

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСА НА РАЗМРАЗЯВАНЕ НА ОБЛИ БУКОВИ МАТЕРИАЛИ

Ненчо Делийски¹, Радослав Милчев¹, Ладислав Дзуренда, Иван Христов
Лесотехнически университет – София
deliiski@netbg.com, the_mentor@mail.bg, dzurenda@vsld.tuzvo.sk,
hristov_ivan@hotmail.com

РЕЗЮМЕ

Предложен по-рано от първия съавтор нелинеен модел на нагряването на съдържащи лед обли дървени материали чрез топлопроводност е допълнен в настоящата работа с математично описание на зависимостта на влагосъдържанието при границата на насищане на клетъчните стени на различните дървесни видове от температурата.

Работата представя графично 3D и 2D визуализации на получени с ъпдейтвания модел резултати за разпределението на температурата в надлъжното сечение на съдържащи лед букови обли материали с диаметър 0,4 m, дължина 0,8 m, начална температура $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и влагосъдържание $0,3\text{ kg.kg}^{-1}$ и $0,6\text{ kg.kg}^{-1}$ по време на размразяването им при температура на обработващата среда $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ключови думи: замръзнали трупи, размразяване, изчисляване, визуализация, топлинно обработване, температурно разпределение

УВОД

За оптимизиране на управлението на процеса на размразяване на трупи при топлинното им обработване в производството на развит фурнир е необходимо да знае разпределението на температурното поле в тях във всеки момент от размразяването.

В настоящата работа предложен по-рано от първия съавтор нелинеен модел на нагряването на обли дървени материали (Deliiski 2005, Делийски и Дзуренда 2010) е допълнен с математично описание на зависимостта от температурата на влагосъдържанието при границата на насищане на клетъчните стени на различните дървесни видове.

Цел на работата е с помощта на ъпдейтвания модел е да бъде изчислено и визуализирано разпределението на температурата в букови обли материали с

диаметър 0,4 m, дължина 0,8 m, начална температура $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и влагосъдържание $u = 0,3\text{ kg.kg}^{-1}$, съдържащи лед само от адсорбционно свързаната вода, а също с $u = 0,6\text{ kg.kg}^{-1}$, съдържащи лед както от адсорбционно свързаната, така и от свободната вода в дървесината по време на размразяването им при температура на обработващата среда $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА НЕСТАЦИОНАРНОТО РАЗМРАЗЯВАНЕ НА ОБЛИ ДЪРВЕНИ МАТЕРИАЛИ

Механизмът на разпространение на топлината в обли дървени материали по време на тяхното топлинно обработване, в т.ч. и при размразяването им, се описва от нелинейното диференциално уравнение на топлопроводността, което в полярни координати има следната форма (Deliiski 2005):

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

с начално условие

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

и гранични условия

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

където c_e е ефективният специфичен топлинен капацитет на дървесината, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;

λ_r и λ_z – коефициентите на топлопроводност на дървесината съответно в радиално и надлъжно на влакната направление, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;

ρ – плътността на дървесината, $kg \cdot m^{-3}$;

T – температурата, K;

T_0 – температурата на облите материали в началото на размразяването им, K;

T_m – температурата на обработващата (размразяващата) среда, K;

r – координата по радиуса на подложения на размразяване материал: $0 \leq r \leq R$;

R – радиусът на подложения на размразяване объл дървен материал, m;

z – координата по надлъжната ос на облия материал: $0 \leq z \leq L/2$;

L – дължината на подложения на размразяване объл дървен материал, m;

τ – времето, s.

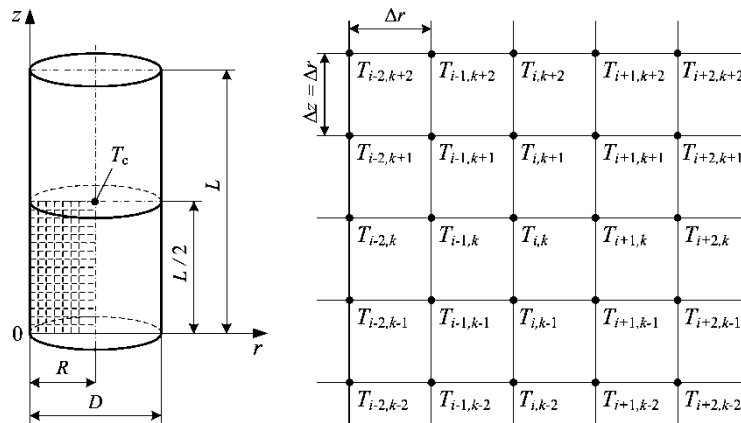
Необходимите за решаване на системата от уравнения (1) ÷ (3) математични описания на топлофизичните характеристики на дървесината c_e , λ_r , λ_z и на

