

ОТТАИВАНИЕ МЕРЗЛЫХ БУКОВЫХ КРЯЖЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЛУЩЕНОГО ШПОНА

Ладислав Дзуренда¹, Ненчо Делийски²

¹ Технический университет, Зволлен, Словакия

² Лесотехнический университет, София

Резюме

В настоящей работе при помощи нестационарной математической модели авторов произведен расчет изменения температуры по радиусу мерзлых буковых кряжей во время их тепловой обработки. Исследовано влияние температуры обрабатываемой среды от 60°C до 100°C на продолжительность оттаивания буковых кряжей с диаметром 400 mm и начальной температурой -5°C, -10°C, -15°C и -20°C. Полученные результаты введены в софтвер программируемого контролера для автоматического управления процессом тепловой обработки кряжей при производстве лущеного шпона.

Ключевые слова: мерзлые буковые кряжи, оттаивание, тепловая обработка, производство шпона.

Key words: frozen beech logs, defrosting, thermal treatment, veneer production.

Введение

При производстве лущеного шпона древесные сортименты (кряжи и чураки) подвергаются тепловой обработке (ТО) с целью их пластифицирования. Это вызвано обстоятельством, что нагретая влажная древесина имеет повышенную деформативность и податливость к резанию.

Основной задачей при разработке и оптимизации современных технологий ТО древесных сортиментов является научно обоснованное определение температуры в отдельных точках их объема в любой момент нагревания.

Неотделимую часть процесса ТО составляет кондиционирование в воздушной среде нагретых пластифицированных сортиментов с целью гомогенизации температурного поля в их объеме перед последующим лущением шпона.

Правильное и эффективное управление этим процессом возможно только при хорошем понимании его физики и тяжести влияния на него каждого из нескольких десятков факторов. Это влияние охвачено и отражено в описанных в [2] математических моделях процесса ТО круглых сортиментов.

Софтверные пакеты, которые изготовлены нами для решения моделей в вычислительной среде Visual Fortran Professional, позволяют с их помощью разрабатывать в Windowse научно обоснованные режимы для пластифицирования содержащих и не содержащих льда круглых сортиментов из различных древесных пород.

Целью настоящей работы является исследование влияния начальной температуры

мерзлых буковых кряжей и температуры обрабатываемой среды на продолжительность ТО кряжей при производстве лущеного шпона.

Оптимальная температура для лущения шпона

Нагревание сортиментов с целью их пластифицирования является многофакторным процессом, зависящим от их размеров и начальной температуры, от строения и микроструктурных особенностей древесной породы, от анизотропности древесины, от количества и агрегатного состояния воды в ней, от закона изменения во времени и значений температуры нагревающей во время ТО и кондиционирующей затем воздушной среды и т.д.

В [5] установлено, что во время лущения шпона температура во всех точках объема пластифицированных сортиментов должна находиться в оптимальных пределах. Минимальное значение этих пределов для буковой древесины составляет 50°C.

Когда температура находится в оптимальных пределах, древесина имеет высокую пластичность, разделение клеток при резании происходит по межклеточному слою, разрывы клеточных стен минимальны и гладкость поверхности шпона высока.

Когда температура значительно меньше нижнего оптимального предела, т.е. когда древесина недостаточно нагрета и пластифицирована, резание или лущение сопровождается появлением царапин или трещин на поверхности шпона.

Плохо также и когда температура пластифицированной древесины больше верхнего

оптимального предела. Тогда связь между волокнами ослабевает настолько, что начинается растрескивание шпона на границах между годовыми кольцами, увеличивается его набухание в зоне сердцевинных лучей, появляется мохнатость и т.д.

При достижении оптимальных пределов температуры наступает размягчение и частичное удаление из древесины водорастворимых веществ, которые связывают между собой отдельные волокна. Тогда в результате набухания средней ламеллы уплотняется связь между волокнами и при их разделении образуется более резкая граница. Вследствие этого шпон теряет свою шероховатость, калибруется лучше и получает более чистую и гладкую поверхность, а удельные затраты электрической энергии на его лущение уменьшаются значительно [1, 4, 7].

Математическая модель процесса ТО круглых древесных сортиментов

При производстве лущеного шпона и получаемой из него клееной фанеры чаще всего используются круглые древесные сортименты, чья длина в четыре и более раз превышает их диаметр. В таких случаях можно пренебречь теплопередачей со стороны их торцов, так как она не оказывает влияния на интенсивность изменения температуры сортиментов в их наиболее медленно нагреваемом поперечном сечении, равно удаленном от торцов.

