

ИЗМЕРЕНИЕ ЛОКАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ КРУГЛОГО ЦИЛИНДРА В КАНАЛЕ

Аннотация: В представленной статье исследованы распределение теплоотдачи по поверхности круглого цилиндра имеет две разновидности. В первом случае, когда $q < 0,6$ после минимума коэффициент теплоотдачи постепенно растет и $\theta = 180^\circ$ достигает максимального значения. При больших загромождениях, когда $q > 0,7$ максимум теплоотдачи смещается от передней критической точки в сторону миделевого сечения, что согласуется с результатами теоретических расчетов.

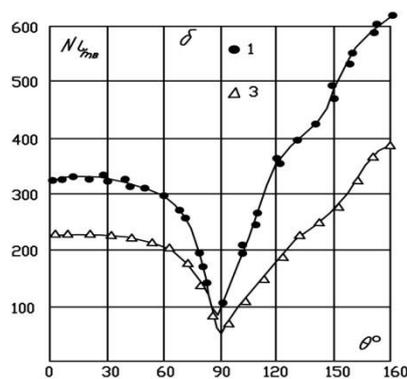
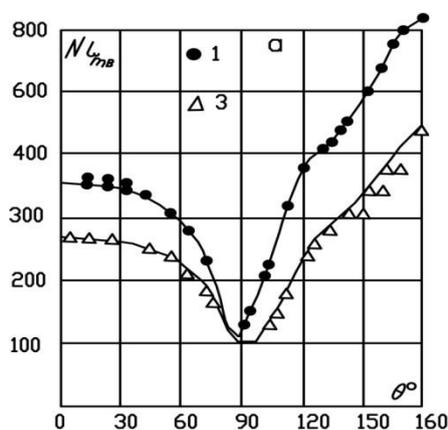
Ключевые слова: теплоотдача, круглый цилиндр, ламинарное течение, турбулентное течение.

Введение

Местное значение коэффициента теплоотдачи круглого цилиндра в канале измерено при обтекании его потоком воздуха в области $10^4 < Re < 1,5 \cdot 10^5$ и $0 < q < 0,9$. Полученные результаты, при обтекании круглого цилиндра в безграничном потоке показали хорошее совпадение с имеющимися литературными данными. Опыт проводился при различных загромождениях с изменением числа Re с многократными повторениями, которые показали совпадение результатов ($q = const$ и $Re = const$).

Некоторые результаты распределения локального значения коэффициента теплоотдачи по поверхности при различных загромождениях и значениях Re приведены на рисунке 1. На рисунке 1 представлено распределение местной теплоотдачи в зависимости от загромождения при $Re \sim 5 \cdot 10^4$. Необходимо отметить, что на этих рисунках приведена только часть результатов опытов, где наиболее отчетливо видны качественные в распределении теплоотдачи по поверхности цилиндра.

По данным рисункам 1 можно проследить основные закономерности изменения распределения местной теплоотдачи с ростом степени загромождения. При малой степени загромождения так же, как и при обтекании, безграничным потоком, в передней критической точке имеет место максимум теплоотдачи.



а) $q=0,385 Re_m \cdot 10^{-3}$ значения: ● 1-125, ▲ 3-71,5
б) $q=0,517 Re_m \cdot 10^{-3}$ значения: ● 1-97,8, ▲ 3-48,7

Рисунок 1. Распределение местной теплоотдачи на поверхности цилиндра ($\theta = 57,8$), обтекаемого потоком воздуха в канале.

Значение коэффициента теплоотдачи монотонно растет от точки отрыва до задней критической точки при $q < 0,6$ и значениях числа Re $2 \cdot 10^4 < Re_m < 1,2 \cdot 10^5$. С увеличением загромождения коэффициент теплоотдачи на передней половине цилиндра растет,

причем при удалении от передней критической точки быстрее, чем, вблизи нее. Точка отрыва пограничного слоя и следовательно, минимум теплоотдачи смещается в сторону больших углов θ . Однако, рисунке 1 не дает ясного представления о ходе изменения теплоотдачи в кормовой зоне с ростом загромождения, поскольку для этой области зависимость числа Nu от числа Re иная, чем для передней части цилиндра.

