

Технічні науки

УДК 542.45-023.846-026.325(048.83)

**Андреев Игорь Анатолійович**

*кандидат технічних наук, доцент*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Андреев Игорь Анатолиевич**

*кандидат технических наук, доцент*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Andreyev Igor**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*National Technical University of Ukraine*

*"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**Мікульонок Ігор Олегович**

*доктор технічних наук, професор*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Микулёнок Игорь Олегович**

*доктор технических наук, профессор*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Mykuljonok Igor**

*Doctor of Technical Sciences, Professor*

*National Technical University of Ukraine*

*"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**Мішуков Станіслав Геннадійович**

*студент*

*Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Мишуков Станислав Геннадиевич**

*студент*

*Национального технического университета Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Mishukov Stanislav**

*Student of the*

*National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**Пищик Богдан Ігорович**

*студент*

*Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Пищик Богдан Игоревич**

*студент*

*Национального технического университета Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Pischik Bogdan**

*Student of the*

*National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООБМІННИКІВ «ТРУБА В  
ТРУБІ»  
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКА «ТРУБА В  
ТРУБЕ»  
EFFICIENCY IMPROVEMENT OF THE HEAT EXCHANGER "PIPE IN  
PIPE"**

*Анотація.* Теплообмінники типу «труба в трубі» є достатньо поширеними трубчастими теплообмінними апаратами в хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та споріднених галузях промисловості, які ефективно працюють у великому діапазоні тисків і характеризуються меншим гідравлічним опором міжтрубного простору порівняно з кожухотрубчастими теплообмінниками. Завдяки значним швидкостям руху теплоносіїв, які можна досягати в таких апаратах, забезпечується збільшення коефіцієнтів теплопередачі та уповільнення відкладення забруднень на стінках труб. Перевагою цих теплообмінників також є можливість їх складання на робочому місці збільшенням або зменшенням кількості секцій залежно від параметрів технологічного процесу [1].

Теплообмінники «труба в трубі» можуть виготовлятися нерозбірними і розбірними. Нерозбірні однопотокові теплообмінники використовуються для чистих теплоносіїв, що не дають відкладень, тобто коли відпадає потреба в механічному очищенні поверхні теплообмінних труб від забруднень. Розбірні однопотокові теплообмінники забезпечують можливість вилучення теплообмінних труб для їх заміни або механічного очищення за межами апарата.

*Для великих витрат робочих середовищ застосовуються многопотоківі теплообмінні апарати цього типу.*

*Для інтенсифікації процесу тепловіддачі труби виконують з поздовжніми, поперечними або спіральними ребрами, виступами й западинами тощо.*

*Також крім традиційних металів і сплавів для виготовлення теплообмінної апаратури все частіше застосовують різноманітні полімерні матеріали. У тому числі й композиційні, властивості яких можна прогнозувати на етапі розроблення їхнього складу [2].*

*Традиційні конструкції теплообмінників типу «труба в трубі» відпрацьовані у виробництві та експлуатації, проте навіть вони потребують вдосконалення. Тому дослідження з модернізації теплообмінної апаратури продовжуються і зараз. Далі розглянуто вдосконалені конструкції теплообмінників типу «труба в трубі», запропоновані працівниками Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».*

**Ключові слова:** *теплообмінник, труба в трубі, фланець, апарат.*

**Анотація.** *Теплообменники типа «труба в трубе» есть достаточно распространенными трубчатые теплообменными аппаратами в химической, нефтеперерабатывающей, пищевой, теплоэнергетической и родственных отраслях промышленности, эффективно работают в большом диапазоне давлений и характеризуются меньшим гидравлическим сопротивлением межтрубного пространства по сравнению с кожухотрубными теплообменниками. Благодаря значительным скоростям движения теплоносителей, которые можно достигать в таких аппаратах,*

*обеспечивается увеличение коэффициентов теплопередачи и замедление отложения загрязнений на стенках труб.*

*Преимуществом этих теплообменников есть также возможность их сборки на рабочем месте увеличением или уменьшением количества секций в зависимости от параметров технологического процесса [1].*