Тогда для вычисления нестационарного изменения температуры по радиусу этого сечения во время ТО и последующего кондиционирования нагретых сортиментов в воздушной среде можно использовать следующую математическую модель [2]:

$$c_e \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda_r \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial \lambda_r}{\partial T} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 \quad (1)$$

с начальным условием

$$T(r, 0) = T_0 \quad (2)$$

и следующими граничными условиями:

- во время нагревания сортиментов при ТО:

$$T(0, \tau) = T_m(\tau), \quad (3)$$

- во время кондиционирования нагретых сортиментов

$$\frac{\partial T(0, \tau)}{\partial r} = - \frac{\alpha_r(0, \tau)}{\lambda_r(0, \tau)} [T(0, \tau) - T_{mk}(\tau)], \quad (4)$$

где:

ρ – плотность древесины, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

c_e – эффективная удельная теплоемкость древесины, $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

λ_r – коэффициент теплопроводности древесины в радиальном направлении, $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

α_r – коэффициент теплоотдачи древесины в радиальном направлении во время кондиционирования нагретых сортиментов, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$;

T – температура, К;

T_0 – температура древесины в начале ТО, К;

T_m – температура нагревающей среды во время ТО сортиментов, К;

T_{mk} – температура воздуха во время кондиционирования нагретых сортиментов, К;

r – линейная координата, совпадающая с радиусом R подвергнутых ТО сортиментов: $0 \leq r \leq R$;

τ – время, s.

В [2] приведены зависимости, по которым вычисляются участвующие в уравнениях (1)–(4) характеристики древесины и обрабатывающей среды.

Расчет изменения температуры по радиусу кряжа

В вычислительной среде Visual Fortran Professional нами разработан софтверный пакет, при помощи которого решается математическая модель (1)–(4). С использованием этого пакета вычислено изменение температуры t (в $^{\circ}\text{C}$) по радиусу поперечного сечения, равноудаленного от торцов мерзлого букового кряжа с начальной температурой $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$, диаметром $D = 0,40$ м (т.е. $R = D/2 = 0,20$ м), длиной $L > 1,60$ м и влажностью $U = 0,6 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ во время его ТО в течение 16,5 h при $t_m = 80^{\circ}\text{C}$ и последующего кондиционирования в течение 3,5 h при $t_{mk} = 20^{\circ}\text{C}$. Продолжительность ТО выбрана с учетом того, чтобы в конце ТО температура в центре сечения кряжа достигла 40°C . При выполнении этого условия температура во всем объеме кряжа (за исключением только карандаша) во время кондиционирования после ТО превышает минимально требуемую температуру для лущения букового шпона или незначительно отличается от ней.

Повышение температуры нагревающей среды t_m во время ТО от ее начального значения $t_{m0} = 0^\circ\text{C}$ до ее максимального значения $t_m = 80^\circ\text{C}$ в этом и приведенных ниже симуляционных экспериментах при $t_m = 60^\circ\text{C}$ и $t_m = 100^\circ\text{C}$ осуществлено по экспоненциальной зависимости [2] с постоянной времени, равной 1200 s, которая соответствует реальным условиям проведения технологий ТО кражей.

На рис. 1 показано изменение t_m и t древесины в 5 равно удаленных друг от друга характерных точках поперечного сечения с координатами $R=0$ (поверхность сортимента), $R/4$, $R/2$, $3R/4$ и R (центральная точка сечения).

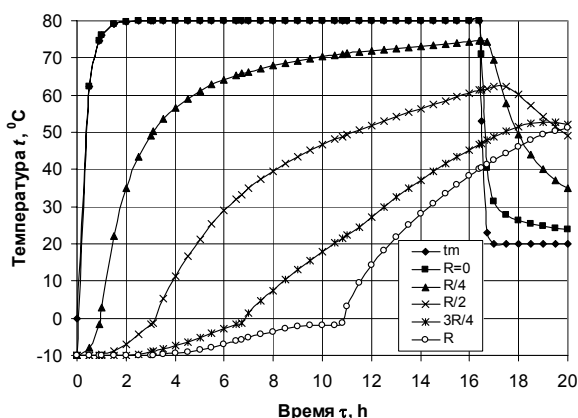


Рис. 1. Изменение t по радиусу мерзлого букового кряжа с $t_0 = -10^\circ\text{C}$ и $R = 0,20\text{ m}$ во время ТО при $t_m = 80^\circ\text{C}$ и последующего кондиционирования