Как видно из рисунка, распределение теплоотдачи по поверхности круглого цилиндра имеет две разновидности. В первом случае, когда $q < 0,6$ после минимума коэффициент теплоотдачи постепенно растет и $\theta = 180^\circ$ достигает максимального значения. Во втором случае наблюдается иная картина, $q > 0,6$ в кормовой зоне цилиндра происходит качественное изменение в распределении коэффициента теплоотдачи. За точкой первого минимума теплоотдачи появляется второй минимум в области значений

$\theta = 115 / 130^\circ$ при обтекании потоком воздуха и в области. Коэффициент теплоотдачи за вторым минимумом с увеличением числа Re растет значительно быстрее, чем в остальной части поверхности. Благодаря этому, второй минимум теплоотдачи с ростом числа Рейнольдса, постепенно сглаживаясь, исчезает.

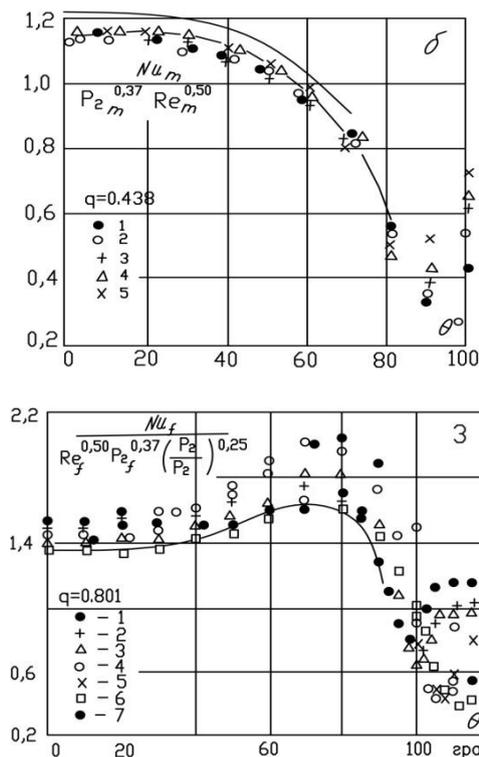
Опыты, проведенные при кризисном режиме обтекания, дали подобную картину распределения теплоотдачи. Однако в этом случае наличие двух минимумов теплоотдачи обусловлена другими причинами. Первое из них соответствует точке турбулизации пограничного слоя, а второе его отрыву от поверхности тела. При кризисном режиме, в области перехода пограничного слоя из ламинарного в турбулентное появляется резко выраженный максимум теплоотдачи.

Таким образом, общий анализ картины распределения локального значения теплоотдачи вдоль контура круглого цилиндра показал наличие качественного изменения, происходящего с изменением загромождения потока и числа Рейнольдса, связанного с появлением второго минимума теплоотдачи. Объяснение будет дано ниже.

При больших загромождениях, когда $q > 0,7$ максимум теплоотдачи смещается от

передней критической точки в сторону среднего сечения, что согласуется с результатами теоретических расчетов. Данное смещение имеет место при всех значениях исследуемой нами области чисел Re и особенно сильно выражено при больших значениях Re .

На рисунке 2 приведено распределение коэффициентов теплоотдачи на передней половине цилиндра для различных значений числа Рейнольдса и загромождения потока.



$Re_m \cdot 10^{-3}$ 1-25,3; 2-52,1; 3-74,5; 4-960; 5-129,6.
 Re_f 1-9920; 2-7550; 3-2900; 4-790; 5-470; 6-100

Рисунок 2. – Распределение местного коэффициента теплоотдачи на передней половине цилиндра для различных величин загромождения.

В нем приведены расчетные кривые по методу Мерка с использованием опытных данных распределения скорости и по методу-Спарроу и Мерка с использованием распределения скорости и по Борисенко. Как видно из рисунка, местное число Нуссельта при всех измерениях значениях числа Рейнольдса и загромождений пропорционально величине $Re_m^{1/2}$, что указывает на существование ламинарного пограничного слоя. Разброс экспериментальных точек на всех графиках не превышает $\pm 2\%$ за исключением

данных по капельной жидкости. Некоторое систематическое завышение опытных данных объясняется тем, что числа Рейнольдса рассчитывались по средней расходной скорости жидкости в канале, в то время как теплоотдача на передней половине цилиндра определяется в основном скоростью на оси канала, а ее значение особенно при малых числах Re , значительно превышает среднюю скорость.

