

**TEMPERATURE FIELD IN SORAR COLLECTOR HEAT FLUID: ANALITICAL
EXPRETION**

**TEMPERATŪRAS LAUKS SAULES KOLEKTORA ABSORBERA SILTUMNESĒJĀ:
ANALĪTISKS IZVEDUMS**



Pēteris Šipkovs

LZA kor.loc. As. Prof.
Dr.hab.sc.ing., Institute of
physical energetics, Adress:
Aizkraukles iela 21, LV-1006,
Rīga, Latvia.
Phone:+37167553537 Email:

shipkovs@edi.lv



Voldemārs Barkāns

As. Prof. Dr.hab.sc.ing.,
Maritime Academy of Latvia,
Adress: Flotes iela 5b, LV-1016,
Rīga, Latvia.

Phone:+37167161123 Email:
Voldemars.Barkans@inbox.lv

Mārtiņš Vanags

PHD., Institute of Physical energetics, Adress:
Aizkraukles iela 21, LV-1006, Rīga, Latvia.,
Phone:+37167553537, E-mail: sf11053@gmail.com

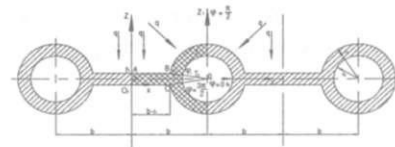
Ievads

Saules kolektori ir vienkāršas iekārtas, kurās saules starojuma iedarbībā tiek sildīts ūdens. Tie sastāv no kastes, kuras apakšā ieklāta siltumizolējošā vate, kam pāri pārlikts absorbers un viss nosēgts ar aizsargstiklu. Saulei apspīdot, absorbers, kas pārsvarā ir vara loksne, uzsilst un siltumvadīšanas ceļā siltumu novada siltumnesējā, kas atrodas serpentīntipa caurulītē, kas piestiprināta pie absorbera. Tālāk siltumnesējs siltumu nogādā karstā ūdens akumulatorā un silda tajā ūdeni. Par siltumnesēju pārsvarā izmanto 40% glikolu. Viena no būtiskākajām saules kolektora īpašībām ir siltuma vadīšana absorberī, tādēļ šajā darbā analītiski no siltumvadīšanas kārtulām tiek iegūtas sakarības, pēc kurām varēs noteikt siltumnesēja temperatūru zinot absorbera ģeometriskos un materiāla parametrus, kā arī saules radiācijas blīvumu.

1. Temperatūras lauks absorberī un siltumnesējā

Apskatām kolektora plates šķēlumu, kas perpendikulārs šķidrums caurulīšu asīm [1]. Šķēlumu nosacīti sadala trīs daļās (1. zīm.). Izvēlamies vienu posmu un tam piesaistām atbilstošu koordinātu sistēmu. Temperatūru [K] platē apzīmē ar $T_1 = T(x, z)$, bet temperatūru caurulītes darba šķidrumā (tosolā), apzīmē ar $T_3 = T_{sk}$.

Šis raksts ir turpinājums rakstiem [1,2,3], kur apskatīts siltumpārnese process saules kolektora absorberī.



1. zīmējums. Saules kolektora absorbera šķērs griezum

Tagad piedāvājam temperatūras aprēķinu šķidrums (glikolā), kas cirkulē kolektora caurulītēs. Temperatūru lauku apgabalā O_1ABC [1], uzskatot, ka process ir stacionārs, Dekarta koordinātu sistēmā O_1xz , kurai sākuma punkts ir O_1 , apraksta ar Laplasa vienādojumu [4]:

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

$$0 \leq x \leq b - r_0, \quad 0 \leq z \leq h.$$

Uz augšējās virsmas, kuru apspīd saule, siltummaiņu apraksta ar vienādojumu:

$$\lambda \frac{\partial T_1(x, h)}{\partial z} = -q, \quad (2)$$

kur:

λ - kolektora plates siltumvadāmības koeficients, w/m K;

q - saules siltuma plūsmas blīvums, w/m²;

$2b$ - attālums starp caurulīšu asīm, m;

r_0 - kolektora caurules iekšējais rādiuss, m;

h - kolektora plates biezums, m.

Apakšējā virsma ir izolēta:

$$\frac{\partial T_1(x, 0)}{\partial z} = 0. \quad (3)$$

Vidū starp caurulītēm uz aplikātu ass O_1z izpildās simetrijas nosacījums:

$$\frac{\partial T_1(0, z)}{\partial x} = 0. \quad (4)$$

Uz caurules iekšējās cilindriskās virsmas izpildās siltumpārnēšanas nosacījums:

$$\lambda \frac{\partial T_1(x, z)}{\partial x} \Big|_{x=b-r_0} = -\alpha (T_1(x, z) \Big|_{x=b-r_0} - T_3), \quad (5)$$

kur λ - siltuma atdeves koeficients, $W/m^2 K$. Ievedam bezdimensionālos mainīgos un parametrus [5].

