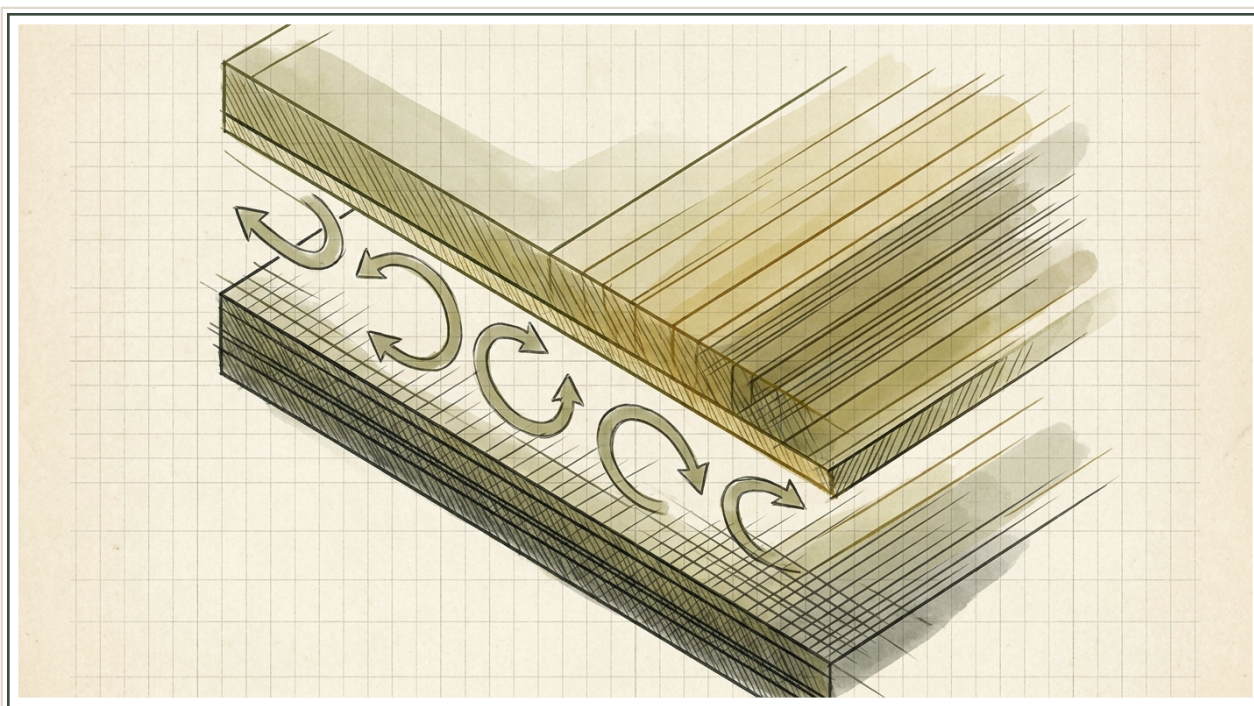


Теория подобия в расчётах теплообмена

теория теплообмена · формулы и вывод

Теория подобия в теплообмене: три теоремы, почему одинаковые Re , Pr , Gr дают одинаковое Nu , условия однозначности и как из подобия рождаются критериальные уравнения.



Перенос результатов с модели на натуру через равенство безразмерных критериев

Почему формулу теплоотдачи, полученную на воде в лабораторной трубке, можно применить к маслу в промышленном аппарате? Ответ даёт теория подобия. Она доказывает: если у двух процессов совпадают определяющие безразмерные числа, то совпадают и результаты — в безразмерном виде. Это позволяет переносить результаты опытов на любые размеры и среды и лежит в основе всех критериальных уравнений.

Коротко

Суть теории подобия в одной фразе: одинаковые Re , Pr , $Gr \rightarrow$ одинаковое Nu . Модель и натура ведут себя одинаково, если равны их определяющие критерии.

1. Три теоремы подобия

Классическая теория подобия стоит на трёх утверждениях:

- Первая (Ньютон–Бертран): у подобных процессов одноимённые критерии равны.
- Вторая (π-теорема Букингема): решение можно записать как связь безразмерных комплексов, их число = число величин минус число основных единиц.
- Третья (Кирпичёв–Гухман): подобны процессы, у которых равны определяющие критерии и подобны условия однозначности (геометрия, граничные условия).

2. Как из этого рождается критериальное уравнение

По второй теореме теплоотдача описывается связью безразмерных чисел. Обобщая опыт, её ищут в степенном виде:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr) \rightarrow Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \cdot Gr^p$$

конкретные C , m , n , p определяют из экспериментов — это и есть критериальное уравнение

Именно поэтому в справочниках так много похожих формул Nu : каждая — обобщение своего набора опытов для своей геометрии и диапазона чисел.

3. Условия однозначности

Равенства критериев мало — нужно ещё геометрическое и граничное подобие:

Вид подобия	Что требует
Геометрическое	пропорциональность размеров модели и натуры
Кинематическое	подобие полей скоростей
Тепловое	подобие полей температур
Граничное	подобие условий на входах и стенках

4. Практический смысл для инженера

- Одно уравнение Nu работает для воды, масла, воздуха — если попадаешь в его диапазон Re , Pr .
- Результаты стендовых испытаний завода переносятся на серию аппаратов любого размера.
- Нельзя выходить за границы применимости формулы — подобие нарушается, ошибка растёт.

5. Пример переноса

Опыт дал $Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$ для воды при $Re = 10^4 \dots 10^5$. Для масла с $Re = 15000$, $Pr = 120$ (в пределах применимости по Re) формула тоже верна:

$$Nu = 0,021 \cdot 15000^{0,8} \cdot 120^{0,43} \approx 0,021 \cdot 2190 \cdot 8,0 \approx 368$$

то же уравнение, другая среда — работает благодаря подобию

6. Частые вопросы

Что утверждает теория подобия простыми словами?

Если у двух процессов равны определяющие безразмерные числа (Re , Pr , Gr) и подобна геометрия, то равны и определяемые (Nu). Значит, результат опыта можно перенести на другой размер и среду.

Почему нельзя выходить за границы применимости формулы?

Вне диапазона Re , Pr , L/d подобие процессов нарушается: меняется структура течения, и степенная зависимость перестаёт описывать реальность. Формула даёт неверный результат.

Как теория подобия связана с критериальными уравнениями?

Критериальное уравнение — это и есть математическая форма подобия: связь безразмерных чисел, полученная обобщением опытов по второй и третьей теоремам.

7. Глоссарий

Термин	Определение
Теория подобия	Учение о переносе результатов с модели на натуру через равенство безразмерных критериев.
Условия однозначности	Геометрия, свойства, граничные и начальные условия, выделяющие конкретный процесс.
п-теорема	Любую физическую связь можно записать через безразмерные комплексы величин.

**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: теория подобия, критерии подобия, теоремы подобия, моделирование теплообмена, условия однозначности