*Теплообменники «труба в трубе» могут изготавливаться неразборными и разборными. Неразборные однопоточковые теплообменники используются для чистых теплоносителей, не имеют отложений, то есть тогда отпадает необходимость в механической очистке поверхности теплообменных труб от загрязнений. Разборные однопоточковые теплообменники обеспечивают возможность извлечения теплообменных труб для их замены или механической очистки за пределами аппарата.*

*Для больших затрат рабочих сред применяются многопоточковые теплообменные аппараты этого типа.*

*Для интенсификации процесса теплоотдачи трубы выполняют с продольными, поперечными или спиральными ребрами, выступами и впадинами и тому подобное.*

*Также помимо традиционных металлов и сплавов для изготовления теплообменной аппаратуры все чаще применяют различные полимерные материалы. В том числе и композиционные, свойства которых можно прогнозировать на этапе разработки их состав [2].*

*Традиционные конструкции теплообменников типа «труба в трубе» отработаны в производстве и эксплуатации, однако даже они нуждаются в совершенствовании. Поэтому исследования по модернизации теплообменной аппаратуры продолжаются и сейчас. Далее рассмотрены усовершенствованные конструкции теплообменников типа «труба в трубе»,*

предложенные работниками Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

**Ключевые слова:** теплообменник, труба в трубе, фланец, аппарат.

**Summary.** Heat exchangers of the "pipe in pipe" type are fairly common tubular heat exchangers in the chemical, oil refining, food, heat and energy, and related industries, they effectively operate in a large pressure range and are characterized by a lower hydraulic resistance of the annulus compared to shell-and-tube heat exchangers. Due to the significant speeds of movement of coolants that can be achieved in such devices, an increase in the coefficients of heat transfer and slowing the deposition of contaminants on the walls of pipes is ensured.

The advantage of these heat exchangers is also the possibility of assembling them at the workplace by increasing or decreasing the number of sections depending on the parameters of the technological process [1].

Heat exchangers "pipe in pipe" can be made non-separable and collapsible. Non-separable single-flow heat exchangers are used for clean coolants, have no deposits, that is, then there is no need for mechanical cleaning of the surface of heat exchange tubes from contamination. Folding single-flow heat exchangers provide the ability to extract heat exchange tubes for their replacement or mechanical cleaning outside the apparatus.

Also, in addition to traditional metals and alloys, various polymeric materials are increasingly being used for the manufacture of heat exchange equipment. Including compositional, whose properties can be predicted at the development stage of their composition [2].

Traditional designs of tube-in-tube heat exchangers have been developed in production and operation, but even they need to be improved. Therefore, research on the modernization of heat exchange equipment continues today. Further, the

*improved designs of heat exchangers of the “pipe in pipe” type proposed by the staff of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” are considered.*

**Key words:** *heat exchanger, pipe in pipe, flange, apparatus.*

Для підвищення турбулізації потоку теплоносія в центральній трубі запропоновано виконувати розташовані на внутрішній поверхні калачів спіральні ребра, що забезпечує закручування потоку, а отже й підвищення ефективності процесу теплообміну [3]. Під час роботи теплообмінника один з теплоносіїв рухається по зовнішніх трубах 2, перетікаючи з однієї в іншу крізь патрубки 1, а інший теплоносій – по внутрішніх трубах 3, перетікаючи з однієї в іншу крізь калачі 4 з фланцями 5, під час проходження яких завдяки спіральним ребрам 6 він набуває спірального руху, що інтенсифікує процес тепловіддачі у внутрішніх трубах 3. (рис. 1, 2).

Забезпечення закручування потоку трубного простору з одночасним захистом калачів від гідроерозійного зношування можна здійснити також за рахунок розміщення всередині кожного калача трубчастої полімерної вставки зі спіральними ребрами на її внутрішній поверхні [4]. Такий теплообмінник містить з’єднані між собою за допомогою патрубків 1 зовнішні труби 2 і розміщені в них внутрішні труби 3, з’єднані між собою за допомогою калачів 4 з фланцями 5, при цьому всередині кожного калача 4 розміщено трубчасту полімерну вставку 6 зі спіральними ребрами 7 на її внутрішній поверхні. На одному з торців кожної трубчастої полімерної вставки 6 може бути виконано розбортовку 8 для її розміщення в западині фланця 5, що забезпечує фіксацію в калачі 4 трубчастої полімерної вставки 6 в осьовому напрямку (рис. 1, 3).

