

Изучен теплообмен при поверхностной конденсации насыщенного водяного пара на горизонтальной трубе с применением средств градиентной теплотометрии и термометрии. Подтверждена высокая информативность, точность и применимость ГДТП в качестве первичного преобразователя для систем мониторинга состояния теплообменного оборудования ТЭС и АЭС. Результаты исследования позволили выявить область снижения местной ПТП, вызванную скоплением конденсата, без применения визуализации, что позволяет определить эффективные и экономичные методы интенсификации теплообмена при конденсации.

Литература

1. Шарифуллин В. Н. Оценка величины коррозии в пароконденсатных теплообменниках / В. Н. Шарифуллин, А. В. Шарифуллин, А. Я. Латыпова // Известия вузов. Проблемы энергетика. – 2013. – № 1–2.
2. Разработка и апробация элементов системы мониторинга состояния и диагностики конденсатора паровой турбины / С. И. Хаев, К. Э. Аронсон, Ю. М. Бродов, А. Г. Шемпелев // Теплоэнергетика. – 2003. – № 7. – С. 67–69.
3. Шарифуллин В. Н. Алгоритмы диагностики неполадок теплообменных аппаратов паротурбинных установок / В. Н. Шарифуллин, А. В. Шарифуллин, И. Ф. Гатауллин // Вестник КГЭУ. – 2012. – № 1 (12).
4. Исследование пульсаций местной плотности теплового потока при конденсации на трубе с гидрофобным покрытием / Ю. А. Кузма-Кичта, А. В. Лавриков, Н. С. Иванов, Д. В. Горбачев // Тепловые процессы в технике. – 2023. – Т. 15, № 9. – С. 402–409.
5. Sapozhnikov S. Z. Gradient heatmetry advances / S. Z. Sapozhnikov, V. Y. Mityakov, A. V. Mityakov [et al.] // Energies. – 2020. – Vol. 13, N 23. – P. 6194.

УДК 536.24

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИЛИНДРА С ПОМОЩЬЮ СТЕРЖНЕЙ-ТУРБУЛИЗАТОРОВ

С. А. Князев, В. В. Сероштанов

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Российская Федерация*

Исследовано влияние стержней-турбулизаторов на течение и теплообмен одиночного цилиндра кругового сечения. Два стержня располагались вдоль образующей цилиндра и симметрично разносились относительно лобовой точки на угол ψ . Методом градиентной теплотометрии получены распределения местного коэффициента теплоотдачи на поверхности цилиндра в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 4800–30000$. С помощью цифровой трассерной визуализации (PIV) определены компоненты скорости вблизи цилиндра с турбулизаторами в следе за ним. Показано влияние диаметра турбулизаторов и угла ψ на структуру течения в следе за цилиндром, коэффициент сопротивления и среднее по поверхности число Нуссельта.

Ключевые слова: градиентная теплотометрия, обтекание цилиндра, местное число Нуссельта, интенсификация теплообмена.

THERMAL EFFICIENCY UPGRADING OF CYLINDER WITH TURBULATOR-RODS

S. A. Knyazev, V. V. Seroshtanov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russian Federation

The impact of turbulator-rods on the flow and heat transfer at a single circular cylinder has been investigated. The two rods on the cylinder's generator were placed and mounted symmetrically.

cally with respect to the front point at an angle ψ . distribution of local heat transfer coefficient on the surface of the cylinder in the range of Reynolds numbers $Re = 4800\text{--}30000$ were obtained by the gradient heatmetry. Particle Image Velocimetry (PIV) was used to determine the velocity components near a turbulator-rods-equipped cylinder and following it. Shown influence of the turbulator-rods diameter and angle ψ on the flow structure in the cylinder's wash, drag coefficient and surface-averaged Nusselt number.

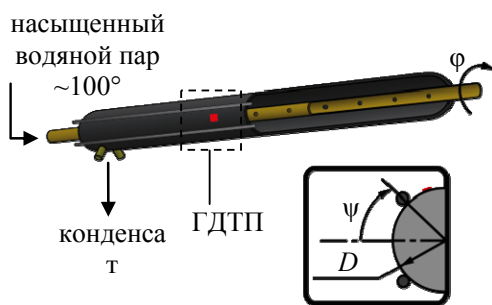
Keywords: gradient heatmetry, flow-around cylinder, local Nusselt number, heat transfer enhancement.

