

Н. Х. ЮНУСОВ

## СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР ТИПА ЛИСТ-ТРУБА ДЛЯ РАЗОГРЕВА НЕФТИ

U-образный подогреватель [1] для разогрева застывшей нефти с высоким содержанием парафина на поверхности амбаров-накопителей [2] представляет собой теплообменное устройство, использующее энергию Солнца для увеличения внутренней энергии и температуры теплоносителя. Подогреватель простейшего типа представляет собой U-образную трубу, воспринимающую солнечное излучение. Солнечное излучение частично поглощается трубой, температура стенки трубы возрастает, и если теплоноситель при температуре окружающей среды протекает по трубе, тепло передается от трубы к жидкости, температура последней возрастает до тех пор, пока тепловые потери трубы в окружающую среду не сравниваются по величине с энергией поглощенного солнечного излучения. Тепловые характеристики этой простейшей системы можно улучшить оребрением труб за счет устройства пластин, что позволяет увеличить площадь поверхности, воспринимающей солнечное излучение. Тепловые потери можно уменьшить размещением светопрозрачных полуцилиндров, заполняющих пространство между понтонами из металлических бочек и закрепленных над металлическими пластинами, уложенными на U-образный подогреватель [3–5] (см. рис.). Теплоносителем, как и в системе подогрева и сбора парафинистой нефти [2], используемой на месторождении Узень для извлечения сливных нефтеотходов, является нагретая вода, протекающая по трубам. В этом случае сообщаемая теплоносителю (воде)

полезная энергия равна [6]

$$q_u = \dot{m} c_p (T_{f, \text{ВЫХ}} - T_{f, \text{ВХ}}), \quad (1)$$

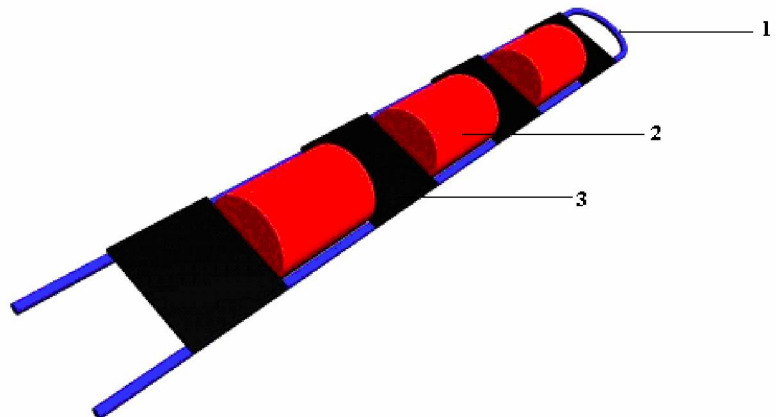
где  $\dot{m}$  – массовый расход жидкости через коллектор;  $c_p$  – удельная теплоемкость теплоносителя при постоянном давлении;  $T_{f, \text{ВЫХ}} - T_{f, \text{ВХ}}$  – прирост температуры теплоносителя при прохождении через коллектор.

Тепловые характеристики разработанного и запатентованного солнечного коллектора можно рассчитать из уравнения баланса энергии, которое позволяет определить долю энергии падающего излучения как полезную энергию, передаваемую теплоносителю для разогрева застывшей нефти. Для плоской пластины площадью  $A_c$  уравнение баланса энергии имеет вид

$$I_c A_c \bar{\tau}_s \alpha_{s,c} = q_u + q_{\text{пот}} + \frac{de_c}{dt}, \quad (2)$$

где  $I_c$  – плотность потока солнечного излучения, падающего на поверхность коллектора;  $A_c$  – площадь коллектора;  $\bar{\tau}_s$  – эффективная пропускательная способность покрытий марки СО<sub>2</sub> солнечного коллектора;  $\alpha_{s,c}$  – поглощательная способность поверхности поглощающей пластины солнечного коллектора;  $q_u$  – тепловой поток от поглощающей пластины коллектора к теплоносителю;  $q_{\text{пот}}$  – тепловой поток (или тепловые потери) от поглощающей пластины коллектора

Плавильное гелиотехническое устройство для подогрева и извлечения сливных нефтеотходов из накопителей:  
1 – U-образный подогреватель из бурильных труб;  
2 – металлические бочки-понтонны;  
3 – металлические пластины



в окружающую среду;  $\frac{de_c}{dt}$  – поток тепла, аккумулярованный коллектором за счет его внутренней энергии.

