

Приведені результати дослідження розподілу тиску на поверхні плоско-овального і круглого циліндрів, а також візуалізація течії. Розглянуті особливості обтікання плоско-овального циліндра. Показані відмінності в обтіканні циліндрів плоско-овального і круглого профілю. Виявлено два відриви пограничного шару від поверхні плоско-овального циліндра

Ключові слова: обтікання, тиск, відрив, пограничний шар, поперечний, циліндр, труба, плоско-овальний, візуалізація

Приведены результаты исследования распределения давления на поверхности плоско-овального и круглого цилиндра, а также визуализации течения. Рассмотрены особенности обтекания плоско-овального цилиндра. Показаны отличия в обтекании цилиндров плоско-овального и круглого профиля. Обнаружено два отрыва пограничного слоя от поверхности плоско-овального цилиндра

Ключевые слова: обтекание, давление, отрыв, пограничный слой, поперечный, цилиндр, труба, плоско-овальный, визуализация

ОБТІКАННЯ ПОДИНОКИХ ЦИЛІНДРІВ В ПОПЕРЕЧНОМУ ПОТОЦІ

О. М. Терех

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

E-mail: teram57@meta.ua

О. В. Семеняко

Асистент*

E-mail: infinitum@lan.com.ua

В. О. Туз

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: valeriy_tuz@list.ru

В. А. Кондратюк

Аспірант*

E-mail: teram57@meta.ua

*Кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна 03056

1. Вступ

В сучасних енергогенеруючих пристроях різного призначення широко поширені поперечно-обтічні циліндричні теплообмінні поверхні. До них можна віднести круглі циліндри (труби), прямокутні, овальні (еліптичні), плоско-овальні, краплеподібні, двокутні (рис. 1) і тіла інших геометричних форм. З перерахованих трубчастих поверхонь найбільш широке поширення в теплообмінних пристроях отримав круглий циліндр. В рекуперативних теплообмінних апаратах можна зустріти труби овального профілю і рідше плоско-овального. Труби плоско-овального перерізу до теперішнього часу мало вивчені, немає надійних залежностей для розрахунку теплообміну та аеродинамічного опору, як поодиноких труб, так і масивів (пакетів) з них. Тому і з практичної і з наукової точки зору дослідження процесів обтікання і тепловіддачі плоско-овальних циліндрів (труб) та їх масивів є актуальним.

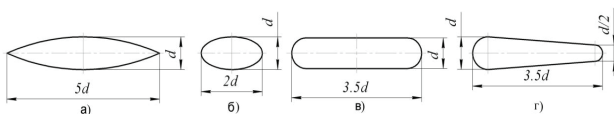


Рис. 1. Складно профільовані циліндри [1]: а) двокутний; б) овальний; в) плоско-овальний; г) краплеподібний

2. Особливості обтікання циліндра

На початковій стадії досліджень було встановлено, що поперечно-обтічний циліндр круглої форми є дуже зручним об'єктом для вирішення низки завдань, оскільки на його поверхні утворюються зони з різними режимами течії в пограничному шарі і в зоні відриву (рис. 2). Тому круглий циліндр в ХХ столітті займав головну роль при вивченні закономірностей гідродинаміки і тепломасообміну при його обтіканні.

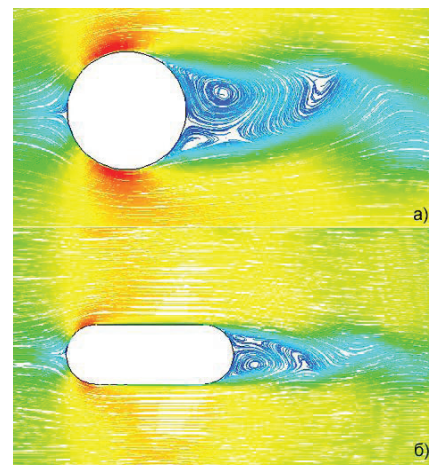


Рис. 2. Обтікання циліндрів [2]: а) кругла форма; б) плоско-овальна форма

З розвитком теорії подібності [3-5] вдосконалювалися і експериментальні методи. Теорія подібності дозволила цілеспрямовано ставити експеримент, з єдиних позицій підходити до узагальнення експериментальних даних, проводити їх аналіз і зіставлення з іншими літературними джерелами, знаходити розрахункові залежності, придатні для широкого практичного використання [6].

