

7. Костриця М.Н. Сільський туризм: теорія, методологія, практика (етноісторичний туристичний кластер „Древлянська земля”): Монографія /Заг. ред. Є.І.Ходаківського; Заг. ред. Ю.С.Цал-Цалка. – Житомир: ЖДТУ. – 2006. – 196с.

УДК 621.576.932

ТИТЛОВ А.С., д-р техн. наук, доцент, зав. кафедри теплохолодотехніки
Одеська національна академія пищевих технологій

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПРОТИВОТОЧНОГО ЖИДКОСТНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ» С УЧЕТОМ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Представлена методика расчета тепловых режимов жидкостных теплообменников типа «труба в трубе», учитывающая наличие тепловых потерь в окружающую среду в условиях естественной конвекции. Методика позволяет оценить эффективность установки тепловой изоляции на наружной поверхности.

Ключевые слова: жидкостный теплообменник, тепловые потери.

The method of calculation of the thermal modes of liquid heat exchanger of type is presented «pipe in a pipe», taking into account the presence of thermal losses in an environment in the conditions of natural convection. A method allows to estimate efficiency of setting of thermal isolation on the outward surface of liquid heat exchanger.

Keywords: liquid heat exchanger, thermal losses.

Жидкостный теплообменник ЖТО типа «труба в трубе» широко используется в различных энергетических и технологических процесса [1] и выполняет в них как энерго-сберегающие функции (осуществляет регенерацию высоко-температурного тепла), так и решает задачи подогрева либо охлаждения потоков. Так, например, ЖТО применяется для предварительного охлаждения виноматериала перед загрузкой акратофора или при пастеризации молока [2]. Несмотря на наличие на рынке эффективных пластинчатых теплообменников, конструкции ЖТО типа «труба в трубе» [3] и в настоящее время находят применение на перерабатывающих предприятиях из-за простоты эксплуатации, возможности самостоятельного изготовления, минимальной стоимости и высокой надежности.

Эффективность использования простых конструкций ЖТО типа «труба в трубе» может возрасти, если будет создана методика расчета их реальных тепловых режимов с учетом потерь в окружающую среду. Причем, как показывает практика, необходим учет тепловых потерь в окружающую среду с наружной поверхности ЖТО за счет естественной конвекции и радиационного теплообмена.

Такая методика позволит оценить тепловые потери и сделать вывод о целесообразности установки тепловой изоляции.

Для инженерной практики наибольший интерес представляет поверочный расчет, когда находятся температуры потоков на выходе ЖТО.

При выполнении поверочного расчета ЖТО в режиме противотока задана его величина поверхности F_o или длина l_o и температуры потоков на входе - $T'_f = T'_{LH(f)}$ и $T'_w = T'_{LH(w)}$. Температуру окружающей среды принимаем постоянной ($T_{O.C.} = const$). Рассмотрим случай, когда горячий теплоноситель движется в межтрубном пространстве, а во внутренней трубе – холодный теплоноситель.

Используя традиционные подходы [4, 5] к математическому описанию теплообменных аппаратов, для элементарного участка ЖТО dl можно записать уравнения теплопередачи:

а) горячий – холодный теплоносители:

$$dQ_{W-f} = K_1 \cdot (T_w - T_f) \cdot \pi \cdot d_f \cdot dl ; \quad (1)$$

б) горячий теплоноситель – окружающая среда:

$$dQ'_{LH} = K_2 \cdot (T_w - T_{O.C.}) \cdot \pi \cdot d_w \cdot dl ; \quad (2)$$

где K_1 и K_2 - коэффициенты теплопередачи для соответствующих поверхностей теплообмена.

Для расчета теплообмена во внутреннем канале ЖТО может быть использовано соотношение [6]:

$$Nu = \frac{f/8(Re-1000)Pr}{1+12.7\sqrt{f/8}(Pr^{2/3}-1)} \left[1 + \left(\frac{d'_1}{l} \right)^{2/3} \right] \quad (3)$$

где f – коэффициент сопротивления трения:

$$f = (1.821gRe - 1.64)^{-2}.$$

Уравнение (3) применимо для диапазона $2300 < Re < 10^6$; $0.6 < Pr < 2000$.