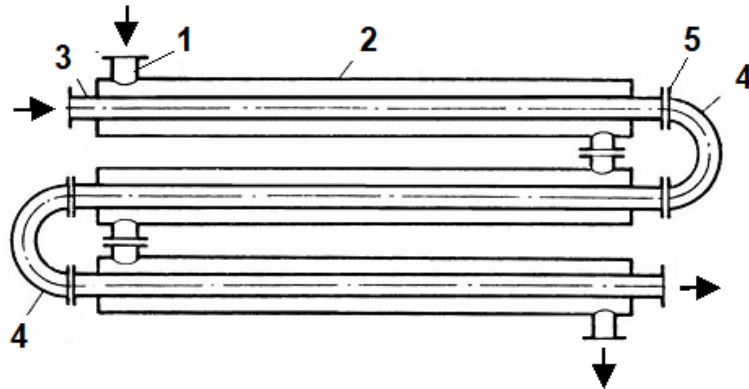


Рис. 1. Загальний вигляд теплообмінника «труба в трубі»

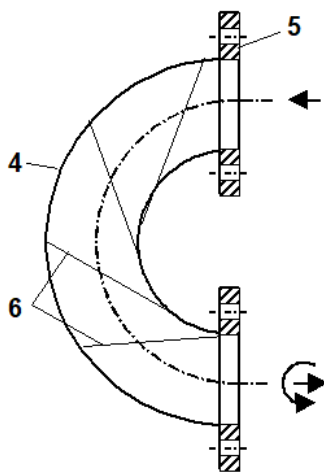


Рис. 2. Поздовжній розріз калача зі спіральними ребрами

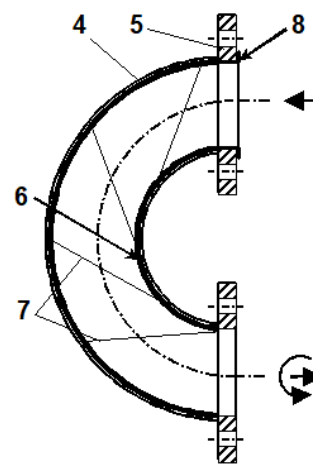
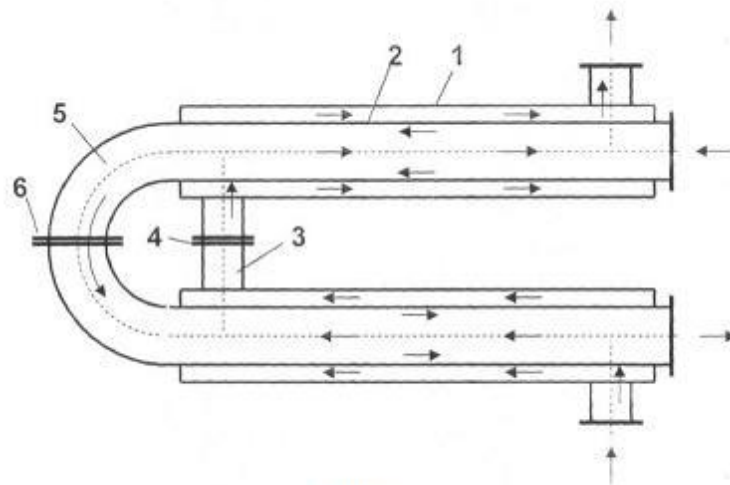


Рис. 3. Поздовжній розріз калача з полімерною вставкою

Знизити матеріалоемність теплообмінника можна за рахунок виконання фланців криволінійних патрубків внутрішніх труб горизонтальними, що дає змогу зменшити кількість фланцевих з'єднань зазначених патрубків з внутрішніми трубами з двох до одного. Крім того, таке виконання фланців спрощує складання й розбирання теплообмінника [5]. Удосконалений теплообмінник «труба в трубі» містить сукупність співвісно розміщених горизонтальних труб 1 і 2, зовнішні з яких (труби 1) з'єднано між собою за допомогою прямолінійних патрубків 3 з горизонтальними фланцями 4, а внутрішні (труби 2) – криволінійних патрубків 5 з горизонтальними