Дослідження полів тиску та візуалізація течії при поперечному обтіканні поодиноких труб повітряним потоком здійснювалися на експериментальній установці, яка представляла собою аеродинамічну трубу розіркненого типу прямокутного перетину [7].

Процес обтікання циліндра будь-якої форми поперечного перерізу дуже складний і, як сказано в [6], залежить від багатьох факторів: числа Re , степеня турбулентності набігаючого потоку Tu , висоти циліндра та ін. Ці фактори суттєво впливають на динаміку режимів обтікання, на відрив прикордонного шару, на формування ближнього сліду за циліндром.

Дослідженню впливу цих параметрів присвячено досить велику кількість літературного матеріалу [6, 8-13], але відносяться вони в основному до циліндрів круглої і еліптичної форми. Дані з вивчення обтікання плоско-овальних циліндрів, як вказано вище, практично відсутні.

На рис. 3 наведені дані щодо розподілу коефіцієнтів тиску C_p , отримані експериментальним шляхом для круглого циліндра, діаметром $d = 38$ мм.

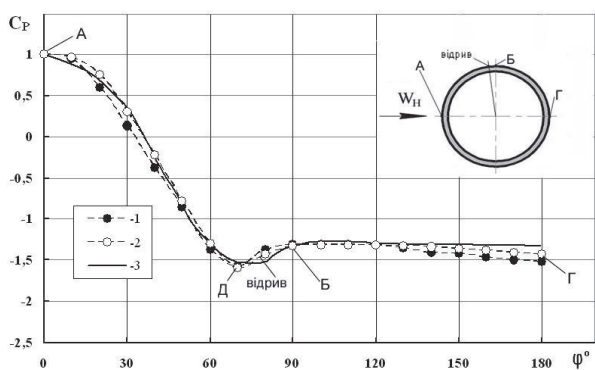


Рис. 3. Залежність розподілу коефіцієнтів тиску C_p на поверхні круглого циліндра від кута: 1 – $Re_d = 5 \cdot 10^4$, $Tu = 4\%$; 2 – $Re_d = 7.2 \cdot 10^4$, $Tu = 4\%$; 3 – $Re_d = 1.8 \cdot 10^4$, $Tu = 6\%$ [13]

Розподіл тиску по поверхні круглого циліндра виконувалося трубкою з напірним датчиком у вигляді отвору діаметром 0.4 мм на середній частині бічної поверхні.

Для визначення тиску по всьому периметру, циліндр повертався навколо осі через кожні 10° . Результати вимірювань коефіцієнтів тиску розраховувалися по формулі

$$C_p = \frac{P_c - P_\infty}{\rho W_\infty^2 / 2}$$

В лобовій точці (А) ($\phi = 0^\circ$) при зустрічі потоку з перешкодою - з поперечно розташованим до по-

току циліндром, швидкість потоку дорівнює нулю. Зі збільшенням кута ϕ потік прискорюється, дотична швидкість зростає і в міделевому перетині в точці (Б) ($\phi = 90^\circ$) вона подвоюється ($W_k = 2W \sin \phi$). На рис. 3 видно, що максимуми коефіцієнтів тиску знаходяться в критичних точках, а мінімуми при куті приблизно 70° в міделевому перетині. Низький тиск в точці (Д) обумовлено відривом пограничного шару і зоною ближнього сліду [6, 10]. При взаємодії сил в'язкості з циліндром на його лобовій поверхні утворюється ламінарний пограничний шар (лінія А-Б) (рис. 3), товщина якого збільшується вниз за течією. Основними параметрами цього шару є Re_d і Tu набігаючого потоку [6, 9, 13]. При збільшенні числа Re_d потік в сліді стає нестійким, вихори починають відриватися від поверхні циліндра. З подальшим збільшенням числа Рейнольдса ($Re_d = 300$) в сліді за циліндром відбувається перехід до турбулентного обтікання в області формування вихорів (лінія Б-Г, рис. 3). В цьому режимі існує тривимірна структура сліду [6, 9]. Така картина в сліді зберігається до критичного режиму обтікання ($Re_d \approx 2 \cdot 10^5$). Відрив пограничного шару від поверхні обумовлений силами тертя, зміною тиску і швидкості. При обтіканні лобової області тиск падає

