

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

ALL-ENGINEERING QUESTIONS OF TIMBER PROCESSING COMPLEX

УДК 674.055:621.93.023.2

С. А. Гриневич, А. А. Гришкевич

Белорусский государственный технологический университет

УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ОСЕЙ КОГТЕВЫХ ЗАВЕС

Деревообрабатывающее производство характеризуется высоким травматизмом. Одной из причин получения тяжелых травм и несчастных случаев даже со смертельным исходом является обратный выброс обрабатываемых пиломатериалов или их элементов. Наибольший риск вылета характерен для деревообрабатывающих круглопильных станков, предназначенных для продольной распиловки натуральной древесины. Для захвата заготовки при ее обратном выбросе нормативными документами предписывается устанавливать завесы из предохранительных упоров (когтевые завесы).

Для грамотного проектирования элементов завес из предохранительных упоров необходимо знать нагрузку, с которой вылетевший элемент действует на защиту. Очевидно, что данная величина может быть определена лишь косвенно. И одним из способов является расчет нагрузки через остаточную деформацию элементов конструкции когтевой завесы. Для этого необходимо установить зависимость между величиной кривизны оси завесы из предохранительных упоров и воздействующим на нее изгибающим моментом.

В работе получены математические зависимости, позволяющие установить связь между действующим изгибающим моментом и кривизной оси завес из предохранительных упоров для случая упруго-пластической деформации. Полученные зависимости являются основой для определения нагрузок, действовавших на ось когтевой завесы, при наличии ее остаточной деформации.

Ключевые слова: когтевая завеса, ось, деформация, текучесть, нагрузка.

Для цитирования: Гриневич С. А., Гришкевич А. А. Упруго-пластическая деформация осей когтевых завес // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 2 (258). С. 162–166.

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

ELASTIC-PLASTIC DEFORMATION OF THE CLAW CURTAINS AXES

Woodworking production is characterized by high injuries. One of the reasons for serious injuries and accidents, even with a fatal outcome, is the reverse release of processed lumber or their elements. The greatest risk of departure is typical for woodworking circular sawing machines designed for longitudinal sawing of natural wood. To capture the workpiece when it is ejected back, regulatory documents prescribe the installation of curtains from safety stops (claw curtains).

For the competent design of curtain elements from safety stops, it is necessary to know the load with which the flown element acts on protection. Obviously, this value can be determined only indirectly. And one of the ways is to calculate the load through the residual deformation of the structural elements of the claw curtain. To do this, it is necessary to establish a relationship between the magnitude of the curvature of the axis of the curtain from the safety stops and the bending moment acting on it.

In this paper, mathematical dependences are obtained that make it possible to establish a relationship between the acting bending moment and the curvature of the axis of the curtains made of safety stops for the case of elastic-plastic deformation. The obtained dependences are the basis for determining the loads acting on the axis of the claw curtain, in the presence of its residual deformation.

Key words: claw curtain, axis, deformation, fluidity, load.

For citation: Grinevich S. A., Grishkevich A. A. Elastic-plastic deformation of the claw curtains axes. *Proceeding of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no. 2 (258), pp. 162–166 (In Russian).

Введение. При эксплуатации деревообрабатывающего оборудования обязанность обеспечить безопасные условия труда ложится на нанимателя [1]. Сложность обеспечения безопасных условий труда во многих станках заключается прежде всего в самой кинематике механической обработки древесины, а именно высокой скорости резания и встречном направлении вращения режущего инструмента [2, 3]. Таким образом, существует вероятность обратного выброса заготовки или ее фрагментов в сторону оператора. Наличие заостренных торцов и высокая скорость выбрасываемых заготовок создают опасность не только здоровью, но и жизни работающего. Это наиболее характерно для круглопильных станков, осуществляющих продольную распиловку древесины [4, 5].

Поэтому необходимо, чтобы деревообрабатывающее оборудование имело защитные устройства, исключающие в процессе работы выбрасывание режущим инструментом обрабатываемых заготовок и отходов [6].