Повышение эффективности теплообменников способствует развитию исследований по интенсификации теплообмена, в том числе с помощью поверхностных интенсификаторов [1]. Управление потоком вблизи и на теплопередающих поверхностях позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи (КТО) и снизить гидравлическое сопротивление.

В работе экспериментально исследовано влияние стержней-турбулизаторов на течение и теплообмен вблизи одиночного цилиндра с применением PIV и градиентной теплотметрии. Результаты исследования позволяют управлять потоком вблизи цилиндра за счет изменения структуры течения в пограничном слое и смещения точки его отрыва. Исследования проводились в диапазоне чисел Рейнольдса Re от 4,8 до $30 \cdot 10^3$ в аэродинамической трубе Научно-образовательного центра «Теплофизика в энергетике» СПбПУ [1]. Аэродинамическая труба замкнутого типа оснащена системой охлаждения набегающего на обогреваемую модель воздушного потока, что позволяет поддерживать его температуру практически постоянной ($20 \pm 0,2$ °C) в течение длительных опытов.

Экспериментальная модель – полый круговой цилиндр диаметром 66 мм, выполненный из листа стали толщиной 0,1 мм. Цилиндр имеет три патрубка, в один из которых осуществляется непрерывная подача пара парогенератором мощностью 4,2 кВт, в двух других патрубках обеспечивается отвод конденсата и излишков поступающего пара.

Исследуемый цилиндр мог проворачиваться вокруг своей оси на углы $\varphi = 0\text{--}180^\circ$ с шагом измерения 10° . Для определения плотности теплового потока на поверхность цилиндра устанавливался градиентный датчик теплового потока (ГДТП) (рис. 1, а).



а)



б)

Рис. 1. Схема (а) и фото (б) исследуемой модели со стержнями-турбулизаторами

Батарейный ГДТП выполнен из монокристаллического висмута размерами в плане 2×2 мм и толщиной 0,2 мм. Чувствительность датчика составляет 4,7 мВ/Вт [2].

Два стержня-турбулизатора устанавливаются вплотную к образующим цилиндра. Для жесткого крепления стержней была изготовлена специальная рамка (рис. 1, б). Длина цилиндра составляет 600 мм, вследствие чего влияние концевых эффектов на поток воздуха не учитывалось. В работе использованы два набора стержней диаметром 1,6 и 3,2 мм, которые устанавливались симметрично на угол $\psi = 15\text{--}90^\circ$ (рис. 1, б).

Для определения теплогидравлической эффективности предлагаемого метода помимо параметров теплообмена необходимо определить гидравлическое сопротивление. В работе использован метод [3], где для определения сопротивления, действующего на круглый цилиндр, применяется формула

$$C_D = 2 \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{U}{U_1} \left(\frac{U_1 - U}{U_1} \right) + \left(\frac{\overline{v^2} - \overline{u^2}}{U_1^2} \right) \right] d \left(\frac{y}{d} \right),$$

где U – продольная составляющая скорости потока за телом; U_1 – скорость невозмущенного потока; u и v – продольные и поперечные среднеквадратичные отклонения (СКО) составляющих скорости; d – диаметр цилиндра [3]. Необходимые компоненты скорости получены по результатам PIV.

В результате комплексного исследования рассчитана теплогидравлическая эффективность системы цилиндр-турбулизаторы:

$$\xi = \frac{\text{Nu}/\text{Nu}_0}{C_x/C_{x0}},$$

где индекс «0» – результаты, полученные для гладкого цилиндра.

На рис. 2 представлено распределение ξ для рассматриваемых диапазонов режимов течения и углов установки ψ . Наибольшее увеличение теплогидравлической эффективности получено для стержней-турбулизаторов меньшего диаметра ($d = 1,6$ мм), причем существенное повышение эффективности наблюдается при углах $\psi = 15^\circ$ и $\psi = 90^\circ$. Стержни большего диаметра ($d = 3,2$ мм) практически не оказывают влияния на величину ξ , и более того, снижают ее в диапазоне углов $\psi = 45\text{--}70^\circ$.

