

СТАНОВИЩЕ

за дисертационен труд
за придобиване на образователната и научна степен "Доктор" в

Област на висше образование: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.4. Енергетика

Специалност: „Промислена топлотехника“

Автор: маг. инж. Пламен Йорданов Бонев

Тема: „Интензификация на топлообмен чрез спирални пружини при течение на еднофазов поток в тръби при преходен режим“

Член на научното жури: проф. д-н инж. Венцислав Димов Зимпаров

1. Тема и актуалност на дисертационния труд:

Топлообменни апарати, които работят в преходен режим между напълно развити ламинарен и турбулентни режими, са типични кандидати за интензификация на топлообмена. Между различните техники, използването на винтови пружини е доста подходящо поради лесна и евтина инсталация в съществуващ топлообменен апарат с гладки тръби.

Публикуваните в научната литература теоретични и експериментални изследвания за интензификация на топлообмен с помощта на винтови пружини, при преходен режим на потока, са твърде малко, поради което не е достатъчно добре изяснено влиянието на височината на турбулизатора (диаметър на проводника на пружината) и стъпката (стъпка на пружината).

Масово се използват критерии за оценка на ефективност, които не показват реални стойности и водят до заблуда и прекален оптимизъм. Поради тази причина не са получени оптимални геометрични параметри на пружината, като: отношенията e/D_i и p/e .

Не са изследвани максималните възможни печалби, които могат да се получат, при различни цели и ограничения, които се налагат.

2. Обзор на цитираната литература

Цитираната литература съдържа 139 литературни източника, от които 137 на латиница и 2 на кирилица.

Направен е критичен анализ на оценката за енергийна ефективност на различни техники за интензификация на топлообмена - прости или комбинирани. Специално внимание е отделено на използването на винтовите пружини като техника за интензификация на топлообмена. Направен е преглед на общоприети критерии за оценка на ползите и печалбите, които конкретна техника може да донесе, в зависимост от целите и ограниченията, които се поставят.

Установено е, че:

- публикуваните в научната литература теоретични и експериментални изследвания за интензификация на топлообмена, с помощта на винтови пружини при преходен режим на потока, са твърде малко, поради което не е достатъчно добре изяснено влиянието на височината на турбулизатора (диаметър на проводника на пружината) и стъпката;

- масово се използват критерии за оценка на ефективност, които не показват реални стойности и водят до заблуда и прекален оптимизъм. Поради тази причина не са получени оптимални геометрични параметри на пружината, отношенията e/D_i и p/e ;

- не са изследвани максималните възможни печалби, които могат да се получат, при различни цели и ограничения, които се налагат.

3. Методика на изследване

Научното изследване е проведено на многофункционален лабораторен опитен стенд за изследване на интензификация на топлообмена, при ламинарен, преходен и турбулентен режим на еднофазов воден поток в кръгла тръба, чрез използване на различни видове турбулизатори.

Описани са възможностите и действието на опитната уредба и измервателната система, която се използва. Използвана е най-съвременна измервателна техника, което гарантира точността и достоверността на събираната първична информация.

В методика са описани подробно начините за пресмятане на косвено измерваните величини, които са цел на изследването. Определени са грешките от пряко и косвено измерваните величини.

Извършена е внимателна и продължителна верификация (проверка за достоверност) на получените резултати на опитната уредба чрез първоначално двукратно проведени експерименти с гладка тръба, като база за сравнение.

Коефициентите на хидравлично съпротивление на гладката тръба са определени при изотермични и неизотермични условия. Получените резултати са сравнени с достатъчен брой теоретични и експериментални зависимости, особено тези, които се отнасят до изследвания в преходния режим. Установено е, че опитната уредба се характеризира със стабилно и надежно действие, а получаваните резултати с висока степен на достоверност.

Изследвани са 15 броя опитни образци на тръби с винтови пружини с различни геометрични параметри, e/D_i (на три нива) и p/e (на пет нива). Основната цел е търсенето на оптимално p/e (за максимален ефект при интензификация на топлообмена).

