

the system of nozzles, located above the layer of biodiesel through which razbryzgiwaniya water droplets and their movement through the layer of methyl ester. In this case the water droplets capture small plates of potassium citrate and take them out of the biodiesel layer.

For spray washing of biodiesel is most appropriate to apply centrifugal polnochnye sprays.

Use one spray to cover the entire area of the biodiesel in the reactor is impractical due to increased cost of the whole structure. It is recommended to place the radial number of diffusers by providing a specific overlapping of their spray cones.

Keywords: *biodiesel, sprayer, pressure, citric acid, neutralization, spray pattern*

УДК 661.045.1

ОБҐРУНТУВАННЯ ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕТИНУ ҐРУНТОВОГО ТЕПЛООБМІННИКА

***О. С. Ковязин, кандидат технічних наук
Запорізька державна інженерна академія***

***Г. А. Голуб, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України***

***Е. Б. Алієв, кандидат технічних наук
Інститут олійних культур НААН України
e-mail: gagolub@mail.ru***

Анотація. *За допомогою розробленої математичної моделі процесу теплообміну між ґрунтовим теплообмінником і масивом ґрунту, визначено тепловий потік в залежності від форми поперечного перерізу ґрунтового теплообмінника, а також часу функціонування геотермальної вентиляції. Встановлено, що на початковому етапі функціонування геотермальної вентиляції від збільшення площі теплообміну через застосування хвилястої форми поперечного перерізу теплообмінника є відчутний ефект у вигляді збільшення теплового потоку. Однак ефект від застосування хвилястої форми поперечного перерізу теплообмінника з часом зменшується, а потім взагалі зникає. Початковий етап функціонування геотермальної вентиляції має дуже нетривале значення і характеризується різким зниженням ефекту від застосування хвилястої форми поперечного перерізу теплообмінника.*

© О. С. Ковязин, Г. А. Голуб, Е. Б. Алієв, 2016

При сталому режимі функціонування геотермальної вентиляції тепловий потік від теплообмінника, що має круглу форму поперечного перерізу, перевищує тепловий потік від теплообмінників, що мають хвилясту форму. Це можна пояснити тим, що в теплообміні з ґрунтом повноцінно беруть участь лише вершини хвиль. Інша ж частина хвилястої поверхні практично не бере участь в теплообміні. Таким чином, кругла форма поперечного перерізу ґрунтового теплообмінника є енергетично оптимальної.

Ключові слова: ґрунт, теплообмінник, поперечний переріз, форма

Постановка проблеми. Принцип дії геотермальної вентиляції з використанням ґрунтових теплообмінників (рис. 1,а) полягає в тому, що повітря, що має температуру T_1 , подається на вхід ґрунтового теплообмінника і віддає (відбирає) тепло ґрунту, в результаті чого повітря охолоджується (нагрівається), набуваючи температуру T_2 і подається в приміщення. При цьому між внутрішньою поверхнею обсадної труби ґрунтового теплообмінника, що має внутрішній діаметр D , і масивом ґрунту виникає тепловий потік dQ/dt , величина якого визначає енерговідбір ґрунтового теплообмінника від масиву ґрунту та інших газоподібних речовин [1–3].