Bezdimensionālās temperatūras:

$$\Theta = \frac{T_1}{T_0}, \quad \Theta_{s_k} = \frac{T_3}{T_0}, \quad (6)$$

kur T_0 - sākuma temperatūra, K . Bezdimensionālās koordinātas un parametrus izsaka ar formulām:

$$\xi = \frac{x}{b}, \quad \zeta = \frac{z}{b}, \quad \xi_0 = \frac{b-r_0}{b}, \quad \zeta_1 = \frac{h}{b}, \quad (7)$$

$$Q = \frac{q}{\lambda T_0} b, \quad Bi = \frac{\alpha}{\lambda} b. \quad (8)$$

Iegūst Laplasa vienādojumu un robežnosacījumus bezdimensionālā veidā:

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \zeta^2} = 0; \quad (9)$$

$$\frac{\partial \Theta(\xi, 0)}{\partial \zeta} = 0, \quad \frac{\partial \Theta(\xi, \zeta_1)}{\partial \zeta} = -Q; \quad (10)$$

$$\frac{\partial \Theta(0, \zeta)}{\partial \xi} = 0; \quad (11)$$

$$\frac{\partial \Theta(\xi_0, \zeta)}{\partial \xi} = -Bi(\Theta(\xi_0, \zeta) - \Theta_{s_k}). \quad (12)$$

Problēmas (9) - (12) atrisinājumu meklē kā divu funkciju summu [6]-[8]:

$$\Theta(\xi, \zeta) = u(\xi, \zeta) + v(\xi, \zeta), \quad (13)$$

kur funkcija $u(\xi, \zeta)$ apmierina vienādojumu:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} = 0 \quad (14)$$

ar robežnosacījumiem:

$$\frac{\partial u(0, \zeta)}{\partial \xi} = 0; \quad (15)$$

$$\frac{\partial u(\xi_0, \zeta)}{\partial \xi} = -Bi(u(\xi_0, \zeta) - \Theta_{s_k}), \quad (16)$$

bet funkcija $v(\xi, \zeta)$ apmierina vienādojumu:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial \zeta^2} = 0 \quad (17)$$

ar robežnosacījumiem:

$$\frac{\partial v(\xi, 0)}{\partial \zeta} = 0, \quad \frac{\partial v(\xi, \zeta_1)}{\partial \zeta} = -Q; \quad (18)$$

$$\frac{\partial v(0, \zeta)}{\partial \xi} = 0, \quad \frac{\partial \Theta(\xi_0, \zeta)}{\partial \xi} = -Bi v(\xi_0, \zeta). \quad (19)$$

No (14) - (16) seko:

$$u(\xi, \zeta) = \Theta_{s_k}, \quad (20)$$

bet no (17) - (19) iegūst:

$$v(\xi, \zeta) = -2QB\xi_0 \times$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n}{\mu_n (\mu_n + 0,5 \sin 2\mu_n)} \frac{ch \mu_n \frac{\zeta}{\xi_0}}{sh \mu_n \frac{\zeta_1}{\xi_0}} \cos \mu_n \frac{\xi}{\xi_0}, \quad (21)$$

kur

$$tg \mu_n = \frac{Bi}{\mu_n}. \quad (22)$$

No (13), (20) un (21) iegūst temperatūru sadalījumu platē:

$$\Theta(\xi, \zeta) = \Theta_{s\kappa} - 2Q\xi_0 \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n}{\mu_n(\mu_n + 0,5 \sin 2\mu_n)} \frac{ch\mu_n \frac{\zeta}{\xi_0}}{sh\mu_n \frac{\zeta_1}{\xi_0}} \cos \mu_n \frac{\xi}{\xi_0}, \quad (23)$$

kas iegūts ar citu metodi darbā [1]:

$$\Theta(\xi, \zeta) = \frac{Q}{2}(\xi^2 - \zeta^2) + 1, \quad (24)$$

jeb

$$T(x, z) = \frac{1}{2} \frac{q}{\lambda h} (x^2 - z^2) + T_0. \quad (25)$$

No (23) un (25) izsakām šķidrums (tosola) temperatūru caurulītē [K]:

$$T_{s\kappa} = T_0 + \frac{1}{2} \frac{q}{\lambda h} (x^2 - z^2) + 2 \frac{q}{\lambda} \xi_0 b \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n}{\mu_n(\mu_n + 0,5 \sin 2\mu_n)} \frac{ch\mu_n \frac{\zeta}{\xi_0}}{sh\mu_n \frac{\zeta_1}{\xi_0}} \cos \mu_n \frac{\xi}{\xi_0}. \quad (26)$$

Ņemot $\xi = \xi_0$ un $\zeta = 0$ un paturot tikai vienu rindas locekli, no (23) aptuveni iegūst:

$$T_{s\kappa} \cong T_0 + \frac{1}{2} \frac{qb^2}{\lambda h} + \frac{q}{\lambda} \xi_0 b \frac{\sin 2\mu_n}{\mu_n(\mu_n + \sin 2\mu_n)} \frac{1}{sh\mu_n \frac{\zeta_1}{\xi_0}} \quad (27)$$

vai

$$T_{s\kappa} = T_0 + \Delta, \quad (28)$$

kur

$$\Delta = \frac{1}{2} \frac{qb^2}{\lambda h} + \frac{q}{\lambda} \xi_0 b \frac{\sin 2\mu_n}{\mu_n(\mu_n + \sin 2\mu_n)} \frac{1}{sh\mu_n \frac{\zeta_1}{\xi_0}}. \quad (29)$$

