

9-20-2018

## EVALUATION OF HEAT EFFICIENCY OF FLAT SOLAR AIR HEATERS

E.S. Abbasov

*Ferghana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan*

M.A. Umurzakova

*Ferghana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit>



Part of the [Systems and Communications Commons](#)

### Recommended Citation

Abbasov, E.S. and Umurzakova, M.A. (2018) "EVALUATION OF HEAT EFFICIENCY OF FLAT SOLAR AIR HEATERS," *Journal of TIRE*: Vol. 14 : Iss. 2 , Article 12.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit/vol14/iss2/12>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Journal of TIRE by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [brownman91@mail.ru](mailto:brownman91@mail.ru).

---

# EVALUATION OF HEAT EFFICIENCY OF FLAT SOLAR AIR HEATERS

## **Cover Page Footnote**

O'zbekiston temir yo'llari Joint stock company

## EVALUATION OF HEAT EFFICIENCY OF FLAT SOLAR AIR HEATERS

### ОЦЕНКА ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

#### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы повышения термического КПД плоских солнечных воздухооборников. Для достижения цели авторы предлагают использовать методы пристеночной интенсификации теплообмена (используя диффузор-конфузорные каналы и поверхности со сферическими углублениями). В статье разработаны формулы для расчета теплового КПД и относительных тепловых характеристик коллекторов.

#### Ключевые слова

Солнечные коллекторы, КПД, солнечные воздухооборники, теплообмен

#### Annotation

The article discusses the issues of increasing the thermal efficiency of flat solar air collectors. To achieve the goal, the authors propose to use methods of wall intensification of heat transfer (using the diffuser-confuser channels and surfaces with spherical depressions). In the article formulas for calculating the thermal efficiency and the relative thermal performance of the collectors are developed.

Xulosa

#### Keywords

Solar collectors, efficiency, solar air collectors, heat exchange

Аббасов Е.С.,  
Умурзакова М.А. (ФерПИ)

Современное состояние теплоэнергетики характеризуется ростом цен на топливо и как следствие высокой стоимостью тепловой энергии. Следовательно, интенсивный поиск альтернативных источников энергии, в частности преобразование солнечной энергии в тепловую является на данном этапе развития энергетики крайне важной научно-технической задачей.

Одними из основных устройств, преобразующих солнечную энергию в тепловую являются солнечные плоские воздушные коллекторы (СВК). На рис. 1 показаны основные типы таких коллекторов [1].

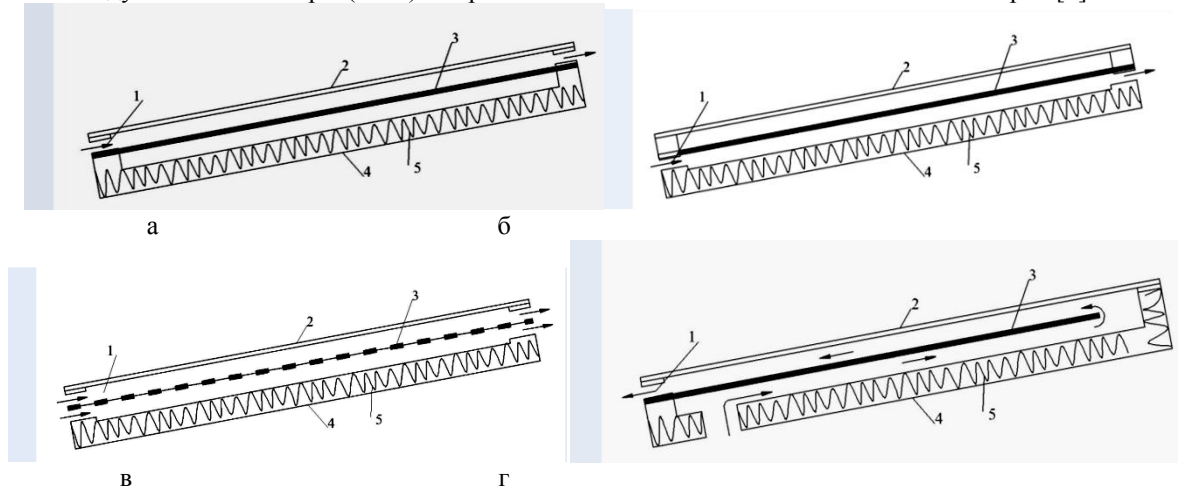


Рис.1 Основные типы плоских солнечных воздушных коллекторов

а) с движением воздуха над гелиоприемником, б) – с движением воздуха под гелиоприемником, в) – с гелиоприемником из перфорированного листа и движением воздуха над и под листом, г) – с многократным движением воздуха в коллекторе.

