

МРНТИ 30.17.23

Д.У. Сугиров<sup>1</sup> – основной автор, ©  
Г.Г. Байсарова<sup>2</sup>, С.М. Оспанова<sup>2</sup>,  
М.К. Суйменова<sup>3</sup>, К.М. Шайхиева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Д-р техн. наук, профессор, <sup>2</sup>PhD, ст. преподаватель, <sup>3</sup>Ст. преподаватель

Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова



г. Актау, Республика Казахстан

<sup>1</sup>sugirov-56@mail.ru<https://doi.org/10.55956/DRMN8403>

## ОБОБЩЕНИЕ ФОРМУЛ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕНА В ПУЧКАХ ТРУБ В ИНТЕВАЛЕ ВЫСОКИХ ЧИСЕЛ РЕЙНОЛЬДСА

**Аннотация.** В статье приводятся результаты экспериментальных исследований теплопередачи и аэродинамических сопротивлений теплообменников в диапазоне больших чисел Рейнольдса, которые позволяют решить проблемы поиска обобщающих зависимостей для расчета их значений, при установке различных интенсификаторов теплообмена в газоходах установок, используя разные скорости теплоносителя. Использование теплообменников со сложными геометриями поверхностей теплопередачи делает практически невозможным теоретический расчет теплообмена и гидравлического сопротивления. Получены экспериментальные результаты, с учетом многочисленных факторов и параметров теплообмена. Изученные аэродинамические сопротивления и теплообмены в трубных пучках позволили решить проблемы поиска обобщающих зависимостей для расчета теплообмена и аэродинамических сопротивлений. С помощью теории подобия полученные экспериментальные результаты, с учетом многочисленных факторов и параметров пучков были обобщены уравнениями критериев. Среднее значение  $Nu$  были получены путем интеграции локальных значений коэффициентов теплообмена.

**Ключевые слова:** конвективная теплопередача, аэродинамическое сопротивление, пучок гладких трубок, число Рейнольдса, теория подобия.



Сугиров, Д.У. Обобщение формул для расчета теплообмена в пучках труб в интервале высоких чисел Рейнольдса [Текст] / Д.У. Сугиров, Г.Г. Байсарова, С.М. Оспанова, М.К. Суйменова, К.М. Шайхиева // Механика и технологии / Научный журнал. – 2021. – №1(71). – С.112-117. <https://doi.org/10.55956/DRMN8403>

**Введение.** Создание турбулентных вихрей в каналах не может быть достигнуто только за счет увеличения скорости потока, это возможно и за счет создания искусственной турбулентности. Использование теплообменников со сложными геометриями поверхностей теплопередачи и, соответственно, со сложным характером потока в каналах, делает практически невозможным теоретический расчет теплообмена и гидравлического сопротивления.

Эмпирические зависимости, которые используют на практике для описания теплообмена, применимы только к определенным типам поверхностей в интервале изучаемых геометрических параметров.

В результате этого, в настоящее время, в литературе почти нет инженерных моделей позволяющие вычислять теплоаэродинамические параметры каналов с турбулизаторами.

Как известно, кинетическая энергия турбулентного пульсационного движения имеет три части:

1) уменьшение энергии в результате внутренних сопротивлений во время движения турбулентных потоков;

2) вход энергии в возмущающее течение из основного потока;

3) передача энергии турбулентности в слабые турбулентные области из сильно турбулентных областей.

**Условия и методы исследований.** В интервалах высоких чисел Re при обобщении полученных данных по теплоотдаче исследователи предложили математические зависимости [1]:

а) для коридорно расположенных пучков (1):

$$Nu = 0,020 Re^{0,84} Pr^{0,36} (Pr_{жс} / Pr_{см})^{0,25} \quad (1)$$

б) для шахматно расположенных пучков (2):

$$Nu = 0,021 Re^{0,84} Pr^{0,36} (Pr_{жс} / Pr_{см})^{0,25}; \quad (2)$$

Оказалось, что показатели степени “m” при числах Re (табл. 1) была более зависима от шаговой характеристики пучка, чем при имеющихся при смешанных обтеканиях. При смешанных обтеканиях, как показано в таблице 1, показатель при степени “m” оказался равным 0,6 для шахматного, и 0,5 ÷ 0,65 - при коридорном расположении трубок пучка.

