

УДК 674.023.001.5

Н.В. Вишуренко, И.С. Корчма

Сибирский государственный технологический университет

Вишуренко Наталья Викторовна родилась в 1984 г., окончила в 2008 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры станков и инструментов СибГТУ. Имеет около 10 работ в области изучения технологических и эксплуатационных свойств древесины.
E-mail: vishurenko.nataliya@yandex.ru



Корчма Иван Степанович родился в 1942 г., окончил в 1970 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры станков и инструментов Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 научных трудов в области лесопиления и деревообработки.
E-mail: stanki@sibstu.kts.ru



ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА УПЛОТНЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Предложена формула для определения коэффициента уплотнения древесины; проведены эксперименты по сжатию мерзлой древесины в замкнутом пространстве и сравнительная оценка коэффициентов уплотнения.

Ключевые слова: мерзлая древесина, температура, влажность, коэффициент уплотнения, сжатие, сосна, лиственница, базисная плотность.

Одним из важнейших факторов при распиловке древесины в регионах Сибири и Дальнего Востока является ее гидротермическое состояние, поскольку влажность W и температура t оказывают существенное влияние на физико-механические свойства древесины, особенно в зимний период.

Известно, что производительность лесопильных станков прямо пропорциональна подаче, которая выбирается в зависимости от многих факторов, в том числе от коэффициента уплотнения стружки во впадине $\alpha_{\text{упл}}$.

Посылку по заполнению впадин зубьев на лесопильных рамах (подача за двойной ход) определяют по формуле

$$S_{2x} = \frac{\beta_3 \Theta H t_3}{h_m \alpha_{\text{упл}}},$$

где β_3 – коэффициент заполнения площади впадины;

Θ – коэффициент формы зуба;

H – ход пильной рамки, мм;

t_3 – шаг зубьев пил, мм;

h_m – наибольшая высота реза, мм.

Коэффициент уплотнения стружки во впадине зависит от плотности древесины и ее гидротермического состояния. Опытные распиловки талой древесины показывают, что объем уплотненной во впадине древесины в 1,5–2 раза меньше номинального объема срезанной стружки, поскольку напряжения сжатия, возникающие при ее срезании, достаточны для деформации клеток и вытеснения из них капиллярной влаги через поры древесины. Номинальный объем стружки уменьшается на ве-

личину объема пор, свободных от капиллярной влаги, и предельное значение коэффициента уплотнения опилок во впадине

$$\alpha_{\text{упл}} = \frac{\rho}{\rho_d},$$

где ρ и ρ_d – плотность соответственно древесины при влажности, равной точке насыщения волокна, и древесинного вещества, насыщенного влагой, кг/м^3 .

Мерзлая древесина является сложной системой, содержащей древесинное вещество, включения льда, связанную и свободную воду, а также газообразные компоненты (пар и газы). Эти компоненты находятся во взаимной связи друг с другом, зависящей как от свойств отдельных фаз, так и от внешних воздействий (изменений отрицательной температуры, давления). При распиловке мерзлой древесины ледяные включения не могут быть вытеснены из полостей клеток. Следовательно, объем стружки уменьшается только на объем пор, свободных от кристаллов льда.

В этом случае предельное значение коэффициента уплотнения

$$\alpha_{\text{упл}} = \frac{V_d + V_l}{V_n}, \quad (1)$$

где V_d – объем древесинного вещества со связанной влагой в срезанной древесине, м^3 ;
 V_l – объем льда в срезанной древесине (при распиловке талой древесины $V_l = 0$), м^3 ;
 V_n – номинальный объем срезанной древесины, м^3 .

Пиловочник, поступающий в распиловку, кроме связанной влаги содержит и капиллярную. Увеличение влажности древесины до предела гигроскопичности ведет к увеличению ее объема. Рост влажности выше предела гигроскопичности практически не оказывает влияния на объем древесины. С учетом этого

$$V_n = V_0 \left(1 + \frac{K_p W'}{100} \right), \quad (2)$$

где V_0 – объем срезанной древесины в абсолютно сухом состоянии, м^3 ;
 K_p – коэффициент объемного разбухания, %;
 W' – влажность, соответствующая точке насыщения оболочек; для сосны – 30 %, для кедра сибирского – 28...30 %, для лиственницы сибирской – 31...33 %.

