

и могут включать одобрение типа транспортного средства, обязательную сертификацию или декларирование соответствия.

### Библиографический список

1. Казанцева Н.К., Котель Е.А., Синегубова Е.С. Техническое регулирование в современных условиях / Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды X Междунар. евразийск. симпозиума / под ред. В.Г. Новоселова. Екатеринбург, 2015. С. 56–59.

2. Kazantseva N.K., Tkachuk G.A., Alekseeva E.V. Instruments for the Implementation the Requirements of Customs Union Technical Regulations // International scientific journal. 2016. № 6. Pp. 37–42.

3. О техническом регулировании: федер. закон № 184-ФЗ от 27.12.2002 г.: принят Госдумой 15 декабря 2002 г.: одобр. Советом Федерации 18 декабря 2002 г.

4. Казанцева Н.К., Ткачук Г.А., Пильникова В.Е. Экономическое развитие страны и международные стандарты // Стандарты и качество. 2016. № 7. С. 34–38.

5. О безопасности колесных транспортных средств: технический регламент Таможенного союза // Евразийская экономическая комиссия. URL: <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/techreg/deptexreg/tr/Pages/bezopKolesnTrS.aspx>.

УДК 674.053:621.933.61

**В.М. Кириченко, В.Г. Новоселов**

(V.M. Kirichenko, V.G. Novoselov)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с авторами: [kvmek@mail.ru](mailto:kvmek@mail.ru), [kozerog54@yandex.ru](mailto:kozerog54@yandex.ru)

### ПРИЧИНЫ ОБЪЕМНОЙ ДЕФОРМАЦИИ БОКОВИН ПОПЕРЕЧИН ПИЛЬНОЙ РАМКИ ТАРНОЙ ЛЕСОПИЛЬНОЙ РАМЫ

### REASONS OF VOLUME DEFORMATION OF SIDEWALLS OF CROSS-PIECES OF THE SAW FRAME OF THE TARE SAWING FRAME

*Выдвинута гипотеза об изгибе натяжного клина и повороте его поперечных сечений, отклоняющих главный вектор давления в точках опоры. Составлена упрощенная расчетная схема и выполнены вычисления изгибающих моментов и углов поворота поперечных сечений клина. Показано наличие причин объемных деформаций боковин поперечин.*

*The hypothesis of a bend of a tension wedge and turn of his cross sections rejecting the main vector of pressure in points of support is made. The simplified settlement scheme is made and calculations of the bending moments and angles of rotation of cross sections of a wedge are executed. Existence of the reasons of volume deformations of sidewalls of cross-pieces is shown.*

В работе В.М. Кириченко и Л.А. Шабалина [1] показано, что при натяжении пил, помимо плоского изгиба, были обнаружены ранее неизвестные деформации боковин поперечин пильной рамки в плоскости их наименьшей жесткости. Эти деформации значительны, и по оси пильной рамки составляют в сжатом поясе боковин верхней

поперечины 0,26 мм, в то время как в плоскости действия сил натяжения пил деформация верхней поперечины не превышает 0,17 мм (рис. 1). В результате напряжения распределяются крайне неравномерно по ширине полок боковин в растянутых и сжатых поясах, а общая напряженность этих сечений возрастает существенно.

Существующая методика расчета пильной рамки как плоской рамной статически неопределимой системы [2] не дает представления о природе такой объемной деформации. Возможной причиной может быть недостаточная жесткость клина захвата рамной пилы, которым обеспечивается натяжение пилы, в результате чего он деформируется, изгибаясь, и сила натяжения передается боковинам в угловых точках их сечений *A* и *B* (рис. 2). Причем главный вектор давления направлен под углом, соответствующим углу поворота поперечного сечения клина в месте контакта.

