

УДК 536.24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ТАНДЕМЕ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРОВ

В. А. Маслов, М. Д. Селезнёва

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», Российская Федерация

Проведено исследование теплообмена в тандеме цилиндров методом градиентной теплометрии, получены распределения местных чисел Нуссельта по поверхности цилиндра, установленного ниже по потоку. Выявлено, что средний по поверхности коэффициент теплоотдачи в системе с шахматным расположением цилиндров выше, чем при рядном расположении.

Ключевые слова: градиентная теплометрия, обтекание цилиндров, градиентный датчик теплового потока, число Нуссельта.

EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT TRANSFER IN TANDEM CIRCULAR CYLINDERS

V. A. Maslov, M. D. Selezneva

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russian Federation

A study of heat transfer in tandem cylinders by gradient heatmetry was carried out. The local Nusselt numbers over the surface of the cylinder installed downstream was obtained. It is detected that the surface-averaged heat transfer coefficient in a system with a staggered arrangement of cylinders is higher than with an in-line arrangement.

Keywords: gradient heatmetry, cylinder, flowing around cylinders, gradient heat flux sensor, Nusselt number.

На сегодняшний день исследования течения и теплообмена актуальны при создании новых и совершенствовании существующих теплообменных аппаратов, используемых в различных отраслях промышленности. Оптимизации процессов течения и теплообмена на цилиндрических поверхностях позволяет снизить металлоемкость, увеличивая при этом их производительность. Для решения таких задач предлагается методика, основанная на прямом измерении теплового потока с помощью градиентной теплометрии, успешно развивающейся в Научно-образовательном центре «Теплофизика в энергетике» СПбПУ [1], где созданы, апробированы и внедрены в натурный эксперимент быстродействующие градиентные датчики теплового потока (ГДТП) [2]. Вопросами течения и теплообмена на поверхности цилиндров занимаются давно, а количество работ, посвященных подобным исследованиям, достигает сотен. Обычно исследуют модели различного сечения, влияние на картину течения и теплообмена взаимного расположения цилиндров, зависимость средних и местных коэффициентов теплоотдачи (КТО) от режима течения, влияние активных и пассивных методов интенсификации и т. д. В последнее время такие исследования в большей степени выполняются с помощью численного моделирования.

В работе представлено экспериментальное исследование течения и теплообмена в тандеме круговых цилиндров для двух случаев их взаимного положения: в ряд один за другим (как часть трубного пучка с коридорным расположением труб) и со смещением (как часть трубного пучка с шахматным расположением труб). Целью работы стало определение теплового потока и коэффициента теплоотдачи на по-

Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика 71

верхности второго цилиндра и связь параметров теплообмена с особенностями отрывного течения вблизи теплообменной поверхности.

Исследования проводились в лаборатории аэродинамики и теплообмена в рабочей зоне дозвуковой аэродинамической трубы, разработанной, изготовленной и используемой в НОЦ «Теплофизика в энергетике». Параметры и конструктивные особенности трубы подробно описаны в работе [3]. В рабочую зону трубы помещалась модель – два цилиндра кругового сечения. Исследуемые цилиндры – полые диаметром 66 мм и длиной 600 мм обогревались насыщенным водяным паром при атмосферном давлении (рис. 1).

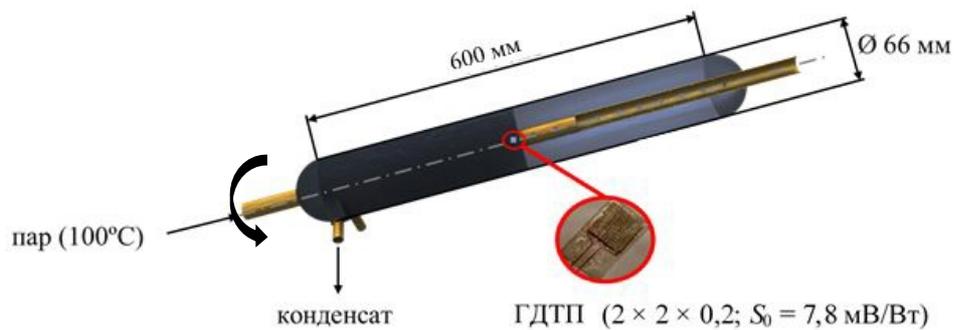


Рис. 1. Модель цилиндра с установленным гетерогенным градиентным датчиком теплового потока

