

УДК 674:815

UDC 674:815

**РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ОХЛАЖДЕНИЯ  
ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ НА  
ОСНОВЕ МАЛОТОКСИЧНЫХ СМОЛ**

**ELABORATION OF THE REGIMES OF  
COOLING OF SHAVING BOARDS, WHICH  
WAS MADE WITH SMALL-TOXIC RESINS**

Разиньков Егор Михайлович  
д.т.н., профессор

Razhinkov Egor Mikhailovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Ищенко Татьяна Леонидовна  
к.т.н., старший преподаватель  
*Воронежская государственная лесотехническая  
академия, Воронеж, Россия*

Ischenko Tatyana Leonidovna  
Cand.Tech.Sci, senior lecture  
*Voronezh State Academy of Forestry and  
Technologies, Voronezh, Russia*

В статье представлена математическая модель охлаждения древесностружечных плит изготовленных на основе малотоксичных смол, позволяющая определить продолжительность охлаждения плиты до заданной температуры в любой момент времени. Разработано устройство для охлаждения древесностружечных плит, позволяющее более эффективно охлаждать плиты

The article contains the mathematical model of cooling shaving boards, which was made with small-toxic resins; it make possible to determine the length of the cooling boards on given temperature in every moment. Suggested the equipment for cooling shaving boards, which will make it possible very effectively cool the boards

Ключевые слова: ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНАЯ ПЛИТА, ТЕМПЕРАТУРА, ПРОЧНОСТЬ, ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ, РЕЖИМ, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, СКОРОСТЬ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Keywords: SHAVING BOARD, TEMPERATURE, STRENGTH, LENGTH OF COOLING PROCESS, CONDITION, THERMAL CONDUCTIVITY, RATE OF AIR FLOW

В производственных условиях на ДОК «Красный Октябрь», нами была установлена динамика изменения прочностных свойств древесностружечных плит (ДСтП) на карбамидоформальдегидной смоле марки КФ-МТ-15, а также изменение температуры поверхности ДСтП в период их послепрессовой выдержки [1]. На основании проведенных исследований был сделан вывод о том, что плиты сразу после горячего прессования охлаждать не следует, как это делается сейчас в производственных условиях, а их необходимо выдержать 2,0 -2,5 суток в плотных стопах для завершения процесса отверждения связующего. Лишь после выдержки плиты необходимо охладить, но уже по другим режимам, отличным от общепринятых [2].

Задача окончательного охлаждения состоит в расчете параметров процесса охлаждения древесностружечных плит и определении продолжительности протекания процесса с анализом изменения полей

температуры при соответствующих внешних условиях. Расчет процесса при различных внешних условиях (различной температуре и различной скорости охлаждающего воздушного потока) дает возможность в дальнейшем выбрать оптимальный режим охлаждения плит в специальной установке, интенсифицирующей этот процесс.

Для решения этой задачи нами было разработано устройство для охлаждения древесностружечных плит. На устройство получен патент на полезную модель № 67923 РФ от 04.07.2007г [3].

Предлагаемая нами математической модель, представляет собой систему уравнений, с помощью которой теоретическим путем можно рассчитать не только продолжительность охлаждения плиты, но и температуру на поверхности и по сечению плиты в любой отрезок времени при охлаждении плит в предлагаемом запатентованном устройстве.

Древесностружечная плита после завершения процесса прессования представляет собой твердое капиллярно-пористое тело со своими теплофизическими характеристиками, некоторые из которых изменяются в процессе акклиматизации. Изменение в ней температурно-влажностных полей подчиняется общей теории тепломассопереноса во влажных капиллярно-пористых телах. Процесс акклиматизации плит по своей сути, есть продолжение процесса, происходящего при прессовании, но при других граничных условиях [4,5].

Анализ результатов исследований по переносу тепла в период послепрессовой выдержки показывает, что происходящие в плите процессы непосредственно после прессования прекращаются, происходит выравнивание температуры и влажности по толщине и формату плиты (выравниваются внутренние напряжения), а также завершаются все химические реакции, связанные с отверждением связующего и частично удаляется свободный формальдегид. И охлаждение плит будет осуществлять только за счет процесса теплопроводности. На этой основе

проводился расчет параметров охлаждения плит в охлаждающей установке.