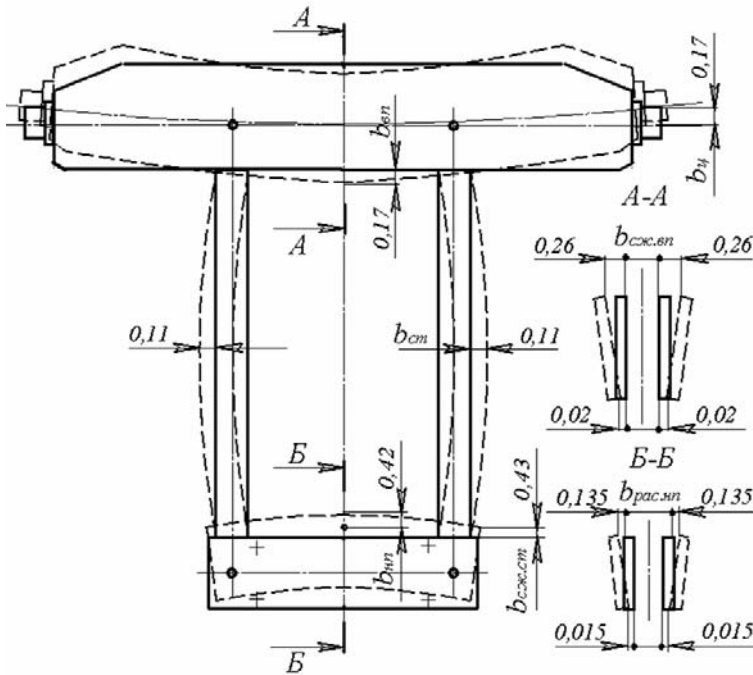


Рис. 1. Деформации элементов пильной рамки

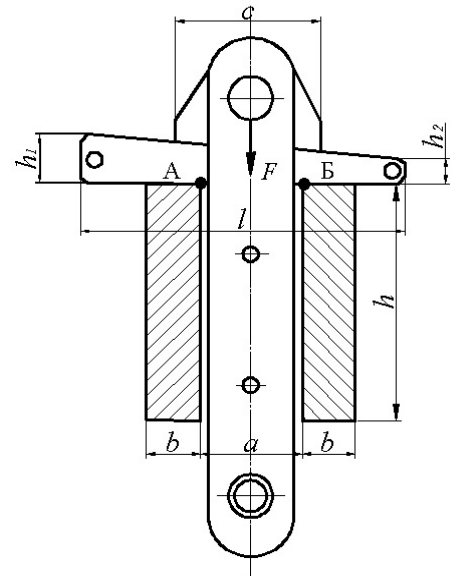


Рис. 2. Схема захвата рамной пилы

Угол поворота поперечного сечения изогнутой балки определяется по известной формуле:

$$\varphi(x) = \frac{1}{EJ_y} \int M(x) dx + C_1,$$

где  $E$  – модуль продольной упругости материала;

$J_y$  – осевой момент инерции поперечного сечения клина;

$M(x)$  – изгибающий момент в сечении;

$d$  – общепринятый символ дифференциала;

$x$  – координата вдоль оси балки;

$C_1$  – произвольная постоянная, определяемая из граничных условий.

Сделаем следующие допущения:

- 1) ввиду малости угла клина и малости расстояния между угловыми точками сечений боковин считаем момент инерции его сечения постоянным и соответствующим высоте по линии действия силы натяжения;
- 2) ввиду наличия опорной вставки считаем силу натяжения пилы равномерно распределенной по длине опорной поверхности вставки;
- 3) ввиду прогиба клина считаем, что давление от силы натяжения пилы передается боковинам через угловые точки их поперечных сечений.

Расчетная схема клина с учетом сделанных допущений приведена на рисунке 3, где клин представлен в виде двухопорной балки, нагруженной распределенной силой и разбитой на характерные участки, длины которых определены исходя из размеров элементов захвата: длина клина  $l = 135$  мм; расстояние между боковинами поперечины  $a = 43$  мм; длина опорной вставки  $c = 70$  мм.