В результате сравнения расчетов с экспериментальными данными установлено, что расчет по методу Спарроу для всей передней части цилиндра дает результаты, завышенные на 5-7%; кривые рассчитанные по методу Мерка с использованием экспериментального распределения скорости, хорошо согласуются с опытными данными вплоть до точки отрыва пограничного слоя. Поскольку с ростом загромождения распределение скорости на передней половине цилиндра становится очень близок к теоретическому при $q > 0,6$, расчет по методу Мерка на основе теоретического распределения скорости также дает удовлетворительные результаты.

Местное число Нуссельта для передней критической точки хорошо описывается эмпирической формулой, полученной в результате эксперимента:

$$Nu_{m\theta} = 1,085(1+0,695q^2)^{1/2} Re_m^{1/2} Pr_m^{3,37} \quad (1)$$

$q = 0$ точно совпадает с формулой Лепперта, найденной с использованием опытного распределения скорости на поверхности цилиндра.

В результате чего появились двучленные формулы, учитывающие эту зависимость в отдельности. Оказывается такая закономерность подтверждается и при загромождения потока. Влияние загромождения на теплоотдачу показало, что оно сказывается по-разному для передней и кормовой области цилиндра.

По данным наших опытов были вычислены средние значения числа Нуссельта Nu_{m1} для передней половины цилиндра и значение Nu_{m2} для кормовой области.

$$Nu_{m1} = 0,0840(1+1,30q^3) Re_m^{0,50} Pr_m^{0,37} \quad (2)$$

Данная формула справедлива для значений $0 < q < 0,9$ и $10 < Re_m < 2 \cdot 10^5$,

пока пограничный слой на передней половине цилиндра остается ламинарным.

Связь среднего числа Нуссельта Nu_{m2} для кормовой области цилиндра с числом Рейнольдса описывается выражением:

$$Nu_{m2} = c(q) Re_m^{0,7} Pr_m^{0,37} \quad (3)$$

Зависимость коэффициента $c(q)$ в формуле (3) от степенизагромождения. При строго периодических срывах вихрей с поверхности цилиндра или при $q \leq 0,6$

зависимость $c(q)$ можно представить соотношением

$$c(q) = 0,086(1+1,44q) \quad (4)$$

При отсутствии периодических срывов вихрей в области $0 \leq q \leq 0,9$ эту зависимость можно представить в виде

$$c(q) = 0,064(1+2,55q^2) \quad (5)$$

Расхождение экспериментальных данных и эмпирических формул не превышает $\pm 5\%$. Следовательно, теплоотдачу от кормовой области круглого цилиндра можно подсчитать по следующим формулам:

$$Nu_{m2} = 0,086(1+1,44q) Re_m^{0,7} Pr_m^{0,37}$$

для значений $q \leq 0,6$ (при наличии периодических колебаний)

$$Nu_{m2} = 0,064(1+2,55q^2) Re_m^{0,7} Pr_m^{0,37}$$

для значений $0 < q < 0,9$ при отсутствии периодических срывов вихрей с поверхности тела. Таким образом, среднее по всей поверхности число Нуссельта определяется выражениями:

$$Nu_m / Pr_m^{0,37} = 0,42(1+1,3q^3) Re_m^{0,5} + 0,043(1+1,44q) Re_m^{0,7} \quad (6)$$

для значений $q < 0,6$ (для $q = 0$ выражение справедливо, если имеют место периодические срывы вихрей с поверхности цилиндра)

$$Nu_m / Pr_m^{0,37} = 0,42(1+1,3q^3) Re_m^{0,5} + 0,032(1+2,55q^2) Re_m^{0,7} \quad (7)$$

для значений $0 < q < 0,9$ при отсутствии периодических срывов с поверхности круглого цилиндра.

Обе формулы справедливы для значений числа Рейнольдса $10^3 < Re < 2 \cdot 10^5$. Если физические параметры отнести к средней температуре потока, то при $Pr_f, 0,703$ формулы (6 и 7) преобразуется к виду:

$$Nu_f = 0,387(1+1,3q^3) Re_f^{0,5} + 0,0386(1+1,44q) Re_f^{0,7} \quad (8)$$

и

$$Nu_f = 0,387(1+1,3q^3) Re_f^{0,5} + 0,0288(1+2,55q^2) Re_f^{0,7} \quad (9)$$

Как видно из выражений (8) и (9) учет влияния загромождения различен для передней и кормовой областей цилиндра. Для передней половины цилиндра влияние загромождения учитывается произведением числа Рейнольдса на множитель $(1+1,30q^3)$, для кормовой области при существовании периодических срывов вихрей таким множителем является $(1+1,44q)^{1,40}$ при отсутствии срывов $(1+2,55q^2)^{1,40}$.

