

# **Методическая разработка.** **Теплообменник.**

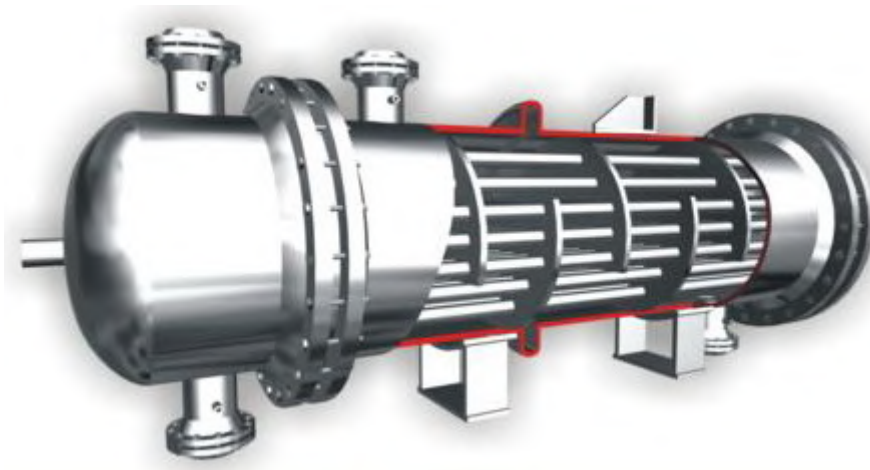
**Щёлковский Политехнический техникум.**

**Предмет: Процессы и аппараты.**

**Стрункина Е.М. Стрункин С.Е.**

Методическая разработка для преподавателя и студентов, по предмету «Процессы и аппараты», для курсового проектирования по теме: «Теплообменник».

Состоит: 1) Презентация.  
2) Методика расчёта.  
3) Справочные таблицы.  
4) Компьютерная программа.



**2012год.**

## **Содержание :**

<a href="#"><u>Бланк задания</u></a> .....	3
<a href="#"><u>Задание на курсовой проект</u></a> .....	4
<a href="#"><u>Введение</u></a> .....	5
<a href="#"><u>Кожухотрубные теплообменники</u></a> .....	6
<a href="#"><u>Материальный и тепловой баланс</u></a> .....	7
<a href="#"><u>Подбираем теплообменник по ГОСТУ</u></a> .....	15
<a href="#"><u>Определяем диаметры штуцеров</u></a> .....	18
<a href="#"><u>Гидравлическое сопротивление</u></a> .....	20
<a href="#"><u>Таблицы</u></a> .....	24
<a href="#"><u>Список литературы</u></a> .....	36

# «ЩЁЛКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»

Задание №\_\_\_\_\_ на курсовой проект по предмету:

## «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ»

Учащемуся (Ф.И.О.) \_\_\_\_\_

Наименование учебной группы \_\_\_\_\_ Шифр учащегося \_\_\_\_\_

Специальность \_\_\_\_\_

Тема курсового проекта: \_\_\_\_\_

Исходные данные: \_\_\_\_\_

### Содержание и объём проекта Расчётно-пояснительная записка

#### 1. Вводная часть

- 1.1 Краткое описание и сравнительная характеристика существующих аппаратов данного типа.
- 1.2 Краткое описание заданного процесса и физико-химическая характеристика сырья и продуктов.
- 1.3 Описание проектируемого аппарата, преимущества и недостатки выбранной конструкции аппарата.
- 1.4 Краткие сведения по обслуживанию проектируемого объекта.

#### 2. Расчётная часть

- 2.1 Материальный расчёт аппарата.
- 2.2 Технологический расчёт аппарата.
- 2.3 Тепловой баланс аппарата.

#### 3. Графическая часть (для технологов)

- 3.1 Лист №1. Конструктивный чертёж аппарата (с отдельными узлами и деталями, по указанию руководителя проекта).
- 3.2 Лист №2. Аппаратурная схема установки.

4. Литература и справочники \_\_\_\_\_

Преподаватель Стрункина Е.М. \_\_\_\_\_

Председатель предметной комиссии \_\_\_\_\_

# «ЩЁЛКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»

Задание №\_\_\_\_\_ на курсовой проект по предмету:

## «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ»

Учащемуся (Ф.И.О.) \_\_\_\_\_

Наименование учебной группы \_\_\_\_\_ Шифр учащегося \_\_\_\_\_

Специальность \_\_\_\_\_

Тема курсового проекта: Расчёт кожухотрубного теплообменника.

Исходные данные: Спроектировать кожухотрубный вертикальный теплообменник, состоящий из труб  $\varnothing 25 \times 2$  мм., для нагрева толуола  
 $G = 20000$  (кг/ч), от  $t_{нач.} = 15^\circ$  до  $t_{кон.} = 65^\circ$ . Абсолютное давление греющего пара = 2 атм. Материал трубок латунь. Потери тепла  $Q_{пот} = 5\%$

### Содержание и объём проекта Расчётно-пояснительная записка

#### 1. Вводная часть

- 1.1 Краткое описание и сравнительная характеристика существующих аппаратов данного типа.
- 1.2 Краткое описание заданного процесса и физико-химическая характеристика сырья и продуктов.
- 1.3 Описание проектируемого аппарата, преимущества и недостатки выбранной конструкции аппарата.
- 1.4 Краткие сведения по обслуживанию проектируемого объекта.

#### 2. Расчётная часть

- 2.1 Материальный расчёт аппарата.
- 2.2 Технологический расчёт аппарата.
- 2.3 Тепловой баланс аппарата.

#### 3. Графическая часть (для технологов)

- 3.1 Лист №1. Конструктивный чертёж аппарата (с отдельными узлами и деталями, по указанию руководителя проекта).
- 3.2 Лист №2. Аппаратурная схема установки.

#### 4. Литература и справочники

- 4.1. А.Н.Плановский, В.М.Рамм, С.З.Каган. Процессы и аппараты химической технологи. М.:Химия 1966г. 831 с.
- 4.2. М.Н.Кувшинский, А.П.Соболева. Процессы и аппараты химической промышленности. Высшая школа 1964г. 206с.
- 4.3. Ю.И.Дытнерский. Основные процессы и аппараты химической промышленности. М.:Химия 1983г. 272 с.

Преподаватель Стрункина Е.М. \_\_\_\_\_

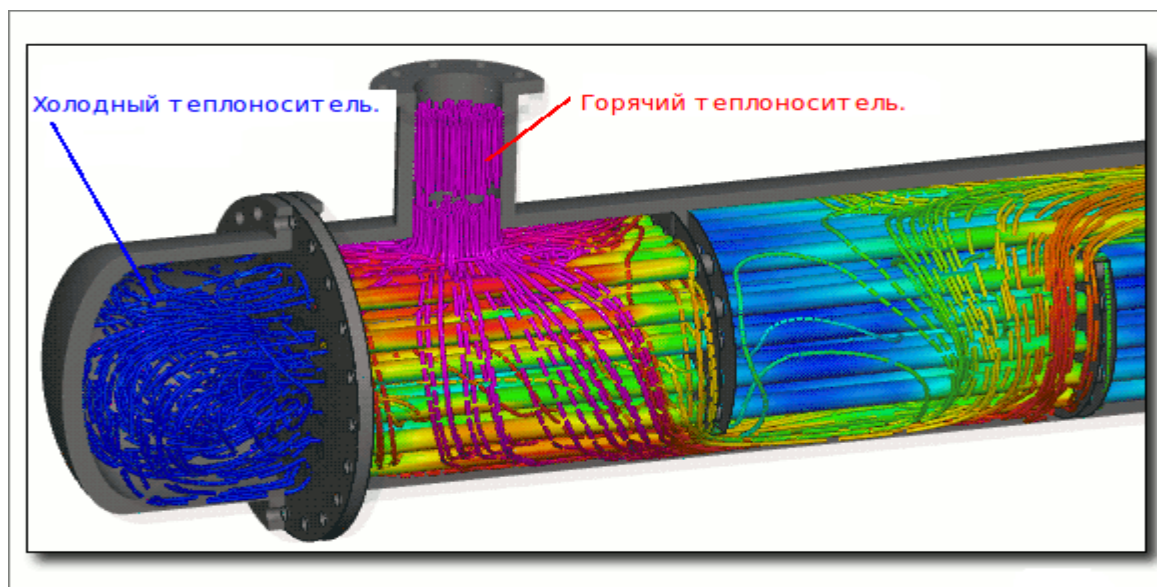
Председатель предметной комиссии \_\_\_\_\_

## Введение.

**Теплообменник, теплообменный аппарат** — устройство, в котором осуществляется передача теплоты от горячего теплоносителя к холодному (нагреваемому). Теплоносителями могут быть газы, пары, жидкости. В зависимости от назначения теплообменные аппараты используют как нагреватели и как охладители. Применяются для нагрева или охлаждения, испарения или конденсации различных жидких и парообразных сред в различных технологических процессах, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, газовой и других отраслях промышленности, в энергетике и коммунальном хозяйстве.

Теплообменники по способу передачи теплоты подразделяют на **поверхностные**, где отсутствует непосредственный контакт теплоносителей, а передача тепла происходит через твёрдую стенку, и **смесительные**, где теплоносители контактируют непосредственно. Поверхностные теплообменники в свою очередь подразделяются на рекуперативные и регенеративные, в зависимости от одновременного или поочерёдного контакта теплоносителей с разделяющей их стенкой.

**Рекуперативный теплообменник** — теплообменник, в котором горячий и холодный теплоносители движутся в разных каналах, в стенке между которыми происходит теплообмен.



Наиболее распространённые в промышленности рекуперативные теплообменники:

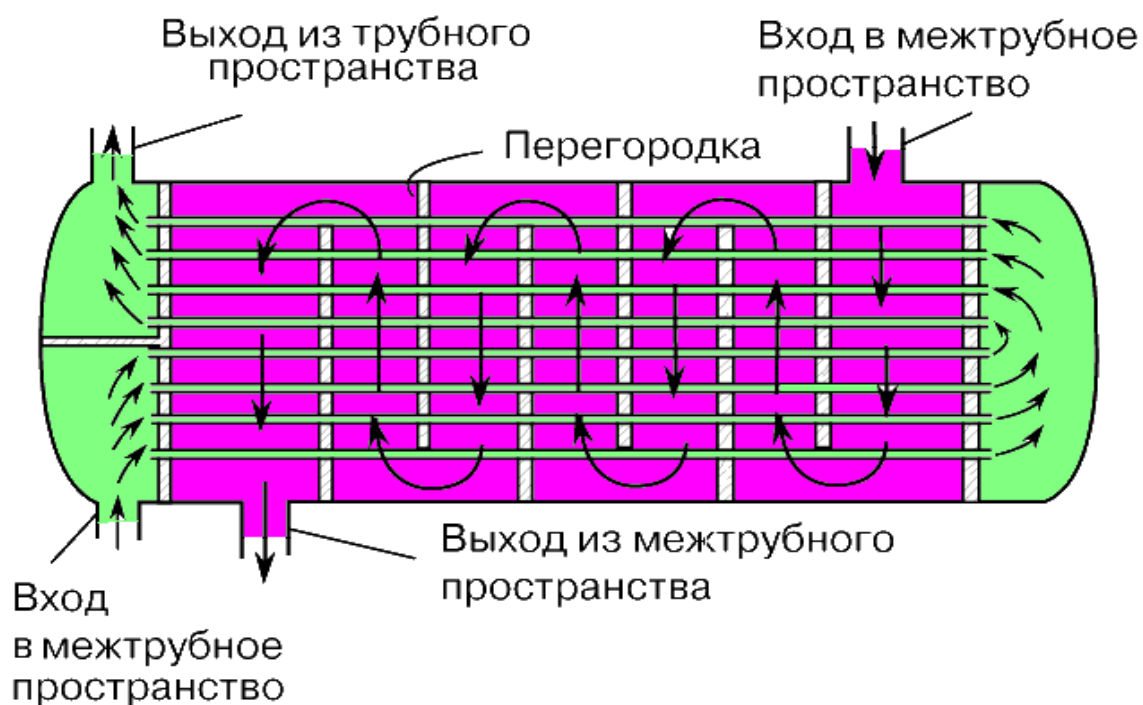
- 1) **Кожухотрубные теплообменники.**
- 2) Элементные (секционные) теплообменники.
- 3) Двухтрубные теплообменники типа "труба в трубе".
- 4) Витые теплообменники.
- 5) Погружные теплообменники.
- 6) Оросительные теплообменники.
- 7) Ребристые теплообменники.
- 8) Спиральные теплообменники.
- 9) Пластинчатые теплообменники.
- 10) Пластинчато-ребристые теплообменники.
- 11) Графитовые теплообменники.

### Кожухотрубные теплообменники.

Кожухотрубные теплообменники относятся к наиболее распространенным аппаратам. Они появились в начале XX века, в связи с потребностями тепловых станций в теплообменниках с большой поверхностью, и работающие при относительно высоком давлении. В настоящее время их конструкция в результате специальных разработок с учетом опыта эксплуатации стала намного более совершенной. В те же годы началось широкое промышленное применение кожухотрубных теплообменников в нефтяной промышленности. Для эксплуатации в тяжелых условиях потребовались нагреватели и охладители массы, испарители и конденсаторы для различных фракций сырой нефти и сопутствующих органических жидкостей. Теплообменникам часто приходилось работать с загрязненными жидкостями при высоких температурах и давлениях, и поэтому их необходимо было конструировать так, чтобы обеспечить легкость ремонта и очистки. С годами кожухотрубные теплообменники стали наиболее широко применяемым типом аппаратов. Это обусловлено прежде всего надежностью конструкции, большим набором вариантов исполнения для различных условий эксплуатации, в частности:

- однофазные потоки, кипение и конденсация по горячей и холодной сторонам теплообменника с вертикальным или горизонтальным исполнением
- диапазон давления от вакуума до высоких значений
- в широких пределах изменяющиеся перепады давления по обеим сторонам вследствие большого разнообразия вариантов
- удовлетворение требований по термическим напряжениям без существенного повышения стоимости аппарата
- размеры от малых до предельно больших ( $5000 \text{ м}^2$ )
- возможность применения различных материалов в соответствии с требованиями к стоимости, коррозии, температурному режиму и давлению
- возможность извлечения пучка труб для очистки и ремонта

Кожухотрубные теплообменники состоят из пучков труб, укрепленных в трубных досках, кожухов, крышек, камер, патрубков и опор. Трубное и меж-трубное пространства в этих аппаратах разобщены, причем каждое из них может быть разделено перегородками на несколько ходов. Классическая схема кожухотрубного теплообменника показана на рисунке:



Кожух (корпус) кожухотрубного теплообменника представляет собой трубу, сваренную из одного или нескольких стальных листов. Толщина стенки кожуха определяется давлением рабочей среды и диаметром кожуха, но принимается не менее 4 мм. К цилиндрическим кромкам кожуха приваривают фланцы для соединения с крышками или днищами. Трубочка кожухотрубных теплообменников выполняется из прямых или изогнутых (U- образных или W- образных) труб. Предпочтительны стальные бесшовные трубы. Для устранения напряжений в металле, обусловленных тепловым расширением, изготавливают также однокамерные теплообменники с гнутыми U- и W- образными трубами. Они целесообразны при высоких давлениях теплоносителей, так как изготовление водяных камер, в аппаратах высокого давления – операции сложные и дорогие. Однако аппараты с гнутыми трубами не могут получить широкого распространения из-за трудности изготовления труб с разными радиусами изгиба, сложности замены труб и неудобства чистки гнутых труб.



