

УДК 621.565

**ДЫМО А.Б.**, канд.техн.наук,  
**ДЫМО Б.В.** канд.техн.наук, проф.  
Национальный университет кораблестроения, г. Николаев  
**ЧЕГРИНЦЕВ В.Ф.**, инженер-конструктор ГП НПКГ “Зоря”-  
“Машпроект”, г. Николаев

# **ВЛИЯНИЕ ЭКРАНИРОВАНИЯ СЕТКАМИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛОДАЧИ КРУГЛЫХ И ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ТРУБ ТЕПЛООБМЕННИКОВ**

*Розглянуті питання впливу на інтенсивність екранування металевими сітками круглих та еліптичних труб теплообмінних апаратів для транспортної та суднової енергетики. Наведені рівняння у критеріальному вигляді, одержані експериментальним шляхом, та які визначають інтенсивність тепловіддачі.*

*The problems of influence of screened metallic nets on heat emission of round and elliptic pipes for transport and ship power plant heat-exchangers are discussed in the paper. Experimental criterion equations which determine intensity of heat emission are resulted.*

**Постановка проблемы.** В настоящее время в транспортной и судовой энергетике широко используются традиционные теплообменные аппараты с гладкотрубной, трубчато-ребристой и пластинчато-ребристой теплообменной поверхностью, выполненной из труб круглой и эллиптической формы их сечений. Опыт эксплуатации этих аппаратов подтверждает их повышенные как массогабаритные, так и мощностные показатели по затратам на перемещение газового теплоносителя.

Однако, в последние годы все большее применение за рубежом и в нашей стране получают теплообменники с поверхностью нагрева из тепловых труб. Высокая тепловая эффективность и надежность работы, простота изготовления, герметичность, передача больших тепловых потоков, возможность использования рационального теплоносителя открывает перспективу их широкого использования. Поэтому задача исследования процессов и разработка образцов энергосберегающих теплообменников с термосифонной поверхностью (вариант тепловых труб) является актуальной.

Анализ полного термического сопротивления термосифонов показал, что наименее благоприят-

ным режимом (в условиях омывания испарительных участков воздухом или дымовыми газами, а конденсационных – водой или пароводяной смесью) является теплопередача с наибольшим наружным термическим сопротивлением конвективной теплоотдачи в газовом однофазном потоке. Второе по величине – внутреннее термическое сопротивление при конденсации пара. Поэтому для повышения тепловой экономичности термосифона (и теплообменного аппарата в целом) в первую очередь необходимо снизить термическое сопротивление наружной конвективной теплоотдачи, но также и внутреннее термическое сопротивление конденсационного участка термосифона.

Известно, что одним из рациональных методов снижения термического сопротивления и интенсификации теплообмена является турбулизация потока за счет нанесения шероховатости. Ряд теоретических и экспериментальных работ, в частности Э. Ахенбаха [1], А.А. Гухмана [3], А. Жукаускаса [4], Г. Шлихтинга [5] и других подтвердили принципиальную возможность интенсификации теплообмена при поперечном обтекании пучков шероховатых труб при несущест-

венном росте их аэродинамического сопротивления.

Одним из возможных промышленных методов нанесения шероховатости является закрепление на поверхности теплообмена металлических сеток [2]. Этот метод не связан с деформацией стенки трубы, и, следовательно, более рационален по сравнению с традиционно используемыми методами нанесения шероховатости накаткой и протяжкой.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Он показал, что в настоящее время теплообмен и аэродинамическое сопротивление экранированных сетками труб изучены недостаточно полно и только в однофазных потоках. Поэтому, для оценки эффективности метода экранирования и определения рационального типа шероховатости были проведены экспериментальные исследования теплообмена и аэродинамического сопротивления одиночных гладких труб и экранированных сетками. Результаты основных экспериментальных исследований были получены в лабораториях теплообмена НУК [6], а также на факультете энергетики Центрально-Китай-

ского университета науки и технологий, г. Ухань (КНР) [7, 8].