Угол установки стержней-турбулизаторов по-разному влияет на течение и теплообмен: минимальный коэффициент сопротивления наблюдается при установке стержней-турбулизаторов меньшего диаметра на угол $\psi = 90^\circ$. «Тонкий» турбулизатор позволяет снизить сопротивления для всех исследуемых углов, тогда как стержень диаметром $d = 3,2$ мм повышает сопротивление при его расположении на углу $\psi = 60^\circ$.

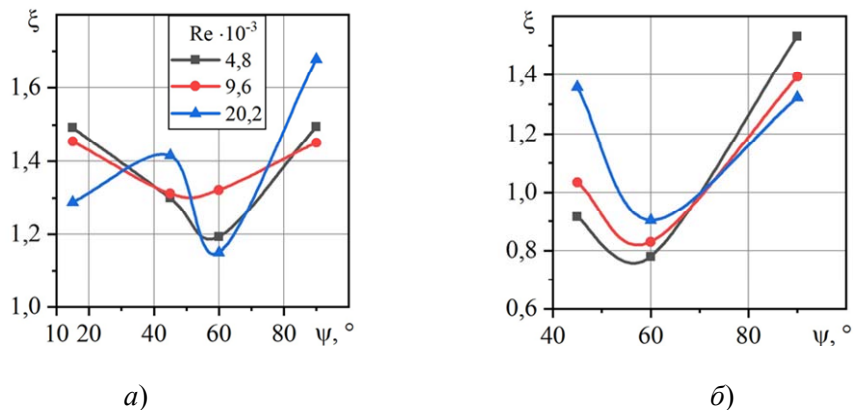


Рис. 2. Зависимость теплогидравлической эффективности от углового положения стержней-турбулизаторов:
а – $d = 1,6$ мм; б – $d = 3,2$ мм

С точки зрения интенсификации теплообмена наиболее эффективным оказался угол установки $\psi = 15^\circ$, причем для стержней обоих диаметров. Меньшее влияние на осредненный по поверхности КТО наблюдается при углах $\psi = 60^\circ$ и 90° , однако тонкий стержень эффективен в более широком диапазоне углов ψ .

Угол установки стержней-турбулизаторов по-разному влияет на течение и теплообмен: эффективные режимы и конфигурации системы для максимально интенсивного теплообмена не совпадают с таковыми для снижения аэродинамического сопротивления. Стержень диаметром 1,6 мм позволяет повысить теплогидравлическую эффективность во всем рассматриваемом диапазоне углов ψ , тогда как стержень диаметром 3,2 мм снижает теплогидравлическую эффективность в диапазоне углов $\psi = 50\text{--}70^\circ$.

Литература

1. Интенсификация теплообмена в одиночной овально-траншейной лунке на пластине при изменении угла наклона от 0 до 90° / М. Д. Селезнева, С. А. Князев, А. А. Ключ, В. В. Сероштанов // *Аэрокосмическая техника и технологии*. – 2023. – Т. 1, № 4. – С. 30–41.
2. Теплообмен в паре круговых цилиндров при их рядном и шахматном расположении / В. А. Маслов, М. Д. Селезнева, С. А. Князев, В. В. Яковлева // *Бутаковские чтения : сб. ст. II Всерос. междунар. конф. с участием молодых ученых, Томск, 13–15 дек. 2022 г. / Нац. исслед. Том. политехн. ун-т. – Томск, 2022. – С. 202–205.*
3. Antonia R. A. Determination of drag of a circular cylinder / R. A. Antonia, S. Rajagopalan // *AIAA Journal*. – 1990. – N 28(10). – P. 1833–1834.

УДК 621.3.052.3

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ В РАСЧЕТАХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЧАСТНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Ю. А. Рудченко, Д. И. Зализный, Д. В. Сучков, В. А. Кусенкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены особенности моделирования электрических нагрузок потребителей частного жилого фонда при выполнении расчетов режимов работы электрических сетей на-