

**УДК 621.472**

А. БАБОБЕКОВ, студент гр. 113М-20 (ТашГТУ)  
Научный руководитель М.А. КОРОЛИ, к.т.н., профессор (ТашГТУ)  
г. Ташкент (Республика Узбекистан)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ  
СУТОЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР В СОЛНЕЧНЫХ  
«ГОРЯЧИХ ЯЩИКАХ»**

Особенности солнечного источника энергии – относительно малая энергетическая плотность и зависимость поступления от времени и метеофакторов, определяющих переменность выходных характеристик солнечных установок, а в особенности — низкопотенциальных солнечных установок (НПУ). Этот аспект определяет необходимость разработки методик, учитывающих зависимость теплотехнических характеристик НПУ (воздухо- и водонагревателей) от времени. Получение таких зависимостей экспериментальным путём или на основе натурных исследований достаточно сложно. Один из путей решения данной задачи — разработка численных нестационарных моделей НПУ с переменными во времени солнечной радиацией  $E_s$  и температурами окружающего воздуха  $t_h$ .

Основной элемент НПУ — это «горячий ящик» (ГЯ). Цель настоящей работы — разработка численной нестационарной модели ГЯ, учитывающей переменность  $E_s$  и  $t_h$  и исследование динамики суточного хода температур в основных элементах ГЯ. Схемы открытых и закрытых одномерных нестационарных моделей ГЯ для постоянных значений  $E_s$  и  $t_h$  были рассмотрены в [1].

Рассмотрим следующую схему закрытой модели ГЯ (см. рис. 1) со следующими допущениями:

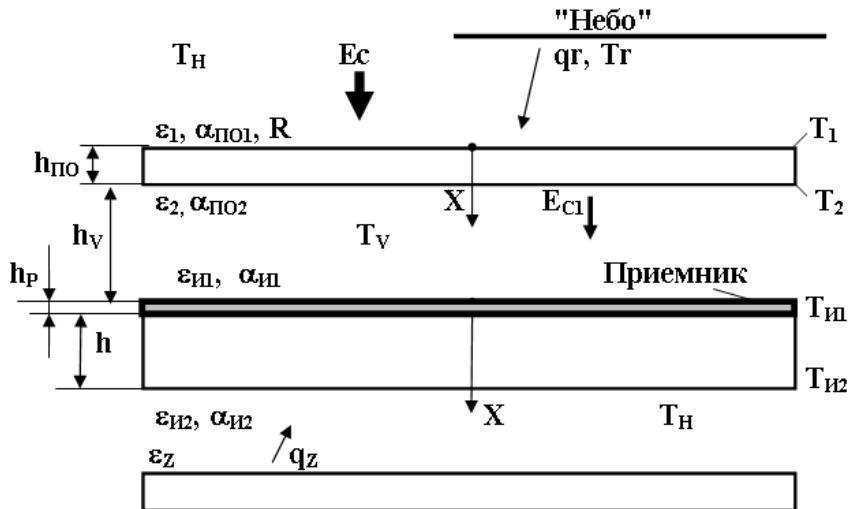
1. Перепадом температур в приемнике пренебрегаем;
2. Спектр солнечного излучения в соответствии с пропускной способностью стекла разбиваем на два диапазона:  $\Delta\lambda = 0 \div 2.7 \text{ мкм}$  и  $\Delta\lambda = 2.7 \div \infty$ .
3. Для конвективного теплообмена ( $\alpha$ ) между прозрачным ограждением (ПО) и теплоизоляцией (И) используются формулы естественной конвекции для неограниченного объема.

Среди особенностей модели выделим следующий факт: рассматривается нестационарный процесс для системы ПО-воздух (в объеме) – И. Распределение температур по толщине ПО и И определяется численно; при этом учитываются как объемное поглощение в ПО, так и поверхностное излучение с поверхностей ПО и И — внутрь и наружу. Температура воздуха в объеме также переменна и определяется как

среднемассовая в следующем виде:

$$t_v = \int (q_{\text{КПО}} + q_{\text{КП}}) \cdot dt / (h_v c_v \rho_v) + t_0 \quad (1)$$

где  $q_{\text{КПО}}$ ,  $q_{\text{КП}}$  — конвективные потоки от ПО и приемник (П) воздуха в объеме,  $c_v$ ,  $\rho_v$  — теплоемкость и плотность и  $t_0$  — начальная температура воздуха в объеме. Методика численного решения уравнения теплопроводности базируется на методике [2].



**Рис. 1.** Одномерная нестационарная модель горячего ящика.

На рис. 2 приведена динамика изменения температур в ГЯ со следующими параметрами:

- $h_v = 1$  м (исследования показали её слабое влияние на температуры, вплоть до  $h_v = 10$ мм);
- ПО —  $h_{\text{ПО}} = 4$ мм, пропускная способность стекла в первом диапазоне  $\tau = 0.92$  (для  $\beta = 20 \text{ м}^{-1}$ ), а во втором  $\varepsilon_1 = 0.91$ ;
- $R = 0.04$ ;
- $\lambda_{\text{ПО}} = 0.8 \text{ Вт}/\text{мК}$ ;
- Изоляция —  $h = 30$ мм,  $\varepsilon_{i1} = \varepsilon_{i2} = 0.9$ ,  $\lambda_i = 0.15 \text{ Вт}/\text{мК}$ ;
- $t_r = 10^\circ\text{C}$ ,  $t_z = 25^\circ\text{C}$   $\varepsilon_z = 0.9$ ;
- Начальная температура всех элементов ГЯ  $t_0 = 25^\circ\text{C}$ ,  $t_{\min} = 10^\circ\text{C}$ ,  $t_{\max} = 25^\circ\text{C}$ ,  $E_{Cm} = 700 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Зависимость солнечной радиации  $E_c$  и наружной температуры  $t_h$  от времени задавалась в программной среде MathCad приближенно в следующем виде:

$$EE = E_{Cm} \sin[(360 / 24 * (t - 24 * k) - 90) * ra] \quad (2)$$

$$\text{IF } t \geq (6 + 24 * k) \text{ AND } t \leq (18 + 24 * k) \text{ THEN } Ec = EE \text{ ELSE } Ec = 0 \\ t_h = (t_{\max} - t_{\min}) \text{ ABS}\{\sin[((360 / 48) * (t - 24 * k) - 45) * ra]\} + t_{\min} \quad (3)$$