$$\frac{dP}{dx} < 0, \text{ швидкість зростає і незважаючи на дію сили}$$

тертя рідина продовжує рухатися уздовж поверхні циліндра. Над кормовою частиною циліндра тиск пото-

$$\text{ку збільшується } \frac{dP}{dx} > 0, \text{ а швидкість у напрямку руху}$$

зменшується. Рух рідини поступово сповільнюється і зупиняється, рідина починає рухатися в зворотному напрямку. Частинки рідини в цьому потоці стикаються, і відбувається відрив. Для докритичних чисел Re відрив відбувається при куті $\phi \approx (82^\circ - 83^\circ)$ [9, 13]. Примірне місце відриву ламінарного пограничного шару на кривій можна визначити по точці перегину кривої за областю мінімуму [13].

На рис. 4 наведені дані щодо розподілу коефіцієнта тиску C_p , які отримані експериментальним шляхом для плоско-овального циліндра з відношенням великої і малої осей $d_2/d_1 = 105/38$ мм.

Вимірювання тиску по периметру плоско-овального циліндра проводилося 28-ма трубками з напірними датчиками у вигляді отворів діаметром 0.4 мм, розміщених навколо циліндра з кроком центрального кута $\phi \sim 5^\circ$.

Обтікання лобової частини плоско-овального циліндра нічим не відрізняється від обтікання цієї частини круглого циліндра. Відмінність лише в тому, що відрив пограничного шару відбувається в місці сполучення лобової частини півкола і бічних горизонтальних частин циліндра при куті ($90^\circ - 95^\circ$), або якщо рахувати від центрального кута плоско-овального циліндра на куті $\phi \sim (30^\circ - 32^\circ)$ (точка Б, рис. 4).

На рис. 5 представлена картина обтікання циліндра плоско-овального профілю, для якої, на відміну від круглого циліндра, характерна поява кількох специфічних зон, що виникають внаслідок обтікання сполучених поверхонь різної форми (півколо-площина-півколо).

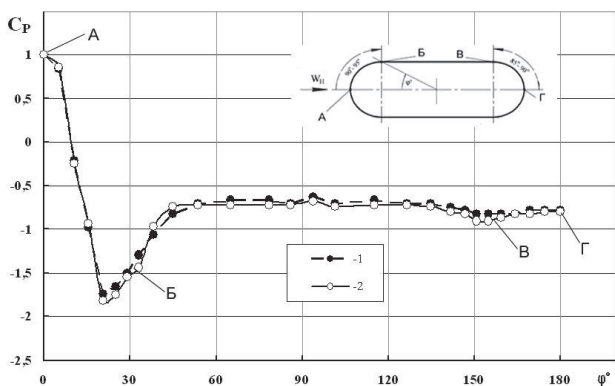


Рис. 4. Залежність розподілу коефіцієнтів тиску C_p на поверхні плоско-овального циліндра від кута: 1 – $Re_{d_1} = 1.75 \cdot 10^4$, $Tu = 4\%$; 2 – $Re_{d_1} = 2.5 \cdot 10^4$, $Tu = 4\%$

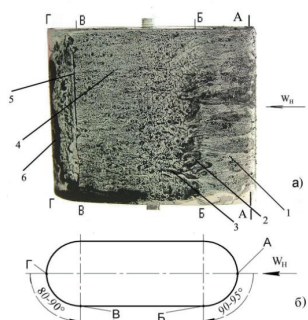


Рис. 5. Візуалізація течії на поверхні плоско-овального циліндра при $Re_{d_1} = 1.5 \cdot 10^4$: а - вид збоку, б - вид зверху: 1 - область формування ламінарного пограничного шару; 2 - лінія первинного відриву пограничного шару; 3 - зона приєднання; 4 - область турбулентної течії в пограничному шарі; 5 - вторинний відрив пограничного шару; 6 - кормова вихорова зона.

