

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Автоматическое управление компенсацией реактивной мощности лесозаготовительных производств для экономии электроэнергии / А. В. Воробьев, Н. М. Горбатов, Г. П. Знаменский, В. В. Бородавко // Охрана окружающей среды и пути экономии лесосырьевых ресурсов на предприятиях лесного комплекса в свете решений XXVII съезда КПСС: Сб. материалов конф.—Л.: ЛДНТП, 1988.—С. 28—34. [2]. Алябьев В. М. Компенсация реактивной мощности на лесозаготовительных предприятиях // Лесн. пром-сть.—1988.—№ 12.—С. 22—24. [3]. Синев В. С. Выбор соотношения продольной и поперечной компенсации реактивной мощности // Вопросы повышения эффективности переработки и энергетического использования отходов лесозаготовок: Сб. науч. тр.—Химки: ЦНИИМЭ, 1987.—С. 170—181.

Поступила 4 июля 1989 г.

УДК 674.046

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ БАССЕЙНА ДЛЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФАНЕРНОГО СЫРЬЯ

В. Ю. ПАВЛИКОВ, Ю. Н. СТРИЖЕВ

Ленинградский государственный университет
Ленинградский институт текстильной и легкой промышленности

Тепловая обработка фанерного сырья — одна из энергоемких технологических операций в производстве фанеры, выполняемая, в основном, в открытых бассейнах. Существующая методика проектирования этих бассейнов не позволяет определять их оптимальные или близкие к ним размеры, обеспечивающие технико-экономические показатели работы.

В статье предложена методика, моделирующая с помощью ЭВМ работу бассейна на всех стадиях его функционирования, включая выход на режим, характерный для бассейнов фанерных предприятий.

Суть методики заключается в аппроксимации решений уравнений теплопроводности степенными функциями [1]. В отличие от ранее опубликованных подходов рассматриваем ситуацию непостоянной температуры среды. Время функционирования бассейна разбиваем на ряд интервалов, на каждом из которых температуру среды в модели для прогрева фанерного сырья предполагаем постоянной, используя кусочно-постоянную аппроксимацию средней температуры воды в бассейне. Такой подход обусловлен значительной постоянной времени бассейна [2], а температура воды в пределах рассматриваемых интервалов времени изменяется незначительно. Поэтому длина интервала может быть выбрана сравнительно большой (более одной минуты). Это делает предлагаемую методику достаточно эффективной по затратам времени на вычисления.

Рассмотрим средние температуры воды и ограждения бассейна. Их изменение может быть адекватно описано системой обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} V_{\text{в}} \frac{dt_{\text{в}}}{d\tau} = q_{\text{н}}(\tau) - q_{\text{полез}} - F_{\text{об}} \alpha_{\text{во}} (t_{\text{в}} - t_{\text{ог}}) - F_{\text{пв}} \alpha_{\text{вв}} (t_{\text{в}} - t_{\text{о}}) - F_{\text{пв}} q_{\text{ог}} t_{\text{в}}; \quad (1)$$

$$c_{\text{ог}} \rho_{\text{ог}} V_{\text{ог}} \frac{dt_{\text{ог}}}{d\tau} = F_{\text{об}} \alpha_{\text{во}} (t_{\text{в}} - t_{\text{ог}}) + F_{\text{он}} \alpha_{\text{ог}} (t_{\text{г}} - t_{\text{ог}}), \quad (2)$$

где $c_{\text{в}}$, $c_{\text{ог}}$, $\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{ог}}$ — коэффициенты теплоемкости и плотности соответственно воды и ограждения бассейна;

$V_{\text{в}}, V_{\text{ог}}$ — объемы воды и ограждения;
 $F_{\text{ов}}, F_{\text{он}}, F_{\text{пв}}$ — площади соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждения бассейна и поверхности воды;

$\alpha_{\text{во}}, \alpha_{\text{ог}}, \alpha_{\text{вв}}$ — коэффициенты теплообмена соответственно между средами вода — ограждение, ограждение — грунт и вода — воздух;

$t_{\text{г}}, t_0$ — температуры грунта и окружающего воздуха;

$t_{\text{в}}, t_{\text{ог}}$ — средние температуры воды и ограждения;

q_0 — скрытая теплота испарения воды;

τ — время;

$q_{\text{н}}(\tau)$ — скорость расхода тепла, затрачиваемого на нагревание воды в бассейне;

$\gamma = 0,03 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С})$ — количество воды, испаряющееся с 1 м^2 поверхности в час при изменении температуры на $1 ^\circ\text{С}$;

$q_{\text{полез}}$ — интеграл плотности теплового потока от воды к древесине по поверхности фанерных краёв.

