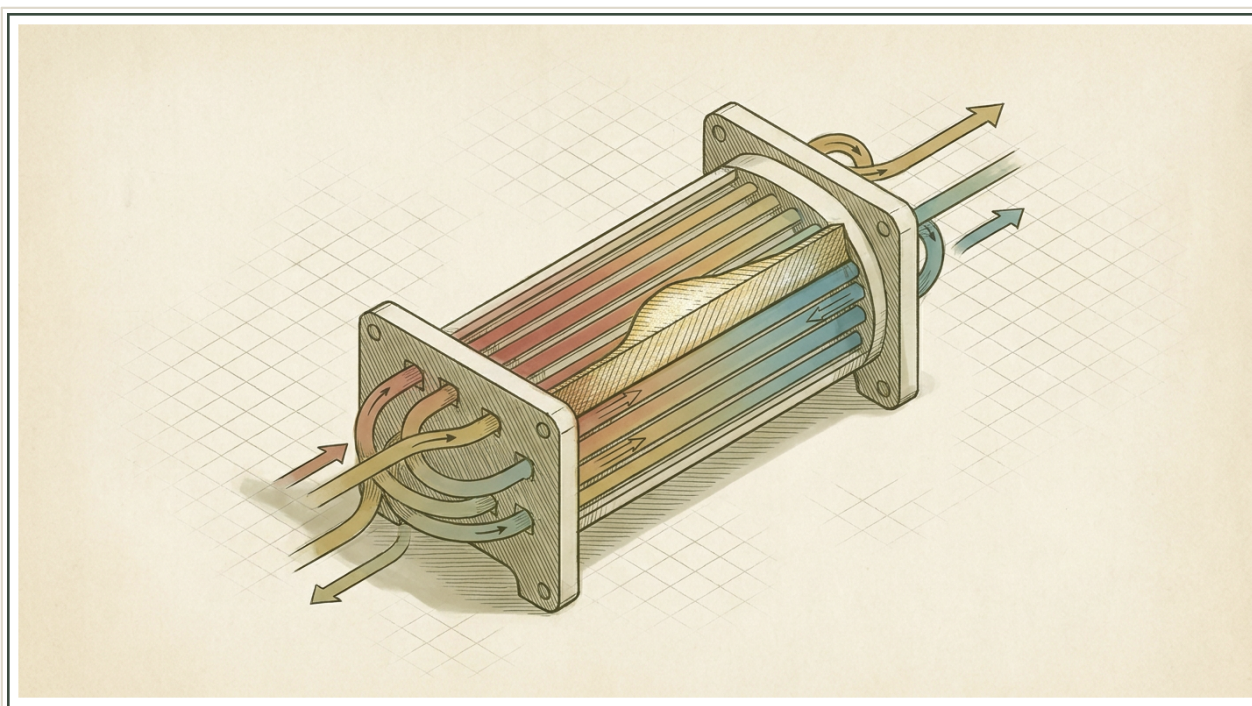


Тепловой и материальный баланс теплообменника

теория теплообмена · формулы и вывод

Тепловой баланс $Q = G \cdot c \cdot \Delta t$ — фундамент расчёта: греющая вода 2,0 кг/с с перепадом 110→70 °С отдаёт ровно 335 кВт, и из этого же равенства находят недостающий расход или температуру второго контура с невязкой не более 2–3 %.



Тепловой баланс: сколько тепла отдал горячий поток, столько принял холодный

Любой расчёт теплообменника стоит на одном фундаменте — законе сохранения энергии. Сколько тепла отдал горячий поток, столько (за вычетом ничтожных потерь) принял холодный. Это тепловой баланс. Рядом стоит материальный баланс — сохранение массы потоков. Пока эти два уравнения не сойдутся, о площади и пластинах говорить рано.

Коротко

Тепловой баланс: $Q = G_1 \cdot c_1 \cdot \Delta t_1 = G_2 \cdot c_2 \cdot \Delta t_2$. Материальный баланс: расход на входе равен расходу на выходе каждого контура. Из баланса находят недостающие расходы или температуры перед основным расчётом.