Резултатите са представени на фигури във вида: за всяко e/D_i , $f_a = f(Re, p/e)$ и $Nu_a = f(Re, Pr, p/e)$. Установено е, че е налице критично число на Рейнолдс, $Re_{cr,2}$, при което приключва преходът на течението от напълно развит ламинарен поток и започва преходът към напълно развит турбулентен, който приключва при $Re \approx 3 \times 10^3$. Този ефект съвсем ясно се вижда, когато резултатите се представят за всяко e/D_i в нормализиран вид, $f_* = f(Re, p/e)$ и $Nu_* = f(Re, Pr, p/e)$. За $Re \approx Re_{cr,2}$ се наблюдава

най-голямото нарастване на Нуселт, Nu_*^{max} (най-висока термична ефективност), което предполага и най-висока енергийна ефективност.

Изследвано е влиянието на относителната стъпка p/e върху стойността на Nu_* . Независимо от стойността на e/D_i , Nu_*^{max} се получава при $p/e \approx 10.0$. Получените експериментални резултати за f_a и Nu_a са представени чрез корелационни зависимости, като областта $10^3 < Re < 10^4$ е разделена на две подобласти: преходна област $10^3 < Re < 3 \times 10^3$ и област на развито турбулентно течение $Re > 3 \times 10^3$. Преходната област, $10^3 < Re < 3 \times 10^3$ също е разделена на две подобласти, границите на които се определят от $Re_{cr,2}$, $10^3 < Re < 1.8 \times 10^3$ и $1.8 \times 10^3 < Re < 3 \times 10^3$.

Направени са оценки за определяне на ефективността на прилаганата техника за интензификация на топлообмена в реален противотоков кожухотръбен ТА, за три случая от практичен интерес: FG-1, FG-2a (фиксирана геометрия - съществуващ ТА) и VG-2a (променлива геометрия - нов ТА). Тези критерии оценяват до каква степен може да се увеличи топлинната мощност, $Q_* > 1$, на реален ТА.

Анализът е направен за всяка от групите тръби; 01-05 ($e/D_i = 0.063$), 06-10 ($e/D_i = 0.070$) и 11-15 ($e/D_i = 0.077$), като от всяка група е избрана тази тръба, която има най-голяма стойност на Nu_*^{max} . В графичен вид са представени измененията на топлинната проводимост, Nu_* , максималната мощност, Q_*^{max} , (при липса на външно термично съпротивление) и реалната топлинна мощност, Q_*^{real} , в зависимост от изменението на Re . Показана е и цената, която се плаща чрез стойността на генерираната ентропия в ТА, $N_{s,a}$.

За всяка група тръби (определена стойност на e/D_i) са представени характеристиките $N_s^+ = f(Re)$ и параметър p/e . Графиките ясно показват кои геометрични параметри и работни режими, в зависимост от наложените ограничения, трябва да се избират, за да се реализират максимално възможни енергийни ползи.

4. Приноси на дисертационния труд

Декларираните приноси на дисертационния труд се определят като **научно-приложни** и са както следва:

1. Проведени са оригинални експериментални изследвания в противотоков ТА с интензификация на топлообмена, чрез поставени винтови пружини в гладка тръба в преходен и напълно развит турбулентен поток на еднофазен воден поток;

2. Получени са корелационни уравнения за определяне на коефициента на хидравлично съпротивление f_a , в зависимост от геометричните параметри e/D_i , p/e и Re ;

3. Получени са корелационни уравнения за определяне на числото на Нуселт Nu_a , в зависимост от геометричните и режимни параметри e/D_i , p/e , Re и Pr ;

4. Направен е критичен анализ на широко прилагани в научните изследвания критерии за оценка на ползите от използването на конкретна техника за интензификация на топлообмена и получените резултати, най-често завишени и заблуждаващи;

5. Направени са реални оценки на възможните ползи, $Q_* > 1$, – максимални и реални, които могат да се получат за действащ кожухотръбен ТА (фиксирана геометрия), както и нов (с променена геометрия), при еднакви наложени ограничения;

6. Показано е, че когато се прилага интензификация на топлообмена в ТА, работният режим на топлоносителя трябва да бъде в преходната област (преход от ламинарен към турбулентен режим на потока в тръбите).