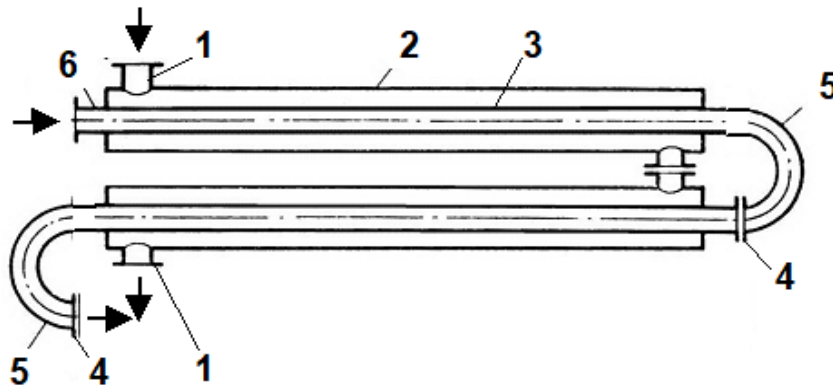


фланцями 6 (рис. 4).



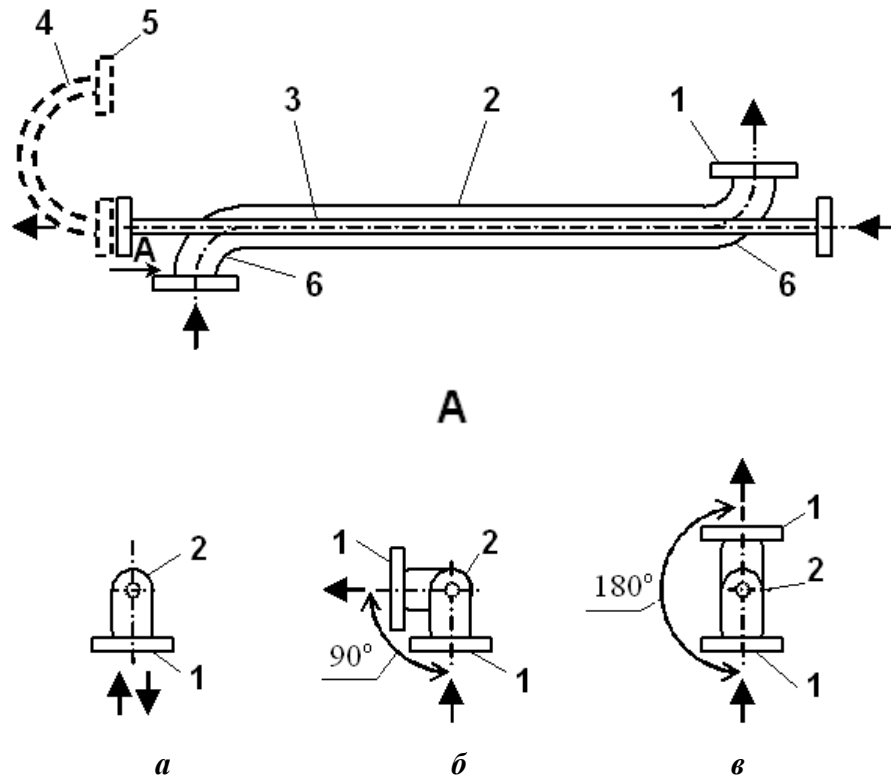
**Рис. 4. Загальний вигляд теплообмінника «труба в трубі» з горизонтальними фланцями криволінійних патрубків внутрішніх труб**

Зниження матеріалоемності теплообмінника досягається також при використанні ще однієї пропозиції [6]. У цьому випадку теплообмінник містить з'єднані між собою за допомогою патрубків 1 зовнішні труби 2 й розміщені в них внутрішні труби 3, які споряджені на своїх кінцевих ділянках фланцями 4. При цьому одну з кінцевих ділянок 5 кожної з внутрішніх труб 3 виконано зігнутою з кутом згину  $180^\circ$ , а другу (ділянку 6) – прямолінійною (рис. 5). Виконання внутрішніх труб із зазначеними відмітними ознаками дає змогу відмовитися від калачів як таких і, відповідно, додаткових фланцевих з'єднань, що і знижує матеріалоемність теплообмінника. Крім того, зменшення кількості фланцевих з'єднань також підвищує надійність теплообмінника.