Таблица 1

Изменения показателей степени “m” при числах Re  
в области высоких чисел, полученная в различных исследованиях

№	Авторы	Тепло-носитель	Вид пучка	$\sigma_1 \times \sigma_2$	Зона числа Re	Показатель m
1	2	3	4	5	6	7
1	Стасия-вичус С., Самошка А. [1]	воздух	шахмат- ный	2,48 × 1,28	$1,61 \cdot 10^5$	0,93
				1,47 × 1,04	$2,61 \cdot 10^5$	0,78
				1,26 × 0,96	$1,90 \cdot 10^5$	0,8
				1,58 × 1,37	$1,21 \cdot 10^5$	0,85
		воздух	коридор- ный	1,6 × 1,7	$9,1 \cdot 10^4$	0,77
				1,68 × 2,26	$1,24 \cdot 10^5$	0,91
			1,89 × 1,25	$1,4 \cdot 10^5$	0,88	
2	Ляпин А. [2]	воздух	шахмат. коридор.	1,28 × 1,50	$(1,3 \div 5) \cdot 10^5$	0,98
				1,28 × 1,50	$(1,2 \div 5) \cdot 10^5$	0,78

3	Двайер и др. [3]	вода	шахмат.	1,59 × 1,37	(0,8 ÷ 12) · 10 <sup>5</sup>	0,80
4	Жукаускас А.А. и др. [4]	вода	шахмат.	2,00 × 2,00	(5 ÷ 10) · 10 <sup>5</sup>	0,80
			коридор.	1,20 × 1,09	(2,5 ÷ 10) · 10 <sup>5</sup>	0,70
			коридор.	2,00 × 2,00	(2,0 ÷ 10) · 10 <sup>5</sup>	0,92
5	Пошкас П.С., Сурвила В.Ю., Жукаускас А.А. [5]	воздух	шахмат.	1,25 × 1,25	(2,4 ÷ 30) · 10 <sup>5</sup>	0,80
			шахмат.	1,50 × 1,50	(2,0 ÷ 14) · 10 <sup>5</sup>	0,80
			коридор.	1,25 × 1,25	(2,0 ÷ 25) · 10 <sup>5</sup>	0,75
6	Гамека К. и др. [6]	воздух СО <sub>2</sub>	шахмат.	2,06 × 1,38	(2,20 ÷ 20) · 10 <sup>5</sup>	0,95
			шахмат.	2,06 × 1,38	(2,00 ÷ 20) · 10 <sup>5</sup>	0,83
7	Швегзида А. и др. [7]	вода	шахмат.	1,25 × 1,25	2 · (10 <sup>5</sup> ÷ 10 <sup>6</sup> )	0,84
		вода	коридор.	1,25 × 1,25	2 · (10 <sup>5</sup> ÷ 10 <sup>6</sup> )	0,82
		вода	коридор.	1,20 × 1,20	2 · (10 <sup>5</sup> ÷ 10 <sup>6</sup> )	0,82

**Результаты исследований.** Из приведенной таблицы 1 следует, что опытный показатель “m” находится в пределах 0,7 до 0,96. Эти значения на графике Nu – Re приведёт к резкому росту теплоотдачи с возрастанием числа Re, т.е. есть возможность интенсифицировать теплообмен увеличивая скорость набегающего теплового потока. Но при эксплуатации теплообменников часто имеем результаты, когда наиболее оптимальным вариантом будет теплообменник способный передавать имеющийся тепловой поток, применяя наименьшие затраты на передвижения теплоносителей. Также установлено, что увеличению скоростей уходящих газов в имеющихся современных котельных установках, рассчитанных на сжигание низкосортных углей, будет препятствовать образующийся большой золовой износ на трубках теплообменных поверхностей.

Авторы работ [2,3] утверждают, что коэффициенты золового износа будут находиться в зависимости от скоростей в третьей степени (3):

$$K_{\text{изн}} = f(W_{\text{газ}})^3; \quad (3)$$

В большинстве приведенных исследований теплоотдача трубного пучка исследуется вместе с аэродинамическим сопротивлением, так как выбор рациональных поверхностей нагрева будет определять совместное решение этих вопросов [5,6].

**Обсуждение научных результатов.** Аэродинамические сопротивления пучков зависят от скоростей и физического свойства омывающих потоков, конфигурации пучка и их рядности, т.е. в безразмерном виде:

$$Eu = f(Re; \sigma_1; \sigma_2; z_2); \quad (4)$$

Автором работы [7] доказано, что сопротивления пучков в основном определяются сопротивлениями формы, а сопротивления трения будут составлять несколько процентов от общих сопротивлений. Как правило, измерялось полное сопротивление пучков, которые относятся к одному ряду пучков или к десятку рядов и обобщался критериальной зависимостью (5):

$$Eu = k \cdot Re^q \cdot X \quad (5)$$

где  $X = z_2 + 1$  - безразмерный коэффициент, зависящий от числа рядов в пучке.

