

Исатаев М.С., Омаралина А.,  
Есеналиева А., Молдабекова Д.,  
Шалбаева Ж.

**Влияния интенсивности  
турбулентности набегающего  
потока на теплоотдачу круглого  
цилиндра в канале**

Изучение локального коэффициента теплоотдачи позволило установить: во-первых, неодинаковость влияния загромождения потока на теплоотдачу передней и кормовой области цилиндра и, во-вторых, отличие теплоотдачи от кормовой половины при наличии периодических и аperiodических течений в канале. Для учета влияния загромождения потока на теплоотдачу круглого цилиндра необходимо вводить три поправки на среднюю скорость потока, учитывающие неодинаковость теплообмена в передней и кормовой областях, а также характер течения в следе за телом. Кроме того, получены эмпирические формулы для расчета среднего значения числа Нуссельта по всей поверхности цилиндра при наличии периодических срывов вихрей и при их отсутствии. Также получена эмпирическая формула для расчета теплоотдачи вблизи передней критической точки цилиндра. Исследование теплообмена круглого цилиндра проводилось в интервале  $0 < q < 0,9$ ,  $2 \leq Re \leq 2 \cdot 10^5$ ,  $0,7 \leq Pr \leq 550$  и  $0,4 \leq \varepsilon \leq 4,8\%$ .

**Ключевые слова:** поток, ламинарное течение, турбулентное течение, теплообмен, число Рейнольдса или критерий Рейнольдса Re, число Струхала Sh, число Нуссельта Nu.

Isatayev M.S., Omaralina A.,  
Esenalieva A., Moldabekova D.,  
Shalbaeva Zh.

**Influence of intensity of free-  
stream turbulence on heat  
transfer from circular cylinder in a  
channel**

A study of local heat transfer coefficient is allowed to establish: first, the heterogeneity of effects cluttering the flow of the heat front and aft area of the vehicle and, secondly, the difference of heat transfer from the feed half in the presence of currents in the channel. To account for the influence of the clutter flow on heat transfer of a circular cylinder it is necessary to introduce three amendments on the average flow rate, taking into account the heterogeneity of heat transfer in the front and aft areas, as well as the nature of the flow in the Wake behind the body. In addition, obtained empirical formulae for the calculation of the average Nusselt number over the entire surface of the cylinder in the presence of periodic vortices and frustrations in their absence. Also obtained an empirical formula for the calculation of heat transfer near the critical point of the front cylinder. The study of heat transfer of a circular cylinder was conducted in the interval  $0 < q < 0.9$  and  $2 \leq Re \leq 2 \cdot 10^5$ , for  $0.7 \leq Pr \leq 550$  and  $0.4 \leq \varepsilon \leq 4.8\%$ .

**Key words:** stream, laminar current, turbulent flow, heat exchange, Reynolds's number or Reynolds's criterion of Re, Strukhal's number of Sh, Nusselt's number of Nu.

Исатаев М.С., Омаралина А.,  
Есеналиева А., Молдабекова Д.,  
Шалбаева Ж.

**Арнада дөңгелек цилиндрдің  
жылу беруіне келетін ағынның  
турбуленттілік қарқынының  
ықпалы**

Жылу берудің жергілікті коэффициентін зерттеу: біріншіден, цилиндрдің алдыңғы және артқы жағындағы жылу беруге ағынды бөгеудің ықпалының бірдей еместігін және, екіншіден, арнада мерзім сайынғы және аperiodтық ағындар болған кезде артқы жартысынан жылу берудің ерекшілігін анықтауға мүмкіндік берді. Дөңгелек цилиндрдің жылу беруіне ағынды бөгеудің ықпалын есепке алу үшін алдыңғы және артқы бөліктеріндегі жылу алмасудың бірдей еместігін, сондай-ақ денінің ізіндегі ағынның сипатын ескеретін ағынның орташа жылдамдығына үш түзетуді енгізу қажет. Бұған қоса, құйынның мерзім сайынғы ұйытқуы болған және олар болмаған кезде цилиндрдің бүкіл беті бойынша Нуссельт санының орташа мәнін есептеп шығару үшін эмпирикалық формулалар алынды. Сонымен қатар цилиндрдің алдыңғы сыни нүктесінің жанында жылу беруді есептеу үшін эмпирикалық формула алынды. Дөңгелек цилиндрдің жылу алмасуын зерттеу  $0 < q < 0,9$ ,  $2 \leq Re \leq 2 \cdot 10^5$ ,  $0,7 \leq Pr \leq 550$  және  $0,4 \leq \varepsilon \leq 4,8\%$  аралығында жүргізілді.

**Түйін сөздер:** ағын, ламинар ағыс, турбуленттік ағыс, жылуалмасуы, Рейнольдс саны, Sh Струхаль саны, Nu Нуссельт саны.