В целях замыкания системы уравнений и ее численного интегрирования укажем способ приближенного вычисления интеграла $q_{\text{полез}}$. Пусть при сортировке фанерное сырье разбито на k групп, каждая из которых содержит кражи, близкие по диаметру. Тогда

$$q_{\text{полез}} = \sum_{i=1}^k m_i q_{i\text{полез}}, \quad (3)$$

где $q_{i\text{полез}}$ — интеграл по поверхности одного фанерного края i -й группы плотности теплового потока, расходуемого на нагревание;

$i = \overline{1, k}$ — порядковый номер группы сырья;

m_i — число фанерных краёв в i -й группе.

Рассмотрим прогрев одного фанерного края. Так как длина фанерного края превосходит его диаметр, а колебания диаметра по длине малы, то, пренебрегая тепловым потоком, проходящим через торцы края, принимаем, что он обладает цилиндрической симметрией. Значит температура t в любой точке зависит лишь от времени τ и расстояния r от этой точки до оси края. Пусть начальная температура древесины одинакова по всему ее объему и совпадает с температурой окружающего воздуха. В случае, если начальная температура отрицательна (предлагаемая методика может быть перенесена и на условия с положительной начальной температурой), нагревание древесины сопровождается ее оттаиванием и движением границы раздела фаз. В силу предполагаемой цилиндрической симметрии древесины, эта граница в каждом ее сечении является окружностью. Таким образом, сечение разбивается на две концентрические области. Обозначениям для внутренней области присвоим индекс*.

Во внешней области температура t удовлетворяет уравнению теплопроводности в цилиндрических координатах и стандартным начальному и граничному условиям первого рода, а во внутренней области температура t^* — другому уравнению теплопроводности, начальному условию и условию гладкости температурной кривой на оси древесины:

$$\left. \frac{dt^*}{dr} \right|_{r=0} = 0. \quad (4)$$

Кроме того, на границе раздела фаз выполняется условие Стефана:

$$\lambda_{\text{л}}^* \left. \frac{\partial t^*}{\partial r} \right|_{r=\xi} - \lambda_{\text{л}} \left. \frac{\partial t}{\partial r} \right|_{r=\xi} = q_{\text{фр}} \frac{d\xi}{dr},$$

где $\xi = \xi(\tau)$ — радиус границы раздела фаз;
 q_{ϕ} — теплота плавления льда;
 ρ_{ϕ} — масса льда, подлежащего фазовому переходу в единице объема;
 $\lambda_{\text{д}}^*$, $\lambda_{\text{д}}$ — удельная теплопроводность мерзлой и оттаявшей древесины.

Разобьем процесс прогрева древесины на две стадии. На первой стадии в центральной части имеется неоттаявшая область радиуса $\xi(\tau)$, вторая начинается после полного оттаивания. Положим, что на первой стадии

$$t = t_{\text{в}}(r - \xi)^n / (R - \xi)^n \quad \text{при } \xi \leq r \leq R; \quad (5)$$

$$t^* = t_0 \xi [1 - (r/\xi)^{n^*}] / R \quad \text{при } 0 \leq r \leq \xi, \quad (6)$$

где n^* , n — порядок параболы соответственно во внутренней и внешней областях;

R — радиус фанерного кряжа.