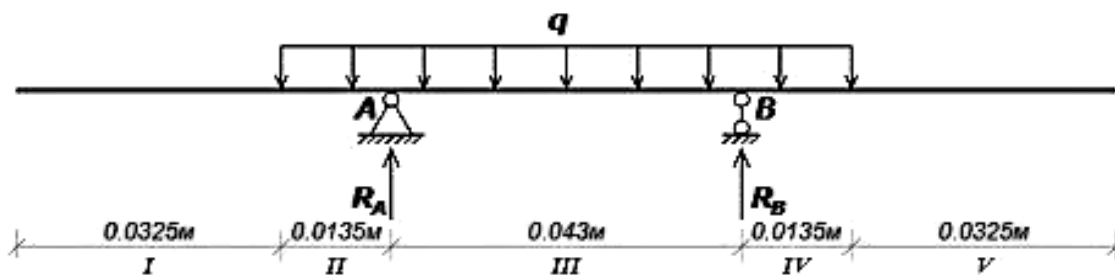


Рис. 3. Расчетная схема клина

Величину силы натяжения пилы примем, как в эксперименте,  $F = 12$  кН, тогда величина распределенной силы, кН/м,

$$q = \frac{F}{c} = \frac{12}{0,07} = 171,4.$$

Опорные реакции ввиду симметричности нагрузки  $R_A = R_B = \frac{F}{2} = \frac{12}{2} = 6$  кН.

Начальный поворот  $\varphi_0$  и прогиб  $z_0$  определим из условия нулевых прогибов над опорами A и B:

$$\begin{aligned} EJ_y Z_A = EJ_y z(l_1) &= EJ_y z_0 + EJ_y \varphi_0 l_1 - \frac{q(l_1 - a_1)^4}{24} = \\ &= EJ_y z_0 + EJ_y \varphi_0 0,046 - \frac{171,4(0,046 - 0,0325)^4}{24} = \\ &= EJ_y z_0 + EJ_y \varphi_0 0,046 - 2,36657E - 7 = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $Z_A$  – прогиб балки над опорой A.

$$l_1 = \frac{(l - a)}{2} = \frac{(0,135 - 0,43)}{2} = 0,046 \text{ м};$$

$$a_1 = \frac{(l - c)}{2} = \frac{(0,135 - 0,07)}{2} = 0,325 \text{ м}.$$

$$\begin{aligned}
 EJ_y z_B &= EJ_y z (l - l_2) = \\
 &= EJ_y z_0 + EJ_y \varphi_0 (l - l_2) + \frac{R_A(l - l_2 - l_1)^3}{6} - \frac{q_1(l - l_2 - a_1)^4}{24} = \\
 &= EJ_y z_0 + EJ_y \varphi_0 (0,135 - 0,046) + \\
 &\quad \frac{6(0,135 - 0,046 - 0,046)^3}{6} - \frac{171,4(0,135 - 0,046 - 0,0325)^4}{24} = \\
 &= EJ_y z_0 + EJ_y \varphi_0 0,089 + 6,7012E - 6 = 0,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где  $l_2 = \frac{(l - a)}{2} = \frac{(0,135 - 0,43)}{2} = 0,046$  м.

Вычтем уравнение (1) из уравнения (2), кНм<sup>2</sup>:

$$EJ_y \varphi_0 0,043 + 6,93 786E - 6 = 0 \Rightarrow EJ_y \varphi_0 = -6,93 786E - 6/0,043 = -0,000 161 346.$$

*Построение эпюры*

Составим аналитические выражения  $M(x)$  и  $EJ_y \varphi(x)$  для каждого участка и вычислим их значения в характерных точках.

Участок I ( $0 \leq x \leq 0,0325$ ):

Изгибающий момент  $M_I(x) = 0$ .

Значения  $M_I(x)$  на краях отрезка:  $M_I(0) = 0$ ;  $M_I(0,0 325) = 0$ .

Угол поворота сечения  $\varphi(x)$ :  $EJ_y \varphi_I(x) = EJ_y \varphi_0 = -0,000 161 346$ .

Значения  $EJ_y \varphi_I(x)$  на краях отрезка, кНм<sup>2</sup>:

$EJ_y \varphi_I(0) = -0,000 161 346$ ;  $J_y \varphi_I(0,0 325) = -0,000 161 346$ .

Участок II ( $0,0 325 \leq x \leq 0,046$ ):

Изгибающий момент  $M_{II}(x) = \frac{-q(x - a_1)^2}{2} = \frac{-171,4(x - 0,0325)^2}{2} =$

$= -85,5x^2 + 5,5575x - 0,0 903 094$ .