Экспериментальные установки представляли аэродинамические трубы с обслуживающими системами и аппаратами. Рабочие участки установок позволяли исследовать два типа цилиндров-калориметров, выполненных в виде нагревателей и охладителей из круглых медных, мельхиоровых и стальных труб диаметром 10, 25 и 24 мм соответственно. Цилиндры-калориметры экранировались латунными сетками с размером ячейки в свету 0,5x0,5; 0,9x1,0; 2,0x2,2; 2,35x2,50; 2,5x2,67 мм (диаметр проволоки соответственно 0,3; 0,4; 0,4; 0,5; и 0,3 мм). Сетки равномерно припаивались по длине 310 мм для труб диаметром 10 мм, 285 мм – труба диаметром 25 мм и 190 мм – труба диаметром 24 мм. Общий вид цилиндра-калориметра, экранированного сеткой, представлен на рис. 1.а, а на рис. 1.б – фрагмент такой поверхности. Исследовались также два типа стальных труб эллиптического сечения 13,5x34 мм и 14,5x33 мм длиной 190 мм. Эллиптические трубы экранировались латунной сеткой с размером ячейки 2,5x2,67 мм, выполненной из проволоки диаметром  $d_{пр}=0,3$  мм.

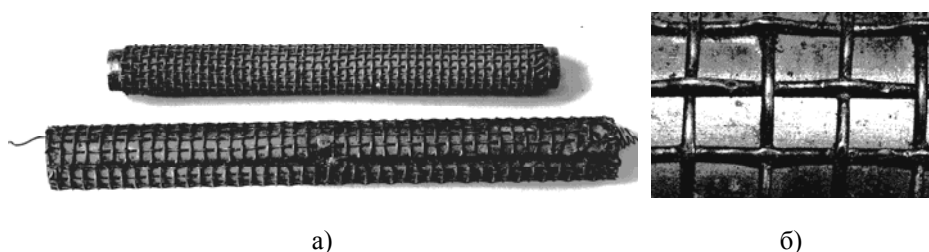


Рис. 1. Общий вид цилиндра-калориметра (а) и фрагмент поверхности цилиндра, экранированного сеткой (б)

**Цель настоящей работы** – получение количественных и качественных зависимостей влияния конструктивных и режимных характеристик на интенсивность теплоотдачи и величину аэродинамического сопротивления экранированных металлическими сетками труб (на режимах однофазного теплообмена), а также при наличии конденсации влаги на их поверхности в газовом потоке.

**Изложение основного материала.** При исследовании теплоотдачи в режиме нагрева в цилиндр-калориметр устанавливался электрический нагреватель из нихромовой проволоки, зазор между нагревателем и трубкой заполнялся кварцевым песком. Для уменьшения тепловых потерь с торцев устанавливались асбоцементные заглушки. В режимах охлаждения применялся цилиндр-калориметр, прокачиваемый холодной водой. Температура стенки цилиндров-калориметров измерялась термометрами с диаметром электродов 0,1 и 0,2 мм. Для измерения значений термо э.д.с. термомпар использовался мультиметр с погрешностью  $10^{-6}$  В.

В последних испытаниях при исследовании теплоотдачи экранированных сетками труб использовалась автоматизированная система измерений температуры и влажности в виде комплекса цифровых датчиков температуры и влажности ДВТ-002ц, термоэлектрических термометров типа ТХК, вторичных показывающих и регистрирующих приборов типа И2 (измеритель температуры двухканальный) и ИВ1-ДВТ (измеритель температуры, влажности и точки росы). Преобразованные сигналы от вторичных приборов через преобразователи интерфейса связи RS 485 – RS 232 по каналу связи типа NSB передавались для обработки на персональный компьютер. Для регистрации параметров использовалось лицензионное программное обеспечение, предоставленное НПФ “Регмик”, Украина.