Отличительной особенностью работы таких коллекторов является их относительная простота конструкции, надежность, пониженные требования к герметичности (относительно жидких солнечных коллекторов), возможность их эксплуатации в условиях зимнего периода.

Анализ их теплопередающей способности, т.е. рассмотрение процесса теплоотдачи от поверхности гелиоприемного канала СВК к воздушному потоку показывает, что процесс теплообмена в газообразных теплоносителях протекает с низким качеством по сравнению с таким же процессом в жидких коллекторах, ввиду того, что в критериальных уравнениях по теплоотдаче и критериях подобия  $Nu$ ,  $Pr$  содержатся

показатели, характеризующие их теплофизические свойства (теплопроводность, теплоемкость) которые в несколько раз ниже таких же параметров для жидкостных теплоносителей (воды). Откуда следует, что воздушные коллекторы имеют низкую тепловую эффективность относительно жидкостных коллекторов, и следовательно, повышение их эффективности путем увеличения процессов теплоотдачи между воздушным потоком и поверхностью гелиоприемного канала может привести к увеличению их тепловой производительности.

Эффективность СВК связано с затратами мощности вентиляторов на продвижение через каналы СВК воздушного потока. Совершенствование теплового оборудования, в том числе и устройств солнечной энергетики в частности СВК связано с оценкой их эффективности. Например, повышение эффективности СВК неразрывно связано с проблемой увеличения уровня теплообмена в гелиоприемных каналах, т.е. зависит от эффективности применяемого способа интенсификации теплоотдачи. Для оценки теплоаэродинамического качества устройства в теплотехнике рекомендуется критерий М.В. Кирпичева, который имеет вид:

$$\bar{E}' = E'/E'_{гр} = [Nu/Nu_{гр}][\xi_{гр}/\xi] = \overline{Nu/\xi} \quad (1)$$

$$E'_{гр} = Q_{гр}/N_{гр}\Delta t_{гр}$$

где  $E'_{гр}$ ,  $E'$  - энергетические коэффициенты М.В. Кирпичева гладкостенного СВК и СВК с интенсификацией теплоотдачи.  $Nu$  - число Нуссельта;  $\xi$  - коэффициент сопротивления канала;  $Q$ ,  $N$  - тепловая производительность устройства, и мощность, затрачиваемая на прокачку теплоносителя через устройство.

Обзор литературных источников [3] показывает, что основные способы интенсификации теплоотдачи разработаны для увеличения теплогидравлической эффективности устройств и снижения их массогабаритных характеристик. Наибольший интерес по мнению авторов работ [2,4] представляют такие механизмы увеличения теплообмена и соответственно интенсификаторы теплообмена, которые позволяют значительно увеличить теплосъем при умеренном и сопоставимом росте гидравлического сопротивления. К таким интенсификаторам теплообмена относят поверхностные интенсификаторы теплоотдачи. Они представляют значительный класс, к ним относят спиральные и поперечные вставки, и накатки различной конфигурации, микроорезание, сферические, цилиндрические, конусообразные и другие выступы и углубления, штампованные поверхности и др. Воздействие таких интенсификаторов теплообмена на воздушный поток заключается в периодическом разрушении пограничного слоя, являющимся основным термическим сопротивлением теплоотдачи и дополнительной турбулизации пристенной зоны. Отличительной особенностью таких турбулизаторов является то, что их воздействие не оказывает существенного увеличения аэродинамического сопротивления, кроме того, за счет повышенной турбулентности и вихреобразования в пристенной зоне уменьшается загрязнение поверхности.

Для применения методов интенсификации теплоотдачи в канале СВК следует учитывать:

- малые скорости и как следствие существование ламинарного или ламинарно-турбулентного режима воздушного потока;
- стремление к простому способу изготовления гелиоприемной поверхности.

Таким образом, оптимальными и наиболее простыми в изготовлении интенсификаторами теплообмена считаются сферические и цилиндрические выступы и углубления, а также каналы диффузно-конфузорного типа и подобные им каналы волнистого профиля. Так, например, сферические и цилиндрические выступы и углубления в плоских гелиоприемниках СВК удобно и легко выполнить методом штамповки гладкой поверхности. Каналы диффузно-конфузорного типа удобно выполнить путем изгибания гладкого листа на токарном станке.

