**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕДИНЫХ ФОРМУЛ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕНА И АЭРОДИНАМИКИ ПОПЕРЕЧНО ОБТЕКАЕМЫХ ПУЧКОВ ТРУБ**

**Сугиров Д.У.**

*Сугиров Джиенбек Умирзаевич –профессор, кафедра «Строительный инжиниринг» КГУТИ имени Ш. Есенова, г. Актау, Республика Казахстан*

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

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

Изучению вопроса теплообмена и аэродинамических сопротивлений пучков труб позволила решать задачи нахождения обобщающих зависимостей для расчета теплообмена и аэродинамических сопротивлений.

Впервые единые формулы для расчета теплоотдачи и сопротивлений пучков труб вывели В.М. Антуфьев и Г.С. Белецкий [1,2].

Экспериментальные результаты ими обобщались в виде критериальных уравнений типа:

Nu = CRePr

Eu = KRePr

В окончательном упрощенном виде формулы имеют вид:

Nu = C Re

Eu = K Re

На основании использования этих формул были разработаны номограммы для расчета котельных пучков. Причем, т.к. значения величин Pr практически постоянны для воздуха и продуктов сгорания, его значение было внесено в начальные коэффициенты C и K.

При обобщении, в этих работах, за характерный размер принимался диаметр теплообменной трубки в исследованном пучке, а за расчетную скорость – скорость в наименьшем проходном сечении.

С развитием теории подобия экспериментальные результаты обобщались с учетом большого числа факторов и параметров пучка и исследованной среды критериальными уравнениями типа:

Nu = ƒ ( Re; σ; σ; z; Pr; );

Eu = ƒ ( Re; σ; σ; z);

т.е. было принято, что средняя теплоотдача трубки в пучке зависело от скорости набегающего потока и тепловой нагрузки [3-7].

В большинстве экспериментальных работ применялся метод локального теплового моделирования, т.е. нагревалась или охлаждалась одна трубка в ряду пучка.

В качестве определяющей температуры при обобщении экспериментальных данных различные авторы подходили по разному. Так авторы Антуфьев В.М., Белецкий Г.С., Козаченко Л.С. [1, 2, 8] относили все параметры к температуре стенки трубы, а авторы рабы [9] Берштейн Р.С., Померанцев В.В. – к температуре потока, Бресслер Р. – к среднеарифметической величине этих температур [10]. М.А. Михеев [11] же предложил для учета температурного фактора дополнительный фактор (Pr/ Pr) и определять его по температуре потока t.

В области смешанного обтекания, т.е. в области до критических чисел Рейнольдса, в литературе имеется много исследований. Основные обобщающие зависимости, имеющиеся в рассмотренной литературе, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Средняя теплоотдача пучка при смешанном обтекании пучка по данным различных авторов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | 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. | воздух | шахм | 38 | 1,41-2,9 | 1,5-2,9 | 1·103,5·10 | При ϕ≤1,7  Nu=0,27⋅C⋅Re  При ϕ>1,7  Nu=0.297 C⋅ Re⋅ϕ  ϕ=(s-d)/(s-d) |
| 2 | Романо-вс-кий В.И. | вода | шахм | 38 | 1,5-2 | 1,5-2 | 1·103,5·10 | Nu=0,38 RePr·  · (Pr/ Pr) |
| 3 | Толубинс-кий В.Н. | воздух | шахм | 20 | 1,75-2,0 | 0,7-1,55 | 6·102,5·10 | При  2 < ϕ< 6,5  Nu=0.235 C⋅ Re⋅ϕ |
| 4 | Анту-фьев В.М. | воздух | шахм. | 38 | 1,25-2 | 1,25-2 | 7·107·10 | Nu=0,26 Re(Т/Т) |
| 5 | Жука-ускас А.А. и др. | вода  -//- | шахм  кори-дор. | 19  30  73  -//- | 1,5-2,6  -//- | 0,89-3,5  -//- | 8·108·10  -//- | При σ/σ< 2  Nu=0,35 RePr· (σ/σ)·  · (Pr/ Pr)  При σ/σ> 2  Nu=0,4 RePr(Pr/ Pr)  Nu=0,27RePr(Pr/ Pr) |
| 6 | Берш-тейн Р.С. | воздух | шахм | 38 | 1,2-2 | 1,2-2 | 6·106·10 | Nu=0,232 (Re·К)  где К = ƒ (σ/σ-1) |
| 7 | Михе-ев М.А. | вода  вода  воздух | шахм  коридор  шахм | 38  -//-  -//- | 1,5-2,3  -//-  -//- | 0,89-3,2  -//-  -//- | 1·104·10  -//-  -//- | При Re >1·10  Nu=0,4 RePr(Pr/ Pr)  При Re < 1·10  Nu=0,56RePr(Pr/ Pr)  При Re < 1·10 Nu=0,4 9 Re  При Re >1·10 Nu=0,35 Re |
| 8 | Ми-гай В.К. | воздух | шахм | 5 | 3,3 | 0,6-0,9 | 1·10-10 | Nu=0,38 RePr |
| 9 | Лок-шин В.А. | воздух | шахм | 38 | 2,1-2,8 | 0,61-1,0 | 1·105·10 | При ϕ=0,1-0,7  Nu=0.34 C⋅ Re⋅ϕ Pr  При 1,7 < ϕ ≤ 4,5  Nu=0.275 C⋅ Re⋅ϕ Pr  Где C- поправка на количество рядов в пучке. |