На рис. 1 и на последующих рисунках хорошо видны характерные нелинейные участки, показывающие замедление изменения t в диапазоне от -2°C до -1°C , в котором происходит оттаивание льда, образовавшегося от замерзания свободной воды в древесине. Это свидетельствует о хорошей качественной и количественной адекватности математической модели по отношению к ТО мерзлых круглых сортиментов. Получаемые при помощи модели результаты полностью согласуются с обширными экспериментальными данными изменения t в объеме содержащих и не содержащих льда кражей, приведенных в публикациях P.Schteinhausen [6], A. Khattabi & H. P. Steinhagen [3] и других авторов.

Исследование влияния t_m и t_0 мерзлых кражей на продолжительность их оттаивания

С использованием программного пакета вычислено изменение температуры t по радиусу поперечного сечения мерзлых буковых кражей с $D = 0,40\text{ m}$, $U = 0,6\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ и t_0 , равной -5°C , -10°C , -15°C и -20°C во время их ТО при $t_m = 60^\circ\text{C}$, $t_m = 80^\circ\text{C}$ и $t_m = 100^\circ\text{C}$. С целью получения базы для сравнения произведен аналогичный расчет и для не содержащих льда в начале ТО буковых кражей с $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

Проведение ТО при $t_m = 60^\circ\text{C}$ обеспечивает сохранение естественной окраски буковой древесины, что часто требуется для лицевых слоев клееной фанеры или слоистых древесных изделий. Другие 2 исследованные значения t_m не обеспечивают этого.

Продолжительность ТО для каждого симуляционного эксперимента выбиралась такой, чтобы в конце ТО температура в центре поперечного сечения кражей достигала необходимой для практики 40°C .

На рис. 2, рис. 3 и рис. 4 показано изменение t в центре поперечного сечения кражей во время ТО при t_m , равной соответственно 60°C , 80°C и 100°C .

Анализ полученных результатов приводит к следующим выводам:

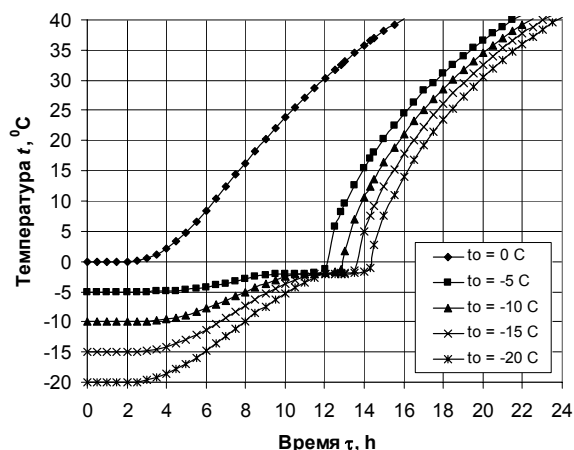


Рис. 2. Изменение t в центре поперечного сечения буковых кражей с $D = 0,40\text{ m}$ во время их ТО при $t_m = 60^\circ\text{C}$, в зависимости от t_0

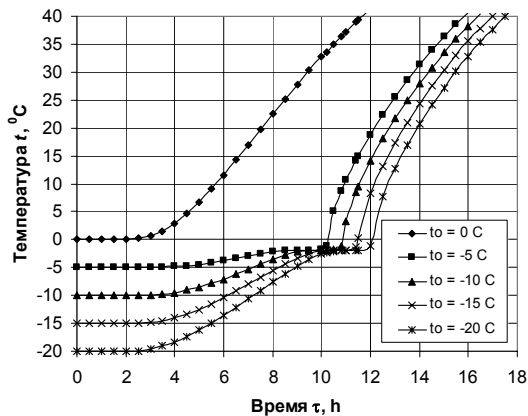


Рис. 3. Изменение t в центре поперечного сечения буковых кряжей с $D=0,40$ м во время их ТО при $t_m = 80^\circ\text{C}$, в зависимости от t_0

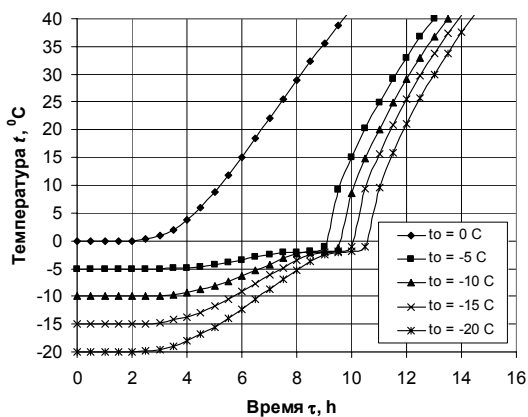


Рис. 4. Изменение t в центре поперечного сечения буковых кряжей с $D = 0,40$ м во время их ТО при $t_m = 100^\circ\text{C}$, в зависимости от t_0

