

УДК 514.18+621.1

## **ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРУБИ ДЛЯ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ З КОНДИНСАЦІЄЮ ВОДЯНОГО ПАРУ**

Василів П.А., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування  
України (Київ)*

Тел. (044)527-82-26

**Анотація** – у статті розглядаються питання створення раціональної геометричної форми труби для теплообмінників з плівковою конденсацією водяного пару.

**Ключові слова** - труба, тепловіддача, теплообмінні апарати, плівкова конденсація водяного пара, форма поперечного і повздовжнього перерізу, хвилеподібна форма, критерій Прандтля (Pr), Нуссельта (Nu), Грасгофа(Gr).

*Постановка проблеми.* Широке застосування теплообмінних апаратів у різних галузях промисловості та у сільському господарстві вимагає безперервного удосконалення їх конструкцій. Очевидно, що найбільш ефективним елементом інтенсифікації теплопередачі є конструкція труби в якій ефект теплопередачі повинен реалізовуватися, як з парової (зовнішньої), так і водяної (внутрішньої) сторони, для теплообмінних апаратів з конденсацією водяного пару. Прикладом таких поверхонь є гвинтові з накатними конавками.

*Аналіз останніх досліджень.* Знизити металоємкість апаратів можна за рахунок інтенсифікації теплопередачі за рахунок збільшення різниці температур теплоносіїв, або за рахунок підвищення теплопередачі. Перший метод виявляється неприйнятним з технологічних міркувань, а тому другий метод є основним. Тому у випадку теплообміну між теплоносіями «пар-рідина» прагнуть підвищити інтенсивність теплообміну з зовнішньої поверхні стінок труб повернутих до парового потоку. Так в роботі Мигая В.К. [1] звернуто увагу на труби змінного перерізу. Розширюючи кількість варіантів геометричних форм труб, можна досягти більш високих показників теплопередачі.

*Формування цілей статті.* Найбільший коефіцієнт тепловіддачі буде досягнутий тоді, коли процес конденсації водяного пару на зовнішній поверхні труби по площі буде мінімальним. Завданням

даної статті є розробка і дослідження нових геометричних форм труб для теплообмінників.

*Основна частина.* Одним із варіантів нових форм труб є труба хвилеподібної форми (рис.1).

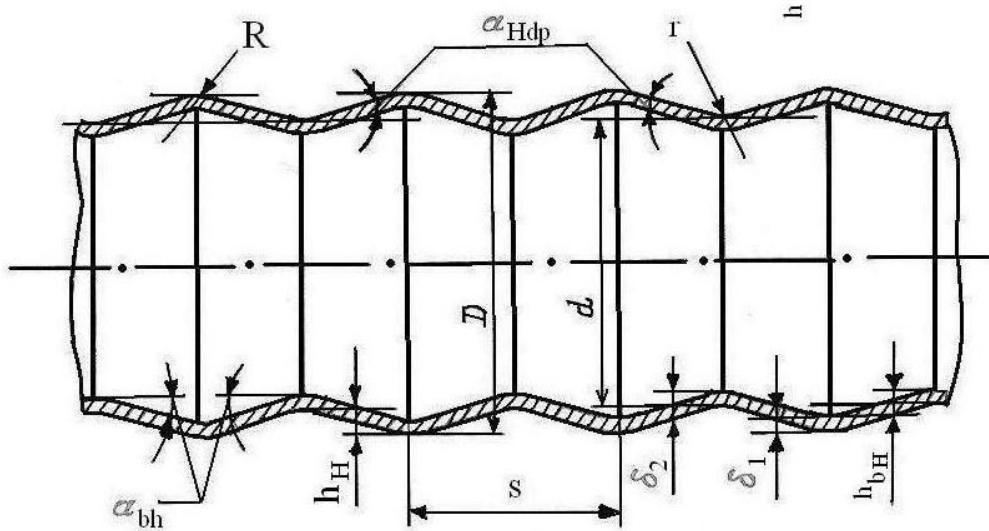


Рис.1. Труба хвилеподібної форми.

В даній роботі представлені результати досліджень залежностей теплогідравлічних характеристик горизонтальних труб типу хвилеподібної форми від геометричних параметрів елементів форми даних труб при конденсації водяного пару на зовнішній поверхні і одночасному русі води в середині труби. Матеріалом для труб – ЛО-70. Діаметр яких 18...21 мм (товщина стінки – 0,95 мм), діаметр 22...25 мм (товщина стінки – 0,9 мм). Для виготовлення даних труб використовувалися різні методи. Так труби діаметром - 22...25 мм виготовлялись гідравлічним видавлюванням. В цьому випадку зовнішня поверхня труби затискалась в спеціальні форми, а в середині труби створювався високий тиск. Під дією тиску циліндрична труба деформувалась і таким чином створювалась хвилеподібна форма труби. Труби діаметром 18...21 мм виготовлялись методом обкатки зовнішньої поверхні циліндричних труб спеціальними роліками, які могли рухатися одночасно як по осі, так і по колу. В першому випадку геометрію хвилеподібних труб визначала форма оправки, а в другому – геометрія форми ролика.