нейната плътност ρ са дадени в (Делийски и Дзуренда 2010). Приведените там математични описания се отнасят както за съдържаща, така и за несъдържаща лед дървесина в началото на топлинното ѝ обработване, целящо размразяване на облите материали.

ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ТЕМПЕРАТУРАТА В ОБЛИТЕ МАТЕРИАЛИ ПО ВРЕМЕ НА РАЗМРАЗЯВАНЕТО ИМ

За компютърно решаване на уравнения (1) ÷ (3) е използвана явна схема на метода на крайните разлики по начин, който е описан в (Deliiski 2005, Делийски и Дзуренда 2010).

Представянето за целта на нелинейното диференциално уравнение с частни производни (1) посредством негов дискретен аналог е осъществено с използване на показаната на фиг. 1 координатна система за позициониране на възлите на изчислителната мрежа, в които се изчислява 2D разпределение на температурата по надлъжното сечение на подложен на размразяване объл дървен материал.



Фиг. 1. Позициониране на възлите на изчислителната мрежа върху $1/4$ от надлъжното сечение на подложения на размразяване объл материал

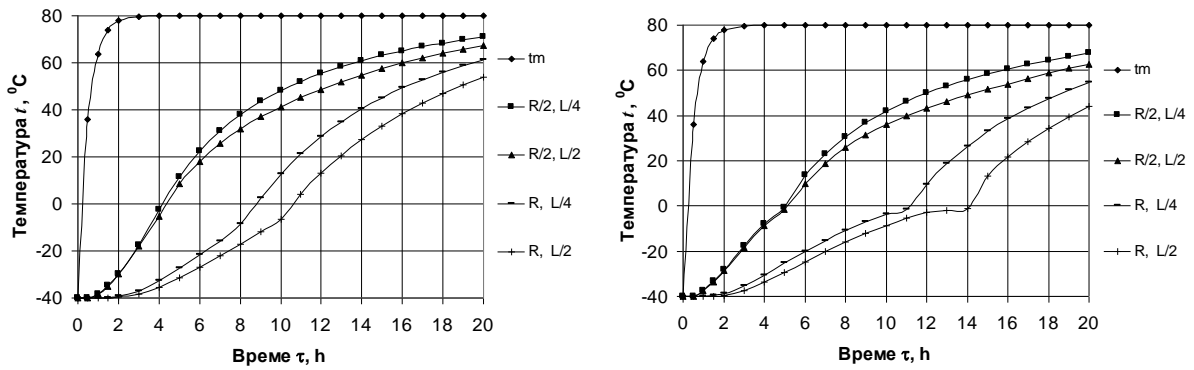
На фиг. 1 с i и k са означени поредните номера на възлите на изчислителната мрежа съответно по радиуса на облия материал: $i = 1, 2, 3, \dots, (R/\Delta r)+1$ и по дължината на облия материал: $k = 1, 2, 3, \dots, [L/(2\Delta r)]+1$, а с Δr е означено разстоянието между възлите на изчислителната мрежа по двете координатни оси. Както се вижда, изчислителната мрежа за решаване на модела е построена върху $1/4$ от надлъжното сечение на подложения на размразяване объл материал поради обстоятелството, че тази $1/4$ е огледално симетрична спрямо останалите $3/4$ на същото сечение.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

За решаване на дискретните аналози на системата от уравнения (1)÷(3) от нас е изготвен софтуер в изчислителната среда на Visual Fortran Professional, която е част от офис-пакета на Windows. С помощта на този софтуер е изследвано 2D

изменение на температурата в съдържащи лед обли букви материали с $R = 0,20$ m, $L = 0,80$ m, начална температура $t_0 = -40$ °C и базисна плътност $\rho_b = 560$ kg.m⁻³ по време на топлинното им обработване с цел размразяване в течение на 20 h при $t_m = 80$ °C. Повишаването на t_m от началната ѝ стойност -40 °C до $t_m = 80$ °C по време на пресмятанията е заложено да става по експоненциален закон с времеконстанта, равна на 1800 s.