Если теплоотдачу третьего ряда принять за 100 %, то в шахматных и коридорных пучках теплоотдача первого ряда составляет около 60 %, а второго – около 70 %. Причиной возрастания теплоотдачи является увеличение турбулентности потока, при прохождении его через пучок.

Стало ясно, что для увеличения теплоотдачи пучка можно применять несколько способов, а именно:

* увеличить площадь контакта теплоносителя с поверхностью теплообменника, например, за счет применения ребер, мембран, плавников и т.д.;
* увеличить число Re набегающего потока до критических и сверхкритических значений;
* увеличить степень турбулентности набегающего потока за счет искусственной турбулизации.

Авторы вышеуказанных работ сделали ряд общих выводов. Так теплоотдача первого ряда отличается от средней по пучку и определяется начальной турбулентностью потока. Теплоотдача второго и третьего рядов по сравнению с первым постепенно возрастает.

Список литературы

1. Антуфьев В.М., Козаченко Л.С. Теплоотдача и аэродинамическое сопротивление конвективных поверхностей нагрева – ОНТИ, М., 1938, -102с.
2. Антуфьев В.М., Белецкий Г.С. Теплоотдача и аэродинамическое сопротивление трубчатых поверхностей в поперечном потоке.-М.: Машгиз, 1948.-с. 120-124
3. Михайлов Г.А. Исследование локального теплообмена в пучках труб //Советское котлотурбостроение, 1939, №12, с.16-19.
4. Шилохвостов А.В.-В кн. Конвективный теплообмен в элементах парогенераторов и теплообменников-тр.ЦКТИ, 1968, вып.89, с.95-101.
5. Гренх Х.Г., Шольц Ф. – В кн. Тепломассообмен-Y, т.1, ч.2, Минск, Изд. АН БССР, 1976, с.37-42.
6. Фомина В.Н. Исследование теплообмена и аэродинамики шахматных пучков труб с широкими и тесными шагами и уточнение их расчета. Кандидатская диссертация, 1976, ВТИ.
7. Андреевский А.А., Боришанский В.М., Жилкина В.Б. Исследование теплоотдачи шахматных пучков труб в поперечном потоке воды – В кн. Конвективная теплоотдача в двухфазном и однофазном потоке- М., Энергия, 1964, с.65-68.
8. Антуфьев В.М., Козаченко Л.С. Теплообмен между газами и пучками труб, омываемыми поперечным потоком – Советское котлотурбостроение, №5, 1937, с.241-248.
9. Бернштейн Р.С., Померанцев В.В., Шагалова Л.С. К вопросу о механизации. В сб. Аэродинамика и теплопередача в котельнотопочных процессах – М., Госэнергоиздат, 1958, с.251-267.
10. Bressler. Die Warnodbertragund einselner Rohrreihen in guarangestronten Rohrbundeln wit Kleinen-Forechund auf den Gebite, 1958, Bd 24.
11. Михеев М.А. Основы теплопередачи – М., 1956, 390 с.

© Д.У.Сугиров, 2019.