1. Уравнение теплового баланса

Тепло, снятое с греющего контура, равно теплу, полученному нагреваемым:

$$Q = G_1 \cdot c_1 \cdot (t_1' - t_1'') = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_2'' - t_2')$$

G — массовый расход, кг/с; c — теплоёмкость, Дж/(кг·К); t', t'' — вход/выход

Пример. Греющий контур: $G_1 = 2,0$ кг/с, вода 110→70 °С. Найдём переданную мощность:

$$Q = 2,0 \cdot 4190 \cdot (110 - 70) = 335\,200 \text{ Вт} \approx 335 \text{ кВт}$$

$c \approx 4190$ Дж/(кг·К) для воды в диапазоне 70–110 °С

Теперь из того же баланса найдём расход нагреваемого контура, если он греется 5→60 °С:

$$G_2 = Q / (c_2 \cdot \Delta t_2) = 335200 / (4190 \cdot 55) \approx 1,45 \text{ кг/с}$$

$$\Delta t_2 = 60 - 5 = 55 \text{ °C}; c_2 \approx 4190 \text{ Дж/(кг·K)}$$

2. Материальный баланс

Для несмешивающихся контуров материальный баланс тривиален, но обязателен: расход каждой среды постоянен по тракту (нет отбора и подмеса внутри аппарата).

$$G_{\text{вход}} = G_{\text{выход}} \text{ (для каждого контура)}$$

в теплообменнике массы контуров не смешиваются, каждый расход сохраняется

Материальный баланс становится нетривиальным в аппаратах с фазовым переходом (конденсаторы, испарители), где часть потока меняет агрегатное состояние, а теплоёмкость заменяется теплотой парообразования r .

3. Баланс с фазовым переходом

Если одна среда конденсируется или кипит, её вклад в баланс считают через скрытую теплоту, а не через Δt :

$$Q = D \cdot r \text{ (конденсация пара)}$$

D — расход пара, кг/с; r — удельная теплота парообразования, Дж/кг (для воды ~2100–2260 кДж/кг)

Величина	Обозначение	Типовое значение
Теплоёмкость воды	c	4187–4190 Дж/(кг·K)
Теплота парообразования (0,1–1 МПа)	r	2000–2260 кДж/кг
Плотность воды 70 °C	ρ	~978 кг/м³
Потери в окружение (изолир. ПТО)	—	< 1–2 % от Q

Частая ошибка

Забывают, что теплоёмкость воды слегка растёт с температурой (≈ 4187 при 20 °C, ≈ 4215 при 100 °C). Для инженерной точности берут c при средней температуре контура; ошибка на «холодном» c завышает расчётный расход.

4. Зачем баланс перед расчётом

Баланс — это входные данные для теплового и гидравлического расчёта. Из него берут недостающий расход или температуру, проверяют исходные данные на непротиворечивость (если Q по двум контурам не сходится — данные ошибочны), и только затем считают температурный напор, коэффициент k и площадь. Расчёт без сведённого баланса — гарантированная ошибка.

5. Пример: проверка невязки баланса

Баланс обязан сходиться по обоим контурам. Греющий: $G_1 = 2,0$ кг/с, 110→70 °C. Нагреваемый: $G_2 = 1,45$ кг/с, 5→60 °C. Считаем Q с каждой стороны независимо:

$$Q_1 = 2,0 \cdot 4190 \cdot (110 - 70) = 335\,200 \text{ Вт}; Q_2 = 1,45 \cdot 4190 \cdot (60 - 5) \approx 334\,200 \text{ Вт}$$

две независимые оценки одной мощности по разным контурам

$$\text{невязка} = |Q_1 - Q_2| / Q_1 \cdot 100 \% = 1000 / 335200 \approx 0,3 \%$$

невязка < 2–3 % — данные непротиворечивы, можно считать площадь

Если невязка превышает 3–5 %, где-то ошибка исходных данных: неверный расход, температура или теплоёмкость. Считать площадь по несведённому балансу нельзя —

ошибка перейдёт в число пластин.

6. Частые вопросы

Что такое тепловой баланс теплообменника?

Равенство тепла, отданного греющим контуром, и тепла, принятого нагреваемым: $Q = G_1 \cdot c_1 \cdot \Delta t_1 = G_2 \cdot c_2 \cdot \Delta t_2$. На нём стоит весь дальнейший расчёт аппарата.

Как из баланса найти неизвестный расход?

Выразить его из уравнения: $G_2 = Q / (c_2 \cdot \Delta t_2)$, где Q берут по известному контуру. Так по одному полностью заданному контуру находят параметры второго.

Чем баланс отличается при паре и конденсации?

Меняющая фазу среда учитывается через теплоту парообразования r , а не через $c \cdot \Delta t$: $Q = D \cdot r$. Материальный баланс тоже усложняется — появляется расход конденсата.

7. Глоссарий

Термин	Определение
Тепловой баланс	Равенство отданного и принятого тепла: $Q = G_1 c_1 \Delta t_1 = G_2 c_2 \Delta t_2$.
Материальный баланс	Сохранение массового расхода каждого контура по тракту аппарата.
Водяной эквивалент	Произведение $G \cdot c$ — теплоёмкость потока, Вт/К.
Теплота парообразования r	Скрытая теплота фазового перехода, ~2000–2260 кДж/кг для воды.



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: тепловой баланс, материальный баланс, уравнение теплового баланса, расход, теплоёмкость воды