

УДК 674.914:674.338

С. А. Гриневич, А. А. Гришкевич, Д. С. Волкович
Белорусский государственный технологический университет

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУГЛОПИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В работе рассмотрен вопрос обеспечения безопасной эксплуатации круглопильного оборудования для продольной распиловки древесины. Актуальность вопроса продиктована высоким уровнем травматизма на станках данного типа, в том числе со смертельным исходом. Основным травмирующим фактором является обратный выброс заготовки, что связано с особенностями процесса механической обработки древесины, а именно с использованием схемы встречного пиления, при которой силы сопротивления подачи довольно значительны. Вероятность обратного выброса заготовки увеличивается при отсутствии расклинивающих ножей или при попытке изменить положение заготовки во время обработки. Для снижения риска травмирования обслуживающего персонала в круглопильных станках для продольной распиловки используются противовыбрасыватели (когтевые завесы).

В работе рассмотрены требования технических нормативно-правовых актов, предъявляемые к углу заклинивания когтевых завес, и продемонстрировано существенное расхождение в рекомендациях. Получено математическое выражение, характеризующее условие срабатывания когтевой завесы и захват заготовки. Установлено, что основными факторами, влияющими на эффективность работы когтевой завесы, являются: коэффициент трения заготовки по столу, коэффициент трения когтевой завесы по поверхности заготовки и угол заклинивания. В работе исследовано влияние каждого из этих факторов, построены графические зависимости, позволяющие визуально оценить характер и степень влияния каждого из них. Изучено влияние угла заклинивания на сумму сил трения. Предложены мероприятия по повышению эффективности работы когтевых завес. Однако представленная работа не является исчерпывающей в данном направлении, поскольку условие заклинивания было записано для затупленной кромки противовыбрасывателей и не учитывает возможность внедрения когтей завесы в обрабатываемый материал, что является перспективным направлением дальнейших исследований.

Ключевые слова: когтевая завеса, пластина, заклинивание, коэффициент трения.

S. A. Grinevich, A. A. Grishkevich, D. S. Volkovich
Belarusian State Technological University

ON THE ISSUE OF ENSURING SAFETY AT THE USAGE OF CIRCULAR SAW EQUIPMENT

The paper considers the issue of ensuring safe operation of circular sawing equipment for longitudinal sawing of wood. The relevance of the issue is dictated by the high level of injuries on this type machines, including fatal ones. The main traumatic factor is the reverse ejection of a billet, which is due to the peculiarities of mechanical processing of wood, namely, using a counter-sawing scheme, in which the feed resistance forces are quite significant. The probability of reverse ejection of the workpiece increases when wedging knives are absented or when trying to change the position of the workpiece during processing. To reduce the risk of service personnel injury circular sawing machines use counter-throwers (claw curtains).

The paper considers the requirements of technical regulations for the jam angle of claw curtains and demonstrates a significant discrepancy in the recommendations. A mathematical expression that characterizes the condition for claw curtain trigger and capture of a workpiece is obtained. It is established that the main factors affecting of the claw curtain efficiency are: the coefficient of friction between a workpiece and a table, the coefficient of friction between a claw curtain and a surface of the workpiece and the jam angle. The paper studies the influence of each of these factors and builds graphical dependencies that allow us to visually assess the nature and degree of influence each of them. The influence of the jam angle on the sum of the friction forces is studied. Measures to improve the efficiency of claw curtains are proposed. However, the presented work is not exhaustive in this direction, since the jamming condition was recorded for the blunted edge of the counter-throwers and does not take into account the possibility of intrusion the claw curtains in the processed material, which is a promising direction for further research.

Key words: claw curtain, plate, jam, coefficient of friction.

Введение. На сегодняшний день травматизм в деревообрабатывающей промышленности, к сожалению, остается на довольно высоком уровне, ежегодно происходят десятки несчастных случаев разной степени тяжести, в том числе в среднем 2–3 несчастных случая со смертельным исходом. Особенно часто травматизм наблюдается при эксплуатации круглопильных деревообрабатывающих станков для продольной распиловки. В связи с тем, что на большинстве станков данной группы осуществляется встречное резание, то силы, возникающие в процессе резания, стремятся выбросить заготовку в противоположную сторону, т. е. навстречу оператору [1].

Основная часть. Для предотвращения выброса заготовок из станка предусмотрены противовыбрасыватели (когтевые завесы). Они выполняются в виде завесы, набора пластин (когтей), заостренных со стороны контакта с древесиной и свободно качающихся на оси крепления (рис. 1).

При подаче заготовки в станок когти свободно поворачиваются и скользят по поверхности древесины, не препятствуя ее движению. В случае попытки выброса заготовки пластины заостренной частью врезаются в древесину, и заготовка заклинивается между когтями и поверхностью стола.