Потрібно підкреслити, що в даній час технологія накатки труб вже досконала і виробництво їх можна забезпечити в необмеженій кількості на спеціальних, достатньо простих, пристроях.

В роботі [2] було одержано залежності для розрахунку теплопередачі зі сторони пару для гладких циліндричних труб (діаметром – 22 мм)

$$\alpha_n = 0,693^4 \sqrt{\frac{\lambda^3 \rho r}{\mu d^2 \Delta t}}$$

Теплопередачу зі сторони води

$$Nu = 0,071 Re_E^{0,8} Pr_E^{0,43} \left( \frac{Pr_E}{Pr_{\text{сиз}}} \right)^{0,25}$$

Результати тепловіддачі із зовнішньої сторони для хвилеподібних труб при конденсації водяного пару при атмосферному тиску були одержані тільки в критеріальній формі:

$$Nu = 1,942 (Cr \cdot Pr_{\text{пар}})^{0,25} \left[ \left( \frac{2h}{S} \right)_{\text{пар}} \right]^{0,306}$$

Аналіз впливу геометричних параметрів труби на теплопередачу показав, що основним фактором який визначає зміну тепловіддачі є відношення геометричного параметру  $(2h/S)$ , який знаходиться у взаємозв'язку з другими геометричними параметрами хвилеподібної труби.

При конденсації пару на поверхні хвилеподібної горизонтальної труби інтенсифікаційну дію створює сила поверхневого натягу і сила ваги, яка діє на конденсаційну плівку. Величини даних сил будуть визначатися кривизною поверхності і кутом нахилу елементів труби  $\alpha_{\text{пар}}$ . Але те, що параметри  $R$ ,  $r$ ,  $\alpha_{\text{пар}}$  знаходять у взаємозв'язку  $(2h/S)$  не має сумніву. Особливий інтерес представляє геометричний параметр  $(2h/S)$  – величина якого знаходиться в межах  $(0,1 < (2h/S) < 0,7)$ . При зростанні  $(2h/S)$  зростає і дія сили ваги і сила поверхневого натягу (збільшується кут нахилу ділянок труби, зменшується радіус кривизни труби), які стягують плівку водяного конденсату з вершин до впадин. При цьому середня величина товщини плівки конденсату зменшується, а коефіцієнт тепловіддачі зростає. Так при  $(2h/S) < 0,1$ , коефіцієнт тепловіддачі хвилеподібних труб менший ніж для гладких труб.

Плівка конденсату в цьому випадку розміщується на вершинах і нижніх частинах елементів труби, при цьому збільшується шлях стікання конденсату, який зменшує інтенсифікацію теплообміну. Дія сил ваги і поверхневого натягу веде в даному випадку до того, що плівка стікає тільки з вершин елементів труби. Тому зростання товщини плівки конденсату, веде до зменшення тепловіддачі.

Коли геометричний параметр  $(2h/S) > 0,7$ , коефіцієнт при плівковій конденсації водяного пару для хвилеподібних труб (зберігає достатньо високе значення) також зменшується, це пов'язано вже з дією капілярних сил. Геометричний параметр досягає оптимального значення для хвилеподібних труб при  $(2h/S) = 0,7$ .

*Висновки.* Застосування даних труб дозволить збільшити коефіцієнт тепловіддачі, що в свою чергу приведе до інтенсифікації теплопередачі для такої конструкції теплообмінних апаратів.

#### Література

1. *Мигай В.К.* Интенсификация теплообмена при конденсации пара на поверхности трубы переменного сечения /В.К. Мигай // Тр. НПО ЦКТИ. - Вип. 207. - Л.: 2008. - С.46-50
2. *Риферт В.Г.* Определение параметров затопления конденсатом поверхности горизонтальных труб /В.Г. Риферт, П.А. Барабаш// Изв. вузов. №10. - М.: 2010. - С.7-9.

### ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЫ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНОГ ПАРА

П.А. Василив

*Аннотация* – в статье рассматривается вопрос создания рациональной геометрической формы трубы – типа волнистой формы и приведены ее геометрические характеристики.

### RATIONALE FOR CONSTRUCTIVE GEOMETRY OF PIPES FOR HEAT EXCHANGERS IN THE CONDENSATION WATER COUPLE

P. Vasiliv

#### *Summary*

**This article focuses on the creation of efficient geometric shape tubes for heat exchangers with film condensation water vapor.**