Объем древесинного вещества со связанной влагой

$$V_d = V_0 \rho_{\text{баз}} \left(1 + \frac{K_p W'}{100} \right) \left(\frac{1}{\rho_{\text{д.в}}} + \frac{W'}{100 \rho_v} \right), \quad (3)$$

где $\rho_{\text{баз}}$ – базисная плотность древесины; для сосны – 400 кг/м^3 , для кедра – 350 кг/м^3 , для лиственницы – 520 кг/м^3 ;

$\rho_{\text{д.в}}$ – плотность древесинного вещества, $\rho_{\text{д.в}} = 1540 \text{ кг/м}^3$;

ρ_v – плотность воды, $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Объем льда в срезанной древесине определим по следующей формуле:

$$V_l = 1,091 V_0 \rho_{\text{баз}} \left(1 + \frac{K_p W'}{100} \right) \left(\frac{1}{\rho_{\text{д.в}}} + \frac{W - W_n}{100 \rho_v} \right), \quad (4)$$

где 1,091 – коэффициент увеличения объема при замерзании воды;

W – средняя влажность срезанной древесины, %;

W_n – количество незамерзшей влаги, %.

Подставив в формулу (1) выражения (2) – (4), получим

$$\alpha_{\text{упл}} = \rho_{\text{баз}} \left[\frac{1}{\rho_{\text{д.в}}} + \frac{W' + 1,091(W - W_{\text{н}})}{100\rho_{\text{в}}} \right]. \quad (5)$$

При определении $\alpha_{\text{упл}}$ при распиловке талой древесины в вышеприведенной формуле $W_{\text{н}} = W$.

Количество незамерзшей влаги найдем по уравнению Б.С. Чудинова [2]:

$$W_{\text{н}} = 12 + 18e^{0,057(t+2)},$$

где e – основание натурального логарифма;

t – отрицательная температура, °С.

Под давлением, даже незначительным, лед тает [1]. При резании на лезвии резца возникают усилия в несколько раз больше тех, которые необходимы для таяния льда.

Для того, чтобы установить при каких температурах мерзлой древесины усилия резания будет достаточно для превращения льда в воду, была проведена серия опытов по определению влияния различных факторов на коэффициент уплотнения древесины.

При изучении влияния плотности и направления волокон использовали однофакторные эксперименты.

Стружкообразование при лесопилении происходит путем непосредственного сжатия древесины поперек волокон передней гранью резца в полуограниченном пространстве. Поэтому эксперименты ставили именно на сжатие древесины в замкнутом пространстве при различных значениях температуры и влажности. Для этого было изготовлено специальное опытное приспособление. Чтобы снизить до минимума теплопоглощение охлажденного до определенной температуры образца, стальную обойму, куда закладывали образец, теплоизолировали. Приспособление выполнено таким образом, чтобы уплотнение происходило в замкнутом пространстве. Ввиду сложности изготовления стальной обоймы с прямоугольным отверстием было принято решение отступить от общепринятой формы образцов древесины, поэтому для экспериментов на сжатие в направлении вдоль и поперек волокон использовали образцы цилиндрической формы: диаметр 20 мм; высота 25 мм.

Все образцы в пределах одной породы изготавливались из одной доски, выпиленной из срединной части бревна, чтобы обеспечить необходимую точность при проведении испытаний.

Образцы закладывали в морозильную камеру «Бирюса-280». Температуру в камере поддерживали с помощью электронного блока управления на уровне – 35, – 25, – 15, – 5, 0 и + 5 °С. Погрешность измерения температуры в рабочем объеме камеры составляла ± 1 °С от заданной.