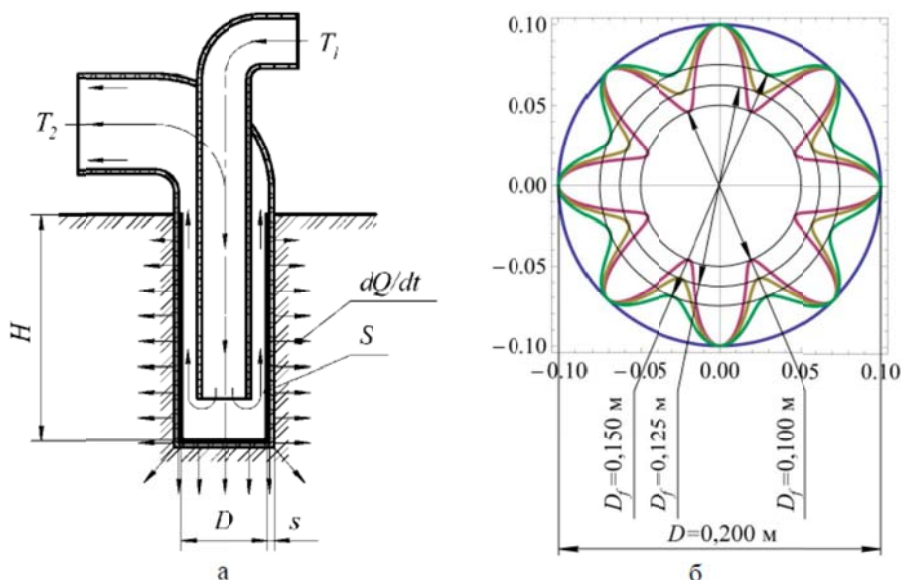


Рис. 1. Поздовжній (а) і поперечний (б) перетини ґрунтового теплообмінника.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження впливу форми поперечного перетину ґрунтового теплообмінника представлено в роботах [6-8], в яких визначено розподіл теплової енергії в теплообмінниках U-подібної форми із рідким теплоносієм.

В роботі [9] стверджується, однак не обґрунтовується доцільність використання концентричного трубного теплообмінника в якості геотермальної вентиляції. Представлені дослідження зводяться до визначення коефіцієнтів теплопередачі на основі експериментальних результатів. Запропонований алгоритм дозволяє отримати кореляцію коефіцієнтів теплопередачі для рідини, яка циркулює через внутрішній кільцевий простір, в перехідному режимі течії.

Мета досліджень – визначити тепловий потік в залежності від форми поперечного перерізу ґрунтового теплообмінника, а також часу функціонування геотермальної вентиляції.

Результати досліджень. Для дослідження приймаємо хвилясту форму поперечного перерізу ґрунтового теплообмінника (рис. 1,б), яку описує наступне рівняння в полярних координатах:

$$\rho = \frac{1}{4}(D + D_f + (D - D_f)\cos(n\varphi)) = \rho(\varphi), \quad (1)$$

де: ρ – полярний радіус, м; D – діаметр вершин хвиль, м; D_f – діаметр западин хвиль, м; n – кількість хвиль, шт.; φ – полярний кут, рад.

Приймаються наступні допущення: ґрунт є однорідним і ізотропним, а його теплофізичні властивості залишаються постійними зі зміною температури; температура на внутрішній поверхні обсадної труби T_s по всій її довжині постійна; тепловий контакт обсадної труби з прилеглим ґрунтом є ідеальний; не враховуємо наявність обсадної труби ґрунтового теплообмінника, тобто приймаємо товщину стінки обсадної труби $s = 0$; у розрахунковому діапазоні глибин температурні поля в ґрунті не змінюються; не враховуємо вплив теплового потоку на поверхні ґрунту, що виникає внаслідок дії сонячної радіації і тепловий потік, що проходить через дно обсадної труби і нижче глибини H .

Таким чином, отримуємо двовимірну задачу про визначення температурного поля в масиві ґрунту, а диференціальне рівняння теплопровідності в полярних координатах [4-5], що описує нестационарний симетричний процес поширення теплоти в масиві ґрунту має вигляд:

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_2 \nabla^2 T_2, \quad r \in [\rho(\varphi); \infty), \quad (2)$$

де: $T_2(r, t)$ – температура в точці ґрунту, яка знаходиться на відстані r від осі ґрунтового теплообмінника в момент часу t , °C; $t \in [0; \infty)$ – час від початку процесу теплообміну, с; a_2 – температуропровідність ґрунту, м²/с,

$$a_2 = \frac{\lambda_2}{C_2 \rho_2}, \quad (3)$$

де: λ_2 – теплопровідність ґрунту, Вт/(м·°С); C_2 – питома теплоємність ґрунту, Дж/(кг·°С); ρ_2 – щільність ґрунту, кг/м³; ∇^2 – оператор Лапласа, для полярних координат:

$$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right), \quad (4)$$

де: r – відстань від розглянутої точки масиву ґрунту до осі ґрунтового теплообмінника, м.

