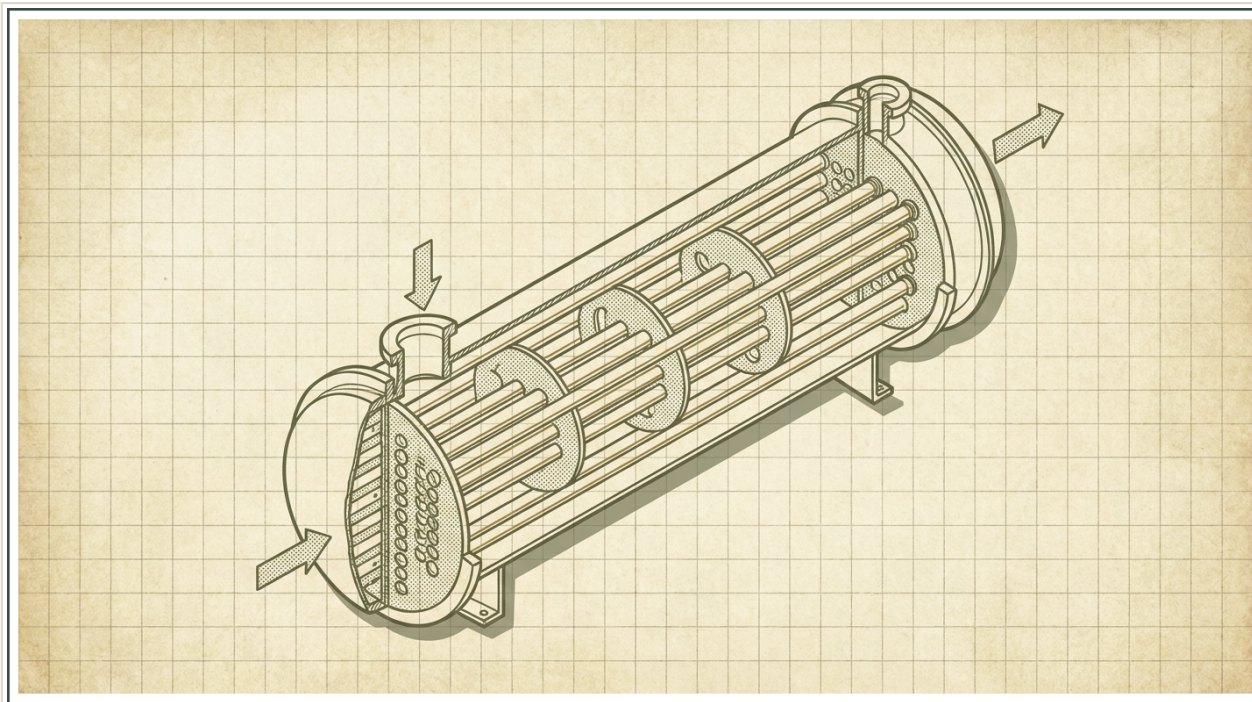


Расчёт кожухотрубного теплообменника: пример

методика расчёта · пример с цифрами

Расчёт кожухотрубного подогревателя 500 кВт: расходы, LMTD с поправкой F на многоходовую схему, коэффициент теплопередачи пучка, площадь и число труб.



Разрез кожухотрубного теплообменника: трубный пучок, кожух и перегородки межтрубного пространства

Кожухотрубный аппарат считают не так, как пластинчатый: здесь теплоотдачу внутри трубок и в межтрубном пространстве определяют по разным критериальным уравнениям, а на LMTD навешивают поправку F, потому что чистого противотока в многоходовом пучке не бывает. Разберём расчёт водо-водяного подогревателя ПВ на 500 кВт.

Важно

Коэффициент теплопередачи кожухотрубных аппаратов лежит в диапазоне 800–2500 Вт/(м²·К) — в разы ниже пластинчатых. Поэтому площадь получается большой, а сам аппарат — тяжёлым и длинным.

1. Исходные данные

Сетевой подогреватель: греющая вода из котла 130→80 °С идёт в трубках, нагреваемая сетевая 70→110 °С — в межтрубном пространстве. Нагрузка 500 кВт.

Параметр	Греющая (трубки)	Нагреваемая (межтр.)
Вход / выход, °С	130 / 80	70 / 110
Схема относительно	противоток	(с поправкой F)
Среда	вода	вода

2. Расходы из баланса

$$G_{гр} = Q / (c \cdot \Delta t_{гр}) = 500000 / (4187 \cdot 50) \approx 2,39 \text{ кг/с}$$

греющая вода, $\Delta t = 130 - 80 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$G_{нагр} = Q / (c \cdot \Delta t_{нагр}) = 500000 / (4187 \cdot 40) \approx 2,99 \text{ кг/с}$$

нагреваемая сетевая, $\Delta t = 110 - 70 = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$

3. Напор с поправкой на схему

Сначала считаем LMTD как для чистого противотока:

$$\Delta t_6 = 130 - 110 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_m = 80 - 70 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{ln} = (20 - 10) / \ln(20/10) \approx 10 / 0,693 \approx 14,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