Результаты исследований теплоотдачи экранированных сетками одиночных цилиндров-калориметров при поперечном обтекании воздушным потоком представлены на рис.2. Здесь также приведены результаты исследований теплоотдачи гладких цилиндров, а также данные



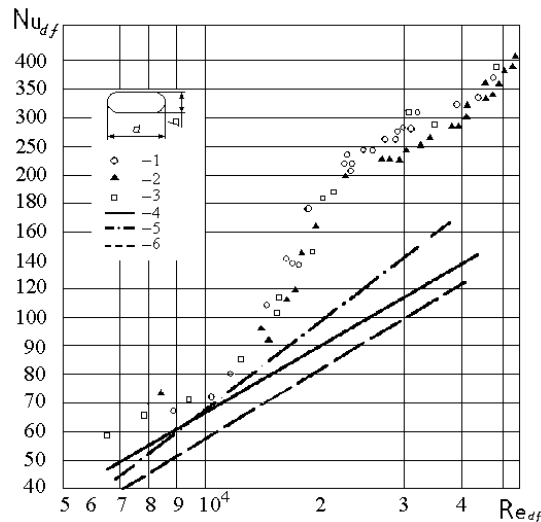


Рис. 3. Результаты исследований теплоотдачи труб эллиптического сечения, экранированных сеткой:

- – труба ( $a \times b$ ) – 34x13,5 мм;
- ▲ – труба ( $a \times b$ ) – 33x14,5 мм;
- – круглая труба диаметром 24 мм;
- — — — — данные Р. Гилперта;
- · - - - эллиптическая гладкая труба ( $a/b$ ) = 2 [6];
- - - эллиптическая гладкая труба ( $a/b$ ) = 2,5 [6].

Значение полного лобового сопротивления  $C_d$  экранированного круглого цилиндра диаметром 25 мм представлены на рис.4. Здесь же представлены результаты исследований лобового сопро-

тивления поперечно обтекаемых гладких круглых цилиндров, которые в диапазоне чисел Рейнольдса  $Re = 6000-40000$  примерно одинаковы.

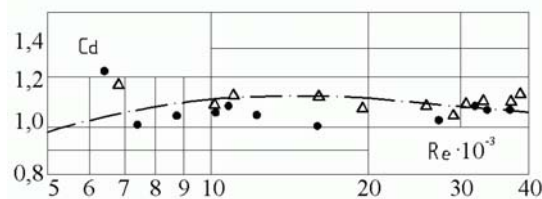


Рис.4. Величина полного лобового сопротивления исследуемых круглых цилиндров диаметром 25 мм при поперечном обтекании

- – гладкий цилиндр;
- ▲ – экранированный цилиндр.

Анализ результатов показывает, что экранирование цилиндров сетками не привело к росту их аэродинамического сопротивления. Это можно объяснить тем, что наличие шероховатости в виде сетки приводит к более раннему переходу пограничного слоя от ламинарного к турбулентному. Вследствие этого несколько снижается сопротивление формы цилиндра (которое составляет не менее 90 % от величины полного сопротивления). Шероховатость приводит к росту сопротивления трения, однако это не приводит к заметному увеличению полного сопротивления.

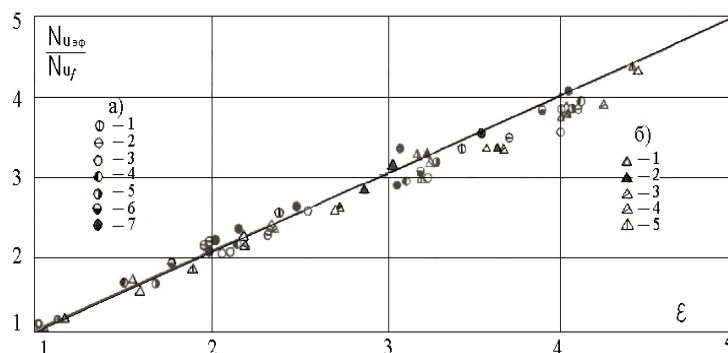
Исследование теплоотдачи цилиндров гладких и экранированных сетками выполнялись также на режимах с конденсацией влаги из газового потока. На рис. 5 представлены опытные данные по эффективной теплоотдаче, учитывающие суммарный эффект переноса теплоты от газовой составляющей и конденсирующегося пара. Они

получены при скорости воздуха 2-16,5 м/с, начальной температуре и влажности, соответственно 45°C и 100%. Эффективная теплоотдача удовлетворительно описывалась выражением

$$Nu_{эф} = Nu_f \left( 1 + r \frac{D_p}{\lambda_f} \cdot \frac{P_f - P_{ct}}{t_f - t_{ct}} \right) = Nu_f \cdot \varepsilon$$

где  $r$  – удельная теплота фазового перехода;  $D_p$  – коэффициент диффузии;  $\lambda_f$  – коэффициент теплопроводности;  $P_f$  и  $P_{ct}$  – парциальные давления водяных паров в ядре потока (при температуре  $t_f$ ) и у стенки (при  $t_{ct}$ );  $\varepsilon$  – коэффициент влаговыделения.