**Рис. 5. Загальний вигляд теплообмінника «труба в трубі» зі зміненими внутрішніми трубами**

Для зниження матеріалоемності і, одночасно, гідравлічного опору міжтрубного простору запропоновано патрубки утворювати у вигляді зігнутих на  $90^\circ$  кінцевих ділянок зовнішніх труб. У найприйнятніших прикладах виконання теплообмінника кінцеві ділянки кожної із зовнішніх труб розташовано в одній площині без повороту одна відносно одної або кінцеві ділянки кожної із зовнішніх труб повернуто одна відносно одної на  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  [7]. Така конструкція дає змогу відмовитися від патрубків як окремих деталей або складальних одиниць, що знижує матеріалоемність теплообмінника. При цьому плавний згин кінцевих ділянок зовнішніх труб сприяє зниженню гідравлічного опору міжтрубного простору теплообмінника. Розташування же кінцевих ділянок кожної із зовнішніх труб в одній площині без повороту одна відносно одної, з поворотом одна відносно одної на  $90^\circ$  чи  $180^\circ$  забезпечує складання теплообмінника майже з довільним розташуванням зовнішніх труб у просторі, що розширює технологічні можливості теплообмінника в цілому, а також робить його компактним, що також знижує його матеріалоемність (рис. 6).



**Рис. 6. Теплообмінник «труба в трубі» з розташуванням кінцевих ділянок зовнішніх труб в одній площині без повороту одна відносно одної (а), з поворотом на 90° (б) і на 180° (в): 1 – патрубок; 2 – зовнішня труба; 3 – внутрішня труба; 4 – калач, 5 – фланець; 6 – кінцева ділянка зовнішньої труби**

Для зниження гідроерозійного зношування калачів, а також зменшення теплових втрат з їхньої поверхні в навколишнє середовище на внутрішню поверхню калачів пропонується наносити антифрикційне теплоізоляційне покриття, наприклад, з політетрафторетилену [8]. Таке виконання підвищує надійність та ефективність теплообмінника в цілому.

Застосування на практиці удосконалених теплообмінних апаратів дає змогу підвищити ефективність проведення технологічних процесів, а також підвищити надійність технологічного обладнання. При цьому для детального обґрунтування ефективності роботи таких апаратів у подальшому планується виконати відповідні експериментальні дослідження.

## **Література**

1. Тимонин А. С. Основы конструирования и расчёта химико-технологического и природоохранного оборудования: в 3-х т. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2002.
2. Микульёнок И. О. Классификация термопластических композиционных материалов и их наполнителей / Пластические массы, – 2012. – № 9. – С. 29–38.
3. Пат. 120697 U Україна МПК(2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. О. Мікульонок, І. А. Андреев, Д. В. Панченко; заявник і патентовласник – вони ж. – № и 201705799; заявл. 12.06.2017; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21.
4. Пат. 121939 U Україна МПК(2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. О. Мікульонок, І. А. Андреев, А. А. Довгошея; заявник і патентовласник – вони ж. – № и 201705544; заявл. 06.06.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.
5. Пат. 112663 U Україна МПК(2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. А. Андреев, І. О. Мікульонок, Є. М. Гайдін; заявник і патентовласник – вони ж. – № и 201606503; заявл. 14.06.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24.
6. Пат. 122866 U Україна МПК(2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. А. Андреев, І. О. Мікульонок, Б. І. Пищик; заявник і патентовласник – вони ж. – № и 201708937; заявл. 08.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
7. Пат. 122867 U Україна МПК(2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. О. Мікульонок, І. А. Андреев, С. Г. Мішуков; заявник і патентовласник – вони ж. – № и 201708938; заявл. 08.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.

8. Пат. 122868 U Україна МПК(2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. О. Мікульонок, І. А. Андреєв, С. Г. Мішуков, Б. І. Пищик; заявник і патентовласник вони ж. – № и 201708939; заявл. 08.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.