где  $t$  — время (в час),  $k$  — номер суток (0, 1...),  $ra = \pi/180$ . Для совмещения значений  $E_c$  на рис. 2 они даны в масштабе 1/30.

Как видно из рис. 2, даже такая упрощенная и нестационарная модель позволяет сделать следующие выводы:

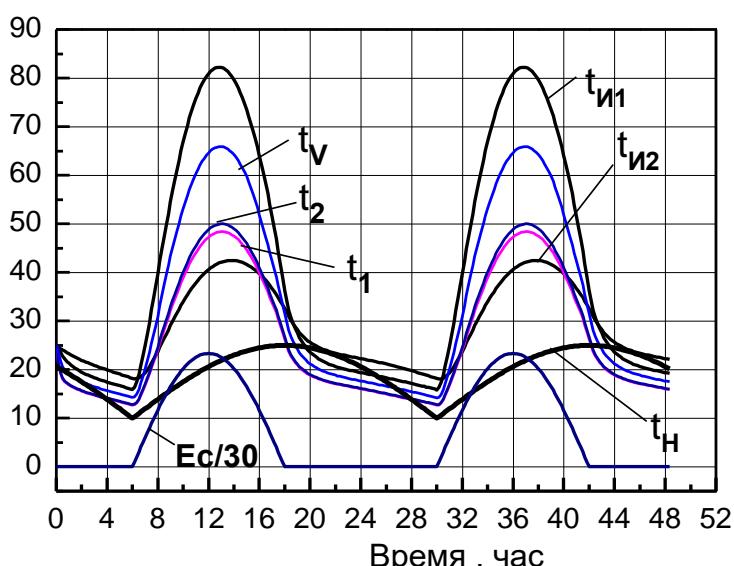
- Имеем достаточно большие времена выхода до максимальных температур — например, порядка 4-х часов для подъема температуры И от  $40^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$ ;

- Начальная температура ГЯ практически не влияет ход суточных температур;

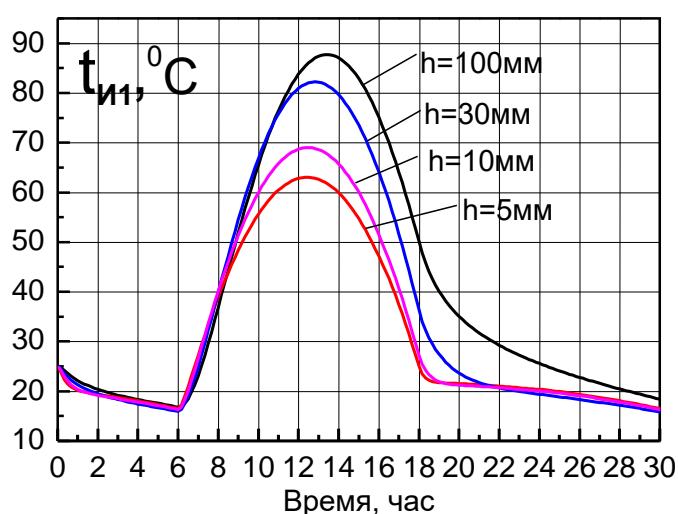
- Температура воздуха в объеме ГЯ оказывается существенно высокой;

- Кривые охлаждения имеют в большей части вид, близкий к кривой нагрева (за исключением нижней ветви, в которой и проявляется тепловая инерция ГЯ);

- Ход кривых температур в целом характеризует и теплотехническую эффективность ГЯ.



**Рис. 2.** Динамика температур в элементах солнечного «горячего ящика» при переменных во времени  $E_{\text{c}}$  и  $t_{\text{H}}$ .



**Рис. 3.** Влияние толщины теплоизоляции  $h$  на динамику температур приемника (поверхность теплоизоляции).

На данной модели, таким образом, можно проводить исследование влияния на динамику температур всех других параметров ГЯ, которые и отражены в данной нестационарной модели ГЯ. Для примера на рис. 3. показано влияние на динамику температур такого важного параметра ГЯ, как толщина теплоизоляции  $h$ . Как и ожидалось, влияние  $h$  довольно существенно: значительно уменьшаются максимальные температуры нагрева, меняется и время выхода на максимальные температуры. Достаточно заметно изменяется и ход кривых температур.

Представляет практический интерес и тот факт, что толщина теплоизоляции  $h$  проявляется начиная с температур нагрева выше  $48^{\circ}\text{C}$  — и далее почти до полного их охлаждения. Благодаря этому можно сделать вывод, что некоторую часть аккумулированного в ГЯ тепла всё же возможно снять, хотя и при заметно меньших температурах.

### Список литературы

1. J. A. Duffle and W. A. Beckman, Solar Energy Thermal Processes. Wiley, New York (1974)
2. Анарбаев А.И., Захидов Р.А., Короли М.А. Анализ теплоэффективности зданий с учетом солнечной радиации с использованием метода конечных дифференциалов. Доклад на научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития энергетики» ТГТУ (18-20 декабря 2006 г.)