Значения критерия Нуссельта  $Nu_{эф}$  определяются по приведенным ранее зависимостям.



**Рис. 5. Опытные данные по эффективной теплоотдаче экранированных сеткой цилиндров Ø10 мм:**

а) сетка  $d_{пр}=0,4$  мм (2x2,5 мм):  
 1–  $Re_f=1800$ ; 2–  $Re_f=2100$ ; 3–  $Re_f=2900$ ; 4–  $Re_f=4400$ ; 5–  $Re_f=5800$ ; 6–  $Re_f=6800$ ; 7–  $Re_f=10100$ ;  
 б) сетка  $d_{пр}=0,5$  мм (2,35x2,5 мм):  
 1–  $Re_f=1600$ ; 2–  $Re_f=2800$ ; 3–  $Re_f=3500$ ; 4–  $Re_f=5700$ ; 5–  $Re_f=10300$ .

**Выводы.**

1. Нанесение шероховатости в виде металлических сеток на поверхности трубок приводит к существенному росту интенсивности теплоотдачи.
2. На величину интенсивности теплоотдачи оказывают влияние геометрические размеры сеток и режим обтекания цилиндров газовым потоком.
3. Интенсивность теплоотдачи на поверхности труб, экранированных сетками, на режимах с конденсацией влаги из газового потока возрастает пропорционально величине коэффициента влаговываждения по сравнению с величиной интенсивности теплоотдачи без конденсации.
4. Термосифонные теплообменники, перспективные для использования в системах утили-

зации теплоты воздуха и дымовых газов, имеют основную составляющую термического сопротивления теплопередачи со стороны дымовых газов или воздуха. Поэтому при существенном снижении этой составляющей экранированием наружной поверхности испарительных участков термосифонов повышается их эффективность в среднем на 50-60 %. Одновременно снижаются массогабаритные показатели и аэродинамическое сопротивление теплообменников.

5. Экранирование металлическими сетками испарительных и конденсационных участков термосифонов позволяет разрабатывать энергосберегающие теплообменники с термосифонной поверхностью.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Achenbach E. The effect of surface roufness on the heat transfer from circular cylinder to the cross flow of air. Ynt / J. Heat Mass Transfer/ 20, 1977. – P. 359-369.
2. Гордон Р., Ратклиф Д. Сравнение чисел Нуссельта и коэффициентов лобового сопротивления экранированных и гладких цилиндров при поперечном обтекании // Труды американского общества инженеров-механиков, сер. Теплопередача. 1974, № 2. – С. 181-183.
3. Гухман А.А. Физические основы теплопередачи. М. Энергоиздат. 1934. – 316 с.
4. Жукаускас А., Макарявичус В., Шланчаускас А. Теплопередача пучков труб в поперечном потоке жидкости. – М.: Высшая школа, 1974. – 327 с.
5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
6. Ryzkov S.V., Dymo B.V., Yerifanov A.A., Kouznetsov B.G. Prevention of environmental pollution by industrial waste // Proc 5<sup>th</sup> Int. Congress on Marin technology. Athens, Grece 28-31. May, 1990. – P. 124-127.
7. Chang shangmo. Research on convective heat transfer performance of castiron elliptical finned tubes // Paper presented in conference on Heat and mass transfer of cset. Wuhan, China. November, 1984. – P. 120-130 .
8. Dymo B.V., Chang S.M. Intensification of heat output by screening surface with wire screens // Proc. 3-hd Int. symposium on Heat Transfer and s-th Int. symposium on Transport Phenomena. –Beijing. P.R. of China, 3-5 October, 1992. – P. 877-881.

Стаття надійшла до редакції 11.12.2008 р.