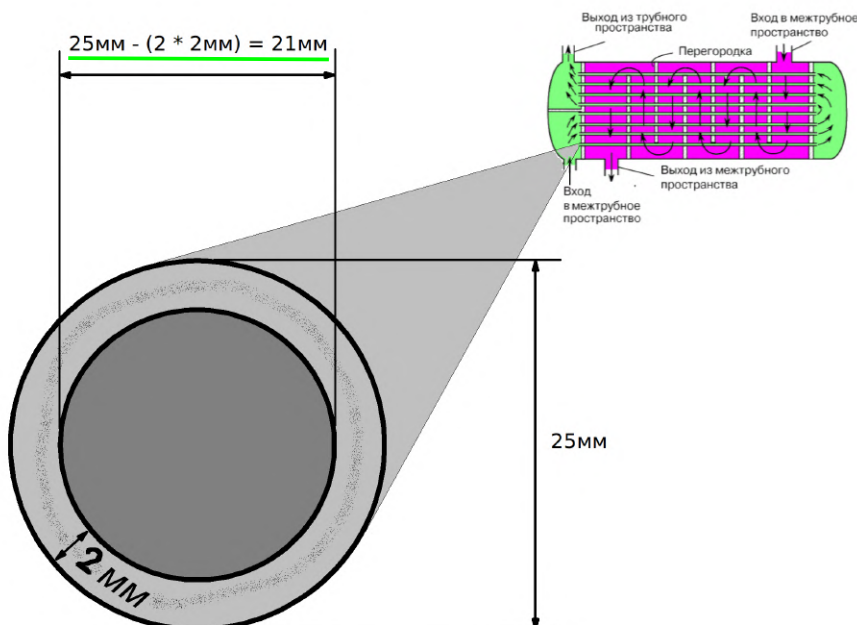
[Содержание](#)

### Материальный и тепловой баланс.

Определяем площадь поперечного сечения трубки:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.1415926 \cdot 0.021^2}{4} = 0.00035 (m^2)$$

где:  $d$  – внутренний диаметр трубки, равен: внешний диаметр минус две толщины стенки.





### Определяем массовую скорость нагреваемой жидкости:

$$W = \frac{G}{S \cdot n \cdot 3600} (\text{кг/м}^2 \cdot \text{с})$$

где:  $n$  – количество трубок, в данный момент не известно.

Т.к.  $n$  нам не известно, мы не можем посчитать массовую скорость  $W$ . Поэтому переходим к следующей формуле.

### Определяем критерий Рейнольдса, и количество трубок в теплообменнике, приходящееся на один ход:

$$Re = \frac{W \cdot d}{\mu}$$

Мы пришли к формуле критерия Рейнольдса, с неизвестной  $W$ , поэтому мы подставляем в место  $W$ , определяющую её формулу т.е.  $\frac{G}{S \cdot n \cdot 3600}$ .

$$Re = \frac{W \cdot d}{\mu} = \frac{G \cdot d}{S \cdot n \cdot 3600 \cdot \mu}$$

Теперь тоже самое сделаем для площади  $S$  т.е. подставим в место  $S$ ,  $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$ .

$$Re = \frac{W \cdot d}{\mu} = \frac{G \cdot d}{S \cdot n \cdot 3600 \cdot \mu} = \frac{4 \cdot G \cdot d}{\pi \cdot d^2 \cdot n \cdot 3600 \cdot \mu}$$

Упростим формулу, сократив диаметр  $d$ , и  $4 / 3600 = 900$ .

$$Re = \frac{G}{\pi \cdot d \cdot n \cdot 900 \cdot \mu}$$

где:  $\mu$  – вязкость теплоносителя для средней температуры  $\frac{t_{нач} + t_{кон}}{2} = \frac{15 + 65}{2} = 40$  (град)

### ПРИЛОЖЕНИЕ II

Вязкость жидких веществ и водных растворов  
Коэффициент пересчета в систему СИ:  $\text{сПз} \times 10^{-3} = \text{н} \cdot \text{сек/м}^2$

Вещество	Вязкость, сПз											
	при -20° С	при -10° С	при 0° С	при 10° С	при 20° С	при 30° С	при 40° С	при 50° С	при 60° С	при 80° С	при 100° С	при 120° С
Азотная кислота												
100%-ная . . . . .	1,49	1,24	1,05	0,92	0,8	0,72	0,64	0,57	0,5	0,39	0,35	0,31
50%-ная . . . . .	—	4	3,05	2,4	1,88	1,55	1,28	1,07	0,9	0,68	0,53	0,44
Аммиак жидкий . . . . .	0,258	0,251	0,244	0,235	0,226	0,217	0,208	0,199	0,19	—	—	—
Аммиачная вода 25%-ная . . . . .	—	—	—	1,72	1,3	1,05	0,855	0,71	0,6	0,42	0,32	0,23
Анилин . . . . .	—	—	10,2	6,5	4,4	3,12	2,3	1,8	1,5	1,1	0,8	0,59
Ацетон . . . . .	0,5	0,442	0,395	0,356	0,322	0,293	0,268	0,246	0,23	0,2	0,17	0,15
Бензол . . . . .	—	—	0,91	0,76	0,65	0,56	0,492	0,436	0,39	0,316	0,261	0,219
Бутиловый спирт . . . . .	10,3	7,4	5,19	3,87	2,95	2,28	1,78	1,41	1,14	0,76	0,54	0,38
Вода . . . . .	—	—	1,79	1,31	1,0	0,801	0,656	0,549	0,469	0,357	0,284	0,232
Гексан . . . . .	0,479	0,426	0,397	0,355	0,32	0,29	0,264	0,241	0,221	0,19	0,158	0,132
Глицерин 50%-ный . . . . .	—	—	12	8,5	6,05	4,25	3,5	2,6	2	1,2	0,73	0,45
Двуокись серы (жидк.) . . . . .	0,455	0,41	0,368	0,334	0,304	0,279	—	—	—	—	—	—
Дихлорэтан . . . . .	1,54	1,24	1,08	0,95	0,84	0,74	0,65	0,565	0,51	0,42	0,36	0,31
Изопропиловый спирт . . . . .	10,1	6,8	4,6	3,26	2,39	1,76	1,33	1,03	0,8	0,52	0,38	0,29
Кальций хлористый (25%-ный) . . . . .	10,6	7	4,47	3,36	2,74	2,25	1,85	1,55	—	—	—	—
Метиловый спирт												
100%-ный . . . . .	1,16	0,97	0,817	0,68	0,584	0,51	0,45	0,396	0,351	0,29	0,24	0,21
40%-ный . . . . .	—	—	3,65	2,54	1,84	1,37	—	—	—	—	—	—
Муравьиная кислота . . . . .	—	—	—	2,25	1,78	1,46	1,22	1,03	0,89	0,68	0,54	0,4
Натр едкий, растворы												
50%-ный . . . . .	—	—	—	—	—	46	25	16	8,03	5,54	3,97	3,42
40%-ный . . . . .	—	—	—	—	40	23	14	9,2	5,44	3,62	2,72	2,37
30%-ный . . . . .	—	—	—	—	13	9	6,3	4,6	3,4	2,16	1,82	1,71



Натр едкий, растворы													
20%-ный . . . . .	—	—	—	—	4,48	3,3	2,48	2	1,63	1,27	1,15	1,08	
10%-ный . . . . .	—	—	—	—	1,86	1,45	1,16	0,98	0,91	0,7	0,65	0,6	
Натрий хлористый (20%-ный рас- твор)	—	4,08	2,67	1,99	1,56	1,24	1,03	0,87	0,74	0,57	0,46	0,38	
Нитробензол . . . . .	—	—	3,09	2,46	2,01	1,69	1,44	1,24	1,09	0,87	0,7	0,58	
Октан . . . . .	0,968	0,829	0,703	0,61	0,54	0,479	0,428	0,386	0,35	0,291	0,245	0,208	
Олеум 20%-ный . . . . .	—	—	95	60	36,6	28,8	20,8	12,8	9	5,3	—	—	
Серная кислота													
98%-ная . . . . .	—	—	55	37	25,8	17,1	12,9	9,46	7,5	4,1	2,7	2	
92%-ная . . . . .	130	90	48	32	23,1	15,6	11,8	8,4	6,7	3,8	2,5	1,95	
75%-ная . . . . .	95	50	30	20	13,9	10,6	8,1	5,9	4,6	2,8	1,9	1,45	
60%-ная . . . . .	20	15	10,5	7,7	5,52	4,08	3,42	2,8	2,4	1,5	1,07	0,9	
Сероуглерод . . . . .	0,556	0,488	0,433	0,396	0,366	0,319	0,29	0,27	0,25	0,21	0,19	0,17	
Соляная кислота 30%-ная . . . .	—	—	—	2,1	1,7	1,48	1,3	—	—	—	—	—	
Толуол . . . . .	1,06	0,9	0,768	0,667	0,586	0,522	0,466	0,42	0,381	0,319	0,271	0,231	
Уксусная кислота													
100%-ная . . . . .	—	—	—	—	1,22	1,04	0,9	0,79	0,7	0,56	0,46	0,37	
50%-ная . . . . .	—	—	4,35	3,03	2,21	1,7	1,35	1,11	0,92	0,65	0,5	0,4	
Фенол (расплавленный) . . . . .	—	—	—	—	11,6	7	4,77	3,43	2,56	1,59	1,05	0,78	
Хлорбензол . . . . .	1,48	1,24	1,06	0,91	0,8	0,71	0,64	0,57	0,52	0,435	0,37	0,32	
Хлороформ . . . . .	0,9	0,79	0,7	0,63	0,57	0,51	0,466	0,426	0,39	0,33	0,29	0,26	
Четыреххлористый углерод . . . .	1,9	1,68	1,35	1,13	0,97	0,84	0,74	0,65	0,59	0,472	0,387	0,323	
Этилацетат . . . . .	0,79	0,67	0,578	0,507	0,449	0,4	0,36	0,326	0,297	0,248	0,21	0,178	
Этиловый спирт													
100%-ный . . . . .	2,38	2,23	1,78	1,46	1,19	1,0	0,825	0,701	0,591	0,435	0,326	0,248	
80%-ный . . . . .	—	—	3,69	2,71	2,01	1,53	1,2	0,97	0,79	0,57	0,52	0,43	
60%-ный . . . . .	—	—	5,75	3,77	2,67	1,93	1,45	1,13	0,9	0,6	0,45	0,34	
40%-ный . . . . .	—	—	7,14	4,39	2,91	2,02	1,48	1,13	0,89	0,6	0,44	0,34	
20%-ный . . . . .	—	—	5,32	3,17	2,18	1,55	1,16	0,91	0,74	0,51	0,38	0,3	
Этиловый эфир . . . . .	0,364	0,328	0,296	0,268	0,243	0,22	0,199	0,182	0,166	0,14	0,118	0,1	

Теперь мы имеем уравнение с двумя неизвестными: это критерий Рейнольдса  $Re$ , и количество трубок  $n$ . В такой ситуации надо идти на хитрость. Т.к. наилучшее условие теплообмена происходит при турбулентном движении жидкости, нам необходим критерий Рейнольдса превышающий 10000. Поэтому мы зададимся именно критерием Рейнольдса, причём таким, который соответствует турбулентному режиму движения жидкости. Пусть он будет равен  $Re = 12000$ . Теперь мы можем найти число трубок  $n$ , для нужного нам режима движения жидкости.

$$Re = \frac{G}{\pi \cdot d \cdot n \cdot 900 \cdot \mu}$$

$$\pi \cdot d \cdot n \cdot 900 \cdot \mu = \frac{G}{Re}$$

$$n = \frac{G}{Re \cdot \pi \cdot d \cdot 900 \cdot \mu} = \frac{20000}{12000 \cdot 3.1415926 \cdot 0.021 \cdot 900 \cdot 0.000466} = 60 (\text{трубок})$$

**Определяем критерий Прандтля:**

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}$$

где:  $c$  — удельная теплоёмкость толуола (выбираем из таблицы ниже). В этой таблице, значение теплоёмкости дано в (ккал/кг·град), а нам необходимо знать её значение в (дж/кг·град). Для этого умножим табличное значение на 4186.

$$0.429 \cdot 4186 = 1795.8 (\text{жд/кг·град}).$$

Вещество	Удельная теплоемкость, ккал/кг град							
	при -20° C	при 0° C	при 20° C	при 40° C	при 60° C	при 80° C	при 100° C	при 120° C
Натрий хлористый (20%-ный раствор)	—	0,41	0,939	0,936	0,931	0,93	0,92	0,92
Нитробензол . . . . .	—	0,334	0,347	0,36	0,374	0,387	0,4	0,414
Октан . . . . .	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526
Олеум 20%-ный . . . . .	—	0,326	0,34	0,354	0,368	0,382	0,396	0,41
Серная кислота								
98%-ная . . . . .	—	0,335	0,348	0,361	0,375	0,388	0,402	0,414
92%-ная . . . . .	0,355	0,366	0,377	0,389	0,4	0,412	0,425	0,436
75%-ная . . . . .	0,431	0,447	0,463	0,479	0,495	0,51	0,527	0,543
60%-ная . . . . .	0,505	0,525	0,545	0,565	0,585	0,605	0,625	0,645
Серовуглерод . . . . .	0,232	0,235	0,238	0,242	0,245	0,248	0,252	0,255
Соляная кислота 30%- ная . . . . .	—	0,55	0,59	0,63	0,67	0,72	0,76	0,8
Толуол . . . . .	0,363	0,385	0,407	0,429	0,451	0,473	0,494	0,506

$\lambda$  – теплопроводность теплоносителя (выбираем из таблицы ниже). В этой таблице, значение теплопроводности дано в (ккал/м·ч·град), а нам необходимо знать её значение в (вт/м·град). Для этого умножим табличное значение на 1.16.

$$0.113 \cdot 1.16 = 0.1311 \text{ (вт/м·град)}.$$

Вещество	Теплопроводность, ккал/м ч·град							
	при -20° C	при 0° C	при 20° C	при 40° C	при 60° C	при 80° C	при 100° C	при 120° C
Натрий хлористый (20%-ный раствор)	—	0,468	0,497	0,52	0,54	0,555	0,565	0,57
Нитробензол . . . . .	—	0,132	0,13	0,127	0,125	0,122	0,12	0,1
Октан . . . . .	0,133	0,132	0,131	0,129	0,127	0,126	0,125	0,124
Олеум 20%-ный . . . . .	—	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	—	—
Серная кислота								
98%-ная . . . . .	—	0,264	0,284	0,294	0,306	0,324	0,334	0,344
92%-ная . . . . .	0,256	0,276	0,296	0,306	0,324	0,336	0,346	0,356
75%-ная . . . . .	0,3	0,315	0,33	0,345	0,365	0,385	0,405	0,425
60%-ная . . . . .	0,33	0,35	0,37	0,38	0,4	0,43	0,45	0,47
Серовуглерод . . . . .	0,15	0,146	0,142	0,139	0,133	0,129	0,125	0,121
Соляная кислота 30%- ная . . . . .	—	0,334	0,362	0,39	0,419	0,45	0,48	0,5
Толуол . . . . .	0,125	0,121	0,117	0,113	0,11	0,106	0,102	0,098

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda} = \frac{0.000466 \cdot 1795.8}{0.1311} = 6.3011$$

### Определяем критерий Нуссельта:

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} = 0.023 \cdot 12000^{0.8} \cdot 6.3011^{0.4} = 88.1$$

### Определяем тепловую нагрузку:

$$Q_{\text{общ}} = \frac{G}{3600} \cdot c \cdot (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}) + Q_{\text{ном}} (Bm)$$

где:  $Q_{\text{пот}}$  - тепловые потери (Вт). Определяются как процент от  $\frac{G}{3600} \cdot c \cdot (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})$ .