Для отримання однозначного рішення необхідно задати крайові умови. В рамках прийнятої моделі вони матимуть вигляд:

– початкова умова $T_2(r;0) = T_{20}$, $r \in [\rho(\varphi); \infty)$, де T_{20} – температура масиву ґрунту і обсадної труби в початковий момент часу, °С;

– гранична умова на внутрішньому кордоні $T_2(\rho(\varphi);t) = T_S$, $t \in [0; \infty)$.

Для наближеного рішення сформульованої задачі була розроблена програма, заснована на методі кінцевих елементів. В результаті, для прийнятих чисельних значень ($T_{20} = 12$ °С; $T_S = 26$ °С; $D = 0,2$ м; $\lambda_2 = 2$ Вт/(м·°С); $C_2 = 1000$ Дж/(кг·°С); $\rho_2 = 1800$ кг/м³), було визначено температурне поле, поле щільності теплового потоку, а головне, тепловий потік на одиницю довжини ґрунтового теплообмінника q в залежності від форми поперечного перерізу ґрунтового теплообмінника і часу функціонування геотермальної вентиляції. Результати рішення приведені на рис. 2.

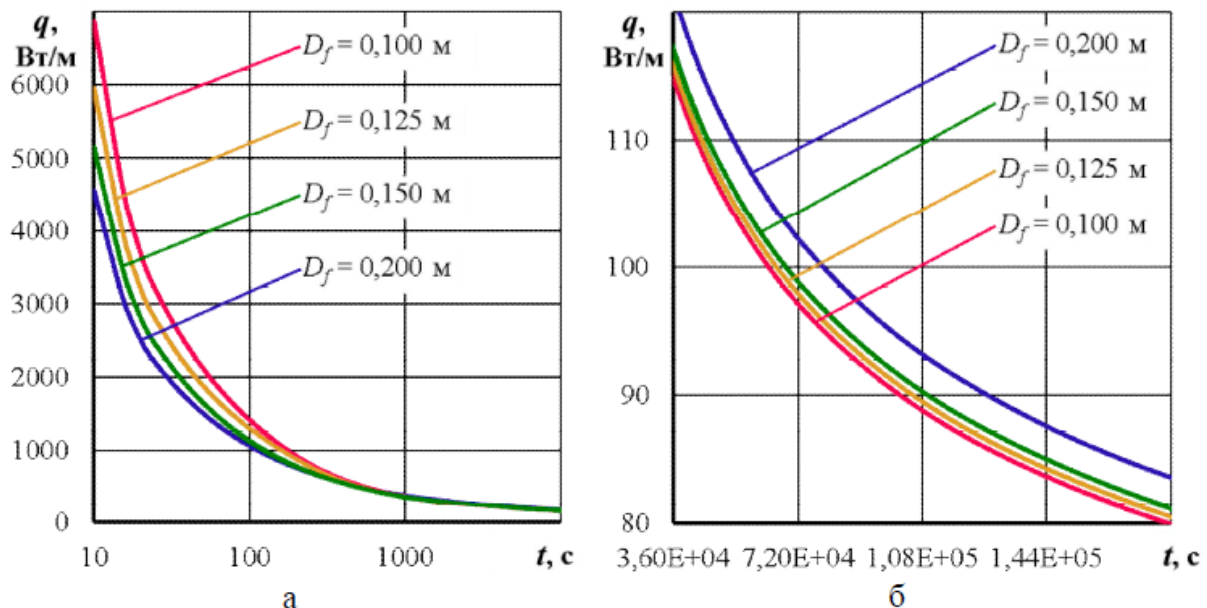


Рис. 2. Питомий тепловий потік q при різній формі поперечного перетина ґрунтового теплообмінника для початкового етапу (а) і встановленого режиму (б) функціонування геотермальної вентиляції.