На наружной поверхности нижнего по потоку цилиндра (рис. 2) монтировался градиентный датчик теплового потока, выполненный на основе монокристаллического висмута. Датчик имеет размеры в плане 2×2 мм и толщину 0,2 мм. Вольт-ваттная чувствительность ГДТП составляет 7,8 мВ/Вт. Исследуемый цилиндр мог проворачиваться вокруг оси на угол $\varphi = 0-180^\circ$, что позволило получить распределение регистрируемой ГДТП плотности теплового потока от угла поворота. Кроме того, в эксперименте измерялась температура набегающего потока (для расчета КТО) и варьировалась скорость набегающего потока W . Экспериментальная установка позволяет перемещаться по вертикали второму цилиндру на расстояние от $\pm 0,5$ калибров d .



Рис. 2. Экспериментальная модель в аэродинамической трубе

В результате исследования получены кривые распределения местного числа Нуссельта на втором цилиндре для различных режимов при фиксированном расстоянии между ближайшими точками цилиндров вглубь ряда, равного $0,5d$, и с разным расстоянием по вертикали h . На рис. 3 совмещены кривые для двух режимов. Кривая при $h = 0,5d$ получена для верхней полуповерхности цилиндра (рис. 2).

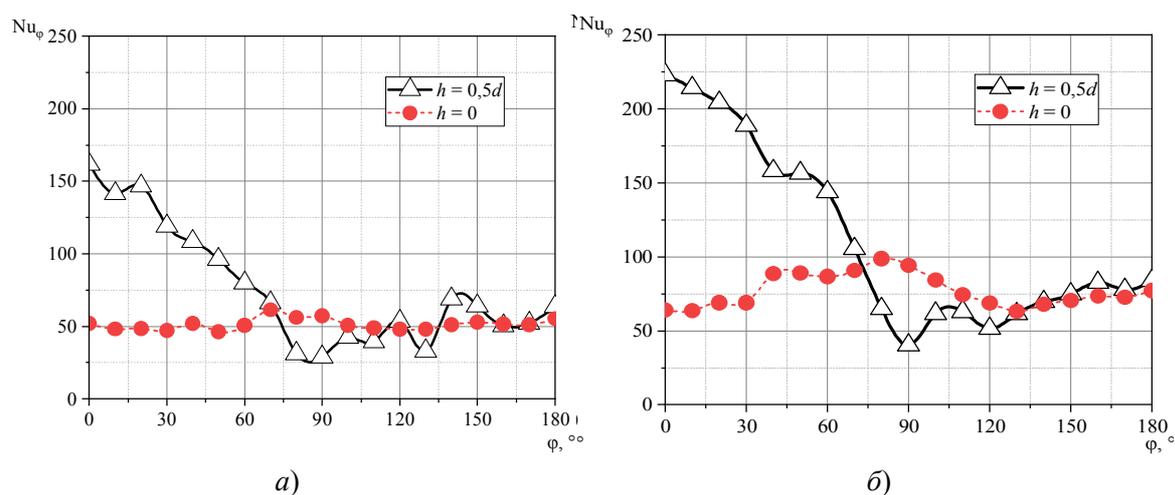


Рис. 3. Распределение местного числа Нуссельта по второму цилиндру:
 а – $Re = 4800$; б – $Re = 9600$

Заметны значительные отличия в распределении местного КТО: оно зависит и от параметра h , и от режима течения (числа Рейнольдса). В случае рядного расположения для второго цилиндра отсутствует явный минимум, тогда как при шахматном расположении для верхней полуповерхности распределение качественно совпадает с распределением КТО по одиночному поперечно обтекаемому цилиндру. Повышение КТО вблизи лобовой точки второго цилиндра можно объяснить тем, что в этой области второй цилиндр в шахматном расположении взаимодействует с вихрем, сошедшим с впереди стоящего цилиндра. В случае рядного расположения – напротив: лобовая часть цилиндра расположена в застойной зоне вихревой дорожки. При угле $\phi > 120^\circ$ различия между шахматным и рядным расположением выражены слабее, особенно при высоких скоростях набегающего потока.