Было определено, что с уменьшением количества рядов в пучках, потери давления, приведенные к одному ряду, будут увеличиваться.

**Заключение.** На основании изложенного материала, можно прийти к следующим выводам:

1) среднее тепловыделение трубки в пучке зависит от скорости потока и тепловой нагрузки;

2) эффект от конфигурации турбулизаторов мало влиял на интенсивность теплообмена в канале;

3) турбулентность при исследованных течениях происходит не в пристенном слое, а в струйном слое между прямым и обратным движениями теплоносителя;

4) установлено, что сопротивления пучков, в основном, определяются сопротивлениями формы, а сопротивления трения будут составлять несколько процентов от общих сопротивлений.

#### Список литературы

1. Стасилявичюс, Ю.Ж. Теплоотдачи гладких трубных шахматных пучков в потоке воздуха при больших  $Re$  [Текст] / Ю.Ж. Стасилявичюс, П.С. Самошка // Труды АН ЛитССР, сер. Б. - 1963, Т.4 (35). - С.120-126.
2. Ляпин, М.Ф. Теплоотдачи и сопротивления гладких трубных пучков при больших числах  $Re$  газовых потоков [Текст] / М.Ф. Ляпин // Теплоэнергетика. - 1956. - №9. - С.49-53.
3. Dbyer O.R., Weisman I., Sscheeman T.V., Shomer R, T. Horn P.L. – Flows waters thround a Tube bank at Raynolds Numbers 1958. Vol. 48. №10.
4. Жукаускас, А.А. Местная теплоотдача труб в поперечных обтекаемых потоками воздуха стальных шахматных пучков при больших числах  $Re$  [Текст] / А.А. Жукаускас, П.С. Пошкас, И.Ю. Сурвила // Труды АН Лит. ССР, сер. Б. - 1977. - т.4 (10). - С. 26-31.
5. Пошкас, П.С. Местная теплоотдача труб в поперечно обтекаемые потоками воздуха сжатого шахматного пучка при больших  $Re$  [Текст] / П.С. Пошкас, А.А. Жукаускас, В.Ю. Сурвила // Труды АН Лит. ССР, сер. Б. - 1977, т.1 (98).
6. Hameske K., Scholds F., Heineske F. Warnedbergende und Druckverlust meseungen an Gueran geat ronde – I un I of Heat and Mass Tranafer. 1967. Ва 10, №4.
7. Швэгзида, А. Исследование теплоотдач и сопротивлений поперечно обтекаемого пучка труб в области больших чисел Рейнольдса [Текст] / А. Швэгзида, А. Жукаускас, Р. Улинкас // Сб. научн. тр. «Механика-4», Материалы Литовской РНТК. - Каунас, 1973. С.36-41.

Материал поступил в редакцию 26.02.21.

**Д.У. Сүгіров, Г.Г. Байсарова, С.М. Оспанова, М.К. Сүйменова, К.М. Шайхиева**

*Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті,  
Ақтау қ., Қазақстан Республикасы*

**РЕЙНОЛДСТЫҢ САНЫ ЖОҒАРЫ АРАЛЫҚТЫҚТАРЫНДА ЖЫЛУ АЛЫСТЫҒЫН  
АЙНАЛДЫРУ ҮШІН ФОРМУЛАЛАРДЫ ЖАЛПЫЛАНДЫРУ**

**Аңдатпа.** Мақалада Рейнольдстың үлкен сандар диапазонындағы жылуалмастырғыштардың жылуалмасу және аэродинамикалық кедергілерін эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілген. Бұл әртүрлі жылу алмасу интенсификаторларын орнату кезінде олардың мәндерін есептеу үшін жалпылама тәуелділіктерді табу мәселелерін шешуге мүмкіндік береді. Салқындатқыштың әртүрлі жылдамдығын қолданатын қондырғылардың газ каналдарының көптеген факторлар мен жылу беру параметрлерін ескере отырып, тәжірибелік нәтижелер алынды. Түтік шоғырларындағы зерттелген аэродинамикалық кедергі және жылу алмасулар жылу беруді және аэродинамикалық қарсылықты есептеудің жалпылама тәуелділіктерін табу мәселелерін шешуге мүмкіндік береді. Ұқсастық теориясын қолдана отырып, алынған көптеген эксперименттік нәтижелер сәулелердің көптеген факторлары мен параметрлерін ескере отырып, критерийлер теңдеулерімен қорытылды. Орташа  $Nu$  мәндері жылу беру коэффициенттерінің жергілікті мәндерін интеграциялау арқылы алынды.

