



УДК 66.045.12

## ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОЖУХОТРУБОГО ТЕПЛООБМЕННИКА С ПРОТИВОТОЧНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В МЕЖТРУБНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

•••••

## HYDRAULIC RESISTANCE OF A SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER WITH COUNTERCURRENT MOVEMENT OF THE COOLANT IN THE ANNULUS

**Остапенко Александра Александровна**Волгоградский государственный технический университет  
Sandra-1996@mail.ru**Голованчиков Александр Борисович**доктор технических наук,  
профессор кафедры «Процессы и аппараты  
химических и пищевых производств»,  
Волгоградский государственный технический университет  
pahp@vstu.ru**Меренцов Николай Анатольевич**кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Процессы и аппараты  
химических и пищевых производств»,  
Волгоградский государственный технический университет  
pahp@vstu.ru**Ostapenko Alexandra Alexandrovna**Volgograd State Technical University  
Sandra-1996@mail.ru**Golovanchikov Alexander Borisovich**Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department «Processes  
and Apparatuses of Chemical  
and Food Production»,  
Volgograd State Technical University  
pahp@vstu.ru**Merentsov Nikolay Anatolyevich**Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department  
«Processes and Apparatuses of Chemical  
and Food Production»,  
Volgograd State Technical University  
pahp@vstu.ru

**Аннотация.** Проводится корреляционный анализ, связанный с обработкой экспериментальных данных зависимости гидравлического сопротивления в трубах и межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменника с противоточным движением фаз обоих теплоносителей методом наименьших квадратов. В отличие от известных типовых теплообменников, где в межтрубном пространстве теплоноситель совершает перекрестное поперечное движение относительно наружной поверхности пучка труб, гидравлическое сопротивление в предлагаемой конструкции снижается на 3,4 %.

**Ключевые слова:** гидравлическое сопротивление, кожухотрубный теплообменник, противоточное движение теплоносителей, корреляционный анализ данных.

**Annotation.** A correlation analysis is carried out related to the development of experimental data on the dependence of hydraulic resistance in pipes and the annular space of a shell-and-tube heat exchanger with countercurrent phase motion of both coolants by the least squares method. In contrast to the well-known typical heat exchangers, where in the annular space the heat carrier crosses laterally relative to the outer surface of the tube bundle, the hydraulic resistance in the proposed design is reduced by 3,4 %.

**Keywords:** hydraulic resistance, shell-and-tube heat exchanger, countercurrent movement of heat carriers, data correlation analysis.

Предлагается конструкция многоходового кожухотрубчатого теплообменника с противоточным движением теплоносителей. Установка перегородок в межтрубном пространстве трубного пучка, соосно с перегородками, установленным внутри распределительных камер для образования ходов теплоносителя по трубам позволяет равномерно распределять теплоноситель, движущийся в межтрубном пространстве, пропорционально числу труб в каждом ходе теплоносителя, движущемуся внутри труб, что обеспечивает высокую скорость теплопередачи в каждом ходе обеих теплоносителей и способствует росту производительности.

Создание поперечной щелевой прорези в каждой перегородке, установленной в межтрубном пространстве вдоль труб трубного пучка, в зоне, примыкающей к ней перегородки в распределительной камере, обеспечивает противоточное движение обоих теплоносителей для каждого хода, то есть при изменении направления теплоносителя в трубах трубного пучка, изменяется на противоположное направление теплоносителя в межтрубном пространстве, а противоточное движение теплоносителей позволяет как известно охлаждать горячий теплоноситель до более низких температур, а холодный нагреватель до более высоких температур, что увеличивает среднюю движущую силу процесса теплопередачи и ведет к увеличению производительности.

Эксперимент проводился на стандартном кожухотрубчатом теплообменнике и теплообменнике предлагаемой конструкции. Конструкции изображены на рисунке 1.

