



РАСЧЕТ ПОТРЕБНОСТИ В ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОТТАИВАНИЯ ЛЬДА, ОТ СВОБОДНОЙ ВОДЫ В ДРЕВЕСИНЕ БУКА

Ладислав Дзуренда¹ – Ненчо Делийски² – Евгений Разумов³ –
Васил Тодоров²

Abstract

An approach for the computation of the specific heat energy consumption q_{ifw} , required for the thawing of the ice, formed in the wood from the free water in it, has been suggested. For this purpose in the mathematical description of the specific heat capacity of this ice c_{ifw} , which has been made earlier from the second co-author, the dependence of the fibre saturation point of the separate wood species from the temperature has been incorporated. The mathematical description of c_{ifw} also takes into account the fact from the theory of wood thermal treatment that the thawing of this ice occurs in the temperature range between -2°C and -1°C .

With the help of the suggested approach computations have been made for the determination of q_{ifw} of often used in the veneer and plywood production beech frozen wood with moisture content $0.4 \leq u \leq 1.2 \text{ kg.kg}^{-1}$.

Key words: *frozen wood, ice from the free water, thawing of the ice, specific heat energy consumption, computation, specific heat capacity*

ВВЕДЕНИЕ

При расчете мощности источников, используемых для теплового питания оборудования для пластифицирования кряжей и ванчесов в производстве лущеного и строганого шпона, необходимо учитывать потребность в тепловой энергии как для нагрева самой древесины, так и для оттаивания льда в ней в зимнее время [1, 4, 7].

Как известно, лед в древесине образуется от замерзания наличной в ней адсорбционно связанной и свободной воды [3, 5]. Особо велики расходы тепла на оттаивание льда, образующегося от замерзания свободной воды в древесине [2, 5].

Целью настоящей работы является составление и применение методики для расчета удельной тепловой энергии, которая необходима для оттаивания льда, образовавшегося от замерзания свободной воды в древесине.

¹ Technical University of Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53, Zvolen, SLOVAKIA
e-mail: dzurenda@tuzvo.sk

² Kliment Ohridski Bd. 10, 1756 Sofia, BULGARIA,
e-mail: deliiski@netbg.com; vasil_todorov_levski@abv.bg

³ Mari State Technical University, Lenin square 3, Yoshkar-Ola, 414024 RUSSIA
e-mail: evgeny.razumov2011@yandex.ru

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ, ПОТРЕБНОЙ ДЛЯ ОТТАИВАНИЯ ЛЬДА ОТ СВОБОДНОЙ ВОДЫ В ДРЕВЕСИНЕ

Удельная тепловая энергия, которая необходима для нагрева 1 м^3 данного тела от температуры T_0 до температуры T_1 определяется при помощи уравнения [2]:

$$q = \frac{c \cdot \rho (T_1 - T_0)}{3,6 \cdot 10^6}, \quad (1)$$

где q – удельная тепловая энергия, $\text{kWh} \cdot \text{м}^{-3}$;
 c – удельная теплоемкость тела, $\text{J} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$;
 ρ – плотность тела, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;
 T_0 – температура тела в начале нагрева, К;
 T_1 – температура тела в конце нагрева, К.

Множитель $3,6 \cdot 10^6$ в знаменателе уравнения (1) обеспечивает получение значений q в $\text{kWh} \cdot \text{м}^{-3}$, вместо в старой размерности $\text{J} \cdot \text{м}^{-3}$.

Вычисление удельной тепловой энергии, которая необходима для оттаивания льда, образовавшегося от замерзания свободной воды в древесине, можно осуществлять по уравнению, аналогичному (1). Исследованиями Б.С.Чудинова [2] установлено, что оттаивание льда, образовавшегося от свободной воды в древесине, происходит в диапазоне от $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ до $-1 \text{ }^\circ\text{C}$. С учетом этого факта, а именно что для рассматриваемого случая в уравнении (1) разница $T_1 - T_0 = 1$, это уравнение получает следующий вид:

$$q_{\text{ifw}} = \frac{c_{\text{ifw}} \rho_w}{3,6 \cdot 10^6}, \quad (2)$$

где q_{ifw} – удельная тепловая энергия, которая необходима для оттаивания льда, образовавшегося от замерзания свободной воды в 1 м^3 древесины, $\text{kWh} \cdot \text{м}^{-3}$;

c_{ifw} – удельная теплоемкость льда, образовавшегося от замерзания свободной воды в древесине, $\text{J} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$;

ρ_w – плотность содержащей лед древесины, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Для практического использования уравнения (1) необходимо располагать математическими описаниями c_{ifw} и ρ_w .