Что касается распределения температуры, излучение падает на верхнюю поверхность пластины, соединяющую две расположенные рядом трубы, в которых течет теплоноситель [4]. Это излучение равномерно поглощается пластиной и передается теплопроводностью в поперечном направлении трубам, внутри которых тепло передается конвекцией движущемуся теплоносителю. Очевидно, что в любом поперечном сечении, перпендикулярном направлению течения, температура имеет максимум в средней точке между двумя соседними каналами и уменьшается вдоль пластины по направлению к трубе. Поскольку тепло переносится к теплоносителю, его температура в трубе, а также температура всей коллекторной системы будет возрастать в направлении течения. Для численного анализа рассмотрим точку с координатами  $(x, y)$  на поверхности типичного плоского коллектора. Пусть температура в этой точке  $T_c(x, y)$  и предположим, что солнечное излучение поглощается с заданным потоком поглощенного излучения  $I_s \alpha_s$ . Если нижняя поверхность коллектора хорошо изолирована, то в основном тепловые потери происходят через верхнюю поверхность. Тогда плотность теплового потока между поглощающей пластиной и прозрачной теплоизолирующей (вторым покрытием) равна [6]

$$q_{\text{ВЕРХ.ПОТ}} = A_c \bar{h}_{c2} (T_c - T_{g2}) + \frac{\sigma(T_c^4 - T_{g2}^4) \cdot A_c}{\frac{1}{\varepsilon_{P,i}} + \frac{1}{\varepsilon_{g2,i}} - 1}, \quad (3)$$

где  $T_{g1}$  – температура верхнего полужидкого покрытия из оргстекла марки СО;  $T_{g2}$  – температура нижнего теплоизолирующего покрытия из того же материала;  $\bar{h}_{c2}$  – коэффициент теплообмена между поглощающей пластиной и вторым прозрачным покрытием из пленки;  $\varepsilon_{P,i}$  – излучательная способность пластины в инфракрасной области спектра;  $\varepsilon_{g2,i}$  – излучательная способность второго покрытия.

Если линеаризовать радиационный член в уравнении (3), то его можно записать в виде

$$q_{\text{ВЕРХ.ПОТ}} = \left( h_{c2}^- + h_{r2} \right) \cdot A_c \cdot (T_c - T_{g2}) = \frac{T_c - T_{g2}}{R_3}, \quad (4)$$

где

$$h_{r2} = \frac{\sigma(T_c + T_{g2})(T_c^2 + T_{g2}^2)}{\left( \frac{1}{\sigma_{P,i}} \right) + \left( \frac{1}{\sigma_{g2,i}} \right) - 1}, \quad (5)$$

$h_{r2}$  – коэффициент конвективной теплоотдачи нижнего прозрачного покрытия.

Солнечное излучение, поглощенное на верхней поверхности солнечного коллектора (пластины) [4, 5], передается в поперечном направлении к потоку теплоносителя в каналах. Температура максимальна в некоторой средней точке между соседними каналами, и пластина коллектора действует как ребро, прикрепленное к стенке канала с потоком жидкости. Если  $U_c$  – суммарный коэффициент тепловых потерь с поверхности пластины к окружающему воздуху, то тепловой поток для данного сегмента пластины коллектора при  $x, y$  будет равен

$$q(x, y) = U_c [T_c(x, y) - T_a] dx dy, \quad (6)$$

где  $T_c$  – местная температура пластины;  $T_a$  – температура окружающего воздуха.