В этом же диапазоне параметров для расчета теплообмена в кольцевом канале может быть использовано уравнение [6]:

$$\frac{Nu}{Nu_{tube}} = \frac{0.86 \left(\frac{d_1}{d'_2} \right)^{0.84} + 1 - 0.14 \left(\frac{d_1}{d'_2} \right)^{0.6}}{1 + (d_1/d'_2)}$$

где Nu_{tube} - вычисляется по уравнению (3), определяющий размер $d_h = d'_2 - d_1$;

d'_2 и d_1 - диаметры, соответственно, внутренний диаметр наружной трубы и наружный диаметр внутренней трубы.

Для упрощения поиска решения будем считать величины K_1 и K_2 постоянными, т.е. влиянием температуры на теплофизические свойства потоков и интенсивность теплоотдачи в окружающую среду будем пренебрегать.

Принимая во внимание баланс тепла, изменение температур теплоносителей по длине ЖТО составит:

$$dT_f = \frac{dQ_{W-f}}{C_f}, \quad dT_w = -\frac{dQ_{W-f} + dQ'_{LH}}{C_w},$$

где C_f и C_w - полная теплоемкость массового расхода в единицу времени, соответственно, потока холодного и горячего теплоносителя, Вт/К [6]:

$$C_f = G_f \cdot c_f, \quad C_w = G_w \cdot c_w,$$

где $G_f(c_f)$ и $G_w(c_w)$ - массовый расход (теплоемкость) холодного и горячего теплоносителя, соответственно.

С использованием соотношений (1) – (2) можно записать систему дифференциальных уравнений, описывающих температурные поля противоточного ЖТО с учетом тепловых потерь в окружающую среду от потока горячего теплоносителя:

$$C_f dT_f = K_1 \cdot (T_w - T_f) \cdot \pi \cdot d_f \cdot dl, \quad (5)$$

$$-C_w \cdot dT_w = K_1 \cdot (T_w - T_f) \cdot \pi \cdot d_f \cdot dl + K_2 \cdot (T_w - T_{O.C.}) \cdot \pi \cdot d_w \cdot dl \quad (6)$$

Знак «минус» в уравнении (6) учитывает уменьшение температуры горячего теплоносителя при его движении вдоль ЖТО.

Систему дифференциальных уравнений (5) – (6) можно представить в виде:

$$\frac{dT_f}{dl} = \frac{K_1 \cdot \pi \cdot d_f}{C_f} \cdot (T_w - T_f), \quad (7)$$

$$-\frac{dT_w}{dl} = \frac{K_1 \cdot \pi \cdot d_f}{C_w} \cdot (T_w - T_f) + \frac{K_2 \cdot \pi \cdot d_w}{C_w} \cdot (T_w - T_{O.C.}) \quad (8)$$

Используя известные рекомендации [7], решение системы уравнений (7) – (8) будем искать в виде разности температур $(T_f - T_{O.C.})$ и $(T_w - T_{O.C.})$.

Принимая во внимание, что:

$$\frac{d(T_f - T_{O.C.})}{dl} = \frac{dT_f}{dl},$$

$$\frac{d^2(T_f - T_{O.C.})}{dl^2} = \frac{d^2 T_f}{dl^2},$$

$$\frac{d(T_w - T_{O.C.})}{dl} = \frac{dT_w}{dl},$$

$$\frac{d^2(T_w - T_{O.C.})}{dl^2} = \frac{d^2 T_w}{dl^2},$$

систему уравнений (7) – (8) можно записать в виде:

$$\frac{d^2 T_f}{dl^2} + a \cdot \frac{dT_f}{dl} + b \cdot (T_f - T_{O.C.}) = 0, \quad (9)$$

$$\frac{d^2 T_w}{dl^2} + a \cdot \frac{dT_w}{dl} + b \cdot (T_w - T_{O.C.}) = 0, \quad (10)$$

где a и b - постоянные:

$$a = \pi \cdot \left(\frac{K_1 \cdot d_f}{C_f} + \frac{K_1 \cdot d_f}{C_w} + \frac{K_2 \cdot d_w}{C_w} \right),$$

$$b = \frac{\pi^2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot d_f \cdot d_w}{C_f \cdot C_w}.$$

Уравнения (9) и (10) представляют однородные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами.