Візуалізація течії на поверхні циліндра з поперечним розміром циліндра $d_1=15$ мм, з поздовжнім $d_2=45$ мм проведена за допомогою саже-газової суспензії [14].

В межах області (А-В) відбувається утворення ламінарного пограничного шару. У цій області тиск падає (рис. 4), швидкість зростає. Лінія відриву (2), (Б-Б) явно виражена і являє собою світлу тонку смугу з переходом на темну з утворенням відривного пухиря у вигляді темних плям. Наявність відривного пухиря підтверджується і числовим моделюванням обтікання поодинокого плоско-овального циліндра на рис. 6, 7.

Наступна за ходом потоку зона приєднання (3) в якій відбувається ламінарно-турбулентний перехід, супроводжується досить великими вихровими структурами. В області (4) (область Б-В, рис. 4, 5) до лінії В-В спостерігається турбулентна течія у пограничному шарі. Швидкість потоку і тиск в цій області практично не змінюється (Б-В, рис. 4, 5). По лінії, яка з'єднує плоску і криволінійну частину циліндра при куті ($85^\circ - 90^\circ$), який відраховується від кормової критичної точки (Г), відбувається вторинний відрив турбулентного пограничного шару (5) (лінія В-В, рис. 5) з утворенням кормової вихрової зони, що відображається ділянкою (6) (В-Г, рис. 5). Наявність вторинного відриву

підтверджується розподілом тиску в межах лінії (В-В) невеликим мінімумом на відрізку центрального кута плоско-овального циліндра $\varphi=(150^\circ - 155^\circ)$ на рис. 4, 5. Ширина кормової вихрової зони циліндра залежить від режиму течії в пограничному шарі в точці відриву і величини числа Рейнольдса.

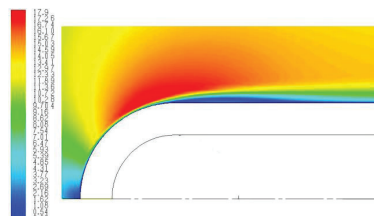


Рис. 6. Поля швидкостей в передній частині плоско-овальної труби: $Re_{d_1} = 2 \cdot 10^4$ (числове моделювання)

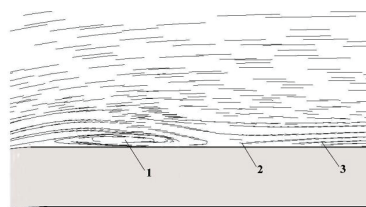


Рис. 7. Лінії току в області відривного пухиря плоско-овального циліндра $Re_{d_1} = 2 \cdot 10^4$ (числове моделювання): 1 - відривний пухирь; 2 - приєднання потоку; 3 - пограничний шар

3. Висновки

1. На поверхні плоско-овального циліндра спостерігається два відриви пограничного шару в місцях сполучення криволінійної і плоскої частини поверхні.
2. На плоских бічних поверхнях плоско-овального циліндра відбувається наростання товщини пограничного шару.
3. Природа обтікання лобової і кормової частин круглого і плоско-овального циліндрів якісно схожі.
4. Розподіл полів тиску по периметру плоско-овального циліндра показав менший опір тиску C_p в порівнянні з циліндром круглого профілю.

Література

1. Антуфьев, В. М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева [Текст] / В. М. Антуфьев – М. Л.: Энергия, 1966. – 184 с.
2. Письменный, Е. Н. Пути совершенствования трубчатых воздухонагревателей ГТУ [Текст] / Е. Н. Письменный // Теплоэнергетика. – 2012. – №6. – С. 67-72.
3. Гухман, А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена [Текст] / А. А. Гухман – М.: Высшая школа, 1974. – 328 с.

