Расчёт теплообменника: полная методика с формулами

методика расчёта · пример с цифрами

Полная методика теплового расчёта по единому каркасу: баланс → расходы → LMTD → коэффициент теплопередачи → площадь, на примере маслоохладителя 304 кВт.

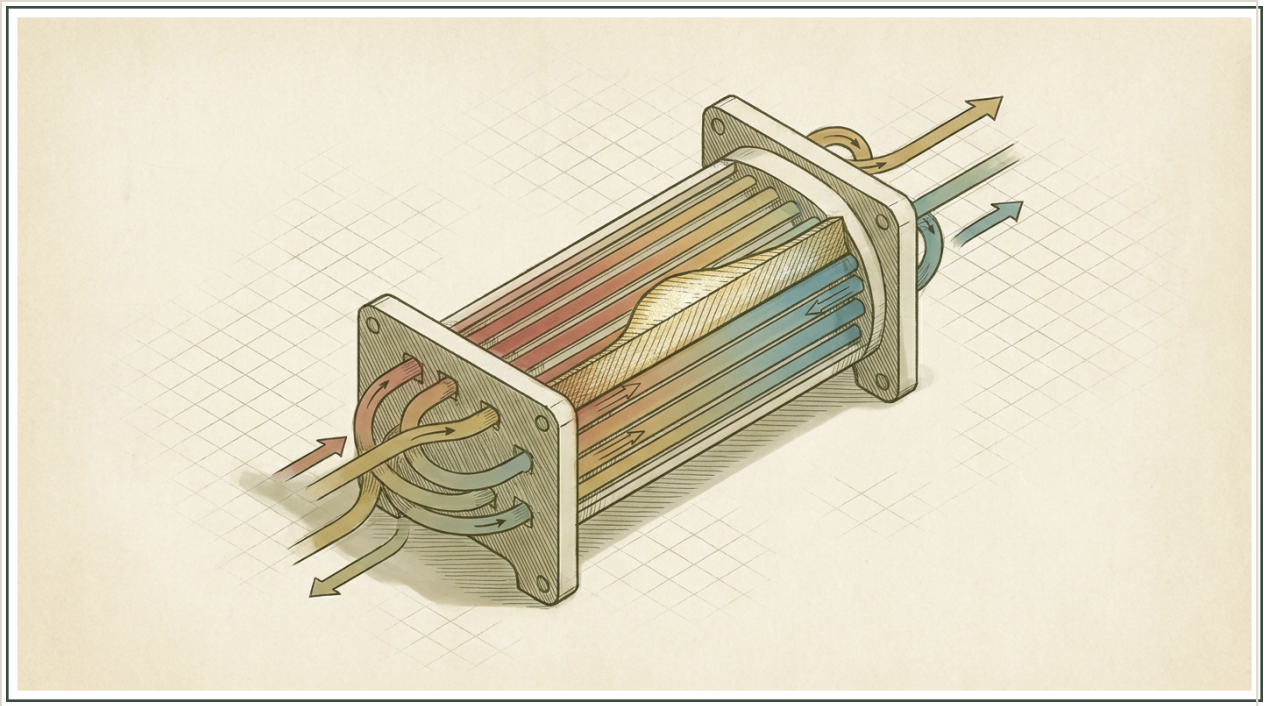

Схема потоков теплоносителей и последовательность теплового расчёта аппарата

Любой тепловой расчёт, каким бы аппаратом он ни заканчивался — пластинчатым, кожухотрубным или спиральным, — идёт по одному скелету. Сначала из теплового баланса достают нагрузку и расходы, потом считают движущую силу процесса, затем оценивают коэффициент теплопередачи и только в конце получают площадь. Ниже — этот скелет целиком, с числами, на примере маслоохладителя гидростанции.

Коротко

Вся методика держится на трёх уравнениях: тепловой баланс Q = G·c·Δt, движущая сила Δt_ср (LMTD) и уравнение теплопередачи F = Q/(k·Δt_ср). Остальное — как аккуратно добыть входы для этих трёх.

1. Исходные данные и постановка

Требуется охладить индустриальное масло 60→40 °C водой из градирни 25→35 °C. Расход масла задан насосом станции — 8,0 кг/с. Задача: найти нужную площадь и проверить, что напор насоса контура воды это потянет.