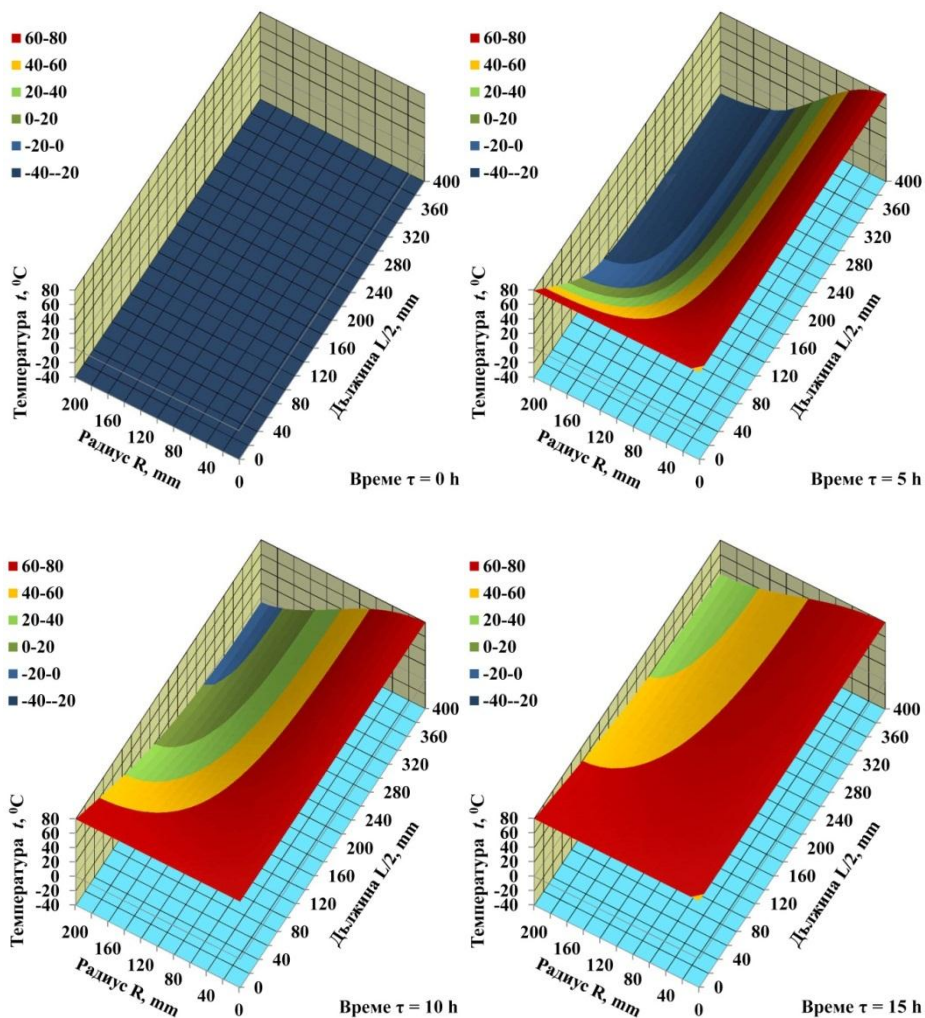
На фиг. 2 е показано изменението на температурата на повърхността на материалите, която е равна на t_m , а също на t в 4 характерни точки от надлъжното сечение на обли материали с $u = 0,3$ kg.kg⁻¹, съдържащи лед само от адсорбционно свързаната вода, и с $u = 0,6$ kg.kg⁻¹, съдържащи лед както от адсорбционно свързаната, така и от свободната вода. Четирите характерни точки в надлъжното сечение имат следните координати: $(R/2, L/4)$, $(R/2, L/2)$, $(R, L/4)$ и $(R, L/2)$ – централна точка на сечението).