Функция (5) удовлетворяет граничному условию первого рода, а функция (6) — условию (4). Кроме того, значения обеих функций на границе раздела фаз совпадают с температурой фазового перехода. Подставим выражения (5) и (6) в условие Стефана и проинтегрируем его с использованием уравнений теплопроводности в обеих областях [3]:

$$\tau = (R^2 / t_{\text{в}} \lambda_{\text{д}} n) \{ [c_{\text{д}} \rho_{\text{д}} t_{\text{в}} / (n + 1)] [\Delta^2 / 2 - 2\Delta^3 / 3 (n + 2)] - [3c_{\text{д}}^* \rho_{\text{д}}^* t_0 n^* / 2 (n^* + 2)] (\Delta^4 / 4 - 2\Delta^3 / 3 + \Delta^2 / 2) + q_{\phi} \rho_{\phi} (\Delta^2 / 2 - \Delta^3 / 3) \}, \quad (7)$$

где $\rho_{\text{д}}$, $\rho_{\text{д}}^*$, $c_{\text{д}}$, $c_{\text{д}}^*$ — плотности и коэффициенты теплоемкости древесины во внешней и внутренней областях;
 Δ — относительное расстояние от границы раздела фаз до поверхности кряжа.

Соотношение (7) позволяет найти зависимость радиуса границы раздела фаз от времени. При $\Delta = 1$ можно найти время полного оттаивания T .

На второй стадии температуру t определим по формуле

$$t = t_{\text{ц}} + (t_{\text{в}} - t_{\text{ц}}) r^n / R^n \quad \text{при } \tau \geq T, \quad (8)$$

где $t_{\text{ц}}$ — температура на центральной оси кряжа.

Интегрируя уравнение теплового баланса по поверхности кряжа, найдем:

$$t_{\text{ц}}(\tau) = t_{\text{в}} \{ 1 - \exp([-\lambda_{\text{д}}(\tau - T) / c_{\text{д}} \rho_{\text{д}} R^2] / [2(n + 2)]) \}. \quad (9)$$

Полученные выражения (8) и (9) позволяют вычислить температуру в любой точке фанерного кряжа, для любого момента времени, большего T .

Вернемся к вычислению величин $q_{i \text{ полез}}$. Рассмотрим, как это сделано выше, прогрев одного кряжа из i -й группы. В этом случае

$$q_{i \text{ полез}} = \lambda_{\text{д}} F_{\text{д}} \left. \frac{\partial t}{\partial r} \right|_{r=R}.$$

Отсюда

$$q_{i \text{ полез}} = \lambda_{\text{д}} F_{\text{д}} n t_{\text{в}} / (R - \xi) \quad \text{при } 0 \leq \tau \leq T; \quad (10)$$

$$q_{i \text{ полез}} = [\lambda_{\text{д}} F_{\text{д}} n (t_{\text{в}} - t_{\text{ц}})] / R \quad \text{при } \tau \geq T. \quad (11)$$

Заметим, что выражения (9—11) являются линейными относительно величины $t_{\text{в}}$.

При использовании предлагаемого алгоритма моделирования бассейнов для тепловой обработки фанерного сырья следует:

1) разбить процесс на последовательности интервалов времени, на каждом из которых температура воды в бассейне изменяется незначительно;

2) зафиксировать среднюю температуру в начале промежутка и рассмотреть последовательно каждую группу кряжей, взятых для опыта;

3) для этой температуры проверить, будет ли конец промежутка больше времени полного оттаивания; если «да», перейти к позиции 6;

4) для фиксированной средней температуры воды в бассейне и времени прогрева, соответствующего концу промежутка, определить из уравнения (7) величину Δ и вычислить глубину оттаивания по формуле $\xi = R(1 - \Delta)$;

5) вычислить для рассматриваемой группы кряжей коэффициент при t_v по формуле (10) и перейти к позиции 7;

6) вычислить коэффициент при t_v по формулам (9), (11);

7) замкнуть систему уравнений (1), (2) выражением (3), проинтегрировать получившуюся линейную систему с переменными коэффициентами на рассматриваемом промежутке;

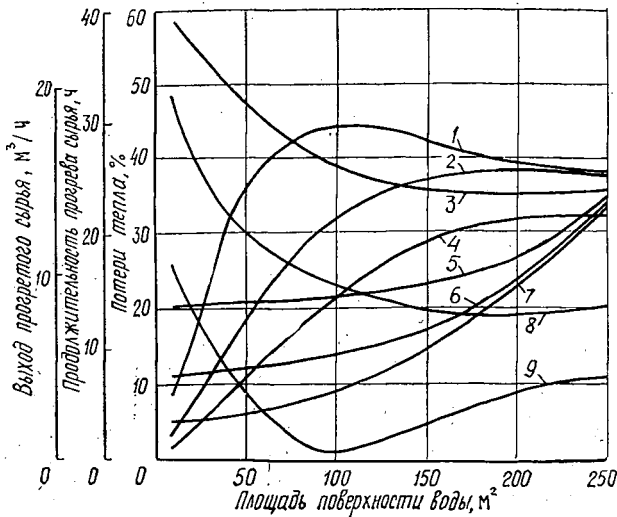
8) вычислить температуру на карандаше требуемого радиуса для кряжей каждой группы по формулам (5), (6) или (8);

