**ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЙ ПУЧКОВ ГЛАДКИХ ТРУБ**

Сугиров Д.У.

Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова

*Аннотация.* В статье приводятся результаты экспериментальных исследований аэродинамических сопротивлений пучков труб, позволяющие решать задачи нахождения обобщающих зависимостей для расчета аэродинамических сопротивлений, при установки различных турбулизаторов в газоходах установок, при различной скорости теплоносителя.

*Ключевые слова*: конвективный теплообмен, аэродинамические сопротивления, пучки гладких труб, турбулизаторы.

При обобщении экспериментальных данных по сопротивлению пучков важную роль играет выбор определяющей температуры при подборе физических параметров в критериях подобия.

Одни авторы отдают предпочтение температуре стенки /2/, другие – температуре потока /1-6/.

Установлено, что потери давления распределяются неравномерно, а сопротивление первых рядов больше, чем глубинных. Поэтому, определяя величину среднего коэффициента сопротивления одного ряда пучка, это учитывают введением дополнительного коэффициента Х= z2 +1 в полученные зависимости.

Как видно из таблицы 1 для большинства пучков значения показателя степени “ q ” при Re равным - 0,25 или - 0,27, и какой-либо четкой зависимости “ q ” от геометрии пучков выявить исследователям не удалось.

В тоже время показатель степени “ q ” в области больших чисел Re сильно отличается от области смешанного обтекания. Это объясняется тем, что при очень больших Re наступает автомодельный режим сопротивления, т.е. переход в область развитого турбулентного обтекания.

В области смешанного обтекания имеются много работ по исследованию сопротивления пучков (табл.1).

Таблица 1

Обобщающие зависимости для расчета сопротивлений поперечно омываемых пучков по данным разных авторов (область смешанного обтекания).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Авторы | тепло-  носи-  тель | вид пучка | Параметры пучка, мм | | | область Re | формула |
| d | σ | σ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | Куз-нецов Н.В.  /3/ | воздух | шахм | 38 | 1,41-2,9 | 1,5-2,9 | 1·10 33,5·10 | При · ≤ 0,32  Eu = 0,13· (z2 + 1)·Re- 0,27 · (·)- 2,1  При 0,32 <· < 0,53  Eu = 1,4· (z2 + 1)·Re- 0,25  При · > 0,53  Eu = 1,93· (z2 + 1)·Re- 0,25 · (·) 0,5 |
| 2 | Жука-ускас А.А. и др. /14/ | вода | шахм | 19  30  73 | 1,5-2,6 | 0,89-3,5 | 8·10 8·10 | Для φ =1  Eu = 2,6 · ()0,25 · Re- 0,29·Z2 |
| 3 | Мо-чан С.И.  Ревзина О.Г.  /6/ | вода | шахм | 38 | 1,2-2,9 | 0,7-3,75 | 3·10 7·10 | При 0,14 ≤φ≤ 1,7 и σ1 < 2  Eu=[1,6+0,5(46-2,7·φ)·(z2 + 1)·(2-σ1)]⋅Re - 0,27  При 0,14 <φ< 1,7 и σ1 ≥ 2  Eu=1,6 ⋅ Re - 0,27 · (z2 + 1) |
| 4 | Толу-бин-ский, Лег-кий  /7/ | воздух | шахм | 20 | 1,75-2,0 | 0,7-1,55 | 6·10 2,5·10 | По методике / /:  Eu=0,465 ⋅ (Z2 + 1) ⋅φ1,7· Re - 0,25  По нормативной методике:  Eu=0,56 · (Z2 + 1) ⋅φ1,7⋅ Re - 0,27 |
| 5 | Анту-фьев, Беле-цкий  /8/ | вода | шахм | 38 | 1,25-2,0 | 1,25-2,0 | 7·10 7·10 | Eu=С1 ·С2· (Z2 + 1) ⋅ Re - 0,27 |
| 6 | Лок-шин и др.  /9/ | возд | кор. | 14 | 1,25-2,0 | 1,25-2,0 | 1·10 7·10 | Eu=0,3 ⋅ φ-0,385 · Z2 ⋅ Re - 0,1 |
| 7 | Мо-чан и др.  /10/ | возд | кор. | 14 | 1,49-2,0 | 1,14-3,0 | 1·10 20·10 | При σ1≤σ2 0,06 ≤ φ ≤ 1  Eu=0,17 ⋅ (σ1-1)-0,5 ⋅ Z2 ⋅(φ-0,94)-0,59·  Re |
| 8 | Лок-шин и др.  /11 / | возд | шахм | 14 | 1,48-4,12 | 0,79-2,6 | 5·10 25·103 | Eu=1,6 + 0,33(1,7- φ)1,5 + +⋅( Z2+1)⋅Re-0,27 |

В табл. 2 даны величины показателя “ q ” в области критических Re , полученные различными авторами.

