Q_T = \Omega \times (0, T)$, $S_T = S \times [0, T]$; Δ – оператор Лапласа; ν – постоянный коэффициент вязкости; $w(x, y, t) = (v_{\downarrow 1}, v_{\downarrow 2})$, $v_{\downarrow i} \equiv v_{\downarrow i}(x, y, t)$ – вектор-функция скорости жидкости, $p = p(x, y, t)$; $f = (f_1, f_2)$, $f_i = f_i(x, y, t)$; $q = (q_1, q_2)$, $q_i = q_i(x, y, t)$, $i = 1, 2$. В уравнении (1) q – постоянно действующая сила.

В граничных условиях (2) вектор функции $g_{i2}(t)$ описывает действия насоса в граничном режиме, а векторная функция f характеризует разницу между температурой поверхности греющего устройства и температурой жидкости (подъемную силу). Минимизируется квадратически функционал. Задача (1), (2) нелинейная, в связи с этим в работе решена задача линеаризации и оптимизации уравнений Навье–Стокса путем замены нелинейного члена с линейным, используя некоторые (усредненные) значения скорости (решение оптимальной линейной задачи).

Л и т е р а т у р а

1. Осадчий, Г. Б. Солнечный соляной пруд – базовый элемент индивидуальных солнечных установок / Г. Б. Осадчий. – Режим доступа: <http://holodilshchik.ru>.
2. Лопатина, А. Б. Особенности химического состава Мертвого моря и свойства комплекса DN-1 / А. Б. Лопатина // Успехи соврем. естествознания. – 2015. – № 11, ч. 2. – С. 149–152.
3. Nazarow, S. Optimal modeling of the heat transfer of a viscous incompressible liquid / S. Nazarow, M. Rakhimow, G. Khekimow. Интернет. E3S Web of Conferences 216, 01059 (2020), RSES 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601059>