Поэтому сначала посчитаем эту часть выражения.

$$\frac{G}{3600} \cdot c \cdot (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}) = \frac{20000}{3600} \cdot 1795.8 \cdot (65 - 15) = 498833.3333 (Bm)$$

И теперь от полученного числа находим 5%, это будет 24941,6667 (Вт).

Считаем  $Q_{\text{общ}}$ :

$$Q_{\text{общ}} = 498833.3333 + 24941.6667 = 523775 (Bm)$$

### Определяем среднюю разность температур теплоносителя:

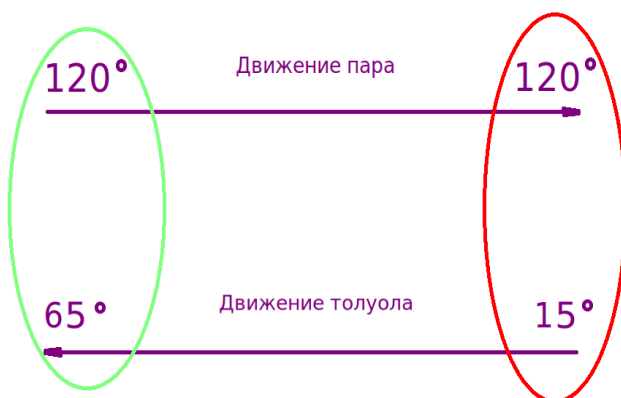
По таблице находим температуру пара, для нашего давления (2 атм).

#### Свойства насыщенного водяного пара

Коэффициенты пересчета в систему СИ: давление —  $ат \times 0.981 = бар$ ;  
энтальпия и теплота испарения —  $ккал/кг \times 4190 = дж/кг$

Температура °C	Давление ат	Плотность кг/м³	Энтальпия, ккал/кг		Теплота испарения ккал/кг
			пара	жидкости	
0	0,00623	0,00485	597	0	597
5	0,00889	0,00679	600	5	595
10	0,0125	0,0094	602	10	592
15	0,0174	0,0128	604	15	589
20	0,0238	0,0173	606	20	586
25	0,0323	0,023	608	25	583
30	0,0433	0,0304	610	30	580
35	0,0573	0,0396	613	35	578
40	0,0752	0,0512	615	40	575
45	0,0977	0,0654	617	45	572
50	0,126	0,0831	619	50	569
55	0,161	0,104	621	55	566
60	0,203	0,13	623	60	563
65	0,255	0,161	625	65	560
70	0,318	0,198	627	70	557
75	0,393	0,242	629	75	554
80	0,483	0,293	631	80	551
85	0,589	0,354	633	85	548
90	0,715	0,424	635	90	545
95	0,862	0,505	637	95	542
100	1,033	0,598	639	100	539
105	1,23	0,705	641	105	536
110	1,46	0,826	643	110	533
115	1,72	0,965	645	115	529
120	2,02	1,12	646	120	526
125	2,37	1,3	648	125	523
130	2,75	1,5	650	131	519
135	3,19	1,72	651	136	516
140	3,69	1,97	653	141	512
145	4,24	2,24	655	146	509
150	4,85	2,55	656	151	505
155	5,54	2,89	657	156	501
160	6,3	3,26	659	161	498
165	7,15	3,67	660	166	494
170	8,08	4,12	661	172	489
175	9,1	4,62	662	177	485
180	10,2	5,16	663	182	481
185	11,5	5,75	665	188	477
190	12,8	6,39	666	193	473
195	14,3	7,1	666	198	468
200	15,9	7,86	667	204	463

Для г  
Стр. 14



Температура пара не меняется в процессе теплообмена, поэтому мы рисуем следующую картину



И отнимаем от температуры пара, температуру толуола, с каждой стороны нашей симпатичной картины.

$$\Delta t_1 = 120^\circ - 15^\circ = 105^\circ - \max$$

$$\Delta t_2 = 120^\circ - 65^\circ = 55^\circ - \min$$

Затем делим большее значение  $\Delta$  на меньшее, и в зависимости от ответа, применяем формулу для нахождения  $\Delta t_{cp}$ .

Если частное от деления окажется  $\leq$  (меньше или равно) 2 то  $\Delta t_{cp} = \frac{\max + \min}{2}$ .

Если частное от деления окажется  $>$  (больше) 2 то  $\Delta t_{cp} = \frac{\max - \min}{\lg \frac{\max}{\min}}$ .

Что же у нас получается, а получается:  $\frac{105}{55} = 1.91$ . Частное  $<$  (меньше) 2 ура.

Считаем  $\Delta t_{cp}$ :

$$\Delta t_{cp} = \frac{\max + \min}{2} = \frac{105 + 55}{2} = 80 (\text{град})$$

### Определяем коэффициент теплоотдачи $\alpha_2$ :

Для определения коэффициента теплоотдачи  $\alpha_2$  (alpha2), нам потребуется формула критерия Нуссельта.

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$$

Из этой формулы находим  $\alpha_2$ .

$$\alpha \cdot d = Nu \cdot \lambda$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{88.1 \cdot 0.1311}{0.021} = 550 (\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град})$$

### Определяем коэффициент теплоотдачи $\alpha_1$ :

$$\alpha_1 = 1.154 \sqrt[4]{\frac{\lambda \kappa^3 \cdot g \cdot \rho \kappa^2 \cdot r}{h \cdot (t_n - t_{cm}) \cdot \mu \kappa}}$$

где:  $\lambda \kappa$  — теплопроводность конденсата. (выбираем из таблицы ниже). т.к. нашей температуры в таблице нет (равна температуре стенки  $t_{ст}$ ), то найдём среднее значение между  $100^\circ$  и  $120^\circ$ .

$$\frac{0.587 + 0.59}{2} = 0.5885 (\text{ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}) \quad \text{умножим наш ответ на 1.16, чтобы получить}$$

$$(\text{Вт/м} \cdot \text{град}).$$

$$0.5885 \cdot 1.16 = 0.683 (\text{Вт/м} \cdot \text{град}).$$

**Теплопроводность жидких веществ и водных растворов**  
 Коэффициент пересчета в систему СИ:  $\text{ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град} \times 1,16 = \text{вт/м} \cdot \text{град}$

Вещество	Теплопроводность, $\text{ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$							
	при $-20^{\circ}\text{C}$	при $0^{\circ}\text{C}$	при $20^{\circ}\text{C}$	при $40^{\circ}\text{C}$	при $60^{\circ}\text{C}$	при $80^{\circ}\text{C}$	при $100^{\circ}\text{C}$	при $120^{\circ}\text{C}$
<b>Азотная кислота</b>								
100%-ная . . . . .	0,226	0,221	0,216	0,212	0,208	0,205	0,201	0,198
50%-ная . . . . .	—	0,381	0,394	0,403	0,412	0,416	0,418	0,42
Аммиак жидкий . . . . .	0,504	0,465	0,426	0,387	0,348	0,309	0,27	0,231
Аммиачная вода 25%-ная . . . . .	—	0,36	0,386	0,412	0,437	0,463	0,49	0,51
Анилин . . . . .	—	0,16	0,157	0,154	0,15	0,147	0,144	0,141
Ацетон . . . . .	0,154	0,15	0,146	0,142	0,138	0,134	0,13	0,126
Бензол . . . . .	—	0,13	0,126	0,121	0,117	0,112	0,108	0,104
Бутильовый спирт . . . . .	0,137	0,134	0,132	0,129	0,126	0,123	0,12	0,118
Вода . . . . .	—	0,474	0,515	0,545	0,567	0,58	0,587	0,59

$g$  — ускорение свободного падения, равно  $9.81 \cdot (\text{м/с}^2)$ .

$h$  — высота трубки (м), (возможны варианты: 1, 1.5, 2, 3, 4, 6, 9), принимаем  $2$  (м).

$t_{\text{п}}$  — температура пара ( $^{\circ}$ ).

$t_{\text{ст}}$  — температура стенки, принимается как температура пара минус  $10^{\circ}$ , т.е.  $110^{\circ}$ .

$\rho_k$  — плотность конденсата (выбираем из таблицы ниже) ( $\text{кг/м}^3$ ).

**Относительная плотность воды (чистой) в диапазоне  $0 - 300^{\circ}\text{C}$  ( $32 - 600^{\circ}\text{F}$ ). Относительно плотности при  $4 / 15,6 / 20^{\circ}\text{C}$ .**

Температура		Опорная температура (относительно плотности при какой температуре указано значение в таблице)		
$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$	$4^{\circ}\text{C}(39.2^{\circ}\text{F})$	$15.6^{\circ}\text{C}(60^{\circ}\text{F})$	$20^{\circ}\text{C}(68^{\circ}\text{F})$
32	0	1.000	1.001	1.002
35	1.7	1.000	1.001	1.002
40	4.4	1.000	1.001	1.002
50	10.0	0.999	1.001	1.002
60	15.6	0.999	1.000	1.001
70	21.1	0.998	0.999	1.000
80	26.7	0.996	0.998	0.999
90	32.2	0.995	0.996	0.997
100	37.8	0.993	0.994	0.995
120	48.9	0.989	0.990	0.991
140	60.0	0.983	0.985	0.986
160	71.1	0.977	0.979	0.979
180	82.0	0.970	0.972	0.973
200	93.3	0.963	0.964	0.966
212	100	0.958	0.959	0.960
220	104	0.955	0.956	0.957
240	116	0.947	0.948	0.949
260	127	0.938	0.939	0.940
280	138	0.928	0.929	0.930
300	149	0.918	0.919	0.920



Но таблица то не простая, в ней даётся коэффициент, который надо умножить на плотность воды, при уже известном нам значении температуры (это плотность воды при 20°, она равна 988.23 кг/м³). А нашей температуры тут тоже нет. В таком случае возьмём коэффициент для плотности воды при температуре 104°.

$$998.23 \cdot 0.957 = 945.74 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

$r$  – теплота испарения (парообразования) (выбираем из таблицы выше стр. 11).

Необходимо умножить значение из таблицы на 4186.  $526 \cdot 4186 = 2201836 \text{ (дж/кг)}.$

$\mu$  – вязкость воды (т.к. значение для 110° опять отсутствует, то мы возьмём его для температуры 100° (из таблицы) и умножим его на  $10^{-3}$ ).

$$0.284 \cdot 10^{-3} = 0.000284 \text{ (н·сек/м}^2\text{)}.$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ II

Вязкость жидких веществ и водных растворов  
Коэффициент пересчета в систему СИ:  $\text{спз} \times 10^{-3} = \text{н} \cdot \text{сек/м}^2$

Вещество	Вязкость, спз											
	при -20° С	при -10° С	при 0° С	при 10° С	при 20° С	при 30° С	при 40° С	при 50° С	при 60° С	при 80° С	при 100° С	при 120° С
Азотная кислота												
100%-ная . . . . .	1,49	1,24	1,05	0,92	0,8	0,72	0,64	0,57	0,5	0,39	0,35	0,31
50%-ная . . . . .	—	4	3,05	2,4	1,88	1,55	1,28	1,07	0,9	0,68	0,53	0,44
Аммиак жидкий . . . . .	0,258	0,251	0,244	0,235	0,226	0,217	0,208	0,199	0,19	—	—	—
Аммиачная вода 25%-ная . . . . .	—	—	—	1,72	1,3	1,05	0,855	0,71	0,6	0,42	0,32	0,23
Анилин . . . . .	—	—	10,2	6,5	4,4	3,12	2,3	1,8	1,5	1,1	0,8	0,59
Ацетон . . . . .	0,5	0,442	0,395	0,356	0,322	0,293	0,268	0,246	0,23	0,2	0,17	0,15
Бензол . . . . .	—	—	0,91	0,76	0,65	0,56	0,492	0,436	0,39	0,316	0,261	0,219
Бутиловый спирт . . . . .	10,3	7,4	5,19	3,87	2,95	2,28	1,78	1,41	1,14	0,76	0,54	0,38
Вода . . . . .	—	—	1,79	1,31	1,0	0,801	0,656	0,549	0,469	0,357	0,284	0,232
Гексан . . . . .	0,479	0,426	0,397	0,355	0,32	0,29	0,264	0,241	0,221	0,19	0,158	0,132
Глицерин 50%-ный . . . . .	—	—	12	8,5	6,05	4,25	3,5	2,6	2	1,2	0,73	0,45
Двуокись серы (жидк.) . . . . .	0,455	0,41	0,368	0,334	0,304	0,279	—	—	—	—	—	—
Дихлорэтан . . . . .	1,54	1,24	1,08	0,95	0,84	0,74	0,65	0,565	0,51	0,42	0,36	0,31
Изопропиловый спирт . . . . .	10,1	6,8	4,6	3,26	2,39	1,76	1,33	1,03	0,8	0,52	0,38	0,29
Кальций хлористый (25%-ный) . . . . .	10,6	7	4,47	3,36	2,74	2,25	1,85	1,55	—	—	—	—
Метиловый спирт												
100%-ный . . . . .	1,16	0,97	0,817	0,68	0,584	0,51	0,45	0,396	0,351	0,29	0,24	0,21
40%-ный . . . . .	—	—	3,65	2,54	1,84	1,37	—	—	—	—	—	—
Муравьиная кислота . . . . .	—	—	—	2,25	1,78	1,46	1,22	1,03	0,89	0,68	0,54	0,4
Натр едкий, растворы												
50%-ный . . . . .	—	—	—	—	—	46	25	16	8,03	5,54	3,97	3,42
40%-ный . . . . .	—	—	—	—	40	23	14	9,2	5,44	3,62	2,72	2,37
30%-ный . . . . .	—	—	—	—	13	9	6,3	4,6	3,4	2,16	1,82	1,71

$$\alpha_1 = 1.154 \sqrt[4]{\frac{0.683^3 \cdot 9.81 \cdot 945.74^2 \cdot 2201836}{2 \cdot (120 - 110) \cdot 0.000284}} = 6621,2 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{град)}$$

Определяем коэффициент теплоотдачи  $k$ :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где:  $\delta_{ст}$  – толщина стенки трубки (м).