Образцы взвешивали на электронных весах марки MW-II перед и после эксперимента, чтобы в дальнейшем можно было уточнить их влажность. Исследования выполняли на разрывной машине Р-5. Приборы и установка для проведения эксперимента прошли поверку. В ходе испытаний выяснилось, что при температуре – 5 °С в образце под давлением начинает плавиться лед, и, соответственно, коэффициент уплотнения уменьшается.

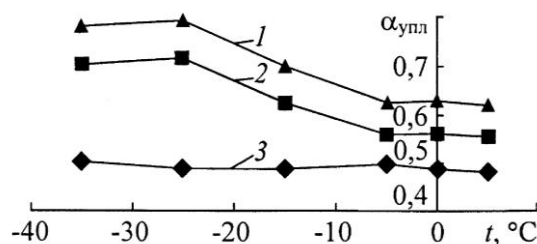
Экспериментальное значение коэффициента уплотнения определяли по формуле

$$\alpha_{\text{упл}} = \frac{V_{\text{с(упл)}}}{V_{\text{с}}},$$

где $V_{c(\text{упл})}$ – конечный объем образца, мм^3 ;
 V_c – начальный объем образца, мм^3 .

Из анализа графиков, приведенных на рис. 1, видно, что с понижением температуры ниже нуля значение коэффициента уплотнения возрастает, причем, чем больше влажность, тем выше коэффициент. Для наглядности экспериментальные точки, показывающие влияние температуры и влажности на коэффициент уплотнения древесины, соединены линией. Характер графиков при сжатии образцов сосны вдоль и поперек волокон схож (рис. 1, 2).

Рис. 1. Влияние температуры t и влажности W на коэффициент уплотнения $\alpha_{\text{упл}}$ древесины сосны при сжатии в замкнутом пространстве поперек волокон: 1 – $W = 50 \dots 80 \%$; 2 – $30 \dots 50$; 3 – 15%



В ходе проведенных ранее экспериментов по сжатию древесины сосны и лиственницы при отрицательных и положительных температурах древесина лиственницы имеет коэффициент сжатия в среднем на 25 % больше. Это объясняется тем, что плотность лиственницы значительно больше плотности сосны.

На рис. 2 показано влияние температуры и влажности на коэффициент уплотнения при различной плотности древесины (сжатие ядра или заболони).

Из графиков на рис. 2 видно, что при сжатии ядровой древесины с влажностью 12 ... 14 % коэффициент уплотнения больше, чем при сжатии заболонной древесины; при сжатии более влажной древесины коэффициент уплотнения практически одинаков.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что с увеличением плотности коэффициент уплотнения древесины возрастает.

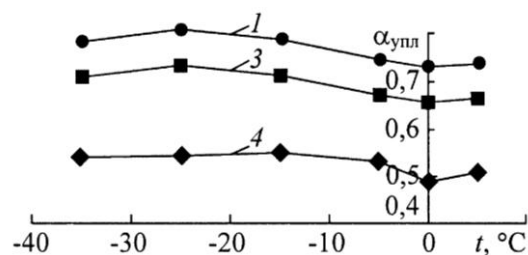
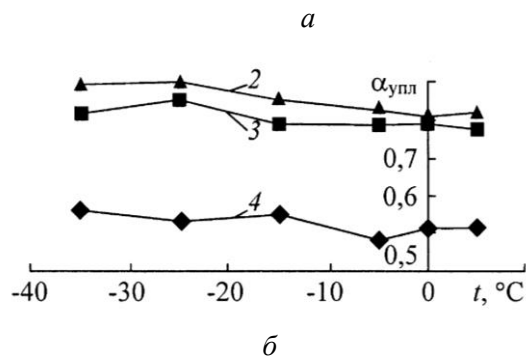
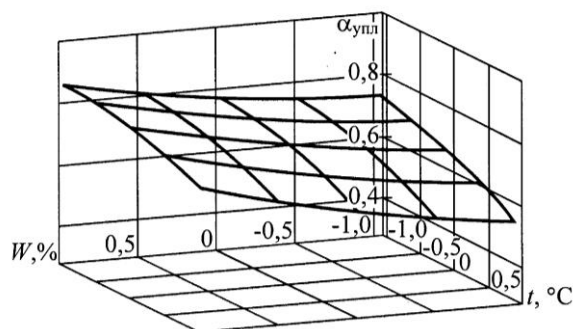


