

Специальное приложение журнала «Изобретатель»

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Редколлегия:

Бородуля В.А. - доктор техн. наук, профессор, чл. кор. НАН Беларуси

Герасимович Л.С. - доктор техн. наук, профессор, академик НАН Беларуси

Девойно О.Г. - доктор техн. наук, профессор

Ивашко В.С. - доктор техн. наук, профессор

Ловшенко Г.Ф. - доктор техн. наук, профессор

Саранцев В.В. - кандидат техн. наук, доцент, отв. секретарь

Струк В.А. - доктор техн. наук, профессор

Ярошевич В.К. - доктор техн. наук, профессор

Содержание:

1. ОБ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ НАГРЕВЕ БОЛЬШИХ МАСС В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

2. УЛУЧШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ДВС МЕТОДАМИ МЕХАНОХИМИИ

3. МАГИЯ ЗВЕЗДЫ

4. СТРУКТУРНЫЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КАРБИДОВ И НИТРИДОВ ТИТАНА

5. ИННОВАЦИЯ ДЛЯ УДОБНОГО ХРАНЕНИЯ ВЕЛОСИПЕДА: ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ РАБОТКИ

УДК 621.435

ОБ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ НАГРЕВЕ БОЛЬШИХ МАСС В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Северянин В.С.

Брестский государственный технический университет

Введение

Из многочисленных примеров теплообмена в промышленном производстве остановимся на конкретной проблеме – нагрев составляющих материалов в строительной технологии: плавление битума, прогрев песка и щебня для бетонной смеси, разогрев лаков, красок, жидкого стекла, разложение или синтез различных веществ, сушка деталей и пр. Эти примеры относятся к материалам с низкой теплопроводностью, вязкие или порошкообразные, полифракционные. Речь идет о количестве в десятки и более тонн, сосредоточенных в емкостях, коробах, буртах, насыпях. Обычно прогрев производится внешними или внутренними теплообменниками (чаще трубчатого типа), воздействующими на всю имеющуюся массу. Низкая теплопроводность или воздушные полости резко увеличивают время нагрева всего материала до требуемой величины. Поэтому добавляются сложные механизмы перемешивания с большими конструктивными и энергетическими затратами, увеличиваются рабочие по-

верхности теплообменников, интенсифицируется подача и удаление теплоносителя, его взаимодействие с нагреваемым материалом. Теплота расходуется не только на рабочий режим нагрева, но и на компенсацию теплотерь с больших поверхностей нагретого тела.

Ставится задача уменьшить потребление энергии (топливо, электричество, Солнце) конструктивными и режимными мерами.

Физические закономерности и определение температурных полей в нестационарных режимах нагрева

В массиве твердого тела или высоковязкой жидкости температура внутри него обусловлена, в первую очередь, теплопроводностью материала [1]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = a \nabla^2 T, \quad (1)$$

где T – температура в точке с координатами x, y, z ; τ – текущее время; $a = \lambda / (c\rho)$ – коэффициент температуропроводности; λ – коэффициент теплопроводности; c – удельная теплоемкость; ρ – плотность исследуемого материала.

В режимах нагрева, являющимися нестационарными процессами, теплопроводность – это темп изменения температурного поля, мера диффузии энергии в теле.

Дифуравнение (1) решается заданием краевых (начальных и граничных) условий, например – постоянством температуры внешнего обогревателя и интенсивностью подвода теплоты $\alpha = \text{const}$ (α – коэффициент теплоотдачи к нагреваемому массиву снаружи). В расчетах вводится безразмерная избыточная температура:

$$\theta = \frac{T(x, y, z, \tau) - T_{an}}{T(x, y, z, 0) - T_{an}} = \nu / \nu_0$$

(числитель – в момент времени τ , знаменатель – начало: $\tau=0$).

Вначале $T(x, y, z, \tau)$ и $\partial T / \partial \tau$ зависят от начальных условий, это – первый режим, неупорядоченный. Затем внутри тела темп изменения температур установится постоянным, и $T(x, y, z, \tau)$ будут зависеть только от граничных условий, это – регулярный режим. При $\tau \rightarrow \infty$ $\nu \rightarrow 0$, т.е. все точки тела принимают температуру внешнего обогревателя, это – стационарный режим.