#### Дискретные кольцевые и поперечные выступы

Более ранние исследования в области исследования механизма интенсификации теплоотдачи [4] показывают, что одними из экономически выгодных интенсификаторов теплоотдачи являются дискретные кольцевые и поперечные выступы. Основные исследования теплогидравлических свойств каналов с дискретными поперечными кольцевыми выступами были проведены в МАИ, ЦКТИ и ряде других научных организаций (Россия). Несмотря на сложную гидродинамическую картину обтекания дискретных выступов и недостаточную изученность явления механизма интенсификации теплоотдачи в таких каналах, в настоящее время получены надежные экспериментальные уравнения подобия. Уравнения подобия, полученные Г.А. Дрейцером и другими, которые описываются в общем виде как:

$$Nu / \xi = f(Re; d/D; t/D; r') \quad (2)$$

Где  $d/D$ ;  $t/D$  - относительные высота и шаг размещения поперечного выступа  $r' = r/D$  - радиус закругления выступа.

Для труб с поперечными кольцевыми выступами при условии  $Re = 3 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^5$ ;  $d/D = 0,85 - 0,97$ ;  $t/D = 0,3 - 2$  для теплоносителей воздух, вода, органические жидкости получено, что  $Nu \leq 4,2$ . Также получено, что основной вклад в рост коэффициентов теплоотдачи и сопротивления вносят относительная высота  $d/D$  и шаг размещения выступа  $t/D$ .

Результаты экспериментальных исследований, проведенные в прямоугольных каналах с поперечными выступами, расположенными под углом относительно продольной оси канала на двух противоположных стенках показали их высокую эффективность. Максимум величин  $Nu$ ,  $\xi$  соответствуют  $\Psi = 60 - 75^\circ$ .

#### Теплообмен и сопротивление в каналах со сферическими углублениями

Использование в качестве интенсификаторов теплоотдачи сферических углублений (СУ) на поверхности теплообмена которые могут быть нанесены механическим способом (штамповка, фрезеровка) является одним из перспективных способов роста теплообмена. Анализ, приведенный в [3] показал, что применение СУ для интенсификации теплоотдачи ламинарных потоков подтверждается экспериментально. Так в диапазоне чисел Рейнольдса  $Re = 1000 - 2000$  СУ обеспечивают опережающий рост интенсивности теплоотдачи по сравнению с ростом гидравлического сопротивления, при этом увеличение теплоотдачи составляла  $Nu / Nu_{гр} \leq 3$ , а увеличение сопротивления составило  $\xi / \xi_{гр} \leq 1,8$ . При этом рост эффективности данного способа интенсификации теплоотдачи составил  $E' = 1,7$  относительно гладкой трубы, откуда следует, что СУ можно использовать для интенсификации теплоотдачи в ламинарной области течения в СВК. Экспериментально установлено, что оптимальные поперечные размеры углублений составляют  $h_y/d_y = 0,2$  ( $h_y, d_y$  – глубина и диаметр углублений). Оптимальные относительные размеры углублений к высоте канала равны  $h_y / H_k = 0,3$ . Этот показатель близок к относительному размеру впадин на диффузорно-конфузорном канале с соотношением диффузорного и конфузорного участка 5:1 т.е.  $h_y / H_k = 0,2$ . Обнаружено, что теплоотдача в канале с СУ повышается в случае уменьшения диаметра проходного сечения канала.

В работе также широко обсуждены результаты экспериментальных исследований интенсивности теплоотдачи на поверхностях и в каналах с СУ. Показано, что существует сильная зависимость интенсивности теплоотдачи в канале с СУ от относительного размера шероховатости (глубины СУ)  $h_y' = h_y / D^y$ . ( При  $h_y' = const$ ). В данном случае параметр  $h_y'$  - является аналогом относительной высоты поперечных выступов в каналах с дискретной шероховатостью. Отмечено, что количественно эффекты от интенсификации теплоотдачи  $Nu / Nu_{гр}$  и  $\xi / \xi_{гр}$  для каналов с кольцевыми поперечными выступами близки, что дополнительно подтверждает их теплофизическую и гидродинамическую тождественность. Также обсуждены возможные пути снижения сопротивления каналов с СУ относительно гладкого канала. Рациональным путем снижения сопротивления является по мнению исследователей, снижение скорости производства энергии турбулентности в пристенной зоне турбулентного пограничного слоя. Для этих целей исследователями рекомендуется управлять структурой пристенной турбулентности.