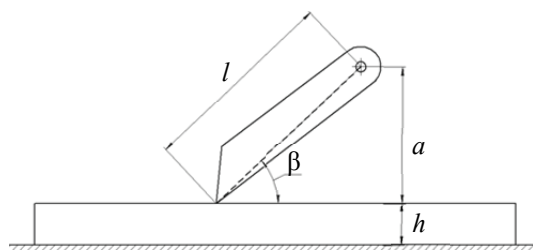


Рис. 1. Схема когтевой завесы

В многопильных станках особенно опасны обратные выбросы заостренных срезов (реек) толщиной меньше обрабатываемой заготовки, поэтому в них устанавливаются 2–3 ряда завес на разной высоте.

Угол заклинивания β , град., может быть найден по формуле

$$\beta = \arcsin \frac{a}{l}, \quad (1)$$

где a – расстояние от центра крепления завесы до поверхности заготовки, мм; l – длина пластины завесы, мм.

Согласно ГОСТ 12.2.026.0 «Станки деревообрабатывающие. Требования безопасности к конструкции» [2] и Межотраслевым правилам по охране труда в лесной, деревообрабатывающей

промышленности и в лесном хозяйстве [3] угол заклинивания должен составлять $55\text{--}65^\circ$ при обработке материала любой толщины. Однако по СТБ ЕН 1870-4-2006 «Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные. Часть 4. Станки многополотные для продольной резки с ручной загрузкой и/или выгрузкой» [4] угол заклинивания должен составлять уже $55\text{--}85^\circ$.

Рассмотрим условие работоспособности противовыбрасывателей, принимая допущение, что кромки пластин когтевых завес затуплены и врезания в древесину не происходит (рис. 2).

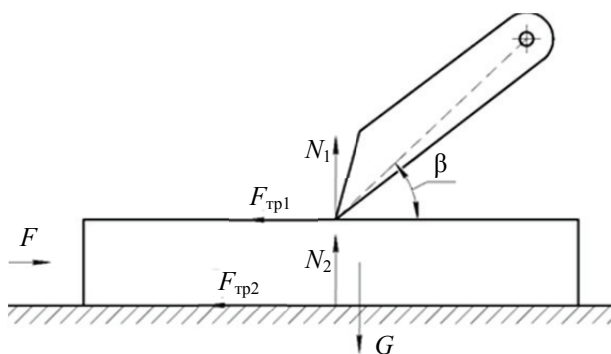


Рис. 2. Схема сил, действующих на заготовку

Исходя из рис. 2, условие работоспособности завесы имеет вид

$$F_{\text{тр1}} + F_{\text{тр2}} > F, \quad (2)$$

где $F_{\text{тр1}}$ – сила трения между пластиной когтевой завесы и заготовкой, Н; $F_{\text{тр2}}$ – сила трения между заготовкой и столом станка, Н; F – сила, действующая на заготовку в момент вылета, Н.

Сила трения $F_{\text{тр1}}$, Н, может быть найдена по формуле

$$F_{\text{тр1}} = N_1 \cdot f_1, \quad (3)$$

где N_1 – нормальная реакция поверхности заготовки, Н; f_1 – коэффициент трения пластины когтевой завесы по древесине.

Сила трения $F_{\text{тр2}}$, Н, определяется по зависимости

$$F_{\text{тр2}} = N_2 \cdot f_2, \quad (4)$$

где N_2 – нормальная реакция стола станка, Н; f_2 – коэффициент трения заготовки по поверхности стола станка.

Очевидно, что нормальная реакция стола станка N_2 , Н, определяется по формуле

$$N_2 = N_1 + G, \quad (5)$$

где G – вес заготовки, Н.

Рассмотрим условие равновесия пластины (рис. 3).

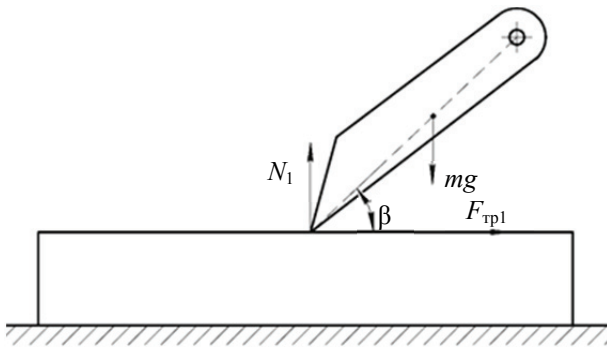


Рис. 3. Схема сил, действующих на пластину когтевой зазавесы

Запишем сумму моментов сил относительно оси, принимая в первом приближении, что центр масс пластины находится на середине длины l :

$$\sum M_o = 0, \quad (6)$$

$$N_1 \cdot l \cdot \cos \beta - F_{\text{тр}1} \cdot l \cdot \sin \beta - m \cdot g \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos \beta = 0, \quad (7)$$

где m – масса заготовки, кг; g – ускорение свободного падения, м/с².