Уравнение теплопроводности древесностружечной плиты примет вид:

$$c_{ск} \cdot r_{ск} \cdot \frac{\partial t_{ск}}{\partial t} = l_x \cdot \frac{\partial^2 t_{ск}}{\partial x^2}, \quad (1)$$

или

$$\frac{\partial t_{ск}}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 t_{ск}}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплообмена, Вт/м<sup>2</sup>К, [4];

$$a = \frac{l_x}{c_{ск} \cdot r_{ск}}, \quad (3)$$

где  $c$  – удельная массовая теплоемкость влаги, Дж/кгК; [6];

$$c = 0.00225t + 0.37 \quad (4)$$

$r_{ск}$  – плотность сухого скелета пористого тела, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda_x$  – коэффициент теплопроводности скелета пористого тела в направлении оси  $x$ , Вт/м<sup>0</sup>К, [7];

$$l = \frac{r^2}{111 \cdot 10^5} \cdot 0.062(1 + 0.0018 \cdot t - 25), \quad (5)$$

Для расчета продолжительности охлаждения применили известный метод, основанный на решении уравнения теплопроводности плоской бесконечной пластины при граничных условиях третьего рода .

$$-l \frac{\partial t(R,t)}{\partial x} + a[t(R,t) - t_c] = 0, \quad (6)$$

$$+l \frac{\partial t(R,t)}{\partial x} + a[t(R,t) - t_c] = 0, \quad (7)$$

Под неограниченной пластиной понимают такую пластину, ширина и длина которой бесконечно велики по сравнению с ее толщиной. Таким образом, изменение температуры в ней происходит только в одном

направлении  $x$ , а в двух других направлениях ( $y$  и  $z$ ) температура неизменна ( $\frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0$ ) [6].

Начальные условия определяют состояние древесностружечной плиты в начальный момент процесса кондиционирования. Распределение температуры на поверхности плиты задается некоторой функцией  $t(0, x) = \Phi(x)$ , а начало координат помещается в центр плиты  $-R < x < +R$  рисунок 1.

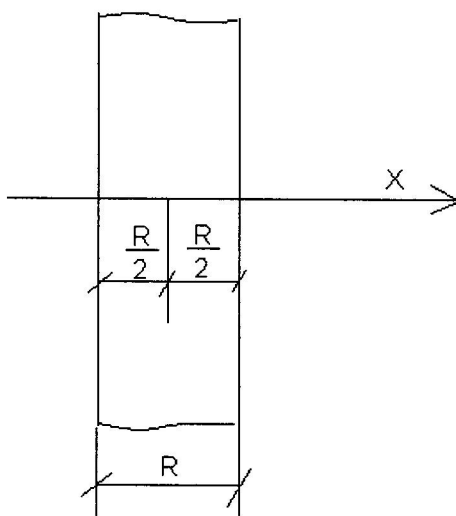


Рисунок 1. Неограниченная пластина для расчета продолжительности охлаждения древесностружечной плиты

В начальный момент времени плита помещается в среду с постоянной температурой:  $t_n = const$ ;  $t_n(x, 0) > t_c$ .

Если предположить, что функция  $f(x)$  является четной относительно  $x$ , тогда задача становится симметричной, т.к. теплообмен между обеими поверхностями и окружающей средой происходит одинаково. В связи с этим граничные условия можно представить в виде:

$$-1 \frac{\partial t(R, t)}{\partial x} + a[t(R, t) - t_c] = 0, \quad (8)$$

Условие симметрии (в центре плиты):

$$\frac{\partial t(0,t)}{\partial x} = 0, \quad (9)$$

Для удобства расчетов выше представленные уравнения перепишем в безразмерном виде:

Уравнение теплопроводности скелета:

$$\frac{1}{Fo} \frac{\partial t_{ск}^*}{\partial t^*} = \frac{\partial^2 t^*}{\partial x^{*2}}, \quad (10)$$

Граничные условия на поверхности плиты:

$$\frac{\partial t^*}{\partial x^*} \Big|_{x^*=R^*} = -Bi[t^*(R^*, t^*) - t_c^*], \quad (11)$$

Граничные условия в центре плиты:

$$\frac{\partial t^*}{\partial x^*} \Big|_{x^*=0} = 0, \quad (12)$$

где,  $Fo$  – критерий Фурье;

$Bi$  – критерий Био;

При решении поставленной задачи учитывались следующие теплофизические характеристики плит: температура охлаждаемых плит находится в пределах 35-80 °С, в зависимости от месторасположения плиты в пачке, влажность плит считали равновесной (8%), плотность плит – 700 кг/м<sup>3</sup>.

При этом температура охлаждающего воздуха находилась в пределах 10 – 20 °С, а скорость охлаждающего воздушного потока составляла от 1 до 15 м/с.