**Тірек сөздер:** конвективті жылу беру, аэродинамикалық кедергі, тегіс түтіктер қатары, Рейнольдс саны, ұқсастық теориясы.

**D.U. Sugirov, G.G. Baysarova, S.M. Ospanova, M.K. Suymenova, K.M. Shaikhieva**

*Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yesenova,  
Aktau, Republic of Kazakhstan*

**GENERALIZATION OF FORMULAS FOR CALCULATING HEAT EXCHANGE IN PIPE BEAMS IN  
THE HIGH REYNOLD'S NUMBER INTERVAL**

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies of heat transfer and aerodynamic resistances of heat exchangers in the range of large Reynolds numbers, which make it possible to solve the problems of finding generalizing dependencies for calculating their values when installing various heat exchange intensifiers in gas ducts of installations using different coolant velocities. The use of heat exchangers with complex geometries of heat transfer surfaces makes it practically impossible to theoretically calculate heat transfer and hydraulic resistance. Experimental results have been obtained, taking into account numerous factors and heat transfer parameters. Using the similarity theory, the obtained experimental results, taking into account numerous factors and parameters of the beams, were generalized by the equations of criteria. Average  $Nu$  values were obtained by integrating local values of heat transfer coefficients. With a decrease in the number of rows in the bundles, the pressure losses reduced to one row began to increase.

**Keywords:** convective heat transfer, aerodynamic drag, bundle of smooth tubes, Reynolds number, similarity theory.

**References**

1. Stasilyavichyus Yu.Zh., Samoshka P.S. Teplootdachi gladkikh trubnykh shakmatnykh puchkov v potoke vozdukha pri bol'shikh  $Re$  [Heat transfer of smooth staggered tube bundles in an air flow at large  $Re$ ] // Proceedings of the Academy of Sciences of the Lithuanian SSR, ser. B., 1963, V. 4 (35), p. 120-126. [in Russian].
2. Lyapin M.F. Teplootdachi i soprotivleniya gladkikh trubnykh puchkov pri bol'shikh chislakh  $Re$  gazovykh potokov [Heat transfer and resistance of smooth tube

- 
- bundles at large Re numbers of gas flows] // Teploenergetika [Thermal power engineering], No. 9, 1956, pp. 49-53. [in Russian].
3. Dbyer O.R., Weisman I., Sscheeman T.V., Shomer R, T. Horn P.L. - Flows waters throuad a Tube bank at Raynolds Numbers 1958. Vol. 48. No. 10№
  4. Zhukauskas A.A., Poshkas P.S., Survila I.Yu. Mestnaya teplootdacha trub v poperechnykh obtekayemykh potokami vozdukha stal'nykh shakhmatnykh puchkov pri bol'shikh chislakh Re [Local heat transfer of pipes in transverse staggered steel bundles streamlined by air flows at large Re numbers] // Proceedings of Academy of Sciences of the Lithuanian SSR, ser. B. 1977.- vol. 4 (10). - p. 26-31. [in Russian].
  5. Poshkas P.S., Zhukauskas A.A., Survila V.Yu. Mestnaya teplootdacha trub v poperechno obtekayemyye potokami vozdukha szhatogo shakhmatnogo puchka pri bol'shikh Re [Local heat transfer of pipes into a compressed staggered bundle transversely streamlined by air flows at large Re] // Proceedings of Academy of Sciences of the Lithuanian SSR, ser. B, 1977, vol. 1 (98). [in Russian].
  6. Hameske K., Scholds F., Heineske F. Warnedbergende und Druckverlust meseungen an Gueran geat ronde - I un I of Heat and Mass Tranafer. 1967. Ba 10, no. 4.
  7. Schwegzida A., Zhukauskas A., Ulinkas R. Issledovaniye teplootdach i soprotivleniy poperechno obtekayemogo puchka trub v oblasti bol'shikh chisel Reynol'dsa [Investigation of heat transfer and resistance of a cross-flow tube bundle in the region of large Reynolds numbers] // Proceedings of scientific articles "Mechanics-4", Materials of the Lithuanian RNTK.- Kaunas, 1973.- p. 36-41. [in Russian].