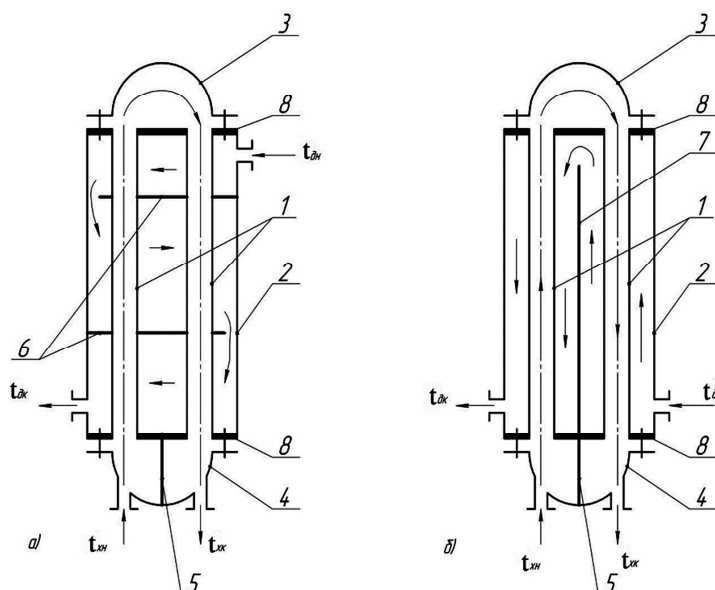


Рисунок 1 – Схема двухходового кожухотрубного теплообменника: а) типовой с продольным движением одного теплоносителя в трубах и поперечным движением второго теплоносителя в межтрубном пространстве; б) предлагаемая конструкция с противоточным продольным течением обоих теплоносителей в трубах и межтрубном пространстве: 1 – трубы трубного пучка; 2 – кожух; 3 – крышка; 4 – днище с перегородкой; 5 – перегородка; 6 – поперечные перегородки в межтрубном пространстве; 7 – продольная перегородка в межтрубном пространстве; 8 – трубные решетки

В ходе выполнения экспериментального исследования были получены значения гидравлических сопротивлений от скорости. Для исследования было произведено основных опытов  $n = 8$ , число параллельных опытов  $m = 3$ . Полученные данные представлены в таблицах 1 и 3. Результаты корреляционного анализа в таблицах 2 и 4.

Чтобы наилучшим образом подобрать коэффициенты  $A$  и  $B$  методом наименьших квадратов в степенном уравнении, это уравнение линеаризуется:

$$\Delta P = A \cdot u^B; \quad (1)$$

$$\lg \Delta P = \lg A + B \cdot \lg u; \quad (2)$$

$$y = a + b \cdot x \quad [1]. \quad (3)$$

Таблица 1 – Гидравлическое сопротивление для перекрестного тока воздуха в межтрубном пространстве

$U_m$ , м/с	3,7	4,5	5,3	6,2	7,1	8	8,8	9,3
$\Delta P_1$ , Па	61	84	109	141	176	214	250	273
$\Delta P_2$ , Па	64	88	115	148	190	225	282	298
$\Delta P_3$ , Па	57	81	102	133	165	201	238	260

Таблица 2 – Результаты корреляционного анализа

№	Наименование параметра	Обозначение	Величина		Вывод
			Расчетная	Табличная	
1	Воспроизводимость в параллельных опытах по критерию Кохрена	Gp	0,2365	0,4377	+
2	Коэффициент корреляции (связь между входными и выходными параметрами)	R	0,9998	–	высокий
3	Адекватность по критерию Фишера	F	0,1329	3,74	+
4	Значимость коэффициентов уравнения регрессии (критерий Стьюдента)	St			
	по коэффициенту $a$	$t_a$	$t_a = 7741$	$t_a = 2,12$	+
	по коэффициенту $b$	$t_b$	$t_b = 6547$	$t_b = 2,12$	+



**Таблица 3** – Гидравлическое сопротивление для противотока в межтрубном пространстве

$u_m$ , м/с	3,5	4,4	5,3	6,3	7,2	7,9	8,7	9,4
$\Delta P_1$ , Па	56	81	109	145	180	209	245	278
$\Delta P_2$ , Па	51	76	101	136	169	197	233	262
$\Delta P_3$ , Па	60	86	117	156	193	218	258	292

**Таблица 4** – Результаты корреляционного анализа

№	Наименование параметра	Обозначение	Величина		Вывод
			Расчетная	Табличная	
1	Воспроизводимость в параллельных опытах по критерию Кохрена	Gp	0,2008	0,4377	+
2	Коэффициент корреляции (связь между входными и выходными параметрами)	R	0,9998	–	высокий
3	Адекватность уравнения регрессии экспериментальным данным (критерий Фишера)	F	0,02498	3,74	+
4	Значимость коэффициентов уравнения регрессии (критерий Стьюдента) по коэффициенту a по коэффициенту b	St			
		$t_a$	$t_a = 7651$	$t_a = 2,12$	+
		$t_b$	$t_b = 6281$	$t_b = 2,12$	+

По проведенному корреляционному анализу экспериментальной зависимости гидравлических сопротивлений от скорости воздуха можно сделать следующие выводы:

1. Получено уравнение зависимости гидравлических сопротивлений от скорости воздуха  $\Delta P = 1,94 \cdot u^{1,65}$  для стандартной конструкции и для предлагаемой:  $\Delta P = 1,98 \cdot u^{1,63}$ . Гидравлическое сопротивление предлагаемой конструкции незначительно отличается от стандартной: при скорости газа  $u = 10$  м/с гидравлическое сопротивление предлагаемой конструкции меньше на 3,4 %.

2. Корреляционный анализ по обоим уравнениям подтвердил высокую корреляционную связь гидравлического сопротивления и скорости, воспроизводимость в параллельных опытах, адекватность и значимость коэффициентов.

#### Литература:

1. Бондарь А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии. – К. : Вища школа, 1976. – 184 с.

#### References:

1. Bondar A.G., Statyukha G.A. Planning an experiment in chemical technology. – K. : Vishcha school, 1976. – 184 p.