Разделим обе части выражения на $l \cdot \cos \beta$ и с учетом (3) получим

$$N_1 - N_1 \cdot f_1 \cdot \tan \beta - \frac{m \cdot g}{2} = 0. \quad (8)$$

Из уравнения (8) выразим N_1 :

$$N_1 = \frac{m \cdot g}{2(1 - f_1 \cdot \tan \beta)}. \quad (9)$$

Тогда, с учетом вышеизложенного, условие (2) может быть переписано в виде

$$\frac{m \cdot g}{2(1 - f_1 \cdot \tan \beta)} \cdot f_1 + \left(\frac{m \cdot g}{2(1 - f_1 \cdot \tan \beta)} + G \right) \cdot f_2 > F. \quad (10)$$

Перейдя к равенству через коэффициент запаса α и перегруппировав слагаемые, неравенство (10) примет вид

$$\frac{m \cdot g \cdot (f_1 + f_2)}{2(1 - f_1 \cdot \tan \beta)} + G \cdot f_2 = \alpha \cdot F. \quad (11)$$

Очевидно, что эффективность работ когтевых зазавес определяется не только углом заклинивания β , но и коэффициентами трения f_1 и f_2 , а также весом самой пластины mg .

Проанализируем влияние вышеуказанных факторов, пренебрегая $G \cdot f_2$ ввиду его малости.

На рис. 4 представлено влияние угла заклинивания на сумму возникающих сил трения.

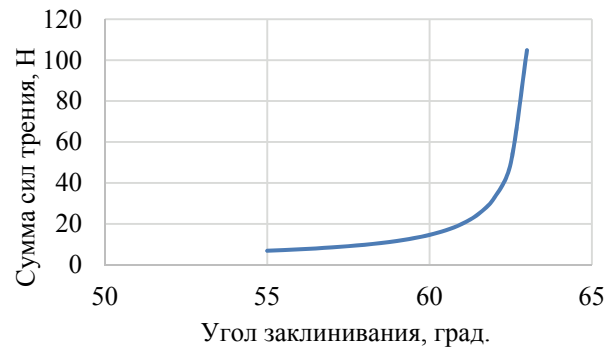


Рис. 4. График влияния угла заклинивания на сумму сил трения

График построен при $f_1 = 0,5$; $f_2 = 0,5$; $m = 0,4$. При дальнейшем увеличении угла функция стремится к бесконечности, т. е. происходит заклинивание заготовки.

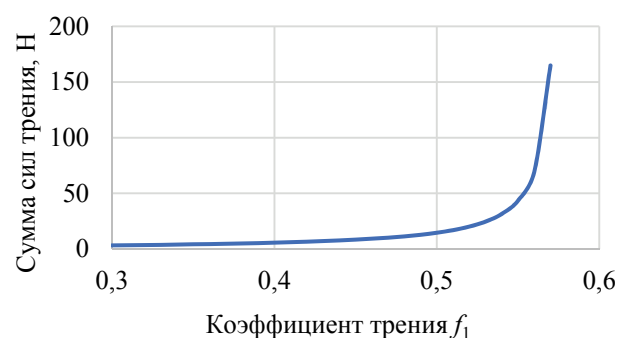
Условием заклинивания заготовки является равенство нулю знаменателя дроби в выражении (11):

$$1 - f_1 \cdot \tan \beta = 0. \quad (12)$$

Увеличение веса пластины приводит к линейному росту функции и, соответственно, положительно сказывается на работоспособности защитного устройства. Вес может быть увеличен как за счет увеличения массы пластины (т. е. увеличения ее ширины, толщины или длины), так и за счет дополнительных приспособлений, например, пружин, которые будут поджимать ее к обрабатываемому материалу.

Коэффициент f_2 так же влияет прямо пропорционально на рассматриваемую функцию, но его увеличение не рационально, так как это усложнит подачу заготовок в станок.

Влияние коэффициента f_1 аналогично влиянию угла заклинивания (рис. 5).

Рис. 5. График влияния коэффициента трения f_1 на сумму сил трения

Определим критические углы $\beta_{\text{кр}}$, при которых происходит заклинивание заготовки. На основании зависимости (12) построим график влияния коэффициента трения на угол заклинивания (рис. 6).

Коэффициент трения скольжения стали по древесине зависит от ряда факторов: породы древесины, ее влажности, шероховатости поверхности, направления волокон. Согласно литературе [5] коэффициент трения стали по древесине изменяется в пределах от 0,2 до 0,6.