Як видно з рис. 2,а, на початковому етапі функціонування геотермальної вентиляції від збільшення площі теплообміну через застосування хвилястої форми поперечного перерізу теплообмінника є відчутний ефект у вигляді збільшення теплового потоку. Однак ефект від застосування хвилястої форми поперечного перерізу теплообмінника з часом зменшується і при $t \approx 1000$ с взагалі зникає. Таким чином, початковий етап функціонування геотермальної вентиляції має дуже нетривале значення і характеризується різким зниженням ефекту від застосування хвилястої форми поперечного перерізу теплообмінника. При сталому режимі функціонування геотермальної вентиляції (рис. 2,б) тепловий потік від теплообмінника, що має круглу форму поперечного перерізу, перевищує тепловий потік від теплообмінників, що мають хвилясту форму. Це можна пояснити тим, що в теплообміні з ґрунтом повноцінно беруть участь лише вершини хвиль. Інша ж частина хвилястої поверхні практично не бере участь в теплообміні. Таким чином, від застосування хвилястої форми поперечного перерізу ґрунтового теплообмінника отримано негативний ефект і будь-яке відхилення форми поперечного перерізу ґрунтового теплообмінника від кола буде призводити до зниження теплового потоку.

Висновок. Кругла форма поперечного перерізу ґрунтового теплообмінника є оптимальною, оскільки відхилення форми поперечного перерізу ґрунтового теплообмінника від кола призводить до зниження теплового потоку в сталому режимі функціонування геотермальної вентиляції.

Список літератури

1. Бугаєвський В. М. Вплив середовища та технології утримання на продуктивність свиней / В. М. Бугаєвський, О. М. Остапенко, М. І. Данильчук // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Екологія. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. – Т. 132. – Вип. 119. – С. 59–61.
2. Ковязин А. С. Оптимизация режима работы ґрунтового теплообменника / А. С. Ковязин, М. Ю. Ковязина // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. – Запоріжжя, 2011. – Вип. 1 (7). – С. 114–123.
3. Ковязин А. С. Теоретическое определение тепловой мощности ґрунтового теплообменника / А. С. Ковязин, И. Г. Величко, Д. А. Долгих // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. – Запоріжжя, 2012. – Вип. 1 (9). – С. 56–63.
4. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
5. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
6. Аси́а J. Characterization and Temperature Measurement Techniques of Energy Wells for Heat Pumps. MSc thesis Energy Technology / J. Аси́а // Stockholm: KTH. – 2008. – 450 p.

7. *Acuña J.* Improvements of U-pipe Borehole Heat Exchangers. Licentiate thesis. Energy Technology / *J. Acuña* // Stockholm: KTH. – 2010. – 124 p.
8. *Acuña J.* Borehole resistance and vertical temperature profiles in coaxial borehole heat exchangers / *Beier R., Acuña J., Mogensen P., Palm B.* // Applied Energy. – 2013. – V. 102. – P. 665-675.
9. *Sinziana Radulescu.* Heat Transfer Coefficient Solver for a Triple Concentric-tube Heat Exchanger in Transition Regime / *Sinziana Radulescu, Irena Loredana Negoita, Ion Onutu* // REV. CHIM. (Bucharest). – 2012. – No. 8. – P. 820–824.

