

УДК 674.023

А. Ф. Дулевич, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
С. В. Киселёв, преподаватель (БГТУ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОТНЕ ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ ОТ ДЕЙСТВИЯ НАПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

В статье рассмотрен аналитический метод определения напряжений в полотне ленточной пилы от действия роликовых направляющих устройств. Разработана расчетная схема, составлены уравнения гибкой линии стержня и найдены их решения. Определены величины напряжений для различных параметров установки направляющих роликов.

Analytical method for determining the stresses in the band saw blade from the action of roller guides devices is regarded in the article. Developed analytical model, the equation of the elastic line are written and find their solutions. Found of the stresses for different installation guide rollers.

Введение. Повышение усталостной долговечности ленточных пил является одной из актуальных проблем, стоящих перед деревообрабатывающей промышленностью. Существенное влияние на долговечность оказывает напряженное состояние полотна пилы в процессе работы. Изучение напряженного состояния ленточных пил для распиловки древесины проводили в своих работах многие отечественные и зарубежные ученые, такие как Грубе А. Э., Феоктистов А. Е., Прокофьев Г. Ф., Санев В. И., Швамм Л. Г., Трубников И. И., Меньшуткин Н. Н., Фонкин В. Ф., Шилько В. К., Кондратюк А. А. и др.

По мнению авторов, сложное напряженное состояние полотна ленточной пилы определяется наличием независимых напряжений от сил предварительного натяжения, изгиба на шкивах, центробежных сил, сил резания, температурного перепада; наклона шкива, направляющих устройств и пр.

Недостаточное внимание было уделено влиянию направляющих устройств на напряженное состояние ленточной пилы. Например, А. Е. Феоктистов относит напряжения от направляющих к прочим [1] и не описывает методику их расчета. Авторы А. А. Кондратюк и В. К. Шилько [2] приводят гипотезу, что напряжения от действия нажима направляющих роликов можно определить исходя из положений контактной теории упругости при взаимодействии цилиндра и плоскости по зависимости:

$$\sigma_{\text{напр}} = 0,418 \sqrt{\frac{2F_{\text{рас}} \cdot E \cdot y}{b \cdot d \cdot C}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{рас}}$ – сила натяжения ветви пилы; y – величина отжима пилы; b – ширина пилы; d – диаметр ролика; C – расстояние от оси ролика до оси шкива.

Контактные напряжения действуют преимущественно на поверхности материала, поэтому их учет для оценки напряженного состояния полотна пилы в целом вызывает со-

мнение даже с учетом небольшой толщины инструмента.

Основная часть. Авторами предложен способ определения напряжений от действия роликовых направляющих устройств. Ленточную пилу можно рассматривать как гибкий стержень, нагруженный продольными растягивающими и поперечными изгибающими силами (рис. 1). Действие роликов можно представить в виде действия сосредоточенных сил, так как диаметр роликов гораздо меньше длины ветви пилы. Напряжения, возникающие в полотне, будут зависеть от величины кривизны полотна в местах установки роликов. Определим кривизну χ и радиус кривизны $\rho = 1/\chi$ полотна пилы.

Поперечные силы F_1 и F_2 являются силами давления направляющих роликов на полотно пилы. Продольная растягивающая сила $F_{\text{рас}}$ равна силе предварительного натяжения.

Реакции опор будут иметь следующие значения (рис. 1):

$$R_A = \frac{F_1(a-a_1)}{a} + \frac{F_2 a_3}{a};$$

$$R_B = \frac{F_1 a_1}{a} + \frac{F_2 a_2}{a}.$$

Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня для участка AC :

$$EJ_y y_1'' - F_{\text{рас}} y_1 = R_A x_1, \quad (1)$$

где $J_y = bs^3/12$ – момент инерции поперечного сечения пилы относительно оси Y ; y_1 – перемещение (прогиб) стержня на участке AC по оси Z .

Разделим обе части уравнения (1) на EJ_y и введем обозначение:

$$k^2 = \frac{F_{\text{рас}}}{EJ_y}. \quad (2)$$

Уравнение (1) примет вид

$$y_1'' - k^2 y_1 = \frac{R_A}{EJ_y} x_1. \quad (3)$$

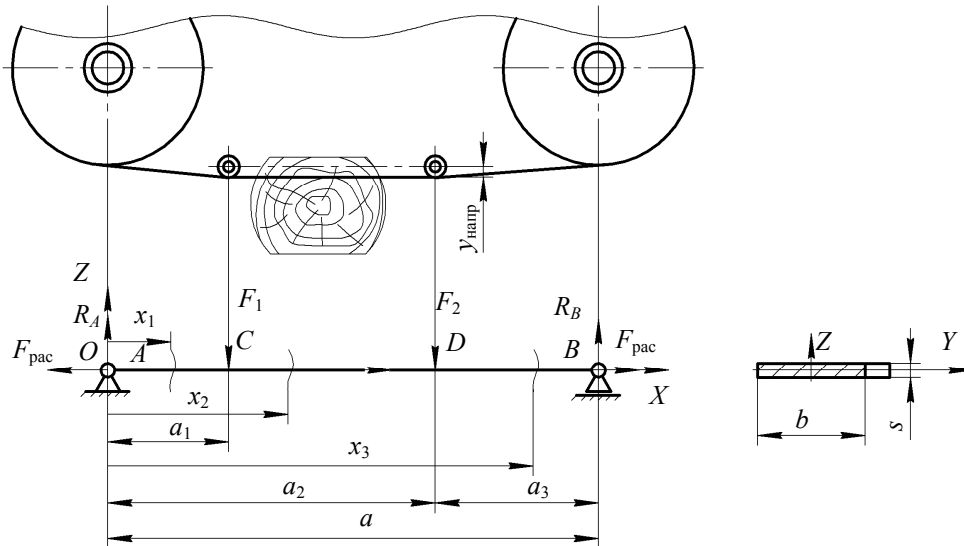


Рис. 1. Схема нагружения пилы направляющими роликами

Решение уравнения (3) будет иметь вид

$$y_1 = A_1 \cosh(kx_1) + A_2 \sinh(kx_1) - \frac{R_A}{F_{\text{рас}}} x_1,$$

где A_1, A_2 – постоянные интегрирования, которые определяются из граничных условий.

Запишем уравнение углов поворота для участка AC:

$$y'_1 = A_1 \sinh(kx_1) + A_2 k \cosh(kx_1) - \frac{R_A}{F_{\text{рас}}}. \quad (4)$$

Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня для участка CD запишется аналогично уравнению (1):

$$EJ_Y y''_2 - F_{\text{рас}} y_2 = R_A x_2 - F_1(x_2 - a_1)$$

или

$$y''_2 - k^2 y_2 = \frac{(R_A - F_1)x_2}{EJ_Y} + \frac{F_1 a_1}{EJ_Y}. \quad (5)$$

Решением уравнения (5) будет

$$y_2 = B_1 \cosh(kx_2) + B_2 \sinh(kx_2) - \frac{(R_A - F_1)x_2}{F_{\text{рас}}} - \frac{F_1 a_1}{F_{\text{рас}}}, \quad (6)$$

где B_1, B_2 – постоянные интегрирования.

Запишем уравнение углов поворота для участка CD:

$$w'_2 = B_1 k \sinh(kx_2) + B_2 k \cosh(kx_2) - \frac{R_A - F_1}{F_{\text{рас}}}.$$

Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня для участка DB.

$$EJ_Y y''_3 - F_{\text{рас}} y_3 = R_A x_3 - F_1(x_3 - a_1) - F_2(x_3 - a_2).$$

Или с учетом $R_A - F_1 - F_2 = -R_B, F_1 a_1 + F_2 a_2 = R_B a$

$$w''_3 - k^2 w_3 = \frac{R_B(a - x_3)}{EJ_Y}. \quad (7)$$

Решением уравнения (8) будет

$$w_3 = C_1 \cosh(kx_3) + C_2 \sinh(kx_3) + \frac{R_B(a - x_3)}{F_{\text{рас}}}, \quad (8)$$

где C_1, C_2 – постоянные интегрирования.

Запишем уравнение углов поворота для участка DB:

$$w'_3 = C_1 k \sinh(kx_3) + C_2 k \cosh(kx_3) + \frac{R_B}{F_{\text{рас}}}.$$

Граничные условия для определения постоянных интегрирования будут следующие:

$$\begin{aligned} \text{при } x_1 = 0 & \quad w_1 = 0, \\ \text{при } x_1 = x_2 = a_1 & \quad w_1 = w_2, \quad w'_1 = w'_2 \\ \text{при } x_2 = x_3 = a_2 & \quad w_2 = w_3, \quad w'_2 = w'_3 \\ \text{при } x_3 = a & \quad w_3 = 0. \end{aligned}$$

Исходя из первого граничного условия получим, что $A_1 = 0$. Остальные условия нам дают следующую систему уравнений:

$$A_2 \sinh(ka_1) = B_1 \cosh(ka_1) + B_2 \sinh(ka_1);$$

$$A_2 k \cosh(ka_1) = B_1 k \sinh(ka_1) + B_2 k \cosh(ka_1) + \frac{F_1}{F_{\text{рас}}};$$

$$B_1 \cosh(ka_2) + B_2 \sinh(ka_2) - \frac{(R_A - F_1)a_2}{F_{\text{рас}}} - \frac{F_1 a_1}{F_{\text{рас}}} =$$

$$= C_1 \cosh(ka_2) + C_2 \sinh(ka_2) + \frac{R_B a_2}{F_{\text{рас}}} - \frac{R_B a}{F_{\text{рас}}};$$

$$\begin{aligned}
 C_1 \cosh(ka) + C_2 \sinh(ka) &= 0. \\
 B_1 k \sinh(ka_2) + B_2 k \cosh(ka_2) - \frac{R_A - F_1}{F_{\text{рас}}} &= \\
 = C_1 k \sinh(ka_2) + C_2 k \cosh(ka_2) + \frac{R_B}{F_{\text{рас}}}. &
 \end{aligned}$$