9) при условии выполнения процесса закончить цикл;

10) принять значения средних температур воды и ограждения бассейна в начале следующего промежутка равными этим же величинам в конце рассматриваемого промежутка;

11) рассмотреть следующий промежуток и перейти к позиции 2.

Эта методика была положена в основу математического моделирования работы бассейна для тепловой обработки фанерного сырья.



Зависимости показателей работы бассейна, закрытого крышками (85 %), от площади поверхности воды (глубина 3 м, постоянный расход пара 1000 кг/ч): 1, 2, 4 — часового выхода прогретого сырья (без учета времени загрузки, выгрузки и простоя бассейна); 5, 6, 7 — продолжительности прогрева сырья; 3, 8, 9 — потеря тепла от общего расхода. Кривые 1, 7, 9 — для сырья диаметром 0,16 м; 2, 6, 8 — 0,24 м; 3, 4, 5 — 0,32 м. Влажность сырья 85 %, начальная температура — 20 °С

В результате получены функциональные зависимости, позволяющие для любого бассейна определить все необходимые параметры, характеризующие его технико-экономические показатели. Одновременно найдены зависимости всех показателей работы бассейна от его геометрических параметров. Так, например, установили, что продолжительность прогрева фанерного сырья в открытых бассейнах зависит не только от диаметра кряжей, но и от объема бассейна, а при постоянной его глубине — от площади поверхности воды, как показано на рисунке. Результаты расчета на модели и экспериментальные данные имеют расхождение не более 3,5 %.

Таким образом, рассмотренные математическая модель и методика могут быть использованы при создании САПР технологических процессов производства фанеры.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Вейник А. И. Приближенный расчет процессов теплопроводности.— М.: Госэнергоиздат, 1959.— 184 с. [2]. Стрижев Ю. Н., Романов В. Н. Пути совершенствования качества гидротермической обработки фанерного сырья // Плиты и фанера: Обзор / ВНИПИЭИлеспром.— 1985.— Вып. 5.— 40 с. [3]. Шубин Г. С. Совершенствование методов расчета процессов нагревания и сушки древесины и их обобщение // Деревообаб. пром-сть.— 1980.— № 6.— С. 3—7.

Поступила 28 сентября 1989 г.

УДК 674.023(075.8)

О КОРРЕКТНОСТИ КРАЕВЫХ УСЛОВИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ СЛУЧАЯ РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

А. И. СОПОТУН, М. Т. БЕЦЬ

Львовский лесотехнический институт

По проблемам разрушения древесины при механических воздействиях, в том числе и в процессе ее резания, в последние годы накоплено достаточное количество экспериментального материала. Однако формирование и построение общей аналитической теории резания вряд ли можно считать законченной. В частности, определение закономерностей распределения внутренних сил в окрестности и по грани резца, являющееся основополагающим при изучении физики явлений при резании, до последнего времени еще далеко не однозначно.

Не останавливаясь на вопросе длительности контакта режущего инструмента с материалом, следует обратить внимание на то, что в течение некоторого малого промежутка времени происходят достаточно сложные процессы деформации и разрушения древесины, возникновения внутренних напряжений, их распределения в обрабатываемом материале и на площадках контакта резца, а также тепловые, химические и другие явления. При этом в последующий достаточно малый промежуток времени возникают и добавляются иные условия и явления, усложняющие физику процесса резания.

Более того, если деформации в зоне контакта резца и в зоне разрушения древесины в определенной степени изучены, то этого нельзя утверждать относительно компонентов напряжений. Измерение распределения внутренних сил представляет задачу чрезвычайной сложности. Аналитическое же определение напряжений через известные деформации теряет смысл по двум причинам: во-первых, зависимость напряжений от деформаций, если даже не учитывать пластических, для