$\lambda_{ст}$  – удельная теплопроводность стенки трубки (выбираем из таблицы)  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$  для латуни, возьмём значение 100.

Материал	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Графен	(4840±440) — (5300±480)
Алмаз	1001—2600
Серебро	430
Медь	382—390
Золото	320
Алюминий	202—236
Латунь	97—111
Железо	92
Платина	70
Олово	67
Сталь	47
Кварц	8
Стекло	1-1,15
КПТ-8	0,7
Вода при нормальных условиях	0,6
Кирпич строительный	0,2—0,7
Пенобетон	0,14—0,3
Древесина	0,15
Свежий снег	0,10—0,15
Вата	0,055
Воздух (300 К, 100 кПа)	0,026
Вакуум (абсолютный)	0 (строго)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{6621,2} + \frac{0.002}{100} + \frac{1}{550}} = 502.7114 \left( \frac{Вт}{м^2 \cdot град} \right)$$

Определяем поверхность теплопередачи F:

$$F = \frac{Q_{общ}}{k \cdot \tau \cdot \Delta t_{cp}}$$

где:  $\tau$  — время (обычно 1 час) .

$$F = \frac{Q}{k \cdot \tau \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{523775}{502.7114 \cdot 1 \cdot 80} = 13,024 (м^2)$$

Определяем расход греющего пара:

$$G_{пара} = \frac{Q_{общ}}{r} = \frac{523775}{2201836} = 0.24 (кг/с)$$

коэффициент

Конструктивный расчёт.

Подбираем теплообменник по ГОСТУ:

Выбираем теплообменник с большей близкой поверхностью теплообмена (выбираем из таблицы) . С нашей длиной трубок 2 (м) .

D кожуха, мм	d труб, мм	Число ходов *	Общее число труб, шт.	Поверхность теплообмена (в м²)** при длине труб, м							Площадь сечения потока, 10² м²		Площадь сечения одного хода по трубам, 10² м²
				1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	в вырезе перегородок	между перегородками	
159	20×2	1	19	1,0	2,0	2,5	3,5	—	—	—	0,3	0,5	0,4
		1	13	1,0	1,5	2,0	3,0	—	—	—	0,4	0,8	0,5
	25×2	1	61	4,0	6,0	7,5	11,5	—	—	—	0,7	1,0	1,2
		1	37	3,0	4,5	6,0	9,0	—	—	—	0,9	1,1	1,3
325	20×2	1	100	—	9,5	12,5	19,0	25,0	—	—	1,1	2,0	2,0
		2	90	—	8,5	11,0	17,0	22,5	—	—	1,1	1,6	0,9
	25×2	1	62	—	7,5	10,0	14,5	19,5	—	—	1,3	2,9	2,1
		2	56	—	6,5	9,0	13,0	17,5	—	—	1,3	1,5	1,0
400	20×2	1	181	—	—	23,0	34,0	46,0	68,0	—	1,7	2,5	3,6
		2	166	—	—	21,0	31,0	42,0	63,0	—	1,7	3,0	1,7
	25×2	1	111	—	—	17,0	26,0	35,0	52,0	—	2,0	3,1	3,8
		2	100	—	—	16,0	24,0	31,0	47,0	—	2,0	2,5	1,7
600	20×2	1	389	—	—	49	73	98	147	—	4,1	6,6	7,8
		2	370	—	—	47	70	93	139	—	4,1	4,8	3,7
		4	334	—	—	42	63	84	126	—	4,1	4,8	1,6
		6	316	—	—	40	60	79	119	—	3,7	4,8	0,9
	25×2	1	257	—	—	40	61	81	121	—	4,0	5,3	8,9
		2	240	—	—	38	57	75	113	—	4,0	4,5	4,2
		4	206	—	—	32	49	65	97	—	4,0	4,5	1,8
		6	196	—	—	31	46	61	91	91	3,7	4,5	1,1
800	20×2	1	717	—	—	90	135	180	270	405	6,9	9,1	14,4
		2	690	—	—	87	130	173	260	390	6,9	7,0	6,9
		4	638	—	—	80	120	160	240	361	6,9	7,0	3,0
		6	618	—	—	78	116	155	233	349	6,5	7,0	2,0
	25×2	1	465	—	—	73	109	146	219	329	7,0	7,9	16,1
		2	442	—	—	69	104	139	208	312	7,0	7,0	7,7
		4	404	—	—	63	95	127	190	285	7,0	7,0	3,0
		6	384	—	—	60	90	121	181	271	6,5	7,0	2,2
1000	20×2	1	1173	—	—	—	221	295	442	663	10,1	15,6	23,6
		2	1138	—	—	—	214	286	429	643	10,1	14,6	11,4
		4	1072	—	—	—	202	269	404	606	10,1	14,6	5,1



Итак, принятый нами, в соответствии с ГОСТом, теплообменник, имеет:

Поверхность теплообмена  $F = 16 \text{ (м}^2\text{)}.$

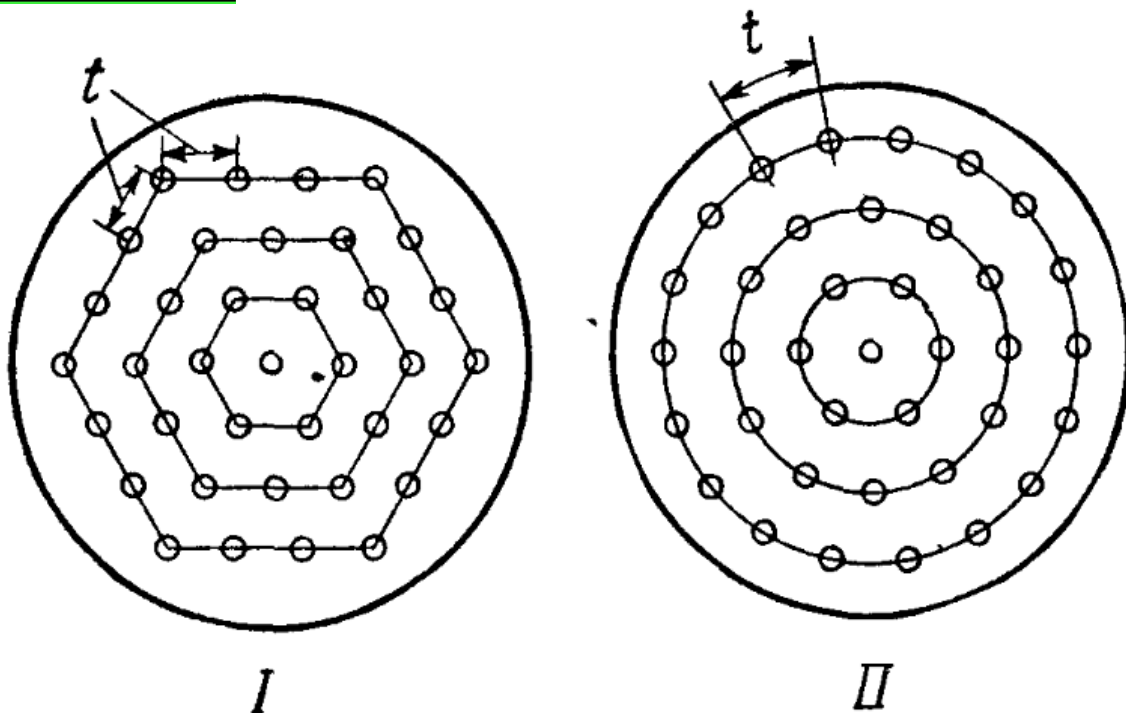
Общее число трубок  $n = 100 \text{ (шт.)}$

Число ходов  $z = 2 \text{ (2-х ходовой).}$

Диаметр трубок  $d = 25 \times 2 \text{ (мм).}$

Диаметр кожуха  $D = 400 \text{ (мм).}$

**Определяем количество шестиугольников (расположение трубок в теплообменнике):**



## Способы разбивки труб:

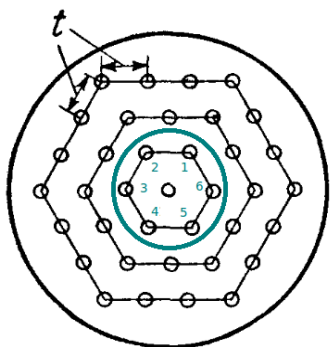
**I — по периметрам шестиугольников; II — по concentрическим окружностям.**

Трубы в кожухотрубных теплообменниках обычно размещают по периметрам правильных шестиугольников (1), или по concentрическим окружностям (2). В шестиугольнике количество труб равно, порядковому номеру шестиугольника (считая от центра аппарата), умноженному на 6. Таким образом при  $x$  шестиугольниках теоретическое количество труб  $n$  равно.

$$n = 1 + 6(1 + 2 + 3 + 4 + \dots + x)$$

Подставим наши значения в формулу расчёта суммы арифметической прогрессии, которая в нашем случае, выглядит так:

$$\frac{x \cdot (\text{первый член прогрессии} + \text{последний член прогрессии})}{2}$$



Первый член прогрессии это наш первый шестиугольник, начиная от центра.

Как мы видим в нём помещается (номер шестиугольника (№1) умножаем на 6) — 6 трубок.

В последнем члене прогрессии будет-  $6 \cdot x$  трубок.

Подставляем количество трубок первого и последнего шестиугольника, в формулу расчёта суммы арифметической прогрессии.

$$\frac{x \cdot (6 + 6 \cdot x)}{2} = \frac{6 \cdot x + 6 \cdot x^2}{2}$$

В числителе вынесем общий множитель 6 за скобки, и упростим выражение, сократив его на 2.

$$\frac{6 \cdot x + 6 \cdot x^2}{2} = \frac{6 \cdot (x + x^2)}{2} = 3 \cdot (x + x^2) = 3 \cdot x + 3 \cdot x^2 \text{ (сумма трубок в шестиугольниках)}$$

Итак мы нашли формулу суммы трубок в шестиугольниках  $3 \cdot x + 3 \cdot x^2$ , теперь прибавим к ней центральную трубку.

$$3 \cdot x + 3 \cdot x^2 + 1$$

И всё это выражение равно нашему количеству трубок  $n$ , т.е. 100 (шт).

$$3 \cdot x + 3 \cdot x^2 + 1 = 100$$

Приведём наше выражение к виду квадратного уравнения, перенеся 100 в левую часть.

$$3 \cdot x^2 + 3 \cdot x - 99 = 0$$

Найдём количество шестиугольников  $x$ , решив данное квадратное уравнение.

Вычисляем дискриминант:

$$D = b^2 - 4 \cdot a \cdot c$$

где:  $a$  – коэффициент при  $x^2$ .

$b$  – коэффициент при  $x$ .

$c$  – 99.

$$D = 3^2 - 4 \cdot 3 \cdot (-99) = 1197$$

Дискриминант больше 0, поэтому у данного уравнения есть 2 значения  $x$ .

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{D}}{2a} = \frac{-3 + \sqrt{1197}}{2 \cdot 3} = 5,27$$

$$x_2 = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a} = \frac{-3 - \sqrt{1197}}{2 \cdot 3} = -6,27$$

Нами получены 2 ответа, т.к. второй ответ ( $x_2$ ) отрицательный, он нам не подходит:  ~~$x_2$~~ .

Первый ответ ( $x_1$ ), получается, не целое число (5.27), но количество шестиугольников лучше и проще считать в целых числах, поэтому возьмём вместо 5.27, целое число 5, и подставим в одну из наших формул.

Получается  $3 \cdot 5 + 3 \cdot 5^2 = 90$ , или при значении 6,  $3 \cdot 6 + 3 \cdot 6^2 = 126$  трубок, без центральной трубки.

Получается 90 трубок, при 5 шестиугольниках, и 126 трубок при 6.

Возьмём количество шестиугольников равным 5. А оставшиеся 10 трубок

разместим по 5 в каждом ходе. КАК??? (это уже задание для конструктора, и в наш расчёт не входит).

[содержание](#)

## Определяем диаметры штуцеров:

Нам необходимо посчитать диаметры штуцеров для: входа и выхода холодного теплоносителя (одинаковые), для входа пара и выхода конденсата. Формула для всех диаметров одна.

$$d_{шт} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}}$$

где:  $\omega$  – скорость теплоносителя в штуцере (выбираем из таблицы).

$\rho$  – плотность теплоносителя.

Величина допустимой скорости теплоносителя для расчета диаметра штуцеров (а также трубопроводов и других деталей и узлов химических аппаратов) принимается по опытным данным скоростей движения жидкостей и газов (паров) в промышленных условиях, приведенным в таблице.

Ориентировочные значения допустимой скорости потока

Среда и условия движения	Скорость, м/с
Маловязкие жидкости (до 0,01 Па·с) при перекачивании насосом	0,5 ÷ 3,0
Вязкие жидкости (свыше 0,01 Па·с) при перекачивании насосом	0,2 ÷ 1,0
Жидкости (конденсаты) при движении самотеком	0,1 ÷ 0,5
Пар насыщенный	15 ÷ 25
Пар перегретый (газы)	20 ÷ 50
Паро-жидкостный поток в пересчете на однофазный жидкостный поток	0,5 ÷ 1,0

Определяем диаметр штуцера для входа пара. В таблице берём скорость  $\omega_{пара}$  для насыщенного пара 20 (м/с). Плотность пара  $\rho_{пара}$  берём в таблице на [стр 11](#). Для нашего давления она равна 1.12 (кг/м³).

$$d_{шт\ пара} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{пара}}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.19}{3.1415926 \cdot 20 \cdot 1.12}} = 0.1 (м)$$

Определяем диаметр штуцера для выхода конденсата.  $G$  подставляем значение пара 0.19 (кг/с). В таблице берём скорость  $\omega_{конд}$  для жидкости при движении самотёком 0.3 (м/с). Плотность конденсата  $\rho_{конд}$  берём из формулы расчёта (a1). Для нашей температуры равна 945.74 (кг/м³).

$$d_{шт\ конд} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{пара}}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.19}{3.1415926 \cdot 0.3 \cdot 945.74}} = 0.03 (м)$$

Определяем диаметр штуцера для подачи и выхода толуола.