1. Наличие льда в древесине, образовавшегося от замерзания свободной воды в ней, вызывает значительное увеличение продолжительности ТО кряжей. Например, продолжительность ТО при $t_m = 80^\circ\text{C}$, которая необходима для достижения $t = 40^\circ\text{C}$ в центре буковых кряжей с $D=0,40$ м, $U=0,6$ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ и $t_0 = -10^\circ\text{C}$ составляет 16,4 h, в то время как для кряжей без льда с $t_0 = 0^\circ\text{C}$ она равна 11,6 h.

2. Продолжительность оттаивания льда в кряжах увеличивается прямо пропорционально понижению их начальной температуре t_0 . В диапазоне изменения t_0 от -5°C до -20°C любое понижение t_0 на 1°C продлевает оттаивание рассматриваемых буковых кряжей на 9 min при $t_m = 60^\circ\text{C}$; на 7 min при $t_m = 80^\circ\text{C}$ и на 6 min при $t_m = 100^\circ\text{C}$.

3. Повышение t_m при равных прочих условиях вызывает уменьшение по нелинейной зависимости продолжительности оттаивания кряжей. Например оттаивание рассматриваемых буковых кряжей с $t_0 = -10^\circ\text{C}$ требует 12,90 h при $t_m = 60^\circ\text{C}$, 10,85 h при $t_m = 80^\circ\text{C}$ и 9,56 h при $t_m = 100^\circ\text{C}$.

Внедрение результатов исследований

Полученные при исследованиях результаты обработаны подходящим образом и введены в софтвер программируемых контроллеров, которые используются для автоматического управления процессом ТО кряжей при производстве шпона.

На рис. 5 и рис. 6 показаны соответственно яма для ТО кряжей и общий вид ее управляющего контроллера.



Рис. 5. Общий вид управляемой ямы для ТО



Рис. 6. Контроллер для управления ТО кряжей

Внедрение полученных результатов привело к:

- улучшению качества ТО кряжей;
- уменьшению энергетических затрат при ТО;
- повышению качественного и количественного выхода продукции;

- повышению степени интеллектуализации и облекчению труда обслуживающего персонала.

Литература

1. Виделов, X. *Сушене и топлинно обработване на дървесината*. София. ЛТУ. 2003. (In Bulgarian).
2. Делийски, Н., Дзуренда, Л. *Математическое моделирование тепловых процессов в технологиях обработки древесины*. ТУ-Зволен. 2010. 224 с. (In Russian).
3. Khattabi, A., Steinhagen, H. P. *Numerical solution to two-dimensional heating of logs*. Holz als Roh- und Werkstoff. № 8. 1992.
4. Ławniczak, M. *Zarys hydrotermicznej i plasticznej obróbki drewna*. Czesć I. Warzenie I parzenie drewna. Poznań. 1995 (In Polish).
5. Mörath, E. *Das Dämpfen und Kochen in der Furnier- und Sperrholzindustrie*. Holztechnik. № 7, 1949. (In German).
6. Steinhagen, H. P. *Heat transfer computation for a long, frozen log heated in agitated water or steam - a practical recipe*. Holz als Roh- und Werkstoff. № 7-8. 1991.
7. Trebula, P., Klement, I. *Sušenie a hydrotermická úprava dreva*. TU Zvolen. 2002. 449 s. (In Slovakian).

DEFROSTING OF FROZEN BEECH LOGS IN THE VENEER PRODUCTION

Ladislav Dzurenda, Nencho Deliiski

¹ Technical University in Zvolen, Slovakia

² University of Forestry, Sofia, Bulgaria

Abstract

In the present work the change in the temperature along the radius of frozen beech logs during their thermal treatment is calculated with the help of authors' non-stationary mathematical model. The impact of the temperature of the processing medium from 60°C to 100°C on the duration of the defrosting of beech logs with diameter 400 mm and initial temperature -5°C, -10°C, -15°C и -20°C is studied. The obtained results are implemented in the software of programmable controller for automatic control of the process of logs' thermal treatment in the veneer production.