Тип режима, т.е. характер нагрева, зависит от соотношения подвода теплоты и распределения ее внутри тела. Эти величины обусловлены α и λ и численно отражаются критериями Био и Нуссельта: $Bi = \alpha d / \lambda$ $Nu = \alpha d / \lambda_n$, (d – характерный размер тела, λ_n – теплопроводность наружного теплоносителя). Если Bi невелик, преобладает Nu , то тело называется термически тонким, где температура успевает быстро выравниваться по всему телу. Тогда решение (1) после интегрирования по времени выражается зависимостью:

$$\theta = \nu / \nu_0 = \exp\left(\frac{\alpha F}{c\rho V} \tau\right) \quad (2)$$

(здесь F – поверхность нагрева, V – объем тела), т.е. температура всего тела растет по экспоненте, тем быстрее, чем больше $\alpha F / (c\rho V)$.

Однако в нашем случае (большие массы) критерий Био велик, т.е. внутренние температуры сильно разнятся друг от друга, соседние точки нагреты по-разному, что выражается неравномерным температурным полем. Поэтому зависимость (2) неприменима для больших масс (объемов), и дифуравнение (1) требуется решать по времени и координатам. Решение его весьма трудоемко; аналитически его можно вывести только для простейших случаев (нагрев или охлаждение стержней, пластин, сфер, ограниченных заданными условиями). Но численными методами благодаря машинному счету можно рассчитать любое температурное поле. Для этого дифуравнение заменяется системой алгебраических уравнений. Тело разбивается на несколько (зависит от точности расчетов) объемов ΔV конечных размеров, в которых назна-

чается узловая точка – узел. Теплоемкость вещества в нем – условно сосредоточена в узле. Узловые точки соединены друг с другом теплопроводящими стержнями с термическим сопротивлением теплопроводности R стенки, толщина которой равна расстоянию между узлами, площадь – площади контактов объемов ΔV . Крайние узлы подчиняются граничным условиям по критерию Nu . Система узлов и теплопроводящих стержней – сетка (рис. 1).

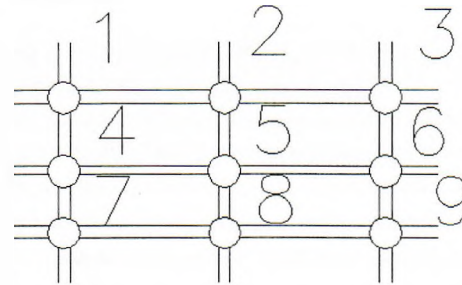


Рисунок 1

Для повышения точности – мельче сетка, но резко растет объем вычислений. На рис. 1 показана двумерная сетка в качестве примера подхода к решению. Далее составляются уравнения теплового баланса для каждого узла. Система балансовых уравнений – это разностный аналог дифференциального уравнения теплопроводности, где производится замена отношениями конечных приращений независимых переменных.

Если в начальный момент температура в узле T_i , через промежуток времени Δt будет T_i' , то баланс теплоты для узла – это равенство изменения энтропии и суммы подходящих к узлу количеств теплоты по всем теплопроводящим стержням:

$$c_i \rho_i \Delta V_i (T_i' - T_i) = \sum \left(\frac{\Delta T_i}{R_i} \right) \Delta \tau$$

Количество таких уравнений равно числу узлов, для внутренних узлов уравнения одинаковы, для внешних – учитываются граничный теплообмен. Уравнение для 5-го узла, рис. 1:

$$c_5 \rho_5 V_5 (T_5' - T_5) = \left(\frac{T_2 - T_5}{R_{2-5}} + \frac{T_4 - T_5}{R_{4-5}} + \frac{T_6 - T_5}{R_{6-5}} + \frac{T_8 - T_5}{R_{8-5}} \right) \Delta \tau \quad (3)$$

Уравнение (3) решается относительно T_5' , т.е. определяется температура каждого узла после Δt , шага расчета. Затем полученное распределение температур принимается за исходное для следующего шага, решение повторяется до желаемого результата в момент времени $\tau = N \cdot \Delta \tau$ (N – число повторений).

Приведенные выше выкладки показывают, что в массиве материала при нагреве температуры могут сильно различаться. Это различие увеличивается с ростом размеров

массива и уменьшением теплопроводности массива. Это означает: внешние участки нагреты (даже перегреты), внутренние – еще холодные, тепловому потоку необходимо время, чтобы «дойти» до внутренних слоев.