**Плотность жидких веществ и водных растворов**

Вещество	Плотность, кг/м³							
	при -20° С	при 0° С	при 20° С	при 40° С	при 60° С	при 80° С	при 100° С	при 120° С
Азотная кислота								
100 %-ная . . . . .	1582	1547	1513	1478	1443	1408	1373	1338
50 %-ная . . . . .	—	1334	1310	1287	1263	1238	1212	1186
Аммиак жидкий . . . . .	665	639	610	580	545	510	462	390
Аммиачная вода 25 %-ная	—	918	907	897	887	876	866	856
Анилин . . . . .	—	1039	1022	1004	987	969	952	933
Ацетон . . . . .	835	813	791	768	746	719	693	665
Бензол . . . . .	—	900	879	858	836	815	793	769
Бутиловый спирт . . . . .	838	824	810	795	781	766	751	735
Вода . . . . .	—	1000	998	992	983	972	958	943
Гексан . . . . .	693	677	660	641	622	602	581	559
Глицерин 50 %-ный . . . . .	—	1136	1126	1116	1106	1006	996	986
Двуокись серы (жидк.) . . . . .	1484	1434	1383	1327	1264	1193	1111	1010
Дихлорэтан . . . . .	1310	1282	1254	1224	1194	1163	1133	1102
Изопропиловый спирт . . . . .	817	801	785	768	752	735	718	700
Кальций хлористый (25 %-ный раствор) . . . . .	1248	1239	1230	1220	1210	1200	1190	1180
Метиловый спирт								
100 %-ный . . . . .	828	810	792	774	756	736	714	690
40 %-ный . . . . .	—	946	935	924	913	902	891	880
Вещество	при -20° С	при 0° С	при 20° С	при 40° С	при 60° С	при 80° С	при 100° С	при 120° С
Муравьиная кислота . . . . .	—	1244	1220	1195	1171	1147	1121	1096
Натр едкий, растворы								
50 %-ный . . . . .	—	1540	1525	1511	1497	1483	1469	1454
40 %-ный . . . . .	—	1443	1430	1416	1403	1389	1375	1360
30 %-ный . . . . .	—	1340	1328	1316	1303	1289	1276	1261
20 %-ный . . . . .	—	1230	1219	1208	1196	1183	1170	1155
10 %-ный . . . . .	—	1117	1109	1100	1089	1077	1064	1049
Натрий хлористый (20 %-ный раствор) . . . . .	—	1157	1148	1139	1130	1120	1110	1100
Нитробензол . . . . .	—	1223	1203	1183	1163	1143	1123	1103
Октан . . . . .	734	718	702	686	669	653	635	617
Олеум 20 %-ный . . . . .	—	1922	1896	1870	1844	1818	1792	1766
Серная кислота								
98 %-ная . . . . .	—	1857	1837	1817	1798	1779	1761	1742
92 %-ная . . . . .	1866	1845	1824	1803	1783	1765	1744	1723
75 %-ная . . . . .	1709	1689	1669	1650	1632	1614	1597	1580
60 %-ная . . . . .	1532	1515	1498	1482	1466	1450	1434	1418
Серовуглерод . . . . .	1323	1293	1263	1233	1200	1165	1125	1082
Соляная кислота (30 %- ная) . . . . .	1173	1161	1149	1138	1126	1115	1103	1090
Толуол . . . . .	902	884	866	847	828	808	788	766
Уксусная кислота								
100 %-ная . . . . .	—	1072	1048	1027	1004	981	958	922
50 %-ная . . . . .	—	1074	1058	1042	1026	1010	994	978
Фенол (расплавленный) . . . . .	—	—	1075	1058	1040	1022	1003	987
Хлорбензол . . . . .	1150	1128	1107	1085	1065	1041	1021	995
Хлороформ . . . . .	1563	1526	1489	1450	1411	1380	1326	1280
Четыреххлористый угле- род . . . . .	1670	1633	1594	1556	1517	1471	1434	1390
Этилацетат . . . . .	947	924	901	876	851	825	797	768
Этиловый спирт								
100 %-ный . . . . .	823	806	789	772	754	735	716	693
80 %-ный . . . . .	—	857	843	828	813	797	783	768
60 %-ный . . . . .	—	904	891	878	864	849	835	820
40 %-ный . . . . .	—	947	935	923	910	897	885	872
20 %-ный . . . . .	—	977	969	957	946	934	922	910
Этиловый эфир . . . . .	758	736	714	689	666	640	611	576

В таблице

берём скорость  $\omega_{тол}$  для **маловязких жидкостей** **1** (м/с). Плотность толуола  $\rho_{тол}$  берём в таблице **выше**. При  $t_{ср}$  (40°) равна **847** (кг/м³). **G** подставляем в (кг/с).

$$d_{шт тол} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{тол}}{\pi \cdot \omega \cdot 3600 \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20000}{3.1415926 \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 847}} = 0.091 (м)$$

## Гидравлическое сопротивление.

### Определяем коэффициент трения:

$$\lambda_{тр} = \frac{1}{(1.8 \cdot \lg Re - 1.5)^2}$$

Прежде чем определить коэффициент трения, нам необходимо посчитать новый критерий Рейнольдса. Т.к. теперь мы располагаем новым теплообменником, выбранным по ГОСТу. Для этого воспользуемся формулой из расчёта первоначального критерия Рейнольдса. В отличие от прошлого расчёта, где мы задавались конкретным значением критерия Рейнольдса, и находили количество трубок, сейчас, количество трубок нам известно, оно равно 100 трубок / 2 хода = 50 трубок на ход. Именно это значение мы подставим в место  $n$ . У нас не изменился внутренний диаметр трубки  $d$ , он равен 25мм - (2\*2мм) = 21мм.

$$Re = \frac{G}{\pi \cdot d \cdot n \cdot 900 \cdot \mu} = \frac{20000}{3.1415926 \cdot 0.021 \cdot 50 \cdot 900 \cdot 0.000466} = 14456.5$$

Полученный критерий Рейнольдса соответствует развитому турбулентному движению. Теперь мы можем вернуться к коэффициенту трения.

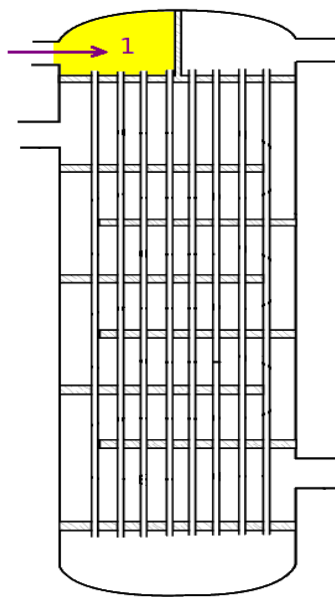
$$\lambda_{тр} = \frac{1}{(1.8 \cdot \lg 14456.5 - 1.5)^2} = 0.028$$

### Определяем коэффициенты местных сопротивлений:

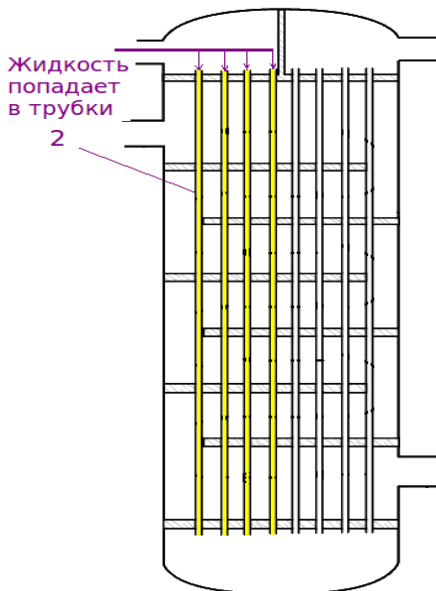
Проследим путь жидкости в трубном пространстве (для этого нам понадобится таблица «Коэффициенты местных сопротивлений  $\zeta$  в теплообменниках»).

#### Коэффициенты местных сопротивлений $\zeta$ в теплообменниках

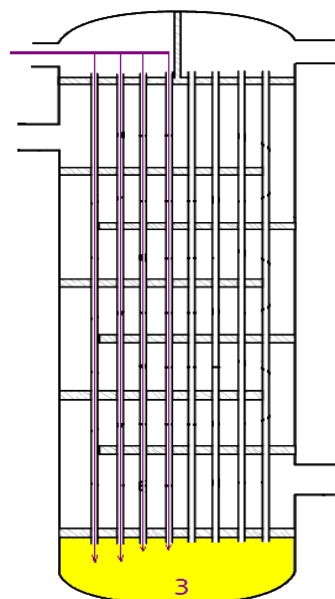
Характер местных сопротивлений	$\zeta$
Входная или выходная камера (удар и поворот) . . . . .	1,5
Поворот (180°) между ходами или секциями . . . . .	2,5
Вход в трубы и выход из них . . . . .	1
Вход в межтрубное пространство и выход из него . . . . .	1,5
Поворот в U-образных трубах . . . . .	0,5
Поворот (180°) через перегородку в межтрубном пространстве . . . . .	1,5
Поворот (180°) через калач . . . . .	2
Поперечное движение в межтрубном пространстве ( $m$ — число рядов труб) . . . . .	$\frac{3m}{Re^{0,2}}$
Круглые змеевики ( $n$ — число витков) . . . . .	0,5 $n$



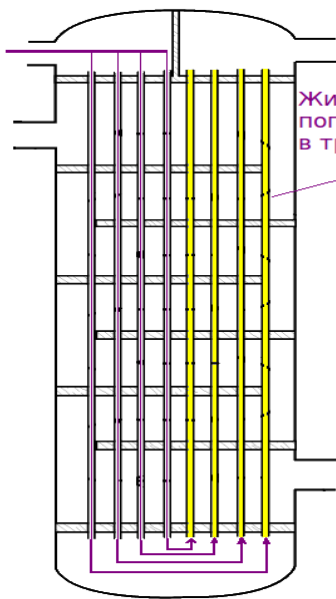
Мы видим, что жидкость, поступающая в теплообменник попадает во входную камеру 1, что соответствует пункту, «Входная и выходная камера (удар и поворот)», в нашей таблице. Коэффициент  $\zeta$  в этом случае равен 1.5.



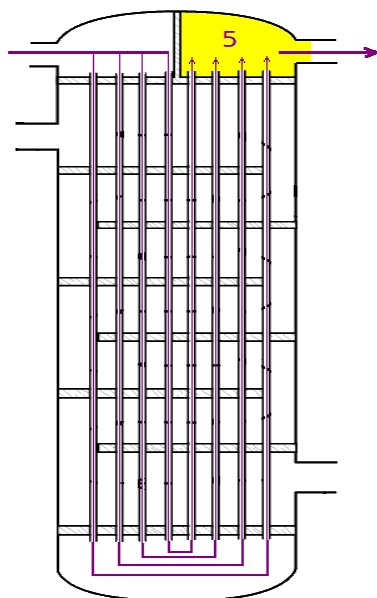
Далее жидкость попадает в трубы 2, это соответствует пункту «Вход в трубы и выход из них», в нашей таблице. Коэффициент  $\zeta$  в этом случае равен 1. Тут следует учесть, что 1 получается при суммировании сопротивления, когда жидкость входит в трубы, с сопротивлением, когда жидкость выходит из труб. То есть на каждый входит и выходит – единица.



После труб жидкость попадает в выходную камеру 3, и там изменяет направление на  $180^\circ$  (чтобы попасть в трубки хода №2). Это соответствует пункту, «Поворот ( $180^\circ$ ) между ходами или секциями», в нашей таблице. Коэффициент  $\zeta$  в этом случае равен 2.5.



Далее жидкость попадает в трубы 4, хода №2, это соответствует пункту «Вход в трубы и выход из них», в нашей таблице. Коэффициент  $\zeta$  в этом случае равен 1.



После труб хода №2, жидкость попадает в выходную камеру 5, аналогичную камере 1. Это соответствует пункту, «Входная и выходная камера (удар и поворот)», в нашей таблице. Коэффициент  $\zeta$  в этом случае равен 1.5.

Итак сумма коэффициентов местных сопротивлений трубного пространства равна:

$$\Sigma \zeta = 1.5 + 1 + 2.5 + 1 + 1.5 = 7.5$$

Определяем массовую скорость нагреваемой жидкости:

$$W = \frac{G}{S \cdot n \cdot 3600} (\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

где:  $n$  – количество трубок на 1 ход.

$S$  – площадь поперечного сечения 1 трубки.

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.1415926 \cdot 0.016^2}{4} = 0.0002011 (\text{м}^2)$$

$$W = \frac{G}{S \cdot n \cdot 3600} = \frac{20000}{0.0002011 \cdot 45 \cdot 3600} = 614.024 (\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

Определяем гидравлическое сопротивление трубного пространства:

$$\Delta p = \left( \frac{\lambda \cdot m \cdot p \cdot h \cdot n \cdot \text{ходов}}{d} + \Sigma \zeta \right) \frac{W^2}{2 \cdot \rho \cdot \text{тол}}$$

где:  $n \text{ ходов}$  – число ходов в теплообменнике 2.



$h$  – высота (длина) трубок за 1 ход (м).

$d$  – диаметр трубки (м).

$$\Delta p = \left( \frac{\lambda \cdot m \cdot h \cdot n_{\text{ходов}}}{d} + \Sigma \zeta \right) \cdot \frac{W^2}{2 \cdot \rho_{\text{мол}}} = \left( \frac{0.028 \cdot 2 \cdot 2}{0.021} + 7.5 \right) \cdot \frac{614.024^2}{2 \cdot 847} = 1964,81 \text{ (н/м}^2\text{)}$$

[Содержание](#)

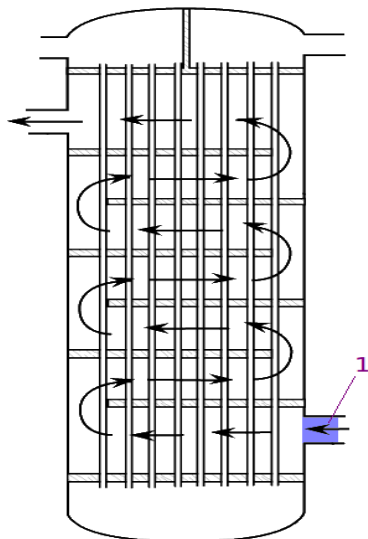
### Меж-трубное пространство.

Т.к. в меж-трубное пространство подаётся пар, то его гидравлическим сопротивлением (меж-трубного пространства) пренебрегаем. Однако далее будут приведены формулы для расчёта, с пояснениями.