Для решения полученных уравнений используется математическая программа Mathcad 14. Пример ввода данных приведен рисунке 2.

$$\begin{aligned} \delta_x &:= 0.008 & T_{\text{хар}} &:= 273 + 78 & T_{\text{хар}} &= 351 \\ \text{Fo} &:= 1 & & & & \\ \lambda &:= 0.11 & \tau_{\text{хар}} &:= \frac{\delta^2}{0.7926 \cdot 10^{-7}} & \frac{\tau_{\text{хар}}}{60} &= 13.458 \\ \alpha &:= 90.6 & & & & \\ \text{Bi} &:= \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda} & \tau &:= \frac{13.458 \cdot 60}{\tau_{\text{хар}}} & \Gamma &= 1 \\ \text{Bi} &= 6.589 & & & & \\ t_c &:= \frac{293}{T_{\text{хар}}} & t_c &= 0.835 & & \end{aligned}$$

Given

$$t_{\tau}(x, \tau) = \text{Fo} \cdot t_{xx}(x, \tau)$$

$$t(x, 0) = 1$$

$$t_x(0, \tau) = 0$$

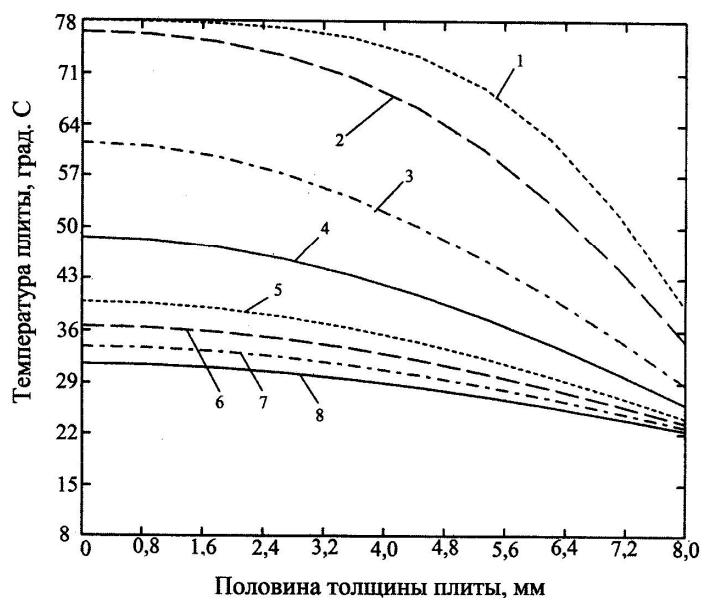
$$t_x(1, \tau) = \text{Bi} \cdot (t_c - t(1, \tau))$$

$$t := \text{Pdesolve} \left[ t, x, \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \tau, \begin{pmatrix} 0 \\ \Gamma \end{pmatrix} \right]$$

$$t(0, 0) \cdot T_{\text{хар}} = 351$$

Рисунок 2. Пример ввода данных для расчета продолжительности охлаждения ДСтП в предлагаемом устройстве

Результаты расчетов представлены на рисунках 3 - 7.



$$\begin{aligned} 1 - t(x; 0,68); & 2 - t(x; 1,35); & 3 - t(x; 4,05); & 4 - t(x; 6,75); & 5 - t(x; 9,45); \\ 6 - t(x; 10,8); & 7 - t(x; 12,15); & 8 - t(x; 13,5) \end{aligned}$$

Рисунок 3. Зависимость распределения температуры по сечению плиты

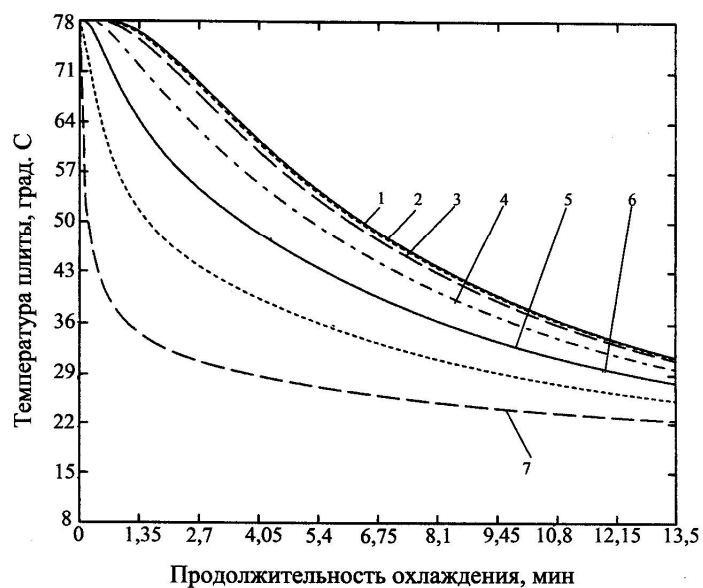


Рисунок 4. Зависимость распределения температуры по сечению плиты от продолжительности их охлаждения