Таблица 2

Изменения показателя “ q ” при числе Re в области высоких чисел, полученные разными авторами

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Авторы | тепло-носи-  тель | вид пучка | σ × σ | зона Re | q |
| 1 | Ляпин М.Ф.  /6/ | воздух | шахм | 1,28 × 1,50 | (1,3 - 5) ·105 | 0,15 |
| 2 | Двайер и др.  /7/ | вода | шахм | 1,58 × 1,37 | (0,8 - 12) ·105 | 0,15 |
| 3 | Стасюлявичус,  Самошка  /8/ | воздух | шахм  шахм  шахм  корид  корид  корид  корид  корид | 1,28 × 1,50  1,28 × 1,50  1,19 × 0,94  1,26 × 1,26  2,52 × 1,26  1,89 × 1,25  1,68 × 1,13  2,52 × 1,89 | 1,2 ·105  2 ·105  1,8 ·105  2 ·105  2 ·104  2,7 ·105  8 ·104  2 ·104 | 0  0  -0,038  0  -0,12  -0,17  -0,065  -0,1 |
| 4 | Жукаускас,  Улинскас,  Марцинаускас  /14/ | вода  вода | корид  шахм | 2,0 × 2,0  2,0 × 2,0 | 5 ·105  9 ·105 | 0,00  0,00 |
| 5 | Жукаускас,  Сурвила,  Пошкаш  /12 / | воздух | шахм  корид  корид | 2,0 × 1,5  2,0 × 1,5  1,25 × 1,25 | 2,5 ·105  1,4 ·105  1,4 ·105 | 0  0  0 |
| 6 | Швегджа  /13 / | Вода  вода | Шахм  корид | 1,25 × 1,25  1,25 × 1,25 | (2,0 - 6,0) ·105  (1,0 - 2,0) ·105 | 0  0 |

Ряд экспериментальных данных, полученных при обтекании цилиндра, свидетельствуют о сильном влиянии уровня начальной турбулентности на теплоперенос.

Рассматривая уравнение теплопроводности Кутателадзе С.С., можно заметить, что наличие конвективного члена в этом уравнении свидетельствует о том, что в движущейся среде теплообмен осуществляется не только за счет теплопроводности, но и вследствие переноса теплоты перемешивающимися молями жидкости. Интенсивность конвективного переноса теплоты пропорционально мгновенному значению скорости течения среды в данной точке пространства. Следовательно, характер температурных полей в движущейся среде зависит от конфигурации поля скоростей. Чем выше скорость течения теплоносителя, тем больше и значение коэффициента теплопередачи /12/. Вместе с тем интенсивность теплопередачи существенно зависит от режима течения, т.е. имеет место течение ламинарное или турбулентное.

Переход от ламинарного течения к турбулентному характеризуется сильным ростом толщины пограничного слоя. Если для ламинарного режима толщина пограничного слоя δ = 5,5⋅х⋅Re-0,5, то для турбулентного δ = 0,37⋅х⋅Re-0,2.

При турбулентном течении скорость диффузии значительно выше, чем при ламинарном. Это влияет и на теплопередачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Н.В., Щербаков А.З., Титова Е.Я. Новые расчетные формулы для аэродинамического сопротивления поперечно обтекаемых трубных пучков.// Теплоэнергетика, №9, 1954, с.48-56.
2. Антуфьев В.М., Козаченко Л.С. Теплоотдача и аэродинамическое сопротивление конвективных поверхностей нагрева – ОНТИ, М., 1938, -102с.
3. Кузнецов Н.В., Карасина Э.С. Формулы для коэффициента теплоотдачи в гладкотрубном омывании – Теплоэнергетика, 1954, №6, с.31-35
4. Кузнецов Н.В. Теплоотдача и сопротивление в поперечно омываемых пучках труб при различной их компоновке. // Изв. АН ССР, 1937, №5, с.26-31.
5. Локшин В.А., Мочан С.И., Фомина В.И. Обобщение материалов по аэродинамическому сопротивлению поперечно омываемых пучков труб.// Теплоэнергетика, 1971, №10, с.67-70.
6. Антуфьев В.М. Аэродинамические сопротивления шероховатых труб в поперечном потоке // Теплоэнергетика. 1962.- №4.-с. 26-30
7. Локшин В.А., Фомина В.Н., Ушакова Е.Л., Агресс Б.А. Аэродинамические сопротивления поперечно обтекаемых пучков труб с неравномерными шагами // Теплоэнергетика. 1976.- №12.-с. 80-84
8. Локшин В.А., Фомина В.Н.. Ушаков Е.Н., Агресс Б.А. Аэродинамические сопротивления поперечно омываемых пучков труб // Теплоэнергетика. 1980.- №4.-с. 53-56
9. Фомина В.Н., Локшин В.А. Экспериментальные данные об аэродинамических сопротивлениях поперечно омываемых шахматных пучков труб новых конфигураций // Теплоэнергетика. 1971.- №7.- с. 53-56.
10. Казакевич В.А. Аэродинамические сопротивления трубчатых пучков, обладающих свойствами самообдувки // Теплоэнергетика. 1958.- №8.-с. 48-56
11. Эйгенс Л.С. Известия энергетического института им. Г.М. Кржижановского, 1940, т.8
12. Кузнецов Н.В., Турилин С.И. Влияние температурных условий на теплоотдачу и сопротивление трубчатых поверхностей в поперечном потоке – Изв. ВТИ, 1952, №11.
13. Локшин В.А. Газовые сопротивления наклонных пучков труб.// Изв. ВТИ, 1941, №6
14. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках.-М.,1982, 472с.

© Д.У.Сугиров, 2019.