References

1. *Buhayevs'kyi, V. M., Ostapenko, O. M., Danyl'chuk, M. I.* (2010). Vplyv seredovyshcha ta tekhnolohiyi utrymannya na produktyvnist' svynei [Influence of the environment and technology content on the productivity of pigs]. Scientific papers: Scientific-methodical journal. Ecology, Mykolayiv: Vyd-vo ChDU im. Petra Mohyly, T. 132, Vyp. 119, 59–61.
2. *Kovyazyn, A. S., Kovyazyna, M. Yu.* (2011). Optymyzatsyya rezhyma raboti hruntovoho teploobmennyka [Optimization of operation mode GHE]. Mechanization, greening and conversion of materials in livestock, Zaporizhzhya, Vyp. 1 (7), 114–123.
3. *Kovyazyn, A. S., Velychko, Y. H., Dolhykh, D. A.* (2012). Teoretycheskoe opredelenye teplovoy moshchnosti hruntovoho teploobmennyka [Theoretical determination of the thermal capacity of the ground heat exchanger]. Mechanization, greening and conversion of materials in livestock, Zaporizhzhya, Vyp. 1 (9), 56–63.
4. *Likov, A. V.* (1967). Teoryya teploprovodnosti [Theory of thermal conductivity]. M.: Visshaya shkola, 600.
5. *Bronshhteyn, Y. N., Semendyaev K. A.* (1986). Spravochnyk po matematyke dlya ynzhenеров y uchashchykhsya vtuzov [Handbook of mathematics for engineers and students of technical colleges]. M.: Nauka, 544.
6. *Acuña, J.* (2008). Characterization and Temperature Measurement Techniques of Energy Wells for Heat Pumps. MSc thesis Energy Technology. Stockholm: KTH, 450.
7. *Acuña, J.* (2010). Improvements of U-pipe Borehole Heat Exchangers. Licentiate thesis. Energy Technology. Stockholm: KTH, 124.
8. *Beier, R., Acuña, J., Mogensen, P., Palm, B.* (2013). Borehole resistance and vertical temperature profiles in coaxial borehole heat exchangers. Applied Energy, V. 102, 665–675.
9. *Sinziana Radulescu, Irena Loredana Negoita, Ion Onutu* (2012). Heat Transfer Coefficient Solver for a Triple Concentric-tube Heat Exchanger in Transition Regime. REV. CHIM. (Bucharest), 8, 820–824.

ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Е. С. Ковязин, Г. А. Голуб, Е. Б. Алиев

Аннотация. С помощью разработанной математической модели процесса теплообмена между грунтовым теплообменником и массивом грунта, определен тепловой поток в зависимости от формы поперечного сечения грунтового теплообменника, а также времени функционирования геотермальной вентиляции. Установлено, что на начальном этапе функционирования геотермальной вентиляции от

увеличения площади теплообмена через применение волнистой формы поперечного сечения теплообменника есть ощутимый эффект в виде увеличения теплового потока. Однако эффект от применения волнистой формы поперечного сечения теплообменника со временем уменьшается, а потом вообще исчезает. Начальный этап функционирования геотермальной вентиляции имеет очень непродолжительное значение и характеризуется резким снижением эффекта от применения волнистой формы поперечного сечения теплообменника.

При установившемся режиме функционирования геотермальной вентиляции тепловой поток от теплообменника, который имеет круглую форму поперечного сечения, превышает тепловой поток от теплообменников, имеющих волнистую форму. Это можно объяснить тем, что в теплообмене с почвой полноценно участвуют только вершины волн. Другая часть волнистой поверхности практически не участвует в теплообмене. Таким образом, круглая форма поперечного сечения грунтового теплообменника является энергетически оптимальной.

Ключевые слова: почва, теплообменник, поперечное сечение, форма

RATIONALE FOR CROSS-SECTIONAL SHAPE OF GHE

O. S. Kovyazin, G. A. Golub, E. B. Aliyev

Abstract. Using the developed mathematical model of the process of heat exchange between soil heat exchanger and an array of soil, heat flow determined depending on the shape of the cross section of the ground heat exchanger and geothermal ventilation time operation. Established that the initial operation of geothermal ventilation to increase the area of heat transfer through the use of wavy cross-sectional shape of the heat exchanger is noticeable effect of increasing heat flow. However, the effect of the application form wavy cross section of the heat exchanger decreases with time, and then disappears. The initial phase of the geothermal ventilation mentioned is very brief and is characterized by a sharp decrease in the effect of the application form wavy cross section of the heat exchanger.

At steady state operation of ventilation geothermal heat flow from the heat exchanger, which has a circular shape cross-section, exceeds the heat flow from the heat with a wavy shape. This can be explained by the fact that the heat transfer from soil to fully participate only top of the waves. Another part of the wavy surface practically not involved in heat transfer. Thus, the round shape cross-section of the ground heat exchanger is energetically best.

Keywords: soil, heat exchanger, cross section, shape