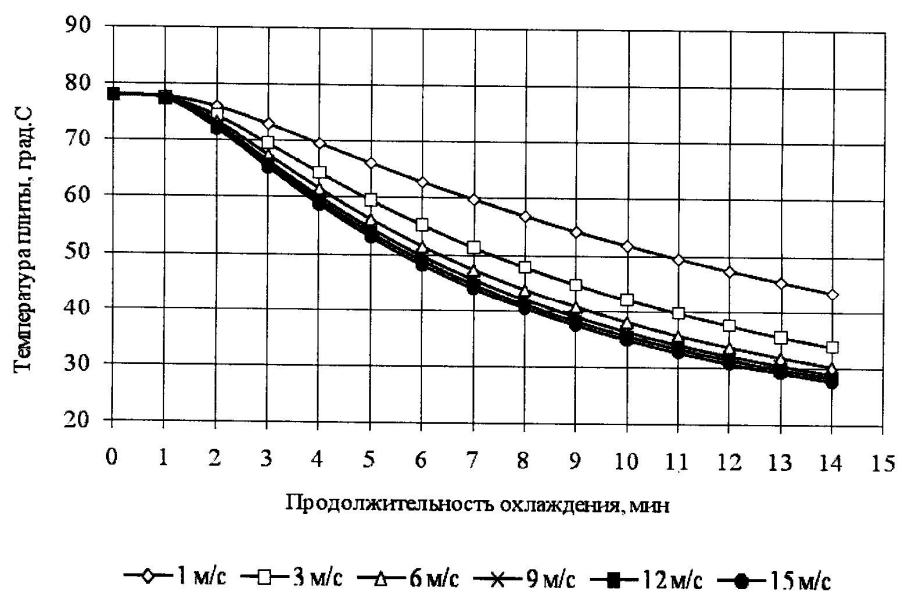


Рисунок 5. Продолжительность охлаждения ДСтП в зависимости от скорости воздушного потока (центр плиты) при температуре охлаждающего воздуха 20<sup>0</sup>С

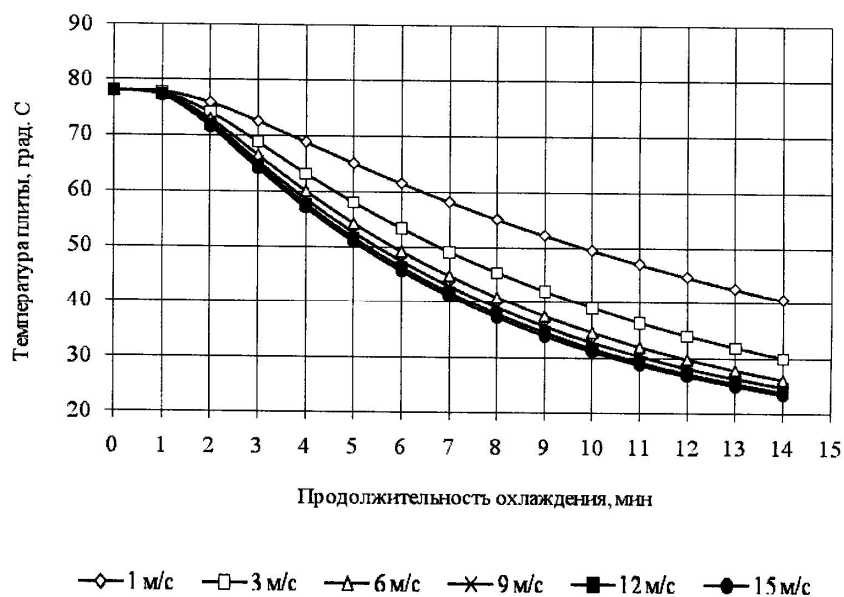


Рисунок 6. Продолжительность охлаждения ДСтП в зависимости от скорости воздушного потока (центр плиты) при температуре охлаждающего воздуха 15<sup>0</sup>С