Значения  $M$  на краях отрезка, кНм:

$M_{II}(0,0325) = -85,5 \cdot 0,0 325^2 + 5,5 575 \cdot 0,0 325 - 0,0 903 094 = 0$ ;

$M_{II}(0,046) = -85,5 \cdot 0,046^2 + 5,5 575 \cdot 0,046 - 0,0 903 094 = -0,0 155 824$ .

Угол поворота сечения  $\varphi_{II}(x)$ :

$EJ_y \varphi_{II}(x) = EJ_y \varphi_0 - \frac{q(x - a_1)^3}{6} = -0,000 161 346 - \frac{171,4(x - 0,0 325)^3}{6} =$

$= -28,5x^3 + 2,77 875x^2 - 0,0 903 094x + 0,000 817 006$ ;

Значения  $EJ_y \varphi_{II}(x)$  на краях отрезка, кНм<sup>2</sup>:

$EJ_y \varphi_{II}(0,0325) = -28,5 \cdot 0,0 325^3 + 2,77 875 \cdot 0,0 325^2 - 0,0 903 094 \cdot 0,0 325 + 0,000 817 =$

$= -0,000 161 346$ ;

$EJ_y \varphi_{II}(0,046) = -28,5 \cdot 0,046^3 + 2,77 875 \cdot 0,046^2 - 0,0 903 094 \cdot 0,046 + 0,000 817 =$

$= -0,000 231 466$ .

Участок III ( $0,046 \leq z \leq 0,089$ ):

Изгибающий момент  $M_{III}(x)$ :

$M_{III}(x) = R_A(x - L_1) - \frac{-q_1(x - a_1)^2}{2} = 5,985(x - 0,046) - \frac{171,4(x - 0,0 325)^2}{2} =$

$= -85,5x^2 + 11,5425x - 0,365 619$ .

Значения  $M_{III}(x)$  на краях отрезка, кНм:

$$M_{III}(0,046) = -85,5 \cdot 0,046^2 + 11,5 \cdot 425 \cdot 0,046 - 0,365 \cdot 619 = -0,0 \cdot 155 \cdot 824;$$

$$M_{III}(0,089) = -85,5 \cdot 0,089^2 + 11,5 \cdot 425 \cdot 0,089 - 0,365 \cdot 619 = -0,0 \cdot 155 \cdot 824.$$

Локальный экстремум (м) в точке  $x_1 = 0,0 \cdot 675$ .

$$M_{III}(0,0 \cdot 675) = -85,5 \cdot 0,0 \cdot 675^2 + 11,5 \cdot 425 \cdot 0,0 \cdot 675 - 0,365 \cdot 619 = 0,02 \cdot 394.$$

На этом участке эпюра  $M$  дважды пересекает горизонтальную ось.

Найдем точки пересечения:  $M_{III}(x) = -85,5x^2 + 11,5 \cdot 425x - 0,365 \cdot 619 = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow x = \frac{-11,5 \cdot 425 \pm (11,5 \cdot 425^2 - 4(-85,5)(-0,365 \cdot 619))^{\frac{1}{2}}}{2(-85,5)} =$$

$$= \frac{11,5 \cdot 425 \pm 8,18 \cdot 748^{\frac{1}{2}}}{171,4} = 0,0 \cdot 507 \cdot 668; 0,0 \cdot 842 \cdot 332;$$

$x_2 = 0,0 \cdot 507 \cdot 668$  м;  $x_3 = 0,0 \cdot 842 \cdot 332$  м.