Рис. 2. Влияние t и W на $\alpha_{\text{упл}}$ древесины сосны при сжатии в замкнутом пространстве вдоль волокон: а – заболонная часть; б – ядровая часть; 1 – $W = 120 \%$; 2 – 75 ; 3 – 50 ; 4 – 12%



Рис. 3 Влияние t и W на $\alpha_{\text{упл}}$ древесины

В связи с тем, что при пилении площадь древесины, сжимаемая передней гранью, в несколько раз меньше площади образцов, сжимаемых в нашем эксперименте, а скорость резания намного больше скорости нагружения наших образцов, было решено проверить влияние скорости нагружения и диаметра образцов на коэффициент уплотнения древесины. Для этого был проведен многофакторный эксперимент и получена математическая модель с использованием для четырех факторов плана второго порядка B_4 .

При этом были выбраны следующие уровни варьирования факторов:

1 – диаметр образца d (x_1) (масштабный фактор), $8 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$, среднее значение $d = 14 \text{ мм}$;

2 – влажность W (x_2), $40 \% \leq W \leq 72 \%$, среднее значение $W = 56 \%$;

3 – температура t (x_3), $-27 \text{ °C} \leq t \leq -3 \text{ °C}$, основное значение $t = -15 \text{ °C}$;

4 – скорость перемещения пуансона V (x_4), (динамический фактор), $4 \text{ мм/мин} \leq V \leq 28 \text{ мм/мин}$, среднее значение $V = 16 \text{ мм/мин}$.

Для каждого уровня варьирования было проведено 6 опытов, что позволило достичь требуемой точности.

В результате по экспериментальным данным в нормализованном виде была получена математическая модель, описывающая зависимость коэффициента уплотнения от вышеперечисленных четырех факторов:

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0,803 + 0,019 x_1 + 0,064 x_2 - 0,062 x_3 - 0,059 x_1^2 + 0,022 x_2^2 - 0,028 x_3^2 - 0,039 x_4^2 + 0,017 x_1 x_2 + 0,021 x_2 x_3 - 0,015 x_1 x_3 + 0,010 x_1 x_4.$$

Значения выходной величины, усредненные по каждой серии опытов, и значения функции отклика очень близки, разница не превышает 7 %.

При анализе полученной модели установлено, что основное влияние на коэффициент уплотнения древесины во впадине зубьев оказывают влажность x_2 и температура x_3 (рис. 3). Скорость перемещения пуансона x_4 и диаметр образца x_1 влияния на коэффициент уплотнения практически не оказывают.

Сравнивая значения функции отклика, полученные по данной математической зависимости, со средними значениями коэффициента уплотнения, найденными по формуле (5), можно отметить, что разница между ними не превышает 15 %.

В настоящее время при расчете режимов распиловки на лесопильных станках коэффициент уплотнения принимают равным единице. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что коэффициент уплотнения не превышает значения 0,9 даже при пилении влажной мерзлой древесины. Это уточнение

позволит повысить производительность лесопильных цехов за счет выбора оптимальной подачи заготовки с учетом коэффициента уплотнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Цитович Н.А.* Механика мерзлых грунтов: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1973. 448 с.
2. *Чудинов Б.С.* Теория тепловой обработки древесины. М.: Наука, 1968. 256 с.

N.V. Vishurenko, I.S. Korchma

Siberian State Technological University

Dependence of Wood Compression Rate on Hydrothermal Factors

Formula for determination of wood compression rate is provided; experiments on frozen wood compression in the closed space and comparative assessment of compression coefficients are carried out.

Keywords: frozen wood, temperature, humidity, compression rate, compression, pine, larch, basic density.