Значение c_{ifw} можно определить по следующему уравнению [2]:

$$c_{\text{ifw}} = 3,34 \cdot 10^5 \frac{u - u_{\text{fsp}}}{1 + u}, \quad (3)$$

где u – влагосодержание древесины (при этом обязательно $u > u_{\text{fsp}}$), $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$;

u_{fsp} – влагосодержание древесины на пределе ее гигроскопичности, $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Согласно J.F.Siau [6] значение u_{fsp} зависит от температуры T по уравнению

$$u_{\text{fsp}} = u_{\text{fsp}}^{293,15} - 0,001(T - 293,15), \quad (4)$$

где $u_{\text{fsp}}^{293,15}$ - влагосодержание на пределе гигроскопичности древесины при 293,15 К, т.е. при 20 °С.

Для вычисления u_{fsp} древесины при температуре таяния льда, образовавшегося от свободной воды в древесине, в уравнение (4) следует подставлять $T = 271,15$ К.

Неоходимые для решения уравнения (2) значения ρ_w можно вычислять по следующему уравнению [2, 3, 4]:

$$\rho_w = \rho_b(1 + u), \quad (5)$$

где ρ_b - базисная плотность древесины, равная отношению ее массы в абсолютно сухом состоянии к ее объему при $u > u_{\text{fsp}}$, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

Уравнения (2) ÷ (5) запрограммированы нами на языке Fortran в вычислительной среде Visual Fortran Professional, функционирующей под Windows.

При помощи программы исследовано изменение c_{ifw} , ρ_w и q_{ifw} в зависимости от влагосодержания буковой древесины в диапазоне его изменения от 0,4 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ до 1,2 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$. При расчетах использованы значения $\rho_b = 560 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ и $u_{\text{fsp}}^{293,15} = 0,31 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ для древесины бука [1, 2, 3].

Полученные результаты представлены на рис. 1, рис. 2 и рис. 3. Их анализ дает основание сделать следующие выводы:

1. С увеличением u повышается количество льда от свободной воды в древесине, что вызывает нарастание всех исследуемых переменных c_{ifw} , ρ_w и q_{ifw} .

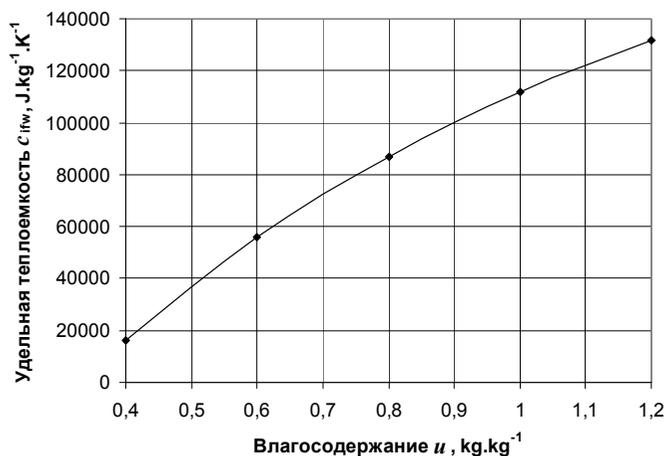


Рис. 1. Изменение удельной теплоемкости льда, образовавшегося от замерзания свободной воды в буковой древесине в зависимости от u

2. Увеличение c_{ifw} в зависимости от u имеет слабо выраженный параболический характер, а изменение ρ_w и q_{ifw} от u – линейный характер.

3. Изменение u в диапазоне от $0,4 \text{ kg.kg}^{-1}$ до $1,2 \text{ kg.kg}^{-1}$ вызывает изменение исследуемых величин для буковой древесины в следующих пределах:

- c_{ifw} увеличивается с $16342 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ на $131854 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, т.е. в 8,07 раз;
- ρ_w увеличивается с 784 kg.m^{-3} на 1232 kg.m^{-3} , т.е. в 1,57 раз;
- q_{ifw} увеличивается с $3,559 \text{ kWh.m}^{-3}$ на $45,123 \text{ kWh.m}^{-3}$, т.е. в 12,68 раз.