Параметр	Обозн.	Масло	Вода
Вход / выход, °C	t′/t″	60 / 40	25 / 35
Расход, кг/с	G	8,0	искомый
Теплоёмкость, Дж/(кг·K)	c	1900	4187

Параметр	Обозн.	Масло	Вода
Схема	—	противоток	противоток

2. Тепловой баланс и расходы

Нагрузку берём по горячей стороне — она задана полностью:

$$Q = G_м \cdot c_м \cdot (t'_м - t''_м) = 8{,}0 \cdot 1900 \cdot (60 - 40) = 304\,000 \text{ Вт} \approx 304 \text{ кВт}$$

Q — тепловая нагрузка; c_м ≈ 1900 Дж/(кг·К) для минерального масла

Расход охлаждающей воды достаём из баланса — вся отданная теплота уходит в воду:

$$G_в = Q / (c_в \cdot \Delta t_в) = 304000 / (4187 \cdot 10) \approx 7{,}26 \text{ кг/с}$$

c_в ≈ 4187 Дж/(кг·К); Δt_в = 35 − 25 = 10 °C

3. Средний температурный напор

Противоток, значит логарифмический напор по торцам аппарата:

$$\Delta t_б = 60 - 35 = 25 \text{ °C} \quad \Delta t_м = 40 - 25 = 15 \text{ °C}$$

разности температур на горячем и холодном торцах

$$\Delta t_{ср} = (25 - 15) / \ln(25/15) \approx 10 / 0{,}511 \approx 19{,}6 \text{ °C}$$

среднелогарифмический температурный напор (LMTD)

4. Коэффициент теплопередачи

k собирают из теплоотдачи обеих сторон и стенки. Масло — вязкое, его сторона лимитирует: α_масла обычно 250–600 Вт/(м²·К), тогда как со стороны воды 1500–4000. Стенка тонкая, её вклад мал. Для маслоохладителя реальный k выходит скромным.

$$1/k = 1/\alpha_м + \delta/\lambda_{ст} + 1/\alpha_в = 1/400 + 0{,}0005/16 + 1/2500 \approx 0{,}00294$$

α_м = 400, α_в = 2500 Вт/(м²·К); стенка сталь δ=0,5 мм, λ=16 Вт/(м·К)

$$k \approx 1 / 0{,}00294 \approx 340 \text{ Вт/(м²·К)}$$

итоговый коэффициент теплопередачи маслоохладителя

> **Частая ошибка**
>
> Пытаются поднять k, разгоняя воду. Но лимитирует вязкое масло: хоть залей воду вдвое быстрее, α_масла как был низким, так и остался. Работать надо с горячей стороной — турбулизаторы, оребрение, шевронная гофра.

5. Площадь и выбор аппарата

$$F = Q / (k \cdot \Delta t_{ср}) = 304000 / (340 \cdot 19{,}6) \approx 45{,}6 \text{ м²}$$

требуемая площадь теплопередачи

Добавляем запас 15 % на загрязнение — 52 м². Такую площадь в компактном исполнении даёт пластинчатый аппарат; в кожухотрубном она вылилась бы в громоздкий пучок. Финальный шаг любой методики — гидравлика: перепад давления по обеим сторонам не должен превысить напор насосов.

Этап методики	Что находим	Формула
1. Баланс	Q, расходы	Q = G·c·Δt
2. Напор	Δt_ср	LMTD по торцам
3. Теплопередача	k	1/k = Σ сопротивлений

Этап методики	Что находим	Формула
4. Площадь	F	F = Q/(k·Δt_ср)
5. Проверка	ΔP	гидравлика ≤ напор

6. Частые вопросы

С чего начинать тепловой расчёт?
С теплового баланса. Пока не зафиксирована нагрузка Q и расходы обеих сред, считать площадь бессмысленно — не из чего. Нагрузку берут по той стороне, где известны и расход, и обе температуры.

По какой стороне считать нагрузку, если данные есть с обеих?
По любой — баланс сойдётся, если данные согласованы. На практике берут сторону с более надёжными замерами. Расхождение горячей и холодной нагрузок более 3–5 % — сигнал ошибки в исходных данных.

Можно ли пропустить проверку по давлению?
Нет. Аппарат, набранный только по теплу, может не выйти на режим: если ΔP выше напора насоса, расход упадёт, и площади внезапно не хватит. Гидравлика — полноправная половина расчёта.

7. Глоссарий

Термин	Определение
Тепловой баланс	Равенство теплоты, отданной горячей средой и принятой холодной (за вычетом потерь).
Тепловая нагрузка Q	Количество теплоты, передаваемое в аппарате за единицу времени, Вт или кВт.
Лимитирующая сторона	Сторона с меньшей теплоотдачей — именно она определяет итоговый k.

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: методика расчёта теплообменника, тепловой баланс, LMTD, коэффициент теплопередачи, площадь, пример