**ВЛИЯНИЯ  
ИНТЕНСИВНОСТИ  
ТУРБУЛЕНТНОСТИ  
НАБЕГАЮЩЕГО  
ПОТОКА  
НА ТЕПЛОТДАЧУ  
КРУГЛОГО ЦИЛИНДРА  
В КАНАЛЕ****Введение**

Наиболее характерное влияние интенсивности турбулентности набегающего потока достигается при изучении местного значения коэффициента теплоотдачи. Как известно, интенсивность теплоотдачи и ее значение в основном определяется структурой течения, которая зависит от значения числа Рейнольдса и от степени загромождения потока [1].

**Эксперимент**

Опыты проводились при загромождениях канала  $q=0,385$  в области изменения уровня турбулентности  $0,4 \leq \varepsilon \leq 4,8\%$ . Измерения проведены при одинаковых значениях числа Рейнольдса (22400, 56600 и 70800).

Распределение местного коэффициента теплоотдачи круглого цилиндра в зависимости от уровня турбулентности набегающего потока приведено на рисунке 1.

При докризисных режимах обтекания положения точки отрыва пограничного слоя, т.е. минимум теплоотдачи соответствует  $\theta \approx 90^\circ$ , при  $q=0,385$ . Смещение точки отрыва в область  $\theta \approx 140^\circ$ , характеризующее изменение структуры течения с наступлением сверхкризисного режима видно из рисунка 1 (линия 4). А нижние линии, соответствующие значению числа  $Re=22300$ , при сравнительно больших уровнях турбулентности характеризуют переходной режим от докризисного к сверхкризисному. Данному виду течения также соответствует линия 3.

Наступление кризисного режима вызывает значительный рост теплоотдачи тела от кормовой области при больших загромождениях (до 50%), чем при малых  $q$  (12–14%). Если при докризисных режимах обтекания, теплоотдача кормовой области составляла 40% от средней теплоотдачи, то при сверхкризисных режимах составляет ее половину.

Таким образом, смещение точки отрыва пограничного слоя (улучшение обтекания – 80% поверхности тела омывается внешним потоком) и уменьшение длины зоны (от  $l/d \approx 3$  до  $l/d \approx 1,2$ ) обратных токов жидкости приводит к выравниванию теплоотдачи от обеих половин круглого цилиндра.

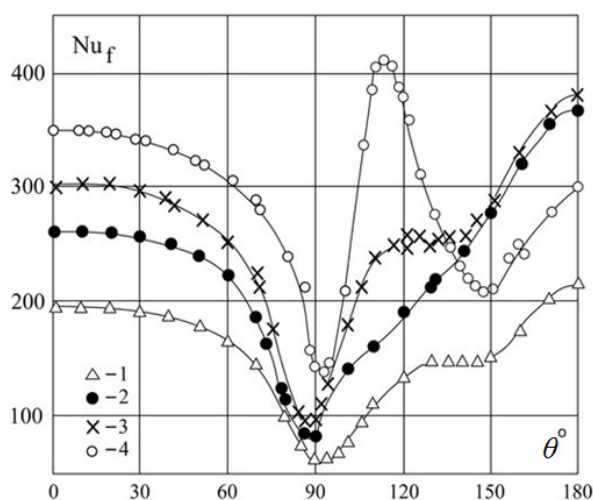
Значительность вклада турбулентности на теплоотдачу с ростом загромождения можно указать следующими примерами. Изменения уровня турбулентности от 0,8 до 4,0% вызывает увеличение средней теплоотдачи на 16% соответственно при 0,385 в докризисном режиме обтекания. Наступление сверхкризисного режима при изменении  $\varepsilon$  в указанной области приведет к росту теплоотдачи на 28% для  $q=0,385$ . При изменении  $\varepsilon$  от 1,8 до 3% при сверхкризисном режиме обтекания, среднее значение коэффициента теплоотдачи увеличивается на 11-13 %, как для малого, так и для большого загромождения.

Экспериментальные результаты показывают, что локальный эффект турбулентности наи-

более сильно проявляется на ламинарном пограничном слое вблизи передней критической точки и вообще в лобовой области круглого цилиндра [2].