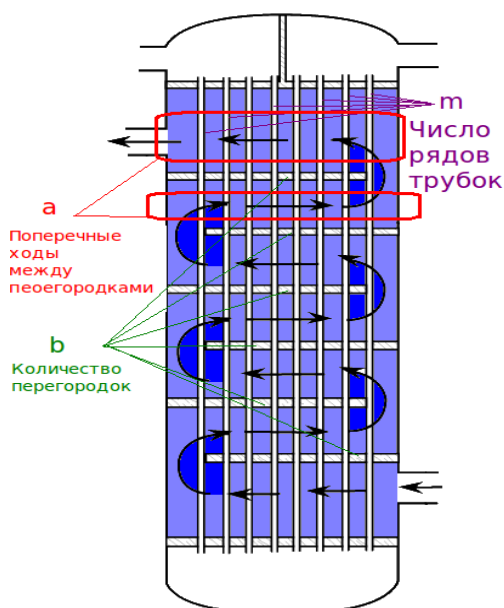
Допустим что вместо пара у нас, в наш теплообменник поступает жидкость.

### Определяем коэффициенты местных сопротивлений:

Проследим путь жидкости в меж-трубном пространстве (для этого нам понадобится уже знакомая нам таблица «Коэффициенты местных сопротивлений в теплообменниках»).



Мы видим, что жидкость, поступающая в теплообменник попадает во входную камеру 1, что соответствует пункту, «Входная и выходная камера (удар и поворот)», в нашей таблице. Коэффициент  $\zeta$  в этом случае равен 1.5.



Далее жидкость попадает в меж-трубное пространство, а это пространство очень не простое соответствует пункту «Поперечное движение в меж-трубном пространстве», в нашей таблице. Коэффициент  $\zeta$  в этом случае равен.

$$\frac{3 \cdot m}{Re^{0.2}}$$

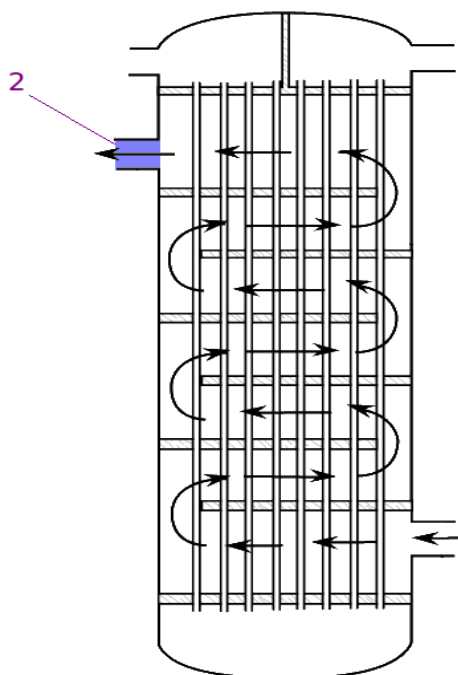
где:  $m$  – число рядов трубок (находится путём вычерчивания расположения трубок).

$Re$  – критерий Рейнольдса для данной жидкости.

Затем наш коэффициент умножается на количество поперечных ходов  $a$  (тоже находится путём вычерчивания).

$$\zeta = \frac{3 \cdot m}{Re^{0.2}} \cdot a$$

Следующий коэффициент  $\zeta$  соответствует пункту, «Поворот (180°) через перегородку в меж-трубном пространстве», в нашей таблице. Коэффициент  $\zeta$  в этом случае равен 1.5. На рисунке выше эти повороты выделены тёмно-синим цветом. Умножим наш коэффициент на количество перегородок  $b$  (тоже находится путём вычерчивания).  $\zeta \cdot b = 1.5 \cdot b$



После меж-трубного пространства, жидкость попадает в выходную камеру 2, аналогичную камере 1. Это соответствует пункту, «Входная и выходная камера (удар и поворот)», в нашей таблице. Коэффициент  $\zeta$  в этом случае равен 1.5.

Считаем сумму коэффициентов меж-трубного пространства.  $\Sigma \zeta$

**Определяем гидравлическое сопротивление меж-трубного пространства:**

Коэффициентом трения меж-трубного пространства пренебрегаем.

$$\Delta p = \frac{\Sigma \zeta W^2}{2 \cdot \rho}$$

где:  $\rho$  плотность данной жидкости.

содержание

## Таблицы.

## ПРИЛОЖЕНИЕ II

Вязкость жидких веществ и водных растворов  
Коэффициент пересчета в систему СИ:  $\text{спз} \times 10^{-3} = \text{н} \cdot \text{сек} / \text{м}^2$

Вещество	Вязкость, спз											
	при -20° С	при -10° С	при 0° С	при 10° С	при 20° С	при 30° С	при 40° С	при 50° С	при 60° С	при 80° С	при 100° С	при 120° С
Азотная кислота												
100%-ная . . . . .	1,49	1,24	1,05	0,92	0,8	0,72	0,64	0,57	0,5	0,39	0,35	0,31
50%-ная . . . . .	—	4	3,05	2,4	1,88	1,55	1,28	1,07	0,9	0,68	0,53	0,44
Аммиак жидкий . . . . .	0,258	0,251	0,244	0,235	0,226	0,217	0,208	0,199	0,19	—	—	—
Аммиачная вода 25%-ная . . . . .	—	—	—	1,72	1,3	1,05	0,855	0,71	0,6	0,42	0,32	0,23
Анилин . . . . .	—	—	10,2	6,5	4,4	3,12	2,3	1,8	1,5	1,1	0,8	0,59
Ацетон . . . . .	0,5	0,442	0,395	0,356	0,322	0,293	0,268	0,246	0,23	0,2	0,17	0,15
Бензол . . . . .	—	—	0,91	0,76	0,65	0,56	0,492	0,436	0,39	0,316	0,261	0,219
Бутиловый спирт . . . . .	10,3	7,4	5,19	3,87	2,95	2,28	1,78	1,41	1,14	0,76	0,54	0,38
Вода . . . . .	—	—	1,79	1,31	1,0	0,801	0,656	0,549	0,469	0,357	0,284	0,232
Гексан . . . . .	0,479	0,426	0,397	0,355	0,32	0,29	0,264	0,241	0,221	0,19	0,158	0,132
Глицерин 50%-ный . . . . .	—	—	12	8,5	6,05	4,25	3,5	2,6	2	1,2	0,73	0,45
Двуокись серы (жидк.) . . . . .	0,455	0,41	0,368	0,334	0,304	0,279	—	—	—	—	—	—
Дихлорэтан . . . . .	1,54	1,24	1,08	0,95	0,84	0,74	0,65	0,565	0,51	0,42	0,36	0,31
Изопропиловый спирт . . . . .	10,1	6,8	4,6	3,26	2,39	1,76	1,33	1,03	0,8	0,52	0,38	0,29
Кальций хлористый (25%-ный) . . . . .	10,6	7	4,47	3,36	2,74	2,25	1,85	1,55	—	—	—	—
Метиловый спирт												
100%-ный . . . . .	1,16	0,97	0,817	0,68	0,584	0,51	0,45	0,396	0,351	0,29	0,24	0,21
40%-ный . . . . .	—	—	3,65	2,54	1,84	1,37	—	—	—	—	—	—
Муравьиная кислота . . . . .	—	—	—	2,25	1,78	1,46	1,22	1,03	0,89	0,68	0,54	0,4
Натр едкий, растворы												
50%-ный . . . . .	—	—	—	—	—	46	25	16	8,03	5,54	3,97	3,42
40%-ный . . . . .	—	—	—	—	40	23	14	9,2	5,44	3,62	2,72	2,37
30%-ный . . . . .	—	—	—	—	13	9	6,3	4,6	3,4	2,16	1,82	1,71

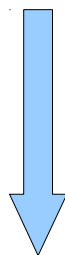
Натр едкий, растворы													
20%-ный . . . . .	—	—	—	—	4,48	3,3	2,48	2	1,63	1,27	1,15	1,08	
10%-ный . . . . .	—	—	—	—	1,86	1,45	1,16	0,98	0,91	0,7	0,65	0,6	
Натрий хлористый (20%-ный раствор)	—	4,08	2,67	1,99	1,56	1,24	1,03	0,87	0,74	0,57	0,46	0,38	
Нитробензол . . . . .	—	—	3,09	2,46	2,01	1,69	1,44	1,24	1,09	0,87	0,7	0,58	
Октан . . . . .	0,968	0,829	0,703	0,61	0,54	0,479	0,428	0,386	0,35	0,291	0,245	0,208	
Олеум 20%-ный . . . . .	—	—	95	60	36,6	28,8	20,8	12,8	9	5,3	—	—	
Серная кислота													
98%-ная . . . . .	—	—	55	37	25,8	17,1	12,9	9,46	7,5	4,1	2,7	2	
92%-ная . . . . .	130	90	48	32	23,1	15,6	11,8	8,4	6,7	3,8	2,5	1,95	
75%-ная . . . . .	95	50	30	20	13,9	10,6	8,1	5,9	4,6	2,8	1,9	1,45	
60%-ная . . . . .	20	15	10,5	7,7	5,52	4,08	3,42	2,8	2,4	1,5	1,07	0,9	
Сероуглерод . . . . .	0,556	0,488	0,433	0,396	0,366	0,319	0,29	0,27	0,25	0,21	0,19	0,17	
Соляная кислота 30%-ная . . . . .	—	—	—	2,1	1,7	1,48	1,3	—	—	—	—	—	
Толуол . . . . .	1,06	0,9	0,768	0,667	0,586	0,522	0,466	0,42	0,381	0,319	0,271	0,231	
Уксусная кислота													
100%-ная . . . . .	—	—	—	—	1,22	1,04	0,9	0,79	0,7	0,56	0,46	0,37	
50%-ная . . . . .	—	—	4,35	3,03	2,21	1,7	1,35	1,11	0,92	0,65	0,5	0,4	
Фенол (расплавленный) . . . . .	—	—	—	—	11,6	7	4,77	3,43	2,56	1,59	1,05	0,78	
Хлорбензол . . . . .	1,48	1,24	1,06	0,91	0,8	0,71	0,64	0,57	0,52	0,435	0,37	0,32	
Хлороформ . . . . .	0,9	0,79	0,7	0,63	0,57	0,51	0,466	0,426	0,39	0,33	0,29	0,26	
Четыреххлористый углерод . . . . .	1,9	1,68	1,35	1,13	0,97	0,84	0,74	0,65	0,59	0,472	0,387	0,323	
Этилацетат . . . . .	0,79	0,67	0,578	0,507	0,449	0,4	0,36	0,326	0,297	0,248	0,21	0,178	
Этиловый спирт													
100%-ный . . . . .	2,38	2,23	1,78	1,46	1,19	1,0	0,825	0,701	0,591	0,435	0,326	0,248	
80%-ный . . . . .	—	—	3,69	2,71	2,01	1,53	1,2	0,97	0,79	0,57	0,52	0,43	
60%-ный . . . . .	—	—	5,75	3,77	2,67	1,93	1,45	1,13	0,9	0,6	0,45	0,34	
40%-ный . . . . .	—	—	7,14	4,39	2,91	2,02	1,48	1,13	0,89	0,6	0,44	0,34	
20%-ный . . . . .	—	—	5,32	3,17	2,18	1,55	1,16	0,91	0,74	0,51	0,38	0,3	
Этиловый эфир . . . . .	0,364	0,328	0,296	0,268	0,243	0,22	0,199	0,182	0,166	0,14	0,118	0,1	

Удельная теплоёмкость жидких веществ и водных растворов

Коэффициент пересчета в систему СИ.  $\text{ккал/кг} \cdot \text{град} \times 4190 = \text{дж/кг} \cdot \text{град}$

Вещество	Удельная теплоёмкость, $\text{ккал/кг} \cdot \text{град}$							
	при $-20^\circ \text{C}$	при $0^\circ \text{C}$	при $20^\circ \text{C}$	при $40^\circ \text{C}$	при $60^\circ \text{C}$	при $80^\circ \text{C}$	при $100^\circ \text{C}$	при $120^\circ \text{C}$
Азотная кислота								
100%-ная . . . . .	0,415	0,418	0,42	0,425	0,43	0,435	0,44	0,445
50%-ная . . . . .	—	0,667	0,68	0,693	0,71	0,73	0,74	0,76
Аммиак жидкий . . . . .	1,08	1,1	1,13	1,16	1,22	1,3	1,37	1,48
Аммиачная вода 25%-ная . . . . .	—	1,03	1,03	1,04	1,06	1,08	1,1	1,13
Анилин . . . . .	—	0,477	0,487	0,498	0,508	0,519	0,529	0,54
Ацетон . . . . .	0,49	0,505	0,52	0,535	0,55	0,566	0,581	0,596
Бензол . . . . .	—	0,39	0,413	0,436	0,46	0,483	0,506	0,52
Бутиловый спирт . . . . .	0,47	0,503	0,555	0,607	0,66	0,712	0,765	0,817
Вода . . . . .	—	1,01	0,999	0,998	1,0	1,0	1,01	1,02
Гексан . . . . .	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536
Глицерин 50%-ный . . . . .	—	0,85	0,85	0,84	0,84	—	—	—
Двуокись серы (жидк.) . . . . .	0,313	0,317	0,327	0,342	0,363	0,389	0,42	0,457
Дихлорэтан . . . . .	0,232	0,253	0,274	0,296	0,317	0,339	0,361	0,382
Изопропиловый спирт . . . . .	0,525	0,564	0,635	0,706	0,777	0,847	0,917	0,987
Кальций хлористый (25%-ный раствор) . . . . .	0,678	0,69	0,702	0,71	0,73	0,74	0,75	0,76
Метиловый спирт								
100%-ный . . . . .	0,569	0,589	0,613	0,637	0,66	0,684	0,708	0,732
40%-ный . . . . .	—	0,84	0,85	0,86	0,86	0,87	0,88	0,89
Муравьиная кислота . . . . .	—	0,469	0,49	0,511	0,531	0,552	0,573	0,593
Натр едкий, растворы								
50%-ный . . . . .	—	—	0,773	0,769	0,767	0,765	0,763	0,762
40%-ный . . . . .	—	0,807	0,817	0,826	0,83	0,832	0,832	0,832
30%-ный . . . . .	—	0,824	0,84	0,856	0,865	0,869	0,869	0,869
20%-ный . . . . .	—	0,842	0,862	0,875	0,882	0,886	0,888	0,888
10%-ный . . . . .	—	0,882	0,9	0,912	0,918	0,922	0,924	0,926