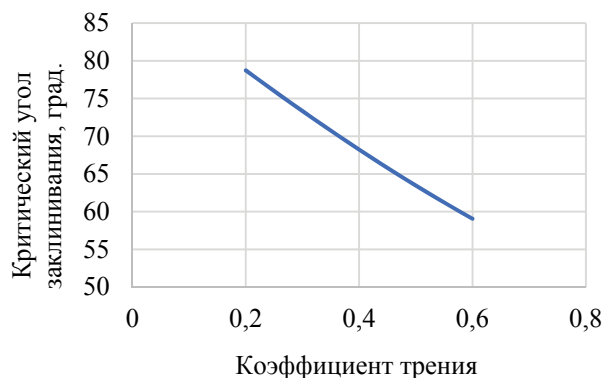


Рис. 6. Влияние коэффициента трения на критический угол

Как показывает график, с ростом коэффициента трения заклинивание будет происходить при меньших углах.

Заключение. Существующие рекомендации, приведенные в отечественных ТНПА, не совершенны, так как не учитывают всех факторов, влияющих на эффективность работы когтевых завес.

В нормативных документах на сегодняшний день нет определенности по основным конструктивным особенностям когтевых завес, в частности рекомендации по углам заклинивания различаются. Согласно полученным зависимостям при малых коэффициентах трения и отсутствию врезания пластины когтевой завесы в древесину (кромка завес затуплена) безопасность работы на станке не обеспечивается.

Одним из способов повышения эффективности работы противовыбрасывателей, технически легко реализуемых на практике, является увеличение усилия, с которым пластины когтевых завес прижимаются к обрабатываемому материалу.

Необходимы дополнительные исследования, направленные на повышение эффективности работы когтевых завес, в том числе с учетом особенностей современного технологического оборудования.

Список литературы

1. Гришкевич А. А., Гриневич С. А., Гаранин В. Н. К вопросу об обеспечении безопасности при эксплуатации круглопильного оборудования // Тезисы докладов 84-й науч.-техн. конф. БГТУ, Минск, 2020 г. / БГТУ. Минск, 2020. С. 152–153.
2. Оборудование деревообрабатывающее. Требования безопасности к конструкции: ГОСТ 12.2.026.0–1993. Введ. 01.01.1996. Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 1996. С. 46.
3. Межотраслевые правила по охране труда в лесной, деревообрабатывающей промышленности и в лесном хозяйстве: постановление М-ва труда и социальной защиты Респ. Беларусь и М-ва лесного хозяйства Респ. Беларусь, 30 дек. 2008 г., № 211/39 // Национальный правовой интернет портал Республики Беларусь. URL: [http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147\(016-099\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147(016-099).pdf) (дата обращения: 11.03.2020).
4. Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные. Часть 4. Станки многополотные для продольной резки с ручной загрузкой и/или выгрузкой: СТБ ЕН 1870-4-2006. Введ. 01.01.2007. Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2006. С. 36.
5. Лаптев А. Г. Станки и инструменты по обработке древесины: пособие к выполнению курсового проекта. Л.: ЛТА, 1966. 181 с.

References

1. Grishkevich A. A., Grinevich S. A., Garanin V. N. On the issue of ensuring safety during the operation of circular saw equipment. *Tezisy dokladov 84-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii BGTU* [Abstracts of the 84nd scientific and technical conference at BSTU]. Minsk, 2020, pp. 152–153 (In Russian).
2. GOST 12.2.026.0–1993. Woodworking equipment. Safety requirements for the design. Minsk, Gosudarstvennyy komitet po standartizatsii Respubliki Belarus' Publ., 1996. P. 46 (In Russian).
3. *Mezhotraslevyye pravila po okhrane truda v lesnoy, derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti i lesnom khozyaystve: postanovleniye Ministerstva truda i sotsial'noy zashchity Respubliki Belarus' i Ministerstva lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus'*, 30.12.2008, no. 211/39 [Intersectoral labor protection rules in the forestry, woodworking industry and forestry: Decree of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Belarus and the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, December 30, 2008, no. 211/39]. Available at: [http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147\(016-099\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147(016-099).pdf) (accessed 11.03.2020).
4. STB EN 1870-4-2006. Safety of woodworking machines. Circular saw machines. Part 4. Multi-band machines for slitting with manual loading and / or unloading. Minsk, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 2006. P. 36 (In Russian).

5. Laptev A. G. *Stanki i instrumenty po obrabotke drevesiny* [Machine tools and wood processing]. Leningrad, LTA Publ., 1966. 181 p.

Информация об авторах

Гриневич Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gres410a@ya.ru

Гришкевич Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Волкович Дмитрий Сергеевич – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Information about the authors

Grinevich Sergey Anatol'evich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gres410a@ya.ru

Grishkevich Aleksander Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Volkovich Dmitry Sergeevich – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Поступила 12.03.2020