В случае, когда корни таких уравнений действительны и различны, их решение будет иметь вид [8]:

$$T_f - T_{O.C.} = C_1 \cdot \exp(n_1 \cdot l) + C_2 \cdot \exp(n_2 \cdot l), \quad (11)$$

$$T_w - T_{O.C.} = C_3 \cdot \exp(n_1 \cdot l) + C_4 \cdot \exp(n_2 \cdot l), \quad (12)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 – постоянные интегрирования, которые необходимо определить,

n_1 и n_2 – корни характеристического уравнения.

$$n^2 + a \cdot n + b = 0, \quad n_1 = -\frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} - b},$$

$$n_2 = -\frac{a}{2} - \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}.$$

Постоянные интегрирования находим путем подстановки (11) и (12) в (9) и (10) с учетом граничных условий:

а) при

$$l = 0 \quad T_w = T'_w, \quad (T'_w - T_{O.C.}) = const;$$

б) при

$$l = l_0 \quad T_f = T'_f, \quad (T'_f - T_{O.C.}) = const.$$

Система уравнений в этом случае имеет вид:

$$T'_f - T_{O.C.} = C_1 + C_2,$$

$$T'_w - T_{O.C.} = C_3 + C_4,$$

$$T'_f - T_{O.C.} = C_1 \cdot \exp(n_1 \cdot l_0) + C_2 \cdot \exp(n_2 \cdot l_0),$$

$$T'_w - T_{O.C.} = C_3 \cdot \exp(n_1 \cdot l_0) + C_4 \cdot \exp(n_2 \cdot l_0),$$

$$\frac{K_1 \cdot \pi \cdot d_f}{C_f} \cdot (T'_w - T'_f) = n_1 \cdot C_1 + n_2 \cdot C_2,$$

$$-\frac{K_1 \cdot \pi \cdot d_f}{C_w} \cdot (T'_w - T'_f) - \frac{K_2 \cdot \pi \cdot d_w}{C_w} (T'_w - T_{O.C.}) = n_1 \cdot C_3 + n_2 \cdot C_4$$

где T'_f и T'_w - неизвестные температуры потоков на выходе.

Для снижения погрешности расчета температурных полей ЖТО необходимо учесть зависимость $K_2 = f(T_w - T_{O.C.})$.

Это можно сделать за счет ряда последовательных приближений.

В первом приближении для нахождения температурного напора используются, например, известные параметры потоков, т.е.

$$K_2^{(1)} = f^{(1)} \left(\frac{T'_w + T'_f}{2} - T_{O.C.} \right) = const.$$

Определив в первом приближении температурные поля ЖТО $T_w^{(1)} = \varphi^{(1)}(l)$ и $T_f^{(1)} = \psi^{(1)}(l)$, рассчитываем среднеинтегральную температуру горячего теплоносителя по длине $\bar{T}_w^{(1)} = \frac{1}{l_0} \cdot \int_0^{l_0} \varphi^{(1)}(l) dl$.

Затем проводим расчет во втором приближении при $K_2^{(2)} = f^{(2)}(\bar{T}_w^{(1)} - T_{O.C.}) = const$ и находим $T_w^{(2)}, T_f^{(2)}, \bar{T}_w^{(2)}$.

Число последовательных приближений определяется необходимой точностью расчета, причем контрольными параметрами могут быть, как неизвестные температуры потоков на выходе ЖТО, так и тепловые потери в окружающую среду с наружной поверхности ЖТО (Q_{LH}'').

Как показал вариантный расчет, при наличии тепловых потерь в окружающую среду горячий теплоноситель охлаждается несколько сильнее, а холодный

теплоноситель нагревается несколько меньше, чем в адиабатном случае. Влияние потерь сказывается и на температурном поле в адиабатной зоне ЖТО, причем результат аналогичен – на выходе и по длине теплоизолированного участка потоки холодного и горячего теплоносителей имеют более низкую температуру.

Выводы:

1. Разработана методика расчета тепловых режимов ЖТО типа «труба в трубе», учитывающая наличие тепловых потерь в окружающей среду в

условиях естественной конвекции. Методика позволяет оценить эффективность установки тепловой изоляции на наружной поверхности ЖТО.

2. При отсутствии тепловой изоляции и при наличии тепловых потерь в окружающую среду горячий теплоноситель охлаждается несколько сильнее, а холодный теплоноситель нагревается несколько меньше, чем в адиабатном случае.