Анализ литературы также показал, что на сегодняшний день в теории СВК практически не уделено должного внимания их тепловой эффективности и тепловой производительности[5 -7].

В качестве схемы СВК выбранной для анализа его эффективности выбираем плоский солнечный воздухонагреватель, в котором в качестве абсорбера солнечной радиации используется металлический лист с поверхностными интенсификаторами теплообмен (рис.2).

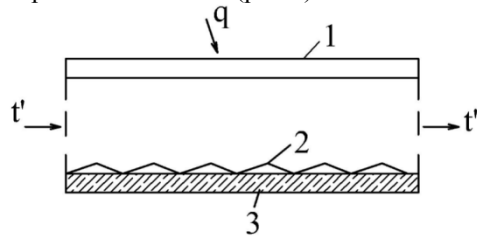


Рис.2. Плоский солнечный воздухонагреватель.

1 – прозрачное покрытие, 2 – абсорбер, 3 – изоляция

На схеме (рис.2) показаны  $t', t'', t_{ст}$  – соответственно температуры входящего, выходящего воздуха из нагревателя и абсорбера,  $q$  – плотность падающей солнечной радиации ( $Вт/м^2$ ).

Из уравнения теплового баланса, составленного для СВК в условиях стационарности получим

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (3)$$

$Q_1 = GC_p(t_{ст} - t')$  - максимально возможное использование тепла в СВК, Вт.

$Q_2 = GC_p(t'' - t')$  – полезно использованное тепло в СВК, Вт.

$Q_3 = GC_p(t_{ст} - t'')$  – недоиспользованное тепло в СВК вследствие не совершенности теплообмена между абсорбером и воздушным потоком Вт.

$G, C_p$  – соответственно расход (кг/с) и теплоемкость кдж/кг°С воздуха.

Подстановка выражений в формулу (3) дает

$$t_{ст} - t' \approx (t'' - t') + (t_{ст} - t'') \quad (4)$$

Расход и теплоёмкость воздуха считается постоянной

$$1 = \frac{t'' - t'}{t_{ст} - t'} + \frac{t_{ст} - t''}{t_{ст} - t'} \quad (5)$$

Обозначая через

$$\varepsilon = \frac{t'' - t'}{t_{ст} - t'} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{пот} = \frac{t_{ст} - t''}{t_{ст} - t'}$$

Получим

$$1 = \varepsilon + \varepsilon_{пот} \quad (6)$$

Или

$$\varepsilon = 1 - \varepsilon_{пот} \quad (7)$$

Будем считать

$\varepsilon$  – тепловой эффективностью СВК  
 $\varepsilon_{пот}$  - тепловыми потерями в СВК

Таким образом уравнение (7) является формулой тепловой эффективности СВК.

Если  $\varepsilon_{\text{пот}} \rightarrow 0$  то  $\varepsilon \rightarrow 1$  Следовательно при малых тепловых потерях, т.е при совершенности теплообмена тепловая эффективность СВК стремится к к своему максимуму

Однако тепловая эффективность СВК является неполной его характеристикой, так как эффективность СВК следует оценивать также через его тепловую производительность. В таких случаях используется методы расчета тепловой производительности СВК основанные на сравнительном анализе предлагаемого и гладкостенного СВК. В данном случае при сравнении за базовый вариант принимают солнечный воздухонагреватель с гладкостенным абсорбером.

Если воспользоваться теорией теплообменных аппаратов, то схема изменения температуры воздуха при прохождении его через СВК будет выглядеть следующим образом.

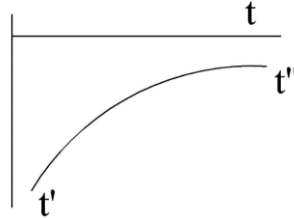


Рис. 3. Изменения температуры воздуха по длине СВК

Температурный напор в СВК может быть определен как:

$$\Delta t = t_{\text{ст}} - \frac{(t'' + t')}{2} = \frac{2t_{\text{ст}} - (t'' + t')}{2} = \frac{(t_{\text{ст}} - t'') + t_{\text{ст}} - t'}{2} = \frac{(t_{\text{ст}} - t') \left[ \frac{t_{\text{ст}} - t''}{t_{\text{ст}} - t'} + 1 \right]}{2} = \frac{(t_{\text{ст}} - t')}{2} [\varepsilon_{\text{пот}} + 1] \quad (8)$$