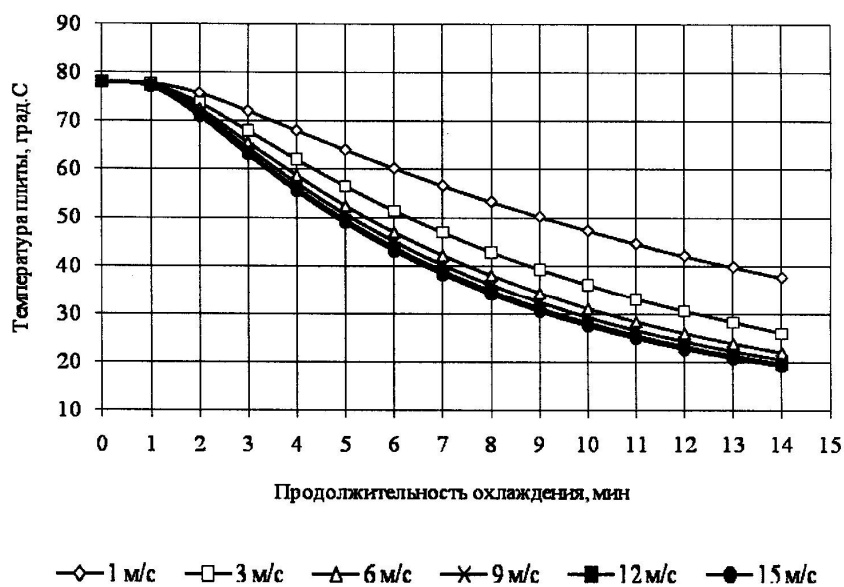


Рисунок 7. Продолжительность охлаждения ДСтП в зависимости от скорости воздушного потока (центр плиты) при температуре охлаждающего воздуха 10<sup>0</sup>С



Анализ полученных графиков говорит о том, что и скорость и температура воздуха влияет на продолжительность охлаждения. Причем скорость охлаждающего воздуха значительно влияет на продолжительность охлаждения только от 1 до 7 м/с, в дальнейшем (до 15 м/с) это влияние не значительно.

Температура охлаждающего воздуха с  $10^{\circ}\text{C}$  до  $20^{\circ}\text{C}$ , в меньшей мере оказывает влияние на продолжительность охлаждения. Так при скорости воздуха 6 м/с и температуре  $20^{\circ}\text{C}$  плита охлаждается с  $78^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$  за 9 минут, а при такой же скорости воздуха и  $t=10^{\circ}\text{C}$  за 7,5 минут.

Поэтому при охлаждении плит скорость воздушного потока рекомендуется выбирать порядка 6 – 7 м/с, а температуру охлаждающего потока, равной температуре воздуха в помещении, т. е.  $20^{\circ}\text{C}$ , исключая дополнительный расход энергии на охлаждение потока.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенное нами устройство для охлаждения древесностружечных плит, позволяет более эффективно охлаждать плиты, поскольку существует возможность изменения параметров охлаждающего потока. Установленные зависимости продолжительности охлаждения ДСтП (1 – 5, 8) в предложенном устройстве, позволяют рассчитывать не только продолжительность процесса охлаждения плит, но и определять распределение температуры по сечению плиты в любой момент времени.

По полученным результатам определили, что проводить охлаждение плит целесообразно при температуре воздушного потока  $20^{\circ}\text{C}$  и скорости потока – 6-7 м/с.

**Список использованной литературы**

1. Ищенко Т.Л. Изменение прочности древесностружечных плит в период их послепрессовой выдержки // Деревообрабатывающая промышленность. 2009. №2. С. 7-9.
2. Ищенко Т.Л. Оптимизация параметров послепрессовой выдержки древесностружечных плит / Т.Л. Ищенко, Е.М. Разиньков // Деревообрабатывающая промышленность. 2010. № 1. С. 14-15.
3. Пат. на полезную модель 67923 РФ, МПК В29С 35/16. Устройство для охлаждения древесностружечных плит / Т. Л. Колесникова, Е. М. Разиньков; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. - №2007125364/22; заявл. 04.07.2007; опубл. 10.11.2007, Бюл. №31. 1 с.
4. Обливин А.Н., Воскресенский А.К., Семенов Ю.П Тепло- и массоперенос в производстве древесностружечных плит: монография. М.: Лесн. пром - сть, 1978. 192 с.
5. Лыков А.В. Теория тепло – и массопереноса. М., СПб: ГОСЭНЕРГОИЗДАТ, 1963. 539 с.
6. Шварцман Г.М. Производство древесностружечных плит. М.: Лесная пром-ть, 1977. Изд. 3-е перераб. 312 с.
7. Лыков, А. В. Теория теплопроводности. М.: Гос. изд – во технико-теоретической литературы, 1952. 392 с.