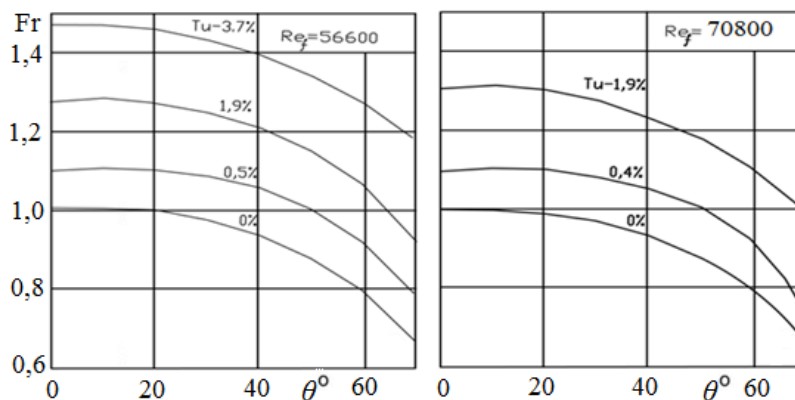
Остановимся на изменении теплоотдачи лобовой области цилиндра с изменением интенсивности турбулентности свободного потока.

Распределение теплоотдачи при постоянном значении  $Re$  приведены на рисунке 2. Нижняя пунктирная линия для  $\varepsilon=0$  – расчет местной теплоотдачи для данного загромождения методом Мерка при обтекании ламинарным потоком. Как видно из рисунка, изменение  $\varepsilon$  от 0 до 4% вызывает рост теплоотдачи в лобовой точке до 46%.



$q=0,385$ ; значения  $Re_f$  и  $\varepsilon$  (%): 1 – 22300; 4,64; 2 – 56600; 0,47; 3 – 56600; 1,90; 4 – 56500; 3,74

**Рисунок 1** – Распределение местного коэффициента теплоотдачи по поверхности цилиндра



**Рисунок 2** – Распределение местного коэффициента теплоотдачи на передней половине цилиндра при  $q=0,385$

Данные для передней критической точки приведены на рисунке 3. Графики показывают линейную зависимость между числом Нуссельта в критической точке и уровнем турбулентности набегающего потока при постоянных значениях числа Рейнольдса.

Увеличение угла наклона линии с ростом числа  $Re$  показывает, что влияние турбулент-

ности на интенсивность теплоотдачи сильнее при высоких числах Рейнольдса. Как видно из рисунка, для передней области цилиндра эффект влияния интенсивности турбулентности на теплоотдачу сильнее при большом загромождении, чем при малом. А для кормовой области наоборот, который еще и связан с периодическими срывами вихрей при малых загромождениях.

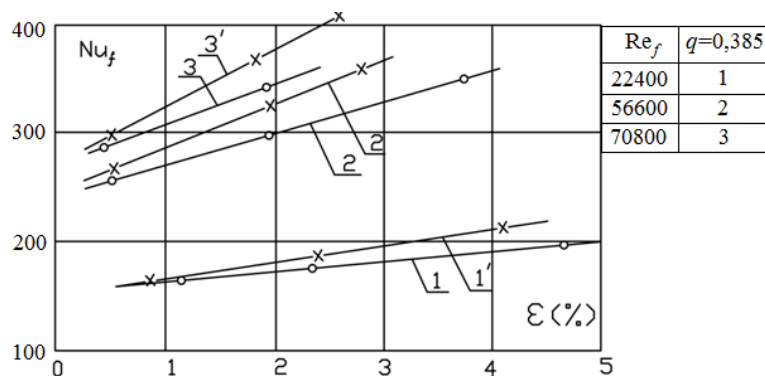


Рисунок 3 – Изменение теплоотдачи на передней критической точке цилиндра в зависимости уровня турбулентности потока

## Заклучение

Таким образом, анализ экспериментальных результатов позволяет прийти к следующему

заклучению. Влияние интенсивности турбулентности в теплоотдачу круглого цилиндра существенно проявляется на ламинарной области потока, особенно при больших загромождениях.

## Литература

- 1 Богомолов Д.В., Сетуа А.В., О численном моделировании трехмерных вихревых течений идеальной жидкости в безграничной области изолированными вихревыми элементами // Научный вестник МГТУ ГА. Серия Аэромеханика и прочность. – 2008. – №125(1). – С.73-78.
- 2 Тарасов С.Б., Волошин Ю.Е. Экспериментальные исследования динамики температурного поля вихрей в начальном участке осесимметричной струе // В сб. «Исследование процессов переноса» / Казахский гос.универ. – Алма-Ата, 1985. – С.67-70.

## References

- 1 Bogomolov D.V., Setuha A.V., O chislenom modelirovanii trehmernyh vihrevykh techenij ideal'noj zhidkosti v bezgranichnoj oblasti izolirovannymi vihrevymi jelementami // Nauchnyj vestnik MGTU GA. Serija Ajeromehanika i prochnost'. – 2008. – №125(1). – S.73-78.
- 2 Tarasov S.B., Voloshin Ju.E. Jeksperimental'nye issledovanija dinamiki temperaturnogo polja vihrej v nachal'nom uchastke osesimmetrichnoj strue // V sb. «Issledovanie processov perenosа» / Kazahskij gos.univer. – Alma-Ata, 1985. – S.67-70.