Аналогично для СВК с гладким абсорбером получим

$$\Delta t_{\text{гл}} = \frac{(t_{\text{ст}} - t')}{2} [\varepsilon_{\text{пол}} + 1] \quad (9)$$

Тепловая производительность СВК может быть определена как

$$Q = \alpha F \Delta t \quad (10)$$

Где  $\alpha, F, \Delta t$  – соответственно коэффициент теплоотдачи от абсорбера к воздуху ( $\text{Вт}/\text{м}^2\text{C}^\circ$ ), поверхность абсорбера  $\text{м}^2$ , и температурный напор  $\text{C}^\circ$

Для СВК с гладким абсорбером

$$E = \frac{Q}{Q_{\text{гл}}} = \frac{\alpha F \Delta t}{\alpha_{\text{гл}} F_{\text{гл}} \Delta t_{\text{гл}}} = \frac{Nu}{Nu_{\text{гл}}} \frac{[\varepsilon_{\text{пол}} + 1]}{[\varepsilon_{\text{пот}} + 1]} \quad (12)$$

Формула (12) показывает, на сколько тепловая производительность СВК с интенсификаторами теплообмена выше СВК с гладким абсорбером.

Для проведения расчетов тепловой и относительной тепловой производительности по формулам (7, 12), необходимо знание трех параметров  $t_{\text{ст}}, t'', t'$ . Однако, в проектных расчетах, когда известны температура поверхности абсорбера и температура входящего воздуха в СВК, тепловую эффективность СВК можно рассчитать путем теоретического определения  $t''$ .

В этих целях предположим, что воздушный поток в поперечном сечении представляет собой область, состоящую из турбулизованного ядра и узкой пристенной области в которой степень турбулентности, значительно превышает турбулентность ядра. Согласно предлагаемой схеме развития течения в абсорбере с искусственной турбулизацией пристенного слоя, примем, что в указанной области происходит резкое изменение скорости и температуры потока. На рис 4. показана модель такого пристенного течения на абсорбере.

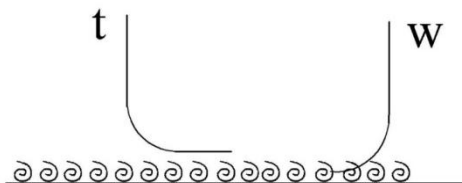


Рис. 3 Схема двухслойного пристенного течения  $t, W$  – температура и скорость в ядре потока. На выходе из СВК температура ядра потока равна  $t''$ . Применим уравнение теплового баланса, составленного для тепловых потоков на границе пристенная область – ядро потока, получим:

$$\alpha_{\text{п.о}}(t_{\text{ст}} - t_{\text{гр}}) = \alpha_{\text{я}}(t_{\text{гр}} - t_{\text{я}}) \quad (13)$$

Здесь  $\alpha_{\text{п.о}}, \alpha_{\text{я}}$  - коэффициенты конвективной теплоотдачи пристенной области и ядра потока  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{C}^\circ$ .  $t_{\text{гр}}, t_{\text{я}}$  – температуры на границе пристенной области и ядра потока.

$$t_{\text{гр}} = \left[ t_{\text{ст}} + \left( \frac{Nu_{\text{я}}}{Nu_{\text{п.о}}} \right) t'' \right] / \left[ 1 + \frac{Nu_{\text{я}}}{Nu_{\text{п.о}}} \right] \quad (14)$$

Согласно рис.4 на выходе из СВН  $t'' = t_{гр}$

Согласно [6] применение абсорберов с поверхностями конфузорно – диффузорного профиля, а также поверхностей со сферическими углублениями (СУ) для интенсификации теплоотдачи в потоках воздуха с низкими числами Рейнольдса ( $Re = 1000 - 2000$ ), которые соответствуют реальным скоростям в СВК представляются перспективными. Экспериментальными исследованиями доказано, что каналы диффузорно – конфузорного профиля (рис. 5 а) повышают уровень теплоотдачи до 2 раз по сравнению с гладким каналом, а каналы со СУ (рис. 5 б) обеспечивают опережающий рост теплоотдачи ( $Nu/Nu_{гл}=3$ ) по сравнению с увеличением гидравлического сопротивления ( $\xi/\xi_{гл}=1,8$ ). Оптимальные поперечные размеры углублений составляют ( $h_n/d_k=0,21$ ) где  $h_n$  – глубина лунок,  $d_k$  – диаметр канала. Оптимальные относительные размеры углублений к высоте канала составляют  $h_n/H_k=0,3$ .