Фиг. 2. Изменение на t в надлъжното сечение на обли букови материали с $R = 0,2 \text{ m}$, $L = 0,8 \text{ m}$, $t_0 = -40^\circ\text{C}$, $u = 0,3 \text{ kg.kg}^{-1}$ (вляво) и $u = 0,6 \text{ kg.kg}^{-1}$ (вдясно) по време на размразяването им при $t_m = 80^\circ\text{C}$

На фиг. 3 и фиг. 4 са показани серии от 3D цветни графики, които илюстрират разпределението на температурното поле в надлъжното сечение на облите матери-

али в началото ($\tau = 0 \text{ h}$) и след продължителност на размразяването $\tau = 5 \text{ h}$, $\tau = 10 \text{ h}$ и $\tau = 15 \text{ h}$.

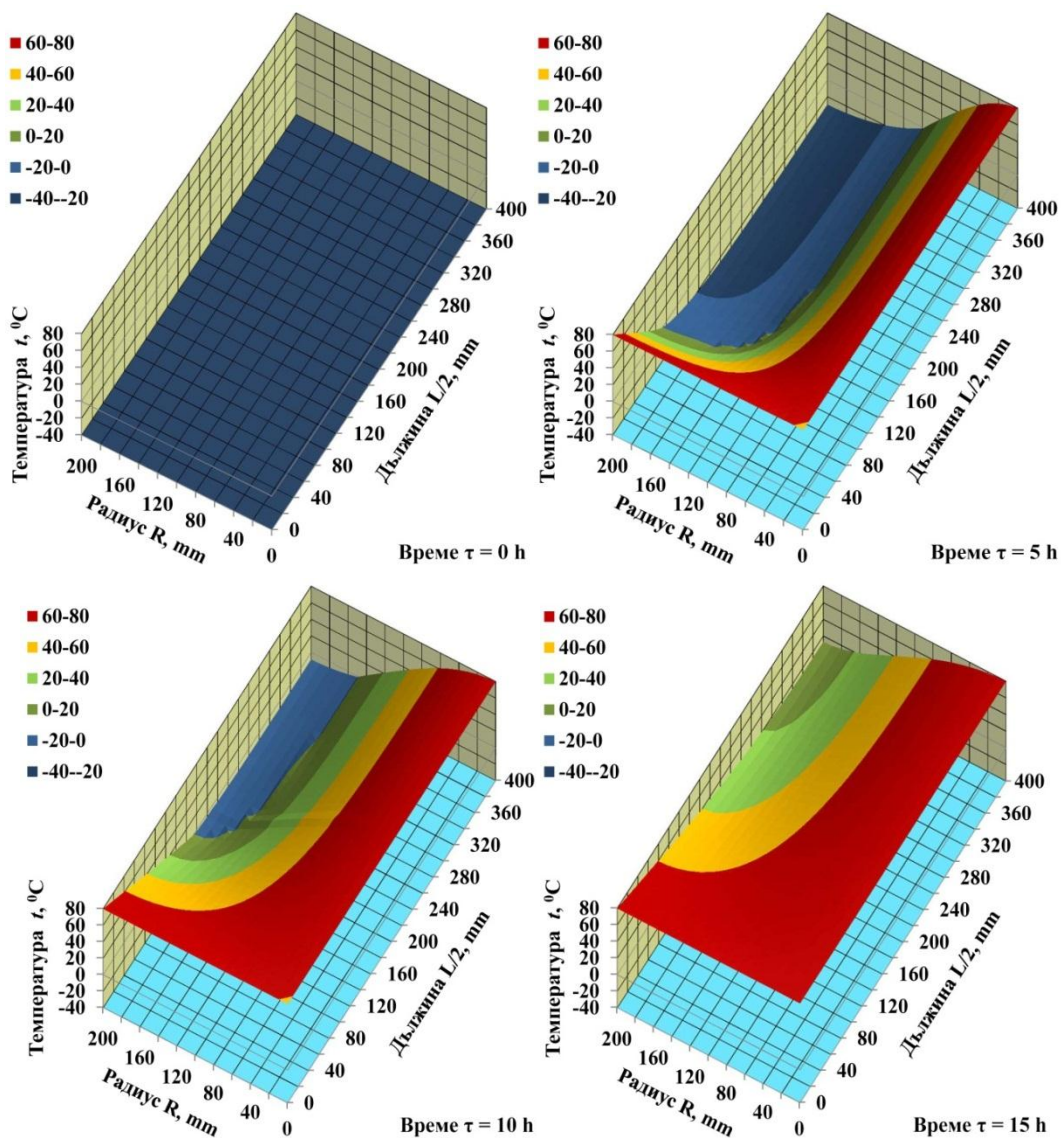


Фиг. 3. 3D графики с разпределението на t в 1/4 от надлъжното сечение на объл буков материал с $R = 0,2 \text{ m}$, $L = 0,8 \text{ m}$, $t_0 = -40^\circ\text{C}$ и $u = 0,3 \text{ kg.kg}^{-1}$ в началото ($\tau = 0 \text{ h}$) и след 5 h, 10 h и 15 h размразяване при $t_m = 80^\circ\text{C}$

Върху разположените на оста на об-
лия материал точки с координати $(R, L/4)$
и $(R, L/2)$ на дясната част на фиг. 1 добре
се виждат характерните участъци на за-
държане на температурата твърде про-
дължително време в диапазона от $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$
до $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, докато в тях изцяло се „разтопи“