Если пренебречь теплопроводностью в направлении оси  $x$ , то уравнение теплового баланса на данном расстоянии  $x_0$  для поперечного сечения пластины на единицу длины в направлении  $x$  можно записать в виде

$$\alpha_s I_s dy - U_c (T_c - T_o) \cdot dy + \left[ \left( -kt \frac{dT_c}{dy} \Big|_{y, x_0} \right) - \left( -kt \frac{dT_c}{dy} \Big|_{y+dy, x_0} \right) \right] = 0, \quad (7)$$

Если толщина пластины  $t$  постоянна, а коэффициент теплопроводности материала пластины не зависит от температуры, уравнение (7) можно представить в виде дифференциального уравнения второго порядка [4]

$$\frac{d^2 T_c}{dy^2} = \frac{U_c}{kt} \left[ T_c - \left( T_o + \frac{\alpha_s I_s}{U_c} \right) \right]. \quad (8)$$

Это уравнение имеет следующие граничные условия:

1. В центре между любыми двумя каналами тепловой поток равен нулю

$$\frac{dT_c}{dy} = 0, \text{ при } y = 0.$$

2. У трубы температура пластины равна

$$T_b(x_0), \text{ или } T_c = T_b(x_0), \text{ при } y = \omega = \left[ l' - \frac{D}{2} \right],$$

где  $T_b(x_0)$  – температура основания ребра.

Если принять, что

$$m^2 = \frac{U_c}{kt} \text{ и } \Phi = T_c - \left( T_o + \frac{\alpha_s I_s}{U_c} \right),$$

где  $m$  – масса пластины-ребра, то уравнение (8) принимает вид

$$\frac{d^2 \Phi}{dy^2} = m\Phi, \quad (9)$$

$$\frac{d\Phi}{dy} = 0 \text{ при } y = 0$$

$$\text{и } \Phi = T_b(x_0) - \left( T_o + \frac{\alpha_s I_s}{U_s} \right) \text{ при } y = \frac{l' - D}{2}.$$

Общее решение уравнения (9)

$$\Phi = C_1 \operatorname{sh} my + C_2 \operatorname{ch} my, \quad (10)$$

где  $\operatorname{sh} x$  – (гиперболический синус) гиперболическая функция, применяемая для удобного описания поля теплового потока с помощью векторного анализа,  $\operatorname{sh} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маяцкий Г.А., Рудой А.Д., Ткачев О.А. Способы подготовки высокопарафинистой нефти к откачке из земляных емкостей // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. 1976. № 9. С. 31-33.
2. Маяцкий Г.А., Голованов О.М., Рудой А.Д. Авторское свидетельство № 571657 (СССР). Б. и. 1977. № 33.
3. Кенжетеев Г.Ж. Светопрозрачные теплоизолирующие покрытия и солнечный абсорбер. Алматы, 2002. 244 с.
4. Кенжетеев Г.Ж., Кулиев Ю.М., Кабылова А., Елюбаева Г.Т. Пути увеличения активного периода подогрева и сбора нефти с высоким содержанием парафина в условиях жаркого климата // Поиск. Серия естественных и технических наук. 2005. №3. С. 184-89.
5. Кенжетеев Г.Ж., Ахмеджанов Т.К., Каратаева З.Г., Диханова Ж. К вопросу использования солнечной энергии для подогрева воды // Вестник Национальной академии наук РК. 2004. № 5. С. 124-130.
6. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. М.: Мир, 1977. С. 420.
7. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж.А. Расчет систем солнечного водоснабжения. М.: Мир, 1982. С. 77.

## Резюме

Суыган мұнайды жылыту үшін жылу ұстаушыға қабырға-пластинамен берілетін пайдалы энергия ретінде түсетін сәуле шапудың энергия үлесін анықтауға мүмкіндік беретін энергия балансын теңгеру көмегімен күн коллекторының жылулық сипаттамасының есептеуі қарастырылады.

## Summary

The work demonstrates calculations of heating characteristics of a solar collector based on the equation of energy balance, which determines percentage of energy from falling radiation as a useful energy which is transferred to a heat-carrier by a rib-plate for reheating of frozen oil.

УДК 536.24.241

Актауский государственный университет им. Ш. Есенова

Поступила 2.03.07г.