Вещество	Удельная теплоемкость, ккал/кг град							
	при -20° C	при 0° C	при 20° C	при 40° C	при 60° C	при 80° C	при 100° C	при 120° C
Натрий хлористый (20 %-ный раствор)	—	-41	0,939	0,936	0,931	0,93	0,92	0,92
Нитробензол . . . . .	—	0,334	0,347	0,36	0,374	0,387	0,4	0,414
Октан . . . . .	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526
Олеум 20 %-ный . . . . .	—	0,326	0,34	0,354	0,368	0,382	0,396	0,41
Серная кислота								
98 %-ная . . . . .	—	0,335	0,348	0,361	0,375	0,388	0,402	0,414
92 %-ная . . . . .	0,355	0,366	0,377	0,389	0,4	0,412	0,425	0,436
75 %-ная . . . . .	0,431	0,447	0,463	0,479	0,495	0,51	0,527	0,543
60 %-ная . . . . .	0,505	0,525	0,545	0,565	0,585	0,605	0,625	0,645
Сероуглерод . . . . .	0,232	0,235	0,238	0,242	0,245	0,248	0,252	0,255
Соляная кислота 30 %- ная . . . . .	—	0,55	0,59	0,63	0,67	0,72	0,76	0,8
Толуол . . . . .	0,363	0,385	0,407	0,429	0,451	0,473	0,494	0,506
Уксусная кислота								
100 %-ная . . . . .	—	0,45	0,476	0,502	0,527	0,553	0,579	0,605
50 %-ная . . . . .	—	0,73	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79	0,8
Фенол (расплавленный)	—	—	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Хлорбензол . . . . .	0,285	0,3	0,315	0,33	0,345	0,36	0,376	0,391
Хлороформ . . . . .	0,23	0,287	0,244	0,251	0,258	0,265	0,272	0,279
Четыреххлористый угле- род . . . . .	0,194	0,2	0,206	0,213	0,22	0,226	0,233	0,24
Этилацетат . . . . .	0,424	0,441	0,458	0,475	0,493	0,51	0,527	0,544
Этиловый спирт								
100 %-ный . . . . .	0,505	0,547	0,593	0,648	0,708	0,769	0,839	0,909
80 %-ный . . . . .	—	0,64	0,68	0,72	0,77	0,82	0,87	0,93
60 %-ный . . . . .	—	0,73	0,75	0,79	0,83	0,86	0,9	0,95
40 %-ный . . . . .	—	0,82	0,84	0,87	0,88	0,91	0,94	0,96
20 %-ный . . . . .	—	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,97	0,98
Этиловый эфир . . . . .	0,516	0,528	0,541	0,575	0,633	0,69	0,747	0,803

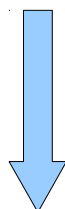




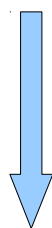
# Теплопроводность жидких веществ и водных растворов

Коэффициент пересчета в систему СИ:  $\text{ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град} \times 1,16 = \text{вт/м} \cdot \text{град}$

Вещество	Теплопроводность, $\text{ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$							
	при $-20^{\circ}\text{C}$	при $0^{\circ}\text{C}$	при $20^{\circ}\text{C}$	при $40^{\circ}\text{C}$	при $60^{\circ}\text{C}$	при $80^{\circ}\text{C}$	при $100^{\circ}\text{C}$	при $120^{\circ}\text{C}$
Азотная кислота								
100 %-ная . . . . .	0,226	0,221	0,216	0,212	0,208	0,205	0,201	0,198
50 %-ная . . . . .	—	0,381	0,394	0,403	0,412	0,416	0,418	0,42
Аммиак жидкий . . . .	0,504	0,465	0,426	0,387	0,348	0,309	0,27	0,231
Аммиачная вода 25 %-ная . . . . .	—	0,36	0,386	0,412	0,437	0,463	0,49	0,51
Анилин . . . . .	—	0,16	0,157	0,154	0,15	0,147	0,144	0,141
Ацетон . . . . .	0,154	0,15	0,146	0,142	0,138	0,134	0,13	0,126
Бензол . . . . .	—	0,13	0,126	0,121	0,117	0,112	0,108	0,104
Бутиловый спирт . . .	0,137	0,134	0,132	0,129	0,126	0,123	0,12	0,118
Вода . . . . .	—	0,474	0,515	0,545	0,567	0,58	0,587	0,59
Гексан . . . . .	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118
Глицерин 50 %-ный . .	—	0,335	0,362	0,391	0,42	0,45	0,48	0,51
Двуокись серы (жидк.)	0,193	0,182	0,171	0,16	0,15	0,139	0,128	0,117
Дихлорэтан . . . . .	0,125	0,12	0,116	0,112	0,107	0,103	0,098	0,094
Изопропиловый спирт	0,135	0,132	0,13	0,127	0,124	0,121	0,118	0,115
Кальций хлористый (25 %-ный раствор)	0,407	0,435	0,464	0,492	0,52	0,548	0,58	0,6
Метиловый спирт								
100 %-ный . . . . .	0,186	0,184	0,182	0,179	0,177	0,174	0,172	0,17
40 %-ный . . . . .	—	0,278	0,287	0,295	0,304	0,312	0,32	0,33
Муравьиная кислота . .	—	0,224	0,221	0,218	0,214	0,211	0,207	0,203
Натр едкий, растворы								
50 %-ный . . . . .	—	0,446	0,457	0,465	0,47	0,476	0,479	0,481
40 %-ный . . . . .	—	0,446	0,458	0,467	0,475	0,48	0,483	0,485
30 %-ный . . . . .	—	0,446	0,459	0,469	0,478	0,484	0,487	0,489
20 %-ный . . . . .	—	0,447	0,462	0,473	0,484	0,491	0,494	0,496
10 %-ный . . . . .	—	0,45	0,467	0,48	0,492	0,499	0,503	0,505



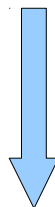
Вещество	Теплопроводность, ккал/м ч·град							
	при -20° С	при 0° С	при 20° С	при 40° С	при 60° С	при 80° С	при 100° С	при 120° С
Натрий хлористый (20%-ный раствор)	—	0,468	0,497	0,52	0,54	0,555	0,565	0,57
Нитробензол . . . . .	—	0,132	0,13	0,127	0,125	0,122	0,12	0,1
Октан . . . . .	0,133	0,132	0,131	0,129	0,127	0,126	0,125	0,124
Олеум 20%-ный . . . .	—	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	—	—
Серная кислота								
98%-ная . . . . .	—	0,264	0,284	0,294	0,306	0,324	0,334	0,344
92%-ная . . . . .	0,256	0,276	0,296	0,306	0,324	0,336	0,346	0,356
75%-ная . . . . .	0,3	0,315	0,33	0,345	0,365	0,385	0,405	0,425
60%-ная . . . . .	0,33	0,35	0,37	0,38	0,4	0,43	0,45	0,47
Сероуглерод . . . . .	0,15	0,146	0,142	0,139	0,133	0,129	0,125	0,121
Соляная кислота 30%- ная . . . . .	—	0,334	0,362	0,39	0,419	0,45	0,48	0,5
Толуол . . . . .	0,125	0,121	0,117	0,113	0,11	0,106	0,102	0,098
Уксусная кислота								
100%-ная . . . . .	—	0,152	0,149	0,145	0,141	0,138	0,134	0,13
50%-ная . . . . .	—	0,27	0,298	0,326	0,355	0,383	0,41	0,44
Фенол (расплавленный)	—	—	0,175	0,177	0,18	0,182	0,184	0,186
Хлорбензол . . . . .	0,118	0,114	0,111	0,108	0,104	0,1	0,097	0,094
Хлороформ . . . . .	0,13	0,122	0,114	0,105	0,097	0,088	0,079	0,071
Четыреххлористый углерод . . . . .	0,113	0,107	0,101	0,095	0,089	0,083	0,077	0,071
Этилацетат . . . . .	0,15	0,135	0,118	0,101	0,084	—	—	—
Этиловый спирт								
100%-ный . . . . .	0,148	0,147	0,145	0,144	0,142	0,141	0,139	0,137
80%-ный . . . . .	—	0,163	0,191	0,219	0,247	0,275	0,3	0,33
60%-ный . . . . .	—	0,215	0,243	0,27	0,298	0,326	0,35	0,38
40%-ный . . . . .	—	0,3	0,329	0,357	0,385	0,413	0,44	0,47
20%-ный . . . . .	—	0,384	0,412	0,44	0,467	0,495	0,52	0,55
Этиловый эфир . . . .	0,12	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113



### Свойства насыщенного водяного пара

Коэффициенты пересчета в систему СИ: давление —  $ат \times 0,981 = бар$ ;  
энтальпия и теплота испарения —  $ккал/кг \times 4190 = дж/кг$

Температура °C	Давление ат	Плотность кг/м³	Энтальпия, ккал/кг		Теплота испарения ккал/кг
			пара	жидкости	
0	0,00623	0,00485	597	0	597
5	0,00889	0,00679	600	5	595
10	0,0125	0,0094	602	10	592
15	0,0174	0,0128	604	15	589
20	0,0238	0,0173	606	20	586
25	0,0323	0,023	608	25	583
30	0,0433	0,0304	610	30	580
35	0,0573	0,0396	613	35	578
40	0,0752	0,0512	615	40	575
45	0,0977	0,0654	617	45	572
50	0,126	0,0831	619	50	569
55	0,161	0,104	621	55	566
60	0,203	0,13	623	60	563
65	0,255	0,161	625	65	560
70	0,318	0,198	627	70	557
75	0,393	0,242	629	75	554
80	0,483	0,293	631	80	551
85	0,589	0,354	633	85	548
90	0,715	0,424	635	90	545
95	0,862	0,505	637	95	542
100	1,033	0,598	639	100	539
105	1,23	0,705	641	105	536
110	1,46	0,826	643	110	533
115	1,72	0,965	645	115	529
120	2,02	1,12	646	120	526
125	2,37	1,3	648	125	523
130	2,75	1,5	650	131	519
135	3,19	1,72	651	136	516
140	3,69	1,97	653	141	512
145	4,24	2,24	655	146	509
150	4,85	2,55	656	151	505
155	5,54	2,89	657	156	501
160	6,3	3,26	659	161	498
165	7,15	3,67	660	166	494
170	8,08	4,12	661	172	489
175	9,1	4,62	662	177	485
180	10,2	5,16	663	182	481
185	11,5	5,75	665	188	477
190	12,8	6,39	666	193	473
195	14,3	7,1	666	198	468
200	15,9	7,86	667	204	463





Относительная плотность воды (чистой) в диапазоне 0 - 300°C (32 - 600 °F). Относительно плотности при 4 / 15,6 / 20 °C.

Температура		Опорная температура (относительно плотности при какой температуре указано значение в таблице)		
°F	°C	4°C(39.2°F)	15.6°C(60°F)	20°C(68°F)
32	0	1.000	1.001	1.002
35	1.7	1.000	1.001	1.002
40	4.4	1.000	1.001	1.002
50	10.0	0.999	1.001	1.002
60	15.6	0.999	1.000	1.001
70	21.1	0.998	0.999	1.000
80	26.7	0.996	0.998	0.999
90	32.2	0.995	0.996	0.997
100	37.8	0.993	0.994	0.995
120	48.9	0.989	0.990	0.991
140	60.0	0.983	0.985	0.986
160	71.1	0.977	0.979	0.979
180	82.0	0.970	0.972	0.973
200	93.3	0.963	0.964	0.966
212	100	0.958	0.959	0.960
220	104	0.955	0.956	0.957
240	116	0.947	0.948	0.949
260	127	0.938	0.939	0.940
280	138	0.928	0.929	0.930
300	149	0.918	0.919	0.920

#### Ориентировочные значения допустимой скорости потока

Среда и условия движения	Скорость, м/с
Маловязкие жидкости (до 0,01 Па · с) при перекачивании насосом	0,5 ÷ 3,0
Вязкие жидкости (свыше 0,01 Па · с) при перекачивании насосом	0,2 ÷ 1,0
Жидкости (конденсаты) при движении самотеком	0,1 ÷ 0,5
Пар насыщенный	15 ÷ 25
Пар перегретый (газы)	20 ÷ 50
Паро-жидкостный поток в пересчете на однофазный жидкостный поток	0,5 ÷ 1,0

**Вязкость жидких веществ и водных растворов**  
 Коэффициент пересчета в систему СИ:  $\text{спз} \times 10^{-2} = \text{н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$