Исследован теплообмен в тандеме цилиндров с различной конфигурацией: рядным и шахматным расположением. Установлено повышение местного числа Нуссельта вблизи лобовой точки для системы с шахматным расположением цилиндров.

Литература

1. Измерение локальной плотности теплового потока методом градиентной теплотометрии в топке котла ДКВр-10/13 / А. В. Бикмулин [и др.] // Развивая энергетическую повестку будущего : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК, Санкт-Петербург, 2021 г. – СПб., 2021. – С. 115–118.
2. Градиентная теплотометрия в исследовании конденсации водяного пара на внешней поверхности вертикальной и наклонной трубы / Э. Р. Зайнуллина [и др.] // Тр. седьмой Рос. нац. конф. по теплообмену, Москва, 22–26 окт. 2018 г. : в 3 т. – М., 2018. – С. 60–63.
3. Исследование течения и теплообмена у поверхности одиночного кольцевого ребра /

В. Ю. Митяков [и др.] // Вестн. Рыбин. гос. авиац. технол. акад. им. П. А. Соловьева. – 2018. – № 1 (44). – С. 14–21.

УДК 621.311.22:697.34:005.93

ОЦЕНКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ БЕЛАРУСИ

В. Н. Романюк, А. А. Бобич

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Впервые на базе эксергетического метода и соответствующего эксергетического КПД проведена оценка термодинамической эффективности работы как для всей Белорусской энергосистемы в целом, так и для конденсационных электростанций в отдельности, за достаточно протяженный период с 2000 по 2021 г. за разные характерные периоды времени. Рассмотрена динамика изменения количественной оценки термодинамической эффективности энергосистемы Беларуси как за последние двадцать лет, так и за годовой, отопительный и межотопительный периоды 2021 г. Показаны изменения упомянутых показателей, связанные с вводом в строй Белорусской АЭС. Сделан вывод о целесообразности рассмотрения работ по дальнейшей реконструкции энергоисточников энергосистемы с целью достижения относительного веса природного газа в приходной части энергобаланса до значений не выше 50 % путем повышения ее термодинамической эффективности, снизившихся с вводом в строй Белорусской АЭС.

Ключевые слова: энергосистема Беларуси, термодинамическая эффективность, эксергетический КПД, Белорусская АЭС.

THERMODYNAMIC EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF THE BELARUSIAN POWER SYSTEM

V. N. Romaniuk, A. A. Bobich

Belarusian national technical university, Minsk

This paper shows novel thermodynamic effectiveness assessment based on exergy method and exergy efficiency of the Belarussian power grid as well as separate condensing power plants from 2000 till 2021. Quantitative evaluation of trends in Belarussian power grid thermodynamic effectiveness over last 20 years as well as for last year and heating and non-heating seasons are given. The changes in the mentioned indicators with the commissioning of the Belarussian NPP are shown. It is concluded that future work on power sources modernization within the power system is reasonable and the aim is to lower natural gas consumption to 50% of all primary energy sources and to improve the power system thermodynamic efficiency, that had a light decrease with Belarussian NPP commissioning.

Keywords: of the Belarussian power system; thermodynamic effectiveness, exergy efficiency; Belarussian NPP.

Энергетическую эффективность теплоэнергетических систем в подавляющем большинстве случаев принято оценивать по удельным расходам условного топлива на производство преобразованных энергопотоков: электрической и тепловой энергии. Упомянутые показатели традиционны и достаточно удобны для энергетических систем с однородным оборудованием в случаях, когда в качестве первичного энергоресурса используется только органическое топливо. Если же в системе используются источники раздельной генерации электрической и тепловой энергии, а также используются источники комбинированного производства преобразованных энерго-