Угол поворота сечения  $\varphi_{III}(x)$ :

$$EJ_y \varphi_{III}(x) = EJ_y \varphi_0 + \frac{R_A(x-L_1)^2}{2} - \frac{q(x-a_1)^3}{6} =$$

$$= -0,000 \cdot 161 \cdot 346 + \frac{5,985(x-0,046)^2}{2} - \frac{171,4(x-0,0325)^3}{6} =$$

$$= -28,5x^3 + 5,77 \cdot 125x^2 - 0,365 \cdot 619x + 0,00 \cdot 714 \cdot 914.$$

Значения  $EJ_y \varphi_{III}(x)$  на краях отрезка, кНм<sup>2</sup>:

$$EJ_y \varphi_{III}(0,046) = -28,5 \cdot 0,046^3 + 5,77 \cdot 125 \cdot 0,046^2 - 0,365 \cdot 619 \cdot 0,046 + 0,00 \cdot 714 \cdot 914 =$$

$$= -0,000 \cdot 231 \cdot 466;$$

$$EJ_y \varphi_{III}(0,089) = -28,5 \cdot 0,089^3 + 5,77 \cdot 125 \cdot 0,089^2 - 0,365 \cdot 619 \cdot 0,089 + 0,00 \cdot 714 \cdot 914 =$$

$$= 0,000 \cdot 231 \cdot 466;$$

Локальные экстремумы (м) в точках  $x_2 = 0,0 \cdot 507 \cdot 668$  и  $x_3 = 0,0 \cdot 842 \cdot 332$ .

$$EJ_y \varphi_{III}(0,0 \cdot 507 \cdot 668) = -28,5 \cdot 0,0 \cdot 507 \cdot 668^3 + 5,77 \cdot 125 \cdot 0,0 \cdot 507 \cdot 668^2 - 0,365 \cdot 619 \cdot 0,0 \cdot 507 \cdot 668 +$$

$$+ 0,00 \cdot 714 \cdot 914 = -0,000 \cdot 267 \cdot 062;$$

$$EJ_y \varphi_{III}(0,0 \cdot 842 \cdot 332) = -28,5 \cdot 0,0 \cdot 842 \cdot 332^3 + 5,77 \cdot 125 \cdot 0,0 \cdot 842 \cdot 332^2 - 0,365 \cdot 619 \cdot 0,0 \cdot 842 \cdot 332 +$$

$$+ 0,00 \cdot 714 \cdot 914 = 0,000 \cdot 267 \cdot 062.$$

На этом участке эпюра  $\varphi(x)$  пересекает горизонтальную ось.

Найдем точку пересечения из уравнения:

$$EJ_y \varphi_{III}(x) = -28,5x^3 + 5,77 \cdot 125x^2 - 0,365 \cdot 619x + 0,00 \cdot 714 \cdot 914 = 0.$$

Корни кубического уравнения найдем по тригонометрической формуле Виета.

Приведем уравнение к виду:  $x^3 + ax^2 + bx + c = 0$ , для чего разделим его на  $-28,5$ :

$$x^3 - 0,2 \cdot 025x^2 + 0,0 \cdot 128 \cdot 288x - 0,000 \cdot 250 \cdot 847 = 0;$$

$$a = -0,2 \cdot 025; b = 0,0 \cdot 128 \cdot 288; c = -0,000 \cdot 250 \cdot 847;$$

Вычисляем  $Q$ ,  $R$  и  $S$ :

$$Q = \frac{(a^2 - 3b)}{9} = 0,00 \cdot 028;$$

$$R = \frac{(2a^3 - 9ab + 27c)}{54} = 0;$$

$$S = Q^3 - R^2 = 2,1952E - 11;$$

$S > 0 \Rightarrow$  уравнение имеет три корня:

$$\varphi = \arccos \frac{R}{Q^{1,5}}$$

$$\frac{\varphi}{3} = 0,523599$$

$$x_4 = -2Q^{1/2} \cos(\varphi - \frac{2\pi}{3}) - \frac{a}{3} = 0,0675;$$

$$x_5 = -2Q^{1/2} \cos(\varphi) - \frac{a}{3} = 0,0385172;$$

$$x_6 = -2Q^{1/2} \cos(\varphi + \frac{2\pi}{3}) - \frac{a}{3} = 0,0964828.$$

Корни  $x_5 = 0,0385172$  и  $x_6 = 0,0964828$  не лежат внутри рассматриваемого участка, следовательно, истинным корнем является  $x_4 = 0,0675$ .