Вещество	Вязкость, спз											
	при -20° С	при -10° С	при 0° С	при 10° С	при 20° С	при 30° С	при 40° С	при 50° С	при 60° С	при 80° С	при 100° С	при 120° С
<b>Азотная кислота</b>												
100%-ная . . . . .	1,49	1,24	1,05	0,92	0,8	0,72	0,64	0,57	0,5	0,39	0,35	0,31
50%-ная . . . . .	—	4	3,05	2,4	1,88	1,55	1,28	1,07	0,9	0,68	0,53	0,44
Аммиак жидкий . . . . .	0,258	0,251	0,244	0,235	0,226	0,217	0,208	0,199	0,19	—	—	—
Аммиачная вода 25%-ная . . . . .	—	—	—	1,72	1,3	1,05	0,855	0,71	0,6	0,42	0,32	0,23
Анилин . . . . .	—	—	10,2	6,5	4,4	3,12	2,3	1,8	1,5	1,1	0,8	0,59
Ацетон . . . . .	0,5	0,442	0,395	0,356	0,322	0,293	0,268	0,246	0,23	0,2	0,17	0,15
Бензол . . . . .	—	—	0,91	0,76	0,65	0,56	0,492	0,436	0,39	0,316	0,261	0,219
Бутиловый спирт . . . . .	10,3	7,4	5,19	3,87	2,95	2,28	1,78	1,41	1,14	0,76	0,54	0,38
Вода . . . . .	—	—	1,79	1,31	1,0	0,801	0,656	0,549	0,469	0,357	0,284	0,232
Гексан . . . . .	0,479	0,426	0,397	0,355	0,32	0,29	0,264	0,241	0,221	0,19	0,158	0,132
Глицерин 50%-ный . . . . .	—	—	12	8,5	6,05	4,25	3,5	2,6	2	1,2	0,73	0,45
Двуокись серы (жидк.) . . . . .	0,455	0,41	0,368	0,334	0,304	0,279	—	—	—	—	—	—
Дихлорэтан . . . . .	1,54	1,24	1,08	0,95	0,84	0,74	0,65	0,565	0,51	0,42	0,36	0,31
Изопропиловый спирт . . . . .	10,1	6,8	4,6	3,26	2,39	1,76	1,33	1,03	0,8	0,52	0,38	0,29
Кальций хлористый (25%-ный)	10,6	7	4,47	3,36	2,74	2,25	1,85	1,55	—	—	—	—
Метиловый спирт												
100%-ный . . . . .	1,16	0,97	0,817	0,68	0,584	0,51	0,45	0,396	0,351	0,29	0,24	0,21
40%-ный . . . . .	—	—	3,65	2,54	1,84	1,37	—	—	—	—	—	—
Муравьиная кислота . . . . .	—	—	—	2,25	1,78	1,46	1,22	1,03	0,89	0,68	0,54	0,4
Натр едкий, растворы												
50%-ный . . . . .	—	—	—	—	—	46	25	16	8,03	5,54	3,97	3,42
40%-ный . . . . .	—	—	—	—	40	23	14	9,2	5,44	3,62	2,72	2,37
30%-ный . . . . .	—	—	—	—	13	9	6,3	4,6	3,4	2,16	1,82	1,71
<b>Натр едкий, растворы</b>												
20%-ный . . . . .	—	—	—	—	4,48	3,3	2,48	2	1,63	1,27	1,15	1,08
10%-ный . . . . .	—	—	—	—	1,86	1,45	1,16	0,98	0,91	0,7	0,65	0,6
Натрий хлористый (20%-ный рас- твор) . . . . .	—	4,08	2,67	1,99	1,56	1,24	1,03	0,87	0,74	0,57	0,46	0,38
Нитробензол . . . . .	—	—	3,09	2,46	2,01	1,69	1,44	1,24	1,09	0,87	0,7	0,58
Октан . . . . .	0,968	0,829	0,703	0,61	0,54	0,479	0,428	0,386	0,35	0,291	0,245	0,208
Олеум 20%-ный . . . . .	—	—	95	60	36,6	28,8	20,8	12,8	9	5,3	—	—
<b>Серная кислота</b>												
98%-ная . . . . .	—	—	55	37	25,8	17,1	12,9	9,46	7,5	4,1	2,7	2
92%-ная . . . . .	130	90	48	32	23,1	15,6	11,8	8,4	6,7	3,8	2,5	1,95
75%-ная . . . . .	95	50	30	20	13,9	10,6	8,1	5,9	4,6	2,8	1,9	1,45
60%-ная . . . . .	20	15	10,5	7,7	5,52	4,08	3,42	2,8	2,4	1,5	1,07	0,9
Сероуглерод . . . . .	0,556	0,488	0,433	0,396	0,366	0,319	0,29	0,27	0,25	0,21	0,19	0,17
Соляная кислота 30%-ная . . . . .	—	—	—	2,1	1,7	1,48	1,3	—	—	—	—	—
Толуол . . . . .	1,06	0,9	0,768	0,667	0,586	0,522	0,466	0,42	0,381	0,319	0,271	0,231
<b>Уксусная кислота</b>												
100%-ная . . . . .	—	—	—	—	1,22	1,04	0,9	0,79	0,7	0,56	0,46	0,37
50%-ная . . . . .	—	—	4,35	3,03	2,21	1,7	1,35	1,11	0,92	0,65	0,5	0,4
Фенол (расплавленный) . . . . .	—	—	—	—	11,6	7	4,77	3,43	2,56	1,59	1,05	0,78
Хлорбензол . . . . .	1,48	1,24	1,06	0,91	0,8	0,71	0,64	0,57	0,52	0,435	0,37	0,32
Хлороформ . . . . .	0,9	0,79	0,7	0,63	0,57	0,51	0,466	0,426	0,39	0,33	0,29	0,26
Четыреххлористый углерод . . . . .	1,9	1,68	1,35	1,13	0,97	0,84	0,74	0,65	0,59	0,472	0,387	0,323
Этилацетат . . . . .	0,79	0,67	0,578	0,507	0,449	0,4	0,36	0,326	0,297	0,248	0,21	0,178
<b>Этиловый спирт</b>												
100%-ный . . . . .	2,38	2,23	1,78	1,46	1,19	1,0	0,825	0,701	0,591	0,435	0,326	0,248
80%-ный . . . . .	—	—	3,69	2,71	2,01	1,53	1,2	0,97	0,79	0,57	0,52	0,43
60%-ный . . . . .	—	—	5,75	3,77	2,67	1,93	1,45	1,13	0,9	0,6	0,45	0,34
40%-ный . . . . .	—	—	7,14	4,39	2,91	2,02	1,48	1,13	0,89	0,6	0,44	0,34
20%-ный . . . . .	—	—	5,32	3,17	2,18	1,55	1,16	0,91	0,74	0,51	0,38	0,3
Этиловый эфир . . . . .	0,364	0,328	0,296	0,268	0,243	0,22	0,199	0,182	0,166	0,14	0,118	0,1

Теплопроводность твёрдых веществ.

Материал	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Графен	(4840±440) — (5300±480)
Алмаз	1001—2600
Серебро	430
Медь	382—390
Золото	320
Алюминий	202—236
Латунь	97—111
Железо	92
Платина	70
Олово	67
Сталь	47
Кварц	8
Стекло	1-1,15
КПТ-8	0,7
Вода при нормальных условиях	0,6
Кирпич строительный	0,2—0,7
Пенобетон	0,14—0,3
Древесина	0,15
Свежий снег	0,10—0,15
Вата	0,055
Воздух (300 К, 100 кПа)	0,026
Вакуум (абсолютный)	0 (строго)



Таблица 2.3. Параметры кожухотрубчатых теплообменников и холодильников (по ГОСТ 15118—79, ГОСТ 15120—79 и ГОСТ 15122—79)

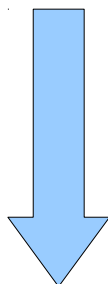
D кожуха, мм	d труб, мм	Число ходов *	Общее число труб, шт.	Поверхность теплообмена (в м <sup>2</sup> )**							Площадь сечения потока, 10 <sup>2</sup> м <sup>2</sup>		Площадь сечения одного хода по трубам, 10 <sup>2</sup> м <sup>2</sup>
				1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	в вырезе регистров	между перегородками	
159	20×2	1	19	1,0	2,0	2,5	3,5	—	—	—	0,3	0,5	0,4
	25×2	1	13	1,0	1,5	2,0	3,0	—	—	—	0,4	0,8	0,5
273	20×2	1	61	4,0	6,0	7,5	11,5	—	—	—	0,7	1,0	1,2
	25×2	1	37	3,0	4,5	6,0	9,0	—	—	—	0,9	1,1	1,3
325	20×2	1	100	—	9,5	12,5	19,0	25,0	—	—	1,1	2,0	2,0
		2	90	—	8,5	11,0	17,0	22,5	—	—	1,1	1,6	0,9
	25×2	1	62	—	7,5	10,0	14,5	19,5	—	—	1,3	2,9	2,1
		2	56	—	6,5	9,0	13,0	17,5	—	—	1,3	1,5	1,0
400	20×2	1	181	—	—	23,0	34,0	46,0	68,0	—	1,7	2,5	3,6
		2	166	—	—	21,0	31,0	42,0	63,0	—	1,7	3,0	1,7
	25×2	1	111	—	—	17,0	26,0	35,0	52,0	—	2,0	3,1	3,8
		2	100	—	—	16,0	24,0	31,0	47,0	—	2,0	2,5	1,7
600	20×2	1	389	—	—	49	73	98	147	—	4,1	6,6	7,8
		2	370	—	—	47	70	93	139	—	4,1	4,8	3,7
		4	334	—	—	42	63	84	126	—	4,1	4,8	1,6
		6	316	—	—	40	60	79	119	—	3,7	4,8	0,9
	25×2	1	257	—	—	40	61	81	121	—	4,0	5,3	8,9
		2	240	—	—	38	57	75	113	—	4,0	4,5	4,2
		4	206	—	—	32	49	65	97	—	4,0	4,5	1,8
		6	196	—	—	31	46	61	91	91	3,7	4,5	1,1
800	20×2	1	717	—	—	90	135	180	270	405	6,9	9,1	14,4
		2	690	—	—	87	130	173	260	390	6,9	7,0	6,9
		4	638	—	—	80	120	160	240	361	6,9	7,0	3,0
		6	618	—	—	78	116	155	233	349	6,5	7,0	2,0
	25×2	1	465	—	—	73	109	146	219	329	7,0	7,9	16,1
		2	442	—	—	69	104	139	208	312	7,0	7,0	7,7
		4	404	—	—	63	95	127	190	285	7,0	7,0	3,0
		6	384	—	—	60	90	121	181	271	6,5	7,0	2,2
1000	20×2	1	1173	—	—	—	221	295	442	663	10,1	15,6	23,6
		2	1138	—	—	—	214	286	429	643	10,1	14,6	11,4
		4	1072	—	—	—	202	269	404	606	10,1	14,6	5,1
		6	1044	—	—	—	197	262	393	590	9,6	14,6	3,4
	25×2	1	747	—	—	—	176	235	352	528	10,6	14,3	25,9
		2	718	—	—	—	169	226	338	507	10,6	13,0	12,4
		4	666	—	—	—	157	209	314	471	10,6	13,0	5,5
		6	642	—	—	—	151	202	302	454	10,2	13,0	3,6
1200	20×2	1	1701	—	—	—	—	427	641	961	14,5	18,7	34,2
		2	1658	—	—	—	—	417	625	937	14,5	17,6	16,5
		4	1580	—	—	—	—	397	595	893	14,5	17,6	7,9
		6	1544	—	—	—	—	388	582	873	13,1	17,6	4,9
	25×2	1	1083	—	—	—	—	340	510	765	16,4	17,9	37,5
		2	1048	—	—	—	—	329	494	740	16,4	16,5	17,9
		4	986	—	—	—	—	310	464	697	16,4	16,5	8,4
		6	958	—	—	—	—	301	451	677	14,2	16,5	5,2

\* Холодильники диаметром 325 мм и более могут быть только с числом ходов 2, 4 или 6.

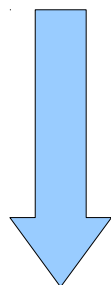
\*\* Рассчитана по наружному диаметру труб.

**Плотность жидких веществ и водных растворов**

Вещество	Плотность, кг/м³							
	при -20° С	при 0° С	при 20° С	при 40° С	при 60° С	при 80° С	при 100° С	при 120° С
Азотная кислота								
100 %-ная . . . . .	1582	1547	1513	1478	1443	1408	1373	1338
50 %-ная . . . . .	—	1334	1310	1287	1263	1238	1212	1186
Аммиак жидкий . . . . .	665	639	610	580	545	510	462	390
Аммиачная вода 25 %-ная	—	918	907	897	887	876	866	856
Анилин . . . . .	—	1039	1022	1004	987	969	952	933
Ацетон . . . . .	835	813	791	768	746	719	693	665
Бензол . . . . .	—	900	879	858	836	815	793	769
Бутиловый спирт . . .	838	824	810	795	781	766	751	735
Вода . . . . .	—	1000	998	992	983	972	958	943
Гексан . . . . .	693	677	660	641	622	602	581	559
Глицерин 50 %-ный . .	—	1136	1126	1116	1106	1006	996	986
Двуокись серы (жидк.) .	1484	1434	1383	1327	1264	1193	1111	1010
Дихлорэтан . . . . .	1310	1282	1254	1224	1194	1163	1133	1102
Изопропиловый спирт .	817	801	785	768	752	735	718	700
Кальций хлористый (25 %-ный раствор) . .	1248	1239	1230	1220	1210	1200	1190	1180
Метиловый спирт								
100 %-ный . . . . .	828	810	792	774	756	736	714	690
40 %-ный . . . . .	—	946	935	924	913	902	891	880



Вещество	при -20° C	при 0° C	при 20° C	при 40° C	при 60° C	при 80° C	при 100° C	при 120° C
Муравьиная кислота . .	—	1244	1220	1195	1171	1147	1121	1096
Натр едкий, растворы								
50 %-ный . . . . .	—	1540	1525	1511	1497	1483	1469	1454
40 %-ный . . . . .	—	1443	1430	1416	1403	1389	1375	1360
30 %-ный . . . . .	—	1340	1328	1316	1303	1289	1276	1261
20 %-ный . . . . .	—	1230	1219	1208	1196	1183	1170	1155
10 %-ный . . . . .	—	1117	1109	1100	1089	1077	1064	1049
Натрий хлористый (20 %-ный раствор) . .	—	1157	1148	1139	1130	1120	1110	1100
Нитробензол . . . . .	—	1223	1203	1183	1163	1143	1123	1103
Октан . . . . .	734	718	702	686	669	653	635	617
Олеум 20 %-ный . . . .	—	1922	1896	1870	1844	1818	1792	1766
Серная кислота								
98 %-ная . . . . .	—	1857	1837	1817	1798	1779	1761	1742
92 %-ная . . . . .	1866	1845	1824	1803	1783	1765	1744	1723
75 %-ная . . . . .	1709	1689	1669	1650	1632	1614	1597	1580
60 %-ная . . . . .	1532	1515	1498	1482	1466	1450	1434	1418
Сероуглерод . . . . .	1323	1293	1263	1233	1200	1165	1125	1082
Соляная кислота (30 %- ная) . . . . .	1173	1161	1149	1138	1126	1115	1103	1090
Толуол . . . . .	902	884	866	847	828	808	788	766
Уксусная кислота								
100 %-ная . . . . .	—	1072	1048	1027	1004	981	958	922
50 %-ная . . . . .	—	1074	1058	1042	1026	1010	994	978
Фенол (расплавленный)	—	—	1075	1058	1040	1022	1003	987
Хлорбензол . . . . .	1150	1128	1107	1085	1065	1041	1021	995
Хлороформ . . . . .	1563	1526	1489	1450	1411	1380	1326	1280
Четыреххлористый угле- род . . . . .	1670	1633	1594	1556	1517	1471	1434	1390
Этилацетат . . . . .	947	924	901	876	851	825	797	768
Этиловый спирт								
100 %-ный . . . . .	823	806	789	772	754	735	716	693
80 %-ный . . . . .	—	857	843	828	813	797	783	768
60 %-ный . . . . .	—	904	891	878	864	849	835	820
40 %-ный . . . . .	—	947	935	923	910	897	885	872
20 %-ный . . . . .	—	977	969	957	946	934	922	910
Этиловый эфир . . . .	758	736	714	689	666	640	611	576





## Коэффициенты местных сопротивлений $\zeta$ в теплообменниках

Характер местных сопротивлений	$\zeta$
Входная или выходная камера (удар и поворот) . . . . .	1,5
Поворот (180°) между ходами или секциями . . . . .	2,5
Вход в трубы и выход из них . . . . .	1
Вход в межтрубное пространство и выход из него . . . . .	1,5
Поворот в U-образных трубах . . . . .	0,5
Поворот (180°) через перегородку в межтрубном пространстве . . . . .	1,5
Поворот (180°) через калач . . . . .	2
Поперечное движение в межтрубном пространстве ( $m$ — число рядов труб) . . . . .	$\frac{3m}{Re^{0,2}}$
Круглые змеевики ( $n$ — число витков) . . . . .	0,5 $n$

[Содержание](#)

### Список литературы.

- 1) А.Н.Плановский, В.М.Рамм, С.З.Каган.

Процессы и аппараты химической технологии.  
М.:Химия 1966г, 831 с.

- 2) М.Н.Кувшинский, А.П.Соболева.

Процессы и аппараты химической промышленности.  
Высшая школа 1964г, 206с.

- 3) К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А.Носков.

Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов.  
Л.:Химия, 1987г, 576 с.

- 4) Ю.И.Дытнерский

Основные процессы и аппараты химической промышленности.  
М.:Химия 1983г, 272 с.

- 5) Сайт «Википедия свободная энциклопедия»

[Содержание](#)