Приведем пример расчета тепловой эффективности и относительной тепловой производительности СВК с диффузорно-конфузорным лучепоглощающим абсорбером и абсорбером со сферическими углублениями следующих геометрий [1,3].

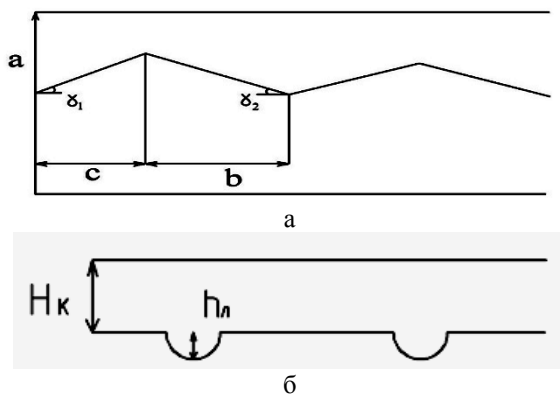


Рис. 5 Поверхности диффузорно – конфузорного типа (а) и со сферическими углублениями (б). Высота гелиоприемного канала  $a = 47,7$  мм, отношение длины диффузора к длине конфузора 5:1 ( $b = 40$  мм,  $c = 8$  мм) [1]. Также принимается, что температура стенки абсорбера  $C^0$  температура воздуха на входе в СВК  $t' = 20 C^0$ . В таблице №1 показаны расчеты тепловой эффективности  $\epsilon$ , относительной тепловой производительности  $E$ , СВК с абсорбером типа диффузор – конфузор, а в таблице №2 расчеты  $\epsilon$ ,  $E$ , для СВК с абсорбером состоящим из сферических углублений. Графически эти расчеты показаны на рис. 6,7.

Таблица 1

№	Re	$\frac{Nu_a}{Nu_{п.о.}}$	$t''$	$\epsilon_1$	$\epsilon$	E
1	$10^3$	0,48	47	0,33	0,67	1,86
2	$1,2 \cdot 10^3$	0,51	46,4	0,34	0,66	1,83
3	$1,4 \cdot 10^3$	0,49	46,8	0,33	0,67	1,82
4	$1,6 \cdot 10^3$	0,49	46,8	0,33	0,67	1,77
5	$1,8 \cdot 10^3$	0,5	46,6	0,34	0,66	1,8
6	$2 \cdot 10^3$	0,5	46,6	0,34	0,66	1,8

Таблица №2

№	Re	$\frac{Nu_a}{Nu_{п.о.}}$	$t''$	$\epsilon_1$	$\epsilon$	E
1	$10^3$	0,33	50	0,25	0,75	2,5
2	$1,2 \cdot 10^3$	0,33	50	0,25	0,75	2,5
3	$1,4 \cdot 10^3$	0,33	50	0,25	0,75	2,5
4	$1,6 \cdot 10^3$	0,33	50	0,25	0,75	2,5
5	$1,8 \cdot 10^3$	0,33	50	0,25	0,75	2,5
6	$2 \cdot 10^3$	0,33	50	0,25	0,75	2,5

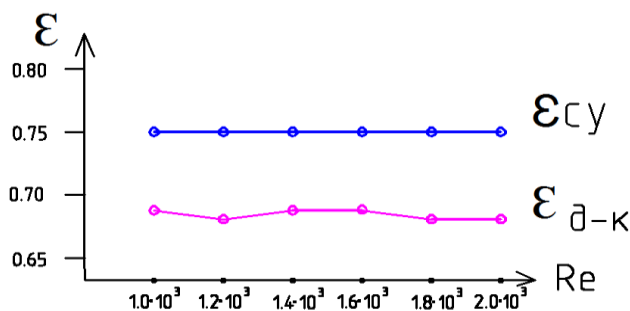


Рис. 6. Тепловая эффективность СВК

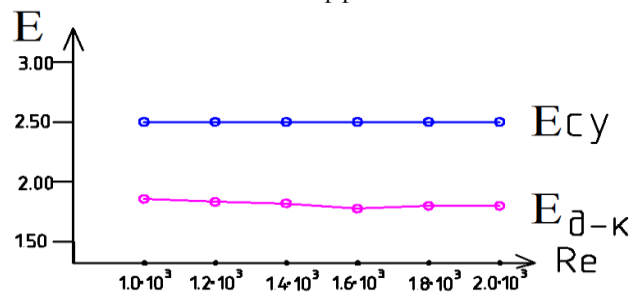


Рис.7 Относительная тепловая производительность СВК

Выводы:

1. Из уравнения теплового баланса составленного для плоского СВК получена формула его тепловой эффективности.
2. Предложена модель пристенного течения в СВК с интенсификаторами теплообмена и получена формула расчета температуры на выходе из СВК.
3. Проведены расчеты тепловой эффективности плоского СВК с абсорбером типа диффузор – конфузор и абсорбером с СУ.
4. Расчеты показывают высокую эффективность интенсификации теплоотдачи и необходимость ее использования для увеличения тепловой производительности СВК.

#### Литература

1. Guhman A. A. i dr. Issledovanie teploobmena i gidrodinamicheskogo soprotivleniya pri turbulentnom techenii gaza v pole prodolnogo znakoperemennogo gradienta davleniya. // IFZh, 1969. t. 16. ch.1, № 4.- s. 581-591. ch. 2, № 6.- s. 984-988.
2. Migaj V.K. Povyshenie effektivnosti sovremennykh teploobmennikov. -L.: Energetika. 1980. – 144 s.
3. Leontev I.I., Olimpiev V.V. Teplofizika i teplotehnika perspektivnykh intensivatorov teploobmena Izvestiya Akademii nauk Energetika 2011 №1 str. 7 – 31
4. Kalinin E.K., Drejcer G.A., Yarho S.A. Intensifikaciya teploobmena v kanalah. M.: Mashinostroenie 1990. 208 str.
5. Abbasov Yo.S., Umurzakova M.A. Effektivnost geliopriemnykh poverhnostej solnechnykh vozdushnykh nagrevatelej. Trudy konferencii «Fundamentalnye i prikladnye voprosy fiziki» posvyashennoj 60-letiyu Akademii nauk Respubliki Uzbekistan i Fiziko-Tehnicheskogo instituta. Tashkent. 2003. S. 127-128.
6. Abbasov Yo.S., Umurzakova M.A., Raschet soprotivleniya v diffuzorno-konfuzornykh kanalah geliopriemnikov v usloviyah bezotryvno go techeniya. // Geliotekhnika. 1998. № 3. S. 22-26.
7. Abbasov Yo.S., Umurzakova M.A. Ocenka effektivnosti solnechnykh vozdushnykh nagrevatelej s diffuzorno-konfuzornymi geliopriemnikami. // Geliotekhnika. 2002. №2. S.44-46.
8. Abbasov Yo.S., Umurzakova M.A. Analiz rezhimov raboty effektivnykh solnechnykh vozduhonagrevatelej. // Geliotekhnika 2002. №3. S.29-31.

1. Гухман А. А. и др. Исследование теплообмена и гидродинамического сопротивления при турбулентном течении газа в поле продольного знакопеременного градиента давления. // ИФЖ, 1969. т. 16. ч.1, № 4.- с. 581-591. ч. 2, № 6.- с. 984-988.
2. Мигай В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. -Л.: Энергетика. 1980. – 144 с.
3. Леонтьев И.И., Олимпиев В.В. Теплофизика и теплотехника перспективных интенсификаторов теплообмена Известия Академии наук Энергетика 2011 №1 стр. 7 – 31
4. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение 1990. 208 стр.
5. Аббасов Э.С., Умурзакова М.А. Эффективность гелиоприемных поверхностей солнечных воздушных нагревателей. Труды конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» посвященной 60-летию Академии наук Республики Узбекистан и Физико-Технического института. Ташкент. 2003. С. 127-128.



6. Аббасов Ё.С., Умурзакова М.А., Расчет сопротивления в диффузно-конфузорных каналах гелиоприемников в условиях безотрывного течения. // Гелиотехника. 1998. № 3. С. 22-26.
7. Аббасов Ё.С., Умурзакова М.А. Оценка эффективности солнечных воздушных нагревателей с диффузно-конфузорными гелиоприемниками. // Гелиотехника. 2002. №2. С.44-46.
8. Аббасов Ё.С., Умурзакова М.А. Анализ режимов работы эффективных солнечных воздухонагревателей. // Гелиотехника 2002. №3. С.29-31.