4. Кирпичев, М. В. Математические основы теории подобия [Текст] / М. В. Кирпичев, П. К. Конаков – М.-Л.:Изд-во АН СССР, 1949. – 98 с.
5. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена [Текст] / С. С. Кутателадзе. – М.-Л.: Машгиз, 1962. – 456 с.
6. Жукаускас, А. Теплоотдача цилиндра в поперечном потоке жидкости [Текст] / А. Жукаускас, И. Жюгжда. – Вильнюс Мокслас, 1979. – 240 с.
7. Жукова, Ю. В. Аэродинамика и теплообмен плоскоовального цилиндра при вынужденной конвекции [Текст] / Ю. В. Жукова, А. М. Терех, А. В. Семеняко. Труды V Российской Национальной конференции по теплообмену. – 25-29 октября. – г. Москва. – 2010. – Т.2. – С. 126-128.
8. Chang, Paul Separation of Flow. 1st edition [Текст] / Paul K. Chang – Published by Pergamon Press, 1970. – 777 pp.
9. Жукаускас, А. А. Конвективный перенос в теплообменниках [Текст] / А. А. Жукаускас – М.: Наука, 1982. – 472 с.
10. Baker, C. I. The turbulent horseshoe vortex [Текст] / C. I. Baker // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1980. – V. 6. – N 1-2. – P. 9-23.
11. Schlichting, Hermann Boundary Layer Theory. 7th edition [Текст] / Hermann Schlichting (J. Kestin transl.). – McGraw-Hill Book Co., Inc., 1979. – 816 pp.
12. Дыбан, Е. П. Теплообмен цилиндра конечной длины [Текст] / Е. П. Дыбан, Л. Е. Юшина // Промышленная теплотехника. – 1982. – Т.4. - №5. – С.3-8.
13. Дыбан, Е.П. Тепломассообмен и гидродинамика турбулизованных потоков [Текст]/ Е. П. Дыбан, Э.Я. Эпик. – Киев: Наукова думка, 1985. – 296 с.
14. Патент на корисну модель №54180 Україна, МПК G01P5/00. Спосіб візуалізації течії газового потоку [Текст] / Є. М. Письменній, О. І Руденко, О. П. Ніщик, О. М. Терех, О. В. Семеняко; заявник та володар патенту на корисну модель НТУУ "КПІ" – u201006121; заявл. 20.05.2010; опубл. 25.10.2010. Бюл. №20.

Розглянуто статистичні показники організації охорони праці на одній з українських атомних електростанцій. З використанням пакета STATISTICA, контрольних карт дана оцінка якості, встановлені основні причини його зниження. Зроблено висновки про можливості використання в керуванні якістю діяльності служби охорони праці методів і інструментів, традиційно прийнятих в оцінці якості промислових виробництв і їх продукції

Ключові слова: електроенергетика, охорона праці, статистика, керування якістю

Рассмотрены статистические показатели организации охраны труда на одной из украинских атомных электростанций. С использованием пакета STATISTICA, контрольных карт дана оценка качеству, установлены основные причины его снижения. Сделаны выводы о возможности использования в управлении качеством деятельности службы охраны труда методов и инструментов, традиционно принятых в оценке качества промышленных производств и их продукции

Ключевые слова: электроэнергетика, охрана труда, статистика, управление качеством

УДК [621.31+621.311.25]:658.382.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОРГАНИЗАЦИИ ОХРАНЫ ТРУДА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Р. М. Трищ

Доктор технических наук, профессор*

E-mail trich_@ukr.net

М. Б. Смирнитская

Кандидат технических наук, доцент*

Е. Е. Колотова

Заместитель директора по учебно-воспитательной работе

Зуевский энергетический техникум ДонНТУ

ул. Станционная, 1, г. Зугрэс, Донецкая обл., Украина, 86783

*Кафедра охраны труда, стандартизации и сертификации

Украинская инженерно-педагогическая академия
ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003

1. Введение

Производство электрической энергии на современном этапе развития науки и техники — достаточно

сложный процесс, требующий грамотного подхода с целью обеспечения, в первую очередь, безопасности тем, кто обслуживает мощные энергетические установки. В этой связи проведем оценку качества органи-