ледът, образуван от замръзването на сво-
бодната вода в дървесината (Делийски и
Дзуренда 2010). Аналогични участъци
липсват при разтопяването на леда, обра-
зувал се в дървесината от замръзването

само на адсорбционно свързаната вода в
нея (виж лявата част на фиг. 1).

Пълното разтопяване на леда от сво-
бодната вода в центъра на изследваните
трупи с $R = 0,2\text{ m}$ и $D = 0,8\text{ m}$ настъпва
след 14 h размразяване при $t_m = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,
докато пълното размразяване при същата
стойност на t_m на трупи, съдържащи поч-
ти максимално възможно количество лед
само от адсорбционно свързана вода, е с
около 3,5 h по-кратко.



Фиг. 4. 3D графики с разпределението на t в $1/4$ от надлъжното сечение на объл буков материал с $R = 0,2\text{ m}$, $L = 0,8\text{ m}$, $t_0 = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $u = 0,6\text{ kg.kg}^{-1}$ в началото ($\tau = 0\text{ h}$) и след 5 h, 10 h и 15 h размразяване при $t_m = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$

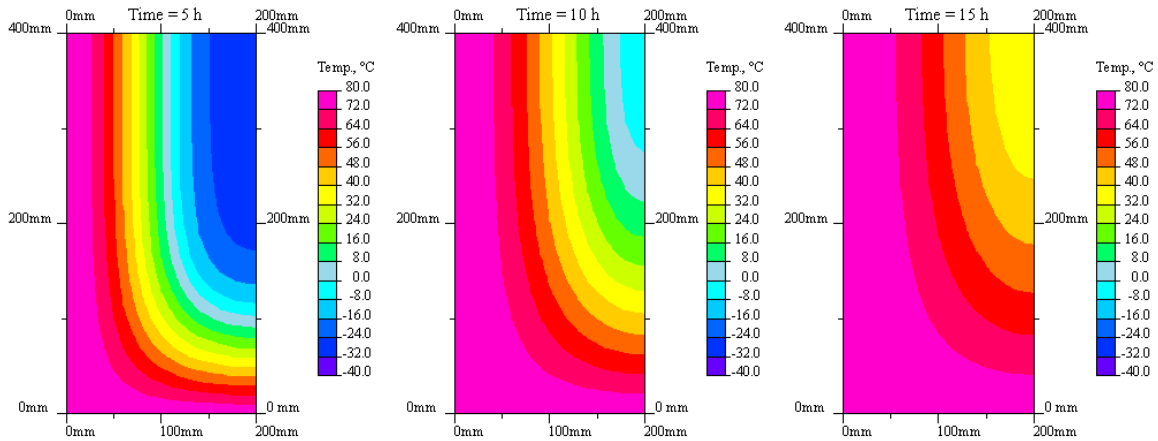
Анализът на построените с помощта на софтуера на Microsoft Excell 2010 цветни тримерни изображения на изчисленията с ъпдейтвания модел изменения на температурното поле по надлъжното сечение на подложените на размразяване букови материали показва следното:

- когато облият материал съдържа лед, образувал се от замръзването само на адсорбционно свързаната вода в дървесината, тогава по време на размразяването всички граници между съседните температурни зони на използваната цветова скала представляват гладки криви линии (фиг. 3);
- когато облият материал съдържа лед, образувал се от замръзването както на адсорбционно свързаната, така и на свободната вода в дървесината, тогава по време на размразяването се нарушава гладкостта на границата между съседните температурни зони от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (фиг. 4). Причина за това е посоченото по-горе при анализа на фиг. 2 задържане на температурата в отделните точки на материала твърде продължително време в диапазона от $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, докато в тях изцяло се „разтопи“ ледът, образуван от замръзването на свободната вода в дървесината. Докато точките с неразтопил се изцяло такъв лед все още се намират в цветовата зона от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, то съседни на тях точки от изчислителната мрежа (фиг. 1)

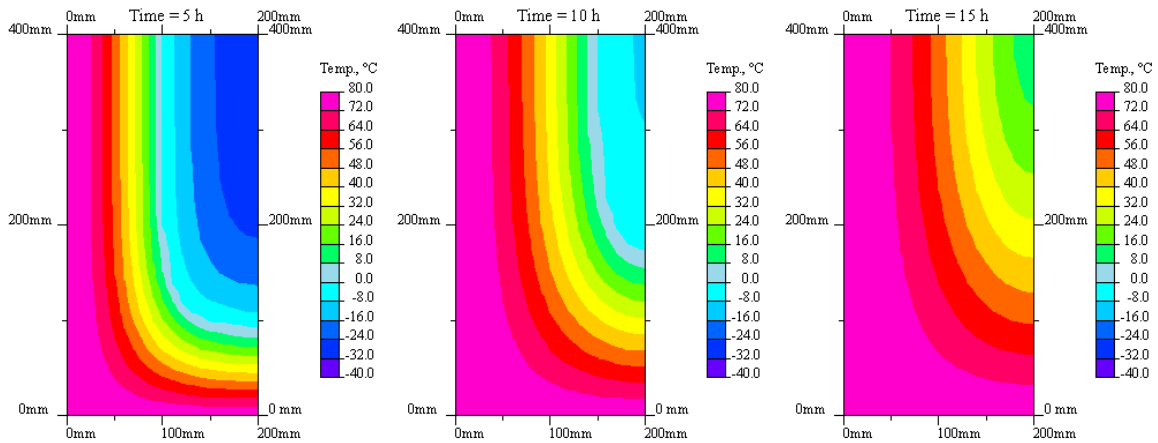
след напълно „разтопяване“ на леда в тях преминават в зоната от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Това обуславя назъбване на границата между тези зони на графиките на фиг. 4 при $\tau = 5\text{ h}$ и $\tau = 10\text{ h}$.

На графиката на фиг. 4 с продължителност на размразяването $\tau = 5\text{ h}$ се наблюдава и пространствено изкривяване на границите между други температурни зони вследствие попадането на температурата на съседни точки от изчислителната мрежа в различни цветови зони. Този ефект на назъбване или пространствено изкривяване на границите между отделните температурни зони би се проявил по-отчетливо при увеличаване на стъпката на изчислителната мрежа Δr (виж фиг. 1).

На фиг. 5 и фиг. 6 са показани серии от 2D цветни диаграми, които показват разпределението на температурното поле в надлъжното сечение на изследваните обли материали след продължителност на размразяването $\tau = 5\text{ h}$, $\tau = 10\text{ h}$ и $\tau = 15\text{ h}$. На фиг.6 добре се вижда деформирането на цветовите зони от $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, обусловено от топенето на леда, образувал се от свободната вода в дървесина с $u = 0,6\text{ kg.kg}^{-1}$. Освен това и на двете фигури отчетливо се забелязва по-бързото нарастване на температурата по дължината на материалите, отколкото по радиуса им. Причина за това е около 1,78 пъти по-големият коефициент на топлопроводност надлъжно на влакната на буковата дървесина, отколкото в радиално направление (Deliiski 2005).



