

турбулизаторов и режимов течения, приведённом в экспериментальном материале [2, 6], показывает, что средняя погрешность расчёта по точными решениям, приведён-

ным в рамках данного исследования, по отношению к эксперименту составляет порядка 5%, в то время как формулы Мигая дают погрешность в среднем более 10%.

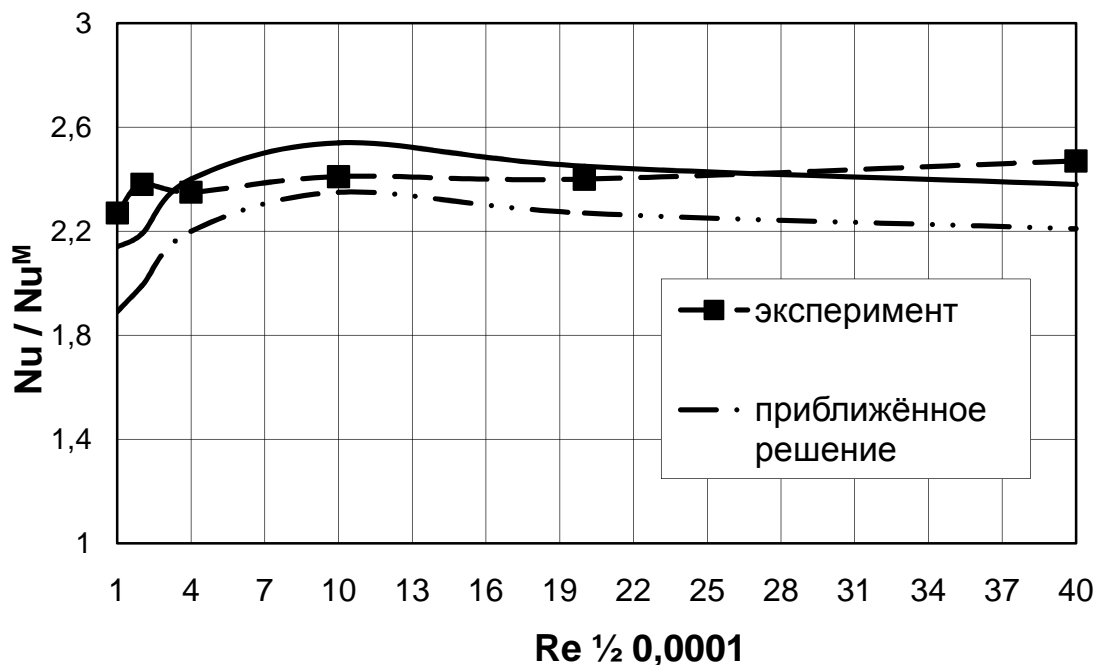


Рис. 2. Сравнение точного и приближённого решений для интенсифицированного теплообмена с экспериментальными данными [2, 6] для труб с турбулизаторами при $t/D=1$, $d/D=1$, $Pr=0,72$ и в зависимости от числа Рейнольдса

Следовательно, точные решения, полученные в данной работе, гораздо качественнее описывают имеющийся экспериментальный материал, чем существующие решения. Применение точных решений можно считать оправданным, несмотря на их относительную сложность.

4. Основные выводы

Резюмируя полученные данные, можно сказать, что в рамках данного исследования были получены точные решения задачи об интенсифицированном теплообмене для четырёхслойной схемы турбулентного пограничного слоя. Существующие реше-

ния могут быть охарактеризованы как частный случай этих точных решений; точные решения являются более сложными по отношению к существующим решениям. Расчётные данные по теплообмену, полученные с применением точных решений, хорошо соответствуют экспериментальным данным и имеют гораздо меньшую погрешность по отношению к последним, чем существующие решения.

Список литературы

1. Дрейцер Г.А., Лобанов И.Е. Моделирование изотермического теплообмена при турбулентном течении в каналах в условиях ин-

- тенсификации теплообмена // Теплоэнергетика. 2003. № 1. С. 54—60.
2. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990. 208 с.
3. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979. 416 с.
4. Лобанов И.Е. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах: дисс. ... д.т.н. М.: МАИ, 2005. 632 с.
5. Лобанов И.Е. Моделирование теплообмена и сопротивления при турбулентном течении в каналах теплоносителей в условиях интенсификации теплообмена // Труды Третьей Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 томах. Т. 6. Интенсификация теплообмена. Радиационный и сложный теплообмен. М., 2002. С. 140—143.
6. Мигай В.К. Интенсификация конвективного теплообмена в трубах и каналах теплообменного оборудования: дисс. ... д.т.н. Л.: ЦКТИ, 1973. 412 с.
7. Мигай В.К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования. — Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1987. 263 с.
8. Мигай В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия. Ленинградское отделение, 1980. 144 с.
9. Эффективные поверхности теплообмена / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, И.З. Копп и др. М.: Энергоатомиздат, 1998. 408 с.
-

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В КАМЕРАХ ТУННЕЛЬНОГО ТИПА

Мялицин А.В.

*Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия
alex21m@rambler.ru*

На основании закона сохранения массы вещества, экспериментальных исследований и принятых допущений составлено математическое описание процесса сушки древесины в камерах непрерывного действия туннельного типа. Приведены решения полученных уравнений и соответствующие выводы.

Ключевые слова: сушка древесины, камеры непрерывного действия, теплообмен, массообмен

MATHEMATICAL FORMULATION OF DRYING PROCESS OF SAWN TIMBER IN PROGRESSIVE KILNS

Mialitsin A.V.

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

On the basis of mass conservation law, experimental research and hypothetical assumptions, there has been made a mathematical formulation of drying process of sawn timber in progressive kilns. The solutions of received equations and corresponding conclusions are given.

Keywords: drying wood, progressive kilns, heat transfer, mass transfer.

Ранее уже предпринимались попытки анализа процессов тепло- и массообмена для камер непрерывного действия [1, 2]. Была получена следующая система уравнений, описывающих процесс тепло- и массообмена в туннельной сушилке:

$$\begin{aligned} \gamma_B \left(-g_x \frac{\partial D}{\partial x} + g_y \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial D}{\partial \tau} \right) &= \gamma_M \left(v \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial \tau} \right) \\ -c_B \left(-g_x \frac{\partial t_B}{\partial x} + g_y \frac{\partial t_B}{\partial y} + \frac{\partial t_B}{\partial \tau} \right) &= \alpha F(t_B - t_M); \\ r' \gamma_M \left(v \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial \tau} \right) &= -\alpha F(t_B - t_M); \\ t_m &= f(t_B, D) \end{aligned} \quad (1)$$

с начальными и граничными условиями:

$$\begin{aligned} W(0, x, y) &= W^0(x, y); t_B(0, x, y) = t_{B0}(x, y); \\ D(0, x, y) &= D^0(x, y); W(\tau, 0, y) = W^0(\tau, y); \\ t_B(\tau, x, 0) &= t_{B0}(\tau, x); D(\tau, 1, 0) = D_1(\tau); \\ \text{где } 0 \leq x \leq 1; 0 \leq y \leq 1 \end{aligned}$$

Решение системы (1) в операторном виде выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} W(p, x) &= W_0(p) \exp\left(-\frac{px}{v}\right) \eta_1(x) + \\ &+ \exp\left(-\frac{px}{v}\right) \eta_1(x) \int_0^x \exp\left(-\frac{p\xi}{v}\right) \eta_2(\xi) t(p, \xi) d\xi, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{где } \eta_1 = \exp\left(\frac{1}{v} \int_0^x \varphi_2(\xi) d\xi\right); \eta_2 = \frac{1}{v} \varphi_1 \exp\left(\frac{1}{v} \int_0^x \varphi_2(\xi) d\xi\right)$$

Первое слагаемое в (2) показывает влияние возмущения по начальной влажности материала на влажность материала в любом сечении по длине сушилки, а второе слагаемое учитывает влияние распределенного по длине возмущения параметров сушильного агента на влажность материала в сушилке.

В (1) – (2) приняты следующие обозначения:

x, y, z – координаты соответственно по длине, высоте и ширине сушильной камеры, м;

$g(x), g(y)$ – расход воздуха, соответственно, по оси x и y , м³/ч;

F – площадь поверхности высушиваемого материала, приходящаяся на единицу объема сушильного пространства, м²/м³;

v – скорость перемещения материала по оси x , м/ч;

γ_B, γ_M – плотность, соответственно, воздуха и материала, кг/м³;

t_B, t_M, t_m – температура воздуха, поверхности материала и мокрого термометра, °С;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²°С;

W – влажность материала, кг/кг;

c_B, c_M – теплоемкость воздуха и материала, Дж/кг°С;

D – влагосодержание воздуха, кг/кг.

Таким образом, полученное решение (2) описывает искомые распределения по длине камеры, однако, его практическое применение представляется весьма затруднительным по следующим причинам:

1. Выражение (2) для практического применения необходимо привести из операторной формы в нормальную, а для этого надо знать параметры $\eta_1, \eta_2, \varphi_1, \varphi_2$.

2. Определение указанных параметров эмпирическим путем также не представля-