Участок IV ( $0,089 \leq z \leq 0,1025$ ):

$$\text{Изгибающий момент } M_{IV}(x) = R_A(x - L_1) + R_B(x - L + L_2) - \frac{q(x - a_1)^2}{2} =$$

$$= 5,985(x - 0,046) + 5,985(x - 0,135 + 0,046) - \frac{171,4(x - 0,0325)^2}{2} =$$

$$= -85,5x^2 + 17,5275x - 0,898284.$$

Значения  $M$  на краях отрезка, кНм:

$$M_{IV}(0,089) = -85,5 \cdot 0,089^2 + 17,5275 \cdot 0,089 - 0,898284 = -0,0155824;$$

$$M_{IV}(0,1025) = -85,5 \cdot 0,1025^2 + 17,5275 \cdot 0,1025 - 0,898284 = 0.$$

Угол поворота сечения  $\theta$ :

$$EJ_y \varphi_{IV}(x) = EJ_y \varphi_0 + \frac{R_A(x - L_1)^2}{2} + \frac{R_B(x - L + L_2)^2}{2} - \frac{q_1(x - a_1)^3}{6} =$$

$$= -0,000161346 + \frac{5,985(x - 0,046)^2}{2} + \frac{5,985(x - 0,135 + 0,046)^2}{2} - \frac{171(x - 0,0325)^3}{6} =$$

$$= -28,5x^3 + 8,76375x^2 - 0,898284x + 0,0308527.$$

Значения  $EJ_y \varphi_{IV}(x)$  на краях отрезка, кНм<sup>2</sup>:

$$EJ_y \varphi_{IV}(0,089) = -28,5 \cdot 0,089^3 + 8,76375 \cdot 0,089^2 - 0,898284 \cdot 0,089 + 0,0308527 =$$

$$= 0,000231466;$$

$$EJ_y \varphi_{IV}(0,1025) = -28,5 \cdot 0,1025^3 + 8,76375 \cdot 0,1025^2 - 0,898284 \cdot 0,1025 + 0,0308527 =$$

$$= 0,000161346.$$

Эпюры изгибающих моментов и углов поворота поперечных сечений клина в условных единицах кНм<sup>2</sup>/ $EJ_y$  приведены на рисунке 4.