Удельный тепловой поток при теплопроводности (закон Фурье):

$$q = -\lambda \text{grad}T, \text{grad}T = \frac{\Delta T}{\Delta L}$$

(ΔT - разность температур на длине ΔL), т.е. уменьшением размеров можно быстрее прогреть материал при тех же затратах теплоты, если этот объем выделить из общего. Отсюда очень важный практический вывод: нагрев всего большого объема дольше, чем сумма нагрева его частей. Если малые объемы все греть одновременно, этот вывод подтверждается. И при последовательном нагреве их сумма времен для каждого меньше времени нагрева всего объема от одного теплоисточника. Кроме того, теплотери во внешнюю среду для малого объема меньше из-за уменьшения поверхности охлаждения. Таким образом, раздельный нагрев общей массы материала вследствие сокращения соответствующего времени приводит к уменьшению расхода энергоресурса.

Техническое решение задачи

Самое простое решение нагрева больших масс материала – это нагрев во время загрузки некоторых складских или расходных объемов. Для этого на линии подачи материала (твердый битум, песок и другие порошкообразные субстанции и т.п.), перед большой емкостью, устанавливается нагреватель, приспособленный для данной операции. Например, для плавления битума это огневой разжижитель битума [2-4]. Такое устройство состоит из теплогенератора (здесь – камеры пульсирующего горения) с соответствующей системой, регенеративного теплообменника, на котором плавится битум, выхлопных газовых труб. Простота, малые размеры, удобство изготовления, монтажа, эксплуатации несопоставимы с энергоагрегатами повышенной мощности для обработки всего массива. Для подогрева сыпучих или мелкораздробленных материалов установки еще проще: это обогреваемый шнек. На рис. 2 представлена принципиальная схема предлагаемой технологии нагрева.

Исходный материал из пункта поставки 1 питателями подается в нагреватель 2 упомянутого типа, он снабжен топливной системой 3 (баки, насос, топливопровод, фильтр, пусковые и регулировочные схемы). Согретый (разжиженный) материал сливается в емкость 4 соответствующего размера, емкость окружена кожухом 5 для прохода выхлопных горячих продуктов сгорания из нагревателя 4, и теплоизоляцией 6.

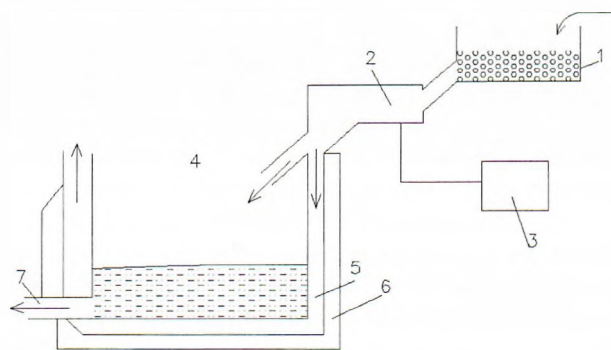


Рисунок 2

Непосредственно на рабочий технологический процесс готовый материал из емкости 4 подается отборным механизмом 7 (шнек, насос, задвижки и т.д.). Основная идея показанной на рис. 2 схемы – прогрев небольшого расхода исходного материала и сохранение его после накопления в теплоизолированном объеме (для компенсации теплотери в окружающую среду – утилизация теплоты после нагревателя; теплотери благодаря теплоизоляции небольшие, и малая тепловая мощность нагревателя достаточна). Подробная конструкция и режимы действия уточняются для конкретного пользователя.

Выводы

1. Прогрев больших масс высоковязких и измельченных материалов энергетически целесообразно вести малыми частями, это дает экономию энергоресурсов (топлива, электроэнергии).
2. Для реализации такой технологии имеются соответствующие нагреватели, обуславливающие так же снижение капитальных конструкционных затрат.

Литература

1. Техническая термодинамика. Теплопередача. Б.Н.Юдаев. М., Высшая школа, 1988, 478 с.
2. Устройство для плавления битума. Патент РБ №2066, С1, E01C19/08, 1998. Северянин В.С. и др.
3. Устройство для тепловой обработки суспензий. Патент РБ №2105, С1, C02F11/12, 1998. Северянин В.С., Дмухайло Е.И.
4. Устройство для слива загустевших жидкостей. Патент РБ №2046, U, B67D5/00, 2004. Северянин В.С., Горбачева М.Г., Черников И.А.