Фиг. 5. 2D диаграми с разпределението на t в $1/4$ от надлъжното сечение на объл буков материал с $u = 0,3 \text{ kg.kg}^{-1}$ по време на размразяването му при $t_m = 80^\circ\text{C}$



Фиг. 6. 2D диаграми с разпределението на t в $1/4$ от надлъжното сечение на объл буков материал с $u = 0,6 \text{ kg.kg}^{-1}$ по време на размразяването му при $t_m = 80^\circ\text{C}$

Следва да се отбележи, че 3D графиките и 2D диаграмите на разпределението на температурното поле представляват мощен графичен инструментариум за осигуряване на по-добро разбиране на относителните температурни изменения в подложените на размразяване дървени материали по време на размразяването им. С тяхна помощ обаче не е възможно да се прави подробен анализ на изменението на температурата в радиално и надлъжно на влакната направление. За такъв анализ е необходимо да се използват оригиналните изчислени с помощта на математичния модел числови резултати, отразяващи изменението на температурата в надлъжното сечение или по радиуса на материалите по

време на размразяването им. По част от такива резултати са построени представените на фиг. 2 графики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата са представени и анализирани 3D и 2D графики на разпределението на температурното поле в букови трупи по време на размразяването им по резултати, изчислени с помощта на ъпдейтван нелинеен математичен модел. Моделът отразява в максимално възможна степен физиката на процеса на разтопяване на леда, който се е образувал в дървесината от замръзването както на адсорбционно свързаната, така и на свободната вода в нея. В качеството на пример за използване

на тъдействания модел е изчислено и 3D и 2D визуализирано разпределението на температурата в букови обли материали с диаметър 0,4 m, дължина 0,8 m, начална температура -40°C и влагосъдържание $u = 0,3 \text{ kg.kg}^{-1}$, съдържащи лед само от адсорбционно свързаната вода, а също с $u = 0,6 \text{ kg.kg}^{-1}$, съдържащи лед от адсорбционно свързаната и от свободната вода в дървесината по време на размразяването им при температура на обработващата среда 80°C .

За първи път тримерно цветно визуализиране на изменението на температурните полета в подложените на размразяване обли материали е направено с най-новия софтуер на Microsoft Excell 2010, притежаващ значително по-големи възможности за решаване на подобни задачи в сравнение с тези на AutoCAD, който беше използван по-рано от авторите за построяване на аналогични едноцветни визуализации (Deliiski, Dzurenda, Miltchev 2010).

БЛАГОДАРНОСТИ

Тази работа е изготвена като част от разработването на съвместен проект между ТУ, гр. Зволен, Словакия и ЛТУ, гр.София на тема „Моделиране и визуализация на процесите на размразяване на дървесината в технологиите за термичното ѝ обработване“, който се подпомага финансово от НИС при ЛТУ (проект 114/2011 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Делийски, Н., Дзуренда, Л., 2010: Моделиране на топлинни процеси в технологиите за обработване на дървесина. Изд. „Авангард Прима“, София, 299 с. ISBN 978-954-323-719-7.
2. Deliiski, N., 2005: Modelling and automatic control of the process of thermal treatment of logs. Information Technologies and Control, UAI, Sofia: 9-14.
3. Deliiski, N., Dzurenda, L., Miltchev, R., 2010: Computation and 3D visualization of the transient temperature distribution in logs during steaming. Acta Facultatis Xilologie Zvolen, 52(2): 23-31, ISSN 1336-3824.

VISUALIZATION OF THE DEFROSTING PROCESS OF BEECH LOGS

Nencho Deliiski, Radoslav Miltchev, Ladislav Dzurenda, Ivan Hristov
 deliiski@netbg.com, the_mentor@mail.bg, dzurenda@vsld.tuzvo.sk,
 hristov_ivan@hotmail.com

ABSTRACT

By the first co-author earlier a two-dimensional mathematical model has been created, solved, and verified for the transient non-linear heat conduction in frozen logs during their heating. Now in the model the dependence of the fibre saturation point of the separate wood species from the temperature has been incorporated.

The paper presents graphically solutions of the updated model and the 3D and 2D visualization of the obtained calculated results about the temperature distribution in the longitudinal section of beech frozen logs with diameter 0,4 m, length 0,8 m, initial temperature -40°C and moisture content $0,3 \text{ kg.kg}^{-1}$ and $0,6 \text{ kg.kg}^{-1}$ during their defrosting at temperature of the processing medium 80°C .

Key words: frozen logs, defrosting, computation, visualization, thermal treatment, temperature distribution