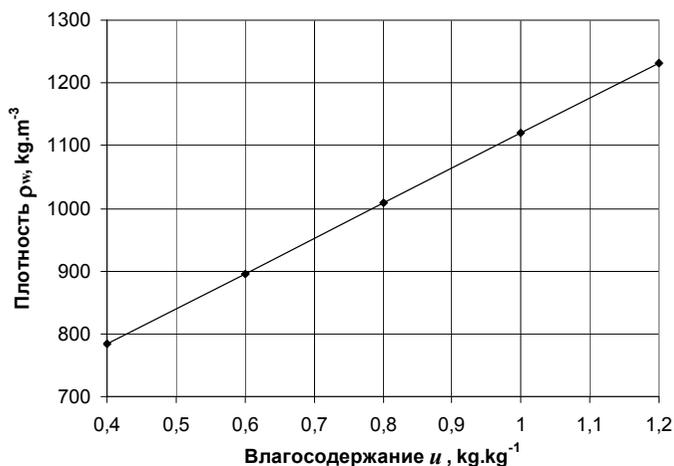


Рис. 2. Изменение плотности буковой древесины в зависимости от u при $u > u_{fsp}$

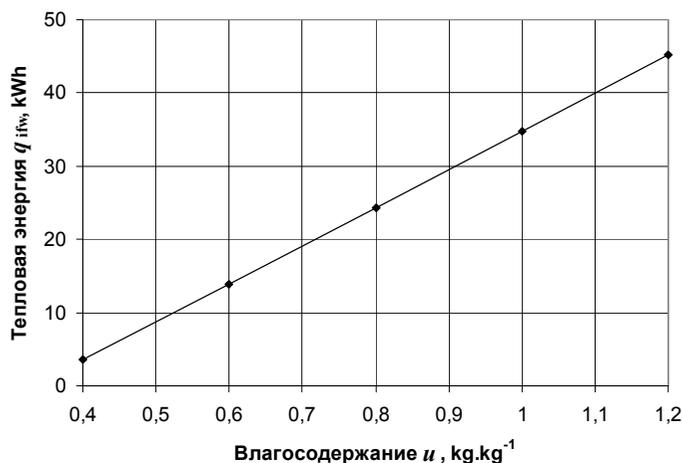


Рис. 3. Изменение удельной потребности в тепловой энергии для оттаивания льда, образовавшегося от свободной воды в буковой древесине в зависимости от u

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенная в настоящей работе методика позволяет вычислять удельную тепловую энергию q_{ifw} , которая необходима для оттаивания льда, образовавшегося от замерзания свободной воды в древесине.

При помощи составленной методики можно определять q_{ifw} для любой древесной породы с учетом ее базисной плотности, моментного влагосодержания и влагосодержания на пределе гигроскопичности.

Установлено сильное влияние влагосодержания древесины u на q_{ifw} - при изменении u от $0,4 \text{ kg.kg}^{-1}$ до $1,2 \text{ kg.kg}^{-1}$ значение q_{ifw} для буковой древесины увеличивается более чем в 12 раз по линейной зависимости.

Полученные результаты можно использовать для определения потребности в тепловой энергии для оттаивания и последующего нагрева мерзлой древесины с целью ее пластифицирования в производстве строганого и лущеного шпона [4]. Они очень важны также и для оптимизации управления этими процессами.

Acknowledgement: *This paper was performed as a part of the solution of the joined between TU in Zvolen and University of Forestry in Sofia project „Modeling and visualization of the wood defrosting processes in the technologies for wood thermal treatment”, which is supported by the Scientific Research Sector in the University of Forestry (project 114/2011).*

ЛИТЕРАТУРА

1. ВИДЕЛОВ, Х., 2003: Сушене и топлинно обработване на дървесината. ЛТУ, София, 335 с.
2. ДЕЛИЙСКИ, Н., 2003: Моделиране и технологии за пропарване на дървени материали в автоклави. Дисс. на д.т.н., ЛТУ, София, 358 с.
3. 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.
4. ШИШКОВ, И., 1972: Фурнирно и шперплатно производство. София, Земиздат.
5. ЧУДИНОВ, Б.С. 1968: Теория тепловой обработки древесины. Наука, Москва, 255 с.
6. SIAU, J. F., 1984: Transport processes in wood, Springer-Verlag, New York
7. TREBULA, P. I. KLEMENT, 2002: Sušenie a hydrotermická úprava dreva. TU - Zvolen, 449 с.