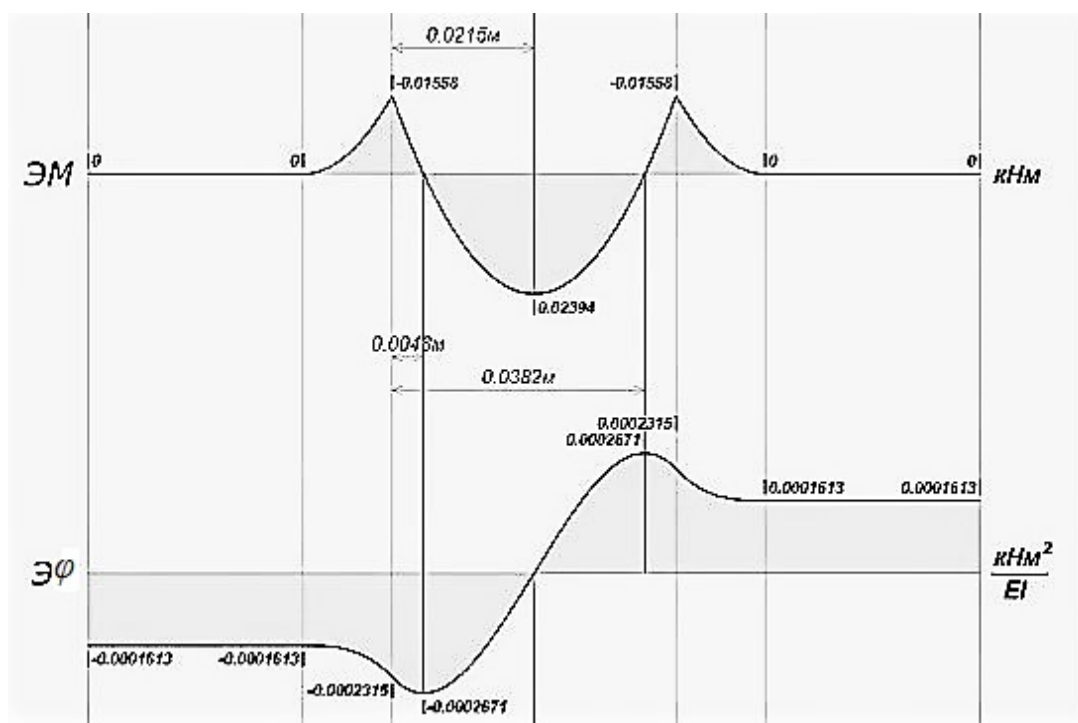


Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов (ЭМ) и углов поворота поперечных сечений клина (ЭФ) в условных единицах ( $\text{кНм}^2/EJ_y$ )

Значения углов поворота поперечных сечений клина, пересчитанные в абсолютных единицах (Рад) с принятым допущением 1, приведены в таблице.

Значения углов поворота поперечных сечений клина

$x, \text{ м}$	$\varphi(x), \text{ кНм}^2/EJ_y$	$\varphi(x), \text{ Рад}$
0,0000	-0,0001613	-0,000303
0,0325	-0,0001613	-0,000303
0,0460	-0,0002315	-0,000434
0,0508	-0,0002671	-0,000501
0,0675	0,0000000	0,000000
0,0842	0,0002671	0,000501
0,0890	0,0002315	0,000434
0,1025	0,0001613	0,000303
0,1350	0,0001613	0,000303

#### Вывод

При натяжении пилы с помощью клинового механизма имеет место прогиб клина с наибольшими углами поворота поперечных сечений вблизи точек контакта с боковинами поперечин пильной рамки, что может служить причиной появления горизонтальной составляющей главного вектора давления от силы натяжения пил, приводящей к «развалу» боковин. Для устранения этого явления можно рекомендовать конструкцию захвата с дополнительной опорной вставкой [3].

**Библиографический список**

1. Кириченко В.М., Шабалин Л.А. Деформации элементов пильной рамки тарной лесопильной рамы // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды VII Междунар. евразийск. симпозиума / под науч. ред. В.Г. Новоселова. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. С. 254–257.

2. Виноградов В.Ф. Исследование и разработка рекомендаций по повышению несущей способности деталей пильных рамок одноэтажных лесопильных рам: дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02. Л., 1983. 293 с.

3. Кириченко В.М., Шабалин Л.А., Новоселов В.Г. Модернизированные верхние захваты тарных рамных пил // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: мат-лы XI Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. С. 67–70.

**УДК 674.053**

**А.С. Красиков**

(A.S. Krasikov)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с автором: Krasikov47@e1.ru

**ПАРАМЕТРЫ КРУГЛЫХ ПИЛ  
ДЛЯ ПИЛЕНИЯ ИСКРИВЛЕННЫХ БРУСЬЕВ  
НА МНОГОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ**

**PARAMETERS OF CIRCULAR SAWS FOR THE SAWING CURVED BARS ON  
MULTI-SAWING MACHINE TOOLS**

*Приведен расчет диаметра и уширения зубчатого венца круглых пил в зависимости от кривизны брусьев при криволинейной распиловке. Пилами диаметром до 500 мм можно распиливать брусья с кривизной до 100 мм.*

*Calculated diameter and broadening of the toothed rim of circular saws depending on the curvature of bars during the curvilinear sawing. By the saws with a diameter of up to 500 mm it is possible to saw bars with the curvature up to the 100 mm.*

В работах А.С. Воякина и А.С. Красикова [1, 2] показано, что при распиловке брусьев, выпиленных из искривлённых брёвен, целесообразно выполнять пропил не по прямой линии, а по кривой, совпадающей с формой бруса. При такой распиловке полезный выход пиломатериалов при раскрое брусьев с кривизной  $h_k = 25$  мм на длине бревна  $L_6 = 6$  м увеличивается на 4 %, уменьшается обзольная часть досок и косослой в них. При большей кривизне полезный выход будет ещё больше. Траектория движения пил повторяет естественную форму боковой поверхности двухкантного бруса (рис. 1).