Поступила 08.2010

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Промышленные теплообменные процессы и установки [Текст]: учебник для вузов / А.М. Бакластов [и др.]; под ред. А.М. Бакластова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.
 2. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник [Текст] / І.Ф. Малежик [и др.]; за ред. І.Ф. Малежика. – К.: НУХТ, 2003. – 400 с.
 3. Справочник по теплообменникам: Т.2. [Текст] / пер. с англ. О.Г. Мартыненко [и др.]; – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.
 4. Ефимов В.Т. Математическое моделирование теплообменника растворов абсорбционной холодильной установки [Текст] / В.Т. Ефимов, С.А. Ерошенко, А.К. Бабиченко; – К., 1977. – 8 с. – Деп. в УкрНИИТИ 11.03.77, № 685 –Ук77.
 5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – 2 – е изд., стереотип. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
 6. Справочник по теплообменникам: Т.1. [Текст] / пер. с англ. Б.С. Петухова [и др.]; – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.
 7. Хаузен Х. Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрестном токе [Текст] / Х. Хаузен. – М.: Энергоиздат, 1981. – 384 с.
 8. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление для вузов. Том второй. [Текст] / Н.С. Пискунов – М.: Наука, 1978. – 576с.
- УДК: 005.74:502.1

**КРУСІР Г.В., д-р техн. наук, доцент, ШЕВЧЕНКО Р.І., канд. техн. наук, доцент,
ЯШКІНА В.В., канд. техн. наук, асистент**

Одеська національна академія харчових технологій

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ В СИСТЕМАХ МЕНЕДЖМЕНТУ

Проаналізовано застосування та значення поняття «екологічні аспекти» в системах менеджменту організацій. Зроблено висновки про важливість та широке застосування екологічних аспектів в системах менеджменту.

Ключові слова: екологічний аспект, системи менеджменту.

It is analysed applications and value of concept «ecological aspects» in systems of management of the organisations. The conclusion is drawn on importance and wide application of ecological aspects in management systems.

Keywords: ecological aspects, management systems.

Стандарт ISO 14001 «Системи управління навколишнім середовищем – Вимоги й посібник із застосування» дає наступне визначення «екологічний аспект – елемент діяльності організації, її продукції або послуг, що може взаємодіяти з навколишнім середовищем». Результат впливу екологічних аспектів організації на навколишнє середовище визначається як «будь-яка негативна або позитивна зміна в навколишньому середовищі». Поняття «екологічний аспект» є ключовим у системі екологічного менеджменту:

- на підставі аналізу екологічних аспектів формується екологічна політика організації;
- з ідентифікації й аналізу екологічних аспектів починається перший етап створення моделі управління навколишнім середовищем за принципом PDCA («Plan-Do-Check-Act» - «Планування-Виконання-Перевірка-Дія»);
- аналіз екологічних аспектів дозволяє сформулювати критерії ефективності, на підставі яких здійснюється контроль системи екологічного менеджменту;
- розробляються заходи щодо вдосконалення системи екологічного менеджменту.

В системі екологічного менеджменту екологічні аспекти знаходять застосування при розробці стандартів на продукцію (ISO 64:1997 «Екологічний менеджмент. Посібник із включення екологічних а-

спектів у стандарти на продукцію», МЕК 109:2003 «Аспекти навколишнього середовища - Включення в стандарти на електротехнічну продукцію»). Виходячи з того, що будь-яка продукція в процесі виготовлення, поширення, експлуатації й утилізації здійснює якінебудь впливи на навколишнє середовище, встановлені в стандартах на продукцію або послуги, вимоги можуть значно зменшити ступінь негативних впливів на навколишнє середовище.

Оскільки система екологічного менеджменту є частиною загальної системи керування організацією, варто розглянути використання екологічних аспектів в інших складових загальної системи управління організацією. Так, в системі управління якістю (група стандартів серій ISO 9000 та ISO 10000), що є найбільш близькою до системи екологічного моніторингу, екологічні аспекти знаходять застосування ще на стадії розробки й впровадження при визначенні очікувань споживача, при реалізації процесного й системного підходу, при організації управління ресурсами. Аналогічно екологічні аспекти знаходять своє відображення в контролі виробництва й розробці вимог до продукції (наприклад, екологічні аспекти утилізації).

Застосовуються екологічні аспекти в системах менеджменту безпеки праці (OHSAS 18001 «Системи менеджменту безпеки праці - Вимоги», OHSAS 18002 «Системи менеджменту безпеки праці - Посібник із впровадження OHSAS 18001», Міжнародна організація праці: 2001 «Посібник із систем менеджменту безпеки праці» (OSH-MS)). Стандарт OHSAS 18001 з самого початку розроблявся сумісним зі стандартами ISO 9001 і ISO 14001. Як і попередні стандарти, стандарт OHSAS заснований на методології PDCA і процесному підході. Екологічні аспекти в системі менеджменту безпеки праці знаходять застосування на стадії ідентифікації небезпек. Так, «небезпек, що виникли поблизу робочого місця внаслідок виробничої діяльності під управлінням організації рекомендується оціню-