Из данной системы уравнений определяют постоянные интегрирования через силы F_1 и F_2 и размеры a_1 , a_2 , a_3 и a . После этого можно записать перемещения под силами F_1 и F_2 :

$$\left. \begin{aligned}
 y_C &= B_1 \cosh(ka_1) + B_2 \sinh(ka_1) - \\
 &\quad - \frac{F_1 a_1}{F_{\text{рас}}} + \frac{F_1 a_1^2}{a F_{\text{рас}}} - \frac{F_2 a_1 a_3}{a F_{\text{рас}}}, \\
 y_D &= B_1 \cosh(ka_2) + B_2 \sinh(ka_2) + \\
 &\quad + \frac{F_1 a_1 a_2}{a F_{\text{рас}}} - \frac{F_2 a_3 a_2}{a F_{\text{рас}}} - \frac{F_1 a_1}{F_{\text{рас}}}.
 \end{aligned} \right\} (9)$$

Из системы (9) уравнений можно рассчитать силы F_1 и F_2 через соответствующие перемещения (прогибы) под направляющими роликами.

Напряжение в полотне будут определяться по зависимости:

$$\sigma = E \frac{s}{2\rho}. \quad (10)$$

Для расчета численных значений напряжений необходимо знать геометрические параметры станка и установки направляющих роликов. В качестве примера возьмем станок Woodmizer модели LT40. Расстояние между центрами шкивов $a = 1340$ мм, расстояние от оси шкива до первого ролика $a_1 = 400$ мм, расстояние между роликами примем 350 мм, соответственно $a_2 = 750$ мм, $a_3 = 590$ мм. Роликовые отжимные направляющие установлены таким образом, что отгибают ленточную пилу от прямолинейного положения на величину $y = 5-6$ мм.

Величины напряжений от направляющих устройств зависят от величины прогиба и при различных уровнях растягивающей нагрузки представлены на рис. 2 и 3.

Как видно из графиков, при установке направляющих с величиной отжима 5–6 мм величина напряжений составляет 80–100 мПа и сопоставима с напряжениями предварительного натяжения.

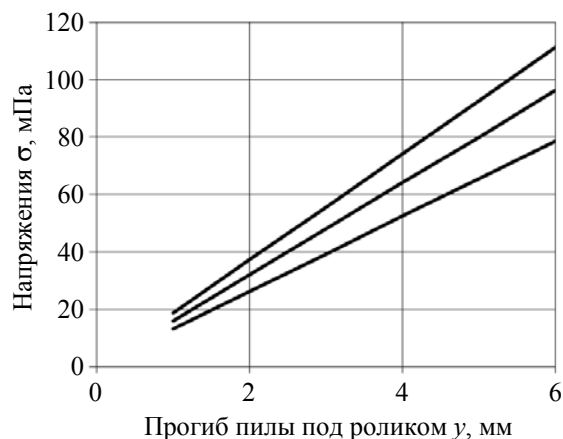


Рис. 2. Напряжения от роликовых направляющих устройств в точке C

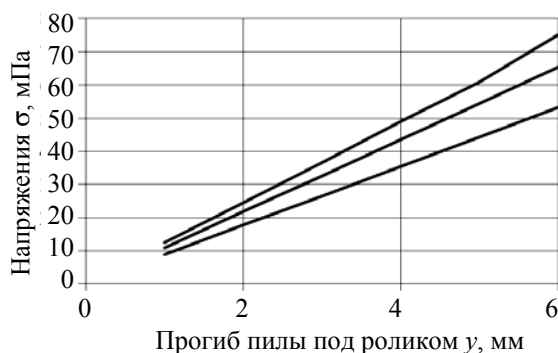


Рис. 3. Напряжения от роликовых направляющих устройств в точке D

Заключение. Результаты расчетов показали, что значения напряжений от отжимных роликовых направляющих устройств сопоставимы с величиной напряжения от предварительного натяжения, но носят местный и циклический характер. Определение значений напряжений от действия роликовых направляющих устройств позволяет создать уточненную модель напряженного состояния полотна ленточной пилы в процессе ее работы.

Литература

1. Феоктистов, А. Е. Подготовка ленточных пил к работе / А. Е. Феоктистов. — М.: Лесная промышленность, 1971. — 72 с.
2. Шилько, В. К. Влияние параметров направляющих роликов на напряжения в ленточных пилах / В. К. Шилько, М. Ю. Кондратьев, И. В. Новосельцева. — Томск: ТГАСУ. — 2004. — 8 с. — Деп. в ВИНТИ. — 17.02.2004, № 263.

Поступила 21.02.2013