Таким образом, чтобы учесть влияние степени загромождения на теплоотдачу, достаточно ввести поправку на среднюю скорость в канале для передней области цилиндра:

$$u^* = (1+1,3q^3)^2 u_\infty, \quad (10)$$

для кормовой области цилиндра при периодических срывах вихрей с поверхности тела:

$$u^* = (1+1,44q)^{1,4} u_\infty, \quad (11)$$

для кормовой области цилиндра при отсутствии периодических срывов вихрей с поверхности тела:

$$u^* = (1+2,55q^2)^{1,4} u_\infty. \quad (12)$$

Зависимость поправок к средней скорости потока от величины загромождения, рассчитаны по формулам (11) и (12).

Список литературы

- 1 Абрамович Г.Н. Турбулентные струи в потоке жидкости. /Труды совещания по прикладной газовой динамике // Изд. АН КазССР.- Алма-Ата.-1959. стр.25-31.
- 2 Вулис Л.А. О турбулентном следе за телом. /Ученые записки казахского государственного университета им. С.М. Кирова. (Серии физико – математическая). //Т.23, ммп.4. Алма – Ата. - стр.17-33.
- 3 Исатаев С.И – О турбулентном следе за плохо обтекаемым телом. /Труды совещания по прикладной газовой динамике. //Изд. АН КазССР.- Алма – Ата.-1959.- стр.19-32.

Принято к печати 22.02.2016

М.С. Исатаев, Ж.Г. Шалбаева

Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби

Казахстан, г. Алматы

muhtar.Isataev@kaznu.kz

ИЗМЕРЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ КРУГЛОГО ЦИЛИНДРА В КАНАЛЕ

Аннотация: В представленной статье исследованы распределение теплоотдачи по поверхности круглого цилиндра имеет две разновидности. В первом случае, когда $q < 0,6$ после минимума коэффициент теплоотдачи постепенно растет и $\theta = 180^\circ$ достигает максимального значения. При больших загромождениях, когда $q > 0,7$ максимум теплоотдачи смещается от передней критической точки в сторону миделевого сечения, что согласуется с результатами теоретических расчетов.

Ключевые слова: теплоотдача, круглый цилиндр, ламинарное течение, турбулентное течение.

М.С. Исатаев, Ж.Г. Шалбаева

ЭТФҒЗИ, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

muhtar.Isataev@kaznu.kz

КАНАЛДАҒЫ ШЕҢБЕРЛІ ЦИЛИНДРДІҢ ЖЫЛУБЕРУ ЛОКАЛЬДІК КОЭФФИЦИЕНТІН ӨЛШЕУ

Аннотация: Бұл мақалада шеңберлі цилиндр беткейі бойымен жылу берудің таралуы екі түрге ие екендігі. Бірінші жағдайда $q < 0,6$ кезінде минимумнан соң жылу беру коэффициенті біртіндеп өседі және $\theta = 180^\circ$ кезінде максималды мәнге жетеді. $q > 0,7$ болған кездегі үлкен бөгеулер кезінде жылу беру максимумы күрделі нүктеден миделев қимасы бағытына қарай ығысады, бұл теориялық есептеулер нәтижелерімен сай.

Маңызды сөздер: жылу беру, шеңберлі цилиндр, ламинар ағыс, турбуленттік ағыс.

M.S. Isatayev, Zh.GShalbayeva

Kazakh National University after named Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan.

muhtar.Isataev@kaznu.kz

MEASURING LOCAL HEAT TRANSFER COEFFICIENT CIRCULAR CYLINDER IN A CHANNEL

Abstract: In the present article examines the distribution of heat from the surface of a circular cylinder has two varieties. In the first case, when, $q < 0,6$ after the minimum heat transfer coefficient gradually $\theta = 180^\circ$ increases and reaches its maximum value. For large cluttered, when $q > 0,7$ maximum heat is shifted from the front of the critical point in the direction of middle section, which is consistent with the results of theoretical calculations.

Keywords: heat exchange, round cylinder, laminar current, turbulent flow,