среднелогарифмический напор для идеального противотока

Реальный многоходовый аппарат хуже противотока. Вводят поправочный коэффициент F (0,8-1,0), который находят по вспомогательным параметрам P и R:

$$P = (t''_н - t'_н) / (t'_г - t'_н) = (110-70) / (130-70) = 0,67$$

$$R = (t'_г - t''_г) / (t''_н - t'_н) = (130-80) / (110-70) = 1,25$$

P — тепловая эффективность; R — отношение водяных эквивалентов

Для схемы 1-2 (один ход в кожухе, два в трубах) по этим P и R графики дают $F \approx 0,85$. Тогда расчётный напор:

$$\Delta t_{cp} = F \cdot \Delta t_{ln} = 0,85 \cdot 14,4 \approx 12,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

исправленный средний температурный напор

Частая ошибка

Забывают про поправку F и берут чистый LMTD. Для многоходовой схемы это завышает напор и занижает площадь на 15-20 % — аппарат недоберёт мощность.

4. Коэффициент теплопередачи пучка

Теплоотдачу в трубках считают по уравнению Михеева $Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$, в межтрубном пространстве — с поправкой на обтекание пучка и перегородки. Для развитого турбулентного режима воды с обеих сторон:

$$1/k = 1/\alpha_{вн} + \delta/\lambda_{ст} + R_{загр} + 1/\alpha_{нар} = 1/6000 + 0,0015/45 + 0,0002 + 1/5000$$

$\alpha_{вн}$, $\alpha_{нар}$ — теплоотдача внутри/снаружи труб; сталь $\delta=1,5$ мм, $\lambda=45$; $R_{загр}=0,0002 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт}$

$$1/k \approx 0,000167 + 0,000033 + 0,0002 + 0,0002 \approx 0,0006 \rightarrow k \approx 1670 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$$

итоговый k водо-водяного пучка (в типовом диапазоне 800-2500)

5. Площадь и число труб

$$F = Q / (k \cdot \Delta t_{cp}) = 500000 / (1670 \cdot 12,2) \approx 24,5 \text{ м}^2$$

требуемая поверхность теплопередачи

Дальше площадь превращают в геометрию. Для труб 16×1,5 мм наружная поверхность одной трубы длиной 3 м: $\pi \cdot 0,016 \cdot 3 \approx 0,151 \text{ м}^2$. Число труб на один ход:

$$n = F / (\pi \cdot d_n \cdot L) = 24,5 / 0,151 \approx 162 \text{ трубы}$$

n — число труб; $d_n = 0,016$ м; $L = 3$ м

С запасом 10 % на загрязнение — около 180 труб. Их komponуют в пучок по треугольной или коридорной решётке, подбирают диаметр кожуха и число ходов, после чего проверяют гидравлику по обеим сторонам.

Величина	Диапазон	Комментарий
k вода-вода	800-2500 Вт/(м ² ·K)	чистый пучок

Величина	Диапазон	Комментарий
Поправка F	0,80–1,00	схема 1–2, 2–4
Скорость в трубах	1,0–2,5 м/с	турбулентный режим
Запас площади	10–20 %	загрязнение накипью

6. Частые вопросы

Зачем нужна поправка F, если есть LMTD?

LMTD выведен для чистого прямотока или противотока. В многоходовом кожухотрубном аппарате потоки частично идут поперёк и попутно, эффективность падает. Поправка $F < 1$ учитывает это отклонение от идеала.

Почему у кожухотрубного площадь больше, чем у пластинчатого?

Из-за низкого k . Гладкие трубы дают слабую турбулизацию, теплоотдача ниже, поэтому той же мощности требуется в 3–5 раз большая поверхность. Зато аппарат держит высокие давления и температуры и терпит грязные среды.

Где считать теплоотдачу — внутри труб или снаружи?

И там, и там, по разным уравнениям. Внутри — по формуле Михеева для труб. Снаружи, в межтрубном пространстве с перегородками, — по методу Керна или Белла-Делавэра. Меньшая из α и определяет лимитирующую сторону.

7. Глоссарий

Термин	Определение
Трубный пучок	Набор теплообменных труб, закреплённых в трубных решётках внутри кожуха.
Поправка F	Коэффициент 0,8–1,0, корректирующий LMTD на реальную многоходовую схему.
Межтрубное пространство	Объём между кожухом и трубами, где течёт вторая среда, направляемая перегородками.
Схема 1–2	Один ход теплоносителя по кожуху, два хода по трубам — самая частая компоновка.



Не уверены в расчёте — спросите инженера

Онлайн-подбор, методики и таблицы: msmteplo.ru

Инженер-консультант онлайн: [задать вопрос](#)

Телефон: 8 (800) 302-58-75 · E-mail: zakaz@msmteplo.ru

МСМ-ТЕПЛО — устройство, расчёт и подбор теплообменного оборудования.

Наведите камеру телефона на QR — откроется онлайн-консультант.

Темы документа: расчёт кожухотрубного теплообменника, трубный пучок, поправка F, число труб, LMTD, пример