5. Публикации и цитирания на публикации по дисертационния труд

А. Публикации в чужбина

А1. Публикации в списания с импакт фактор (IF Scopus)

1. Zimparov, V.D., **Bonev, P.J.**, Petkov, V.M., Benefits from the Use of Enhanced Heat Transfer Surfaces in Heat Exchanger. Design: A Critical Review, *J. Enhanced Heat Transfer*, 2016, 23(5), 371–391. (IF: 0.562)

А2. Публикации в реферирани списания

2. Zimparov, V.D., **Bonev, P.J.**, Petkov, V.M., Transitional Heat Transfer and Pressure Drop in Plain Horizontal Tubes - Revised Study, *Int. Rev. Chem. Eng.*, 9 (1) 2017, 1-7.

3. Zimparov, V.D., **Bonev, P.J.**, Petkov, V.M., Transitional Heat Transfer and Pressure Drop in Plain Horizontal Tubes, *Int. Rev. Chem. Eng.*, 2015, 7(2), 37-44.

Б. Публикации в страната

4. **Bonev P.J.**, Petkov V.M., Performance Evaluation of Wire Coil Inserts in Turbulent Tube Flow – Critical Review, *J. Tech. Univ. Gabrovo*, vol. 53, 2016, 27-34.

5. **Bonev P.J.**, Petkov V.M., Heat Transfer Enhancement in Single-Phase Transitional Flow by Wire-Coil Inserts, *Thermal Eng.*, 2017, VIII (1) 61-65 (Publ. Tech. Univ. Varna)

6. **Bonev P.J.**, Heat Transfer Enhancement in Single-Phase Transitional Flow by Wire-Coil Inserts. Part 2: Performance Evaluation, *Thermal Eng.*, 2017, VIII (1) 47-51 (Publ. Tech. Univ. Varna)

7. **Bonev P.J.**, Heat Transfer Enhancement in Single-Phase Transitional Flow by Wire-Coil Inserts. Part 1: Friction Factor and Heat Transfer Coefficient, *Thermal Eng.*, 2017, VIII (1) 41-46 (Publ. Tech. Univ. Varna).

В. Забелязани цитирания

Zimparov, V.D., **Bonev, P.J.**, Petkov, V.M., Transitional Heat Transfer and Pressure Drop in Plain Horizontal Tubes - Revised Study, *Int. Rev. Chem. Eng.*, 9 (1) 2017, 1-7.

Цитирана в:

Tie Wei, Heat transfer regimes in fully developed plane-channel flows, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 131 (2019) 140-149.

6. Авторство на получените резултати

Получените резултати от научното изследване и представения дисертационен труд са авторска разработка на докторанта.

7. Автореферат и авторска справка

Авторефератът и авторската справка са изпълнени съгласно изискванията на ППНСАД при ТУ-Габрово.

8. Забележки по дисертационния труд

Забележки по същество по представения труд нямам.

9. Заключение

Считам, че представеният дисертационен труд **отговаря** на изискванията на ЗРАСРБ, ППЗРАСРБ и ППНСАД при ТУ-Габрово.

Постигнатите резултати ми дават пълно основание **да предложи** да бъде придобита ОНС „Доктор” от **маг. инж. Пламен Йорданов Бонев**, в

Област на висше образование - 5. Технически науки

Професионално направление - 5.4. Енергетика ,

Специалност – „Промислена топлотехника“ .

26.01.2019 г.

Подпис:

/ проф. д-р инж. В. Зимпаров /