Literatūra

1. Barkāns V., Temkins Ā., Šipkovs P., Kaškarova G., M. Vanags M., Ļebedeva K., Šipkovs J. Plakanas virsmas saules kolektora fizikāli matemātiskie modeļi. - R.: Latvijas Jūras Akadēmija, 8. Starptautiskā konference, Ūdens transports un infrastruktūra, 2006. 130.-137.lpp.
2. Barkāns V., Temkins Ā., Šipkovs P., Vanags M., Ļebedeva K. Nestacionāra siltumvadīšanas procesa matemātisks apraksts saules kolektorā. - R.: Latvijas Jūras Akadēmija, 9. Starptautiskā konference, Ūdens transports un infrastruktūra, 2007, 214.-225.lpp.
3. Barkāns V., Šipkovs P., Vanags M. Temperatūras lauks karstā ūdens akumulātorā siltummaiņī. - R.: Latvijas Jūras Akadēmija, 10. Starptautiskā konference, Ūdens transports un infrastruktūra, 2008, 221.-225.lpp.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергия, 1969.- 724 с.
5. Лыков А.В. Теплообмен. М.: Энергия, 1972.- 560 с.
6. Riekstiņš E. Matemātiskās fizikas metodes. - R.: Zvaigzne, 1969.- 620 lpp.
7. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Основные дифференциальные уравнения математической физики.- М.: Физматгиз, 1962.- 768 с.
8. Тихонов А.Н., Самарский А.А.. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1956. - 724 с.

Šipkova P., Vanags M., Barkāns V. Temperatūras lauks saules kolektora absorbera siltumnesējā: analītisks izveidums. Darbs veltīts vienam no alternatīvās enerģijas ieguves un izpētes veidiem.

Saules kolektors ir relatīvi vienkāršs, bet samērā dārgs siltuma enerģijas ieguves veids. Latvijas apstākļos tā izmantošanas iespējas stipri ierobežo klimatiskie apstākļi. Tādēļ ir īpaša nozīme tā ekonomiskās un efektīvās izmantošanas un iekārtu pagatavošanas izpētei.

Autoru darbos ir izveidots atsevišķu saules kolektora daļu matemātiskais apraksts un iegūti to atrisinājumi. Šeit piedāvājam temperatūras aprēķinu šķidrumā (glikolā), kas cirkulē kolektora caurulītēs.

Temperatūru lauku saules kolektora absorbera platē, uzskatot, ka process ir stacionārs, aprakstam Dekarta koordinātu sistēmā ar Laplasa vienādojumu un atbilstošiem jaukta tipa robežnosacījumiem. Atrisinājums iegūts ar modificēto mainīgo atdalīšanas metodi.

Iegūta formula aptuvenai temperatūras novērtēšanai saules kolektora absorbera caurulītēs cirkulējošā šķidrumā.

Šipkova P., Vanags M., Barkāns V. Temperatūras lauks saules kolektora absorbera siltumnesējā: analītisks izveidums. This research is devoted to one from alternative energy resources – solar energy. Solar collectors are relatively simple but expensive way of heat production. In Latvia's situation the usage of solar collectors are limited by real climatic conditions. Therefore it is very important to perform the economic and construction researches of solar collector usage in specify place.

In their previous work authors presented mathematical formulation of particular parts of solar collectors and gave solution of them. In this work the temperature calculations is presented for liquid circulating in the tubes of solar collector

Temperature field in solar collector is described with Laplasian in Decart coordinate system and using mixed type border conditions. Result is gained with modified variable separation method.

The formula of evaluating liquid temperature is gained.

Шипков П., Ванас М., Барканс В. Температурное поле теплоносителя абсорбера солнечного коллектора: аналитический вывод. Работа посвящена одному из способов получения и исследования альтернативной энергии.

Солнечный коллектор является относительно простым, но одновременной довольно дорогим устройством. В Латвии применения этого способа получения тепловой энергии сильно ограничиваются еще и климатическими условиями. Поэтому особое значение приобретают исследования экономического и эффективного использования выше указанного прибора.

В работах авторов приведены математические модели отдельных частей солнечного коллектора и получены их решения. Здесь предлагаем расчет температуры жидкости (глицола), циркулирующей в трубках коллектора.

Температурное поле в пластине абсорбера солнечного коллектора, предполагая процесс стационарным, описывается уравнением Лапласа и соответствующими граничными условиями смешанного типа. Решение получено модифицированным методом разделения переменных.

Получена формула для приближенной оценки температуры жидкости, циркулирующей в трубках солнечного коллектора.