На сегодняшний день основным документом, устанавливающим требования безопасности к деревообрабатывающим станкам является технический регламент Таможенного (Евразийского) союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» [7], требования которого могут быть выполнены в том числе и соблюдением ряда нормативных документов, а именно ГОСТ 12.2.026.0–93 «Станки деревообрабатывающие. Требования безопасности к конструкции» [8] и СТБ ЕН 1870-4–2006 «Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные. Часть 4. Станки многополотные для продольной резки с ручной загрузкой и/или выгрузкой» [9].

Согласно документам [8, 9], с целью предотвращения обратного выброса заготовки или ее фрагментов в станке должны быть предусмотрены завесы из противовыбрасывающих упоров (когтевые завесы).

Основная часть. Вопросы работоспособности, прочности и жесткости когтевых завес и их осей рассмотрены в работах [3, 10]. Однако в ряде случаев при изучении конструкции когтевых завес станков, где произошел обратный выброс заготовки, была отмечена пластическая деформация осей предохранительных упоров. Определенный научный интерес представляет оценка усилий, возникших в момент удара и вызвавших деформацию стальной оси, выходящую за пределы закона Гука.

Рассмотрим сечение оси когтевой завесы радиуса R (рис. 1). На некотором расстоянии от горизонтальной оси напряжения достигли предела текучести материала σ_T .

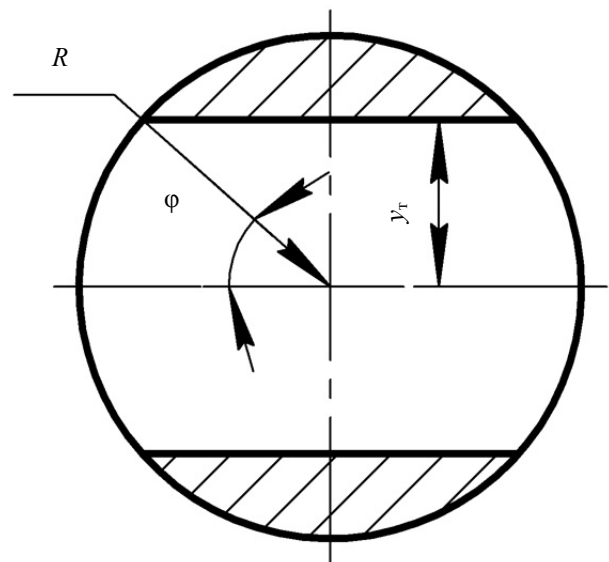


Рис. 1. Сечение оси

Эпюра напряжений представлена на рис. 2.

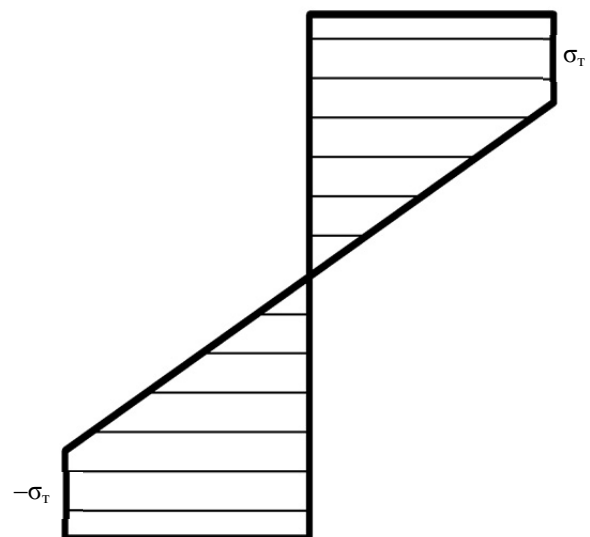


Рис. 2. Эпюра распределения напряжений

Расчетная схема представлена на рис. 3. Изгибающий момент в сечении можем записать как

$$M = \int_{-R}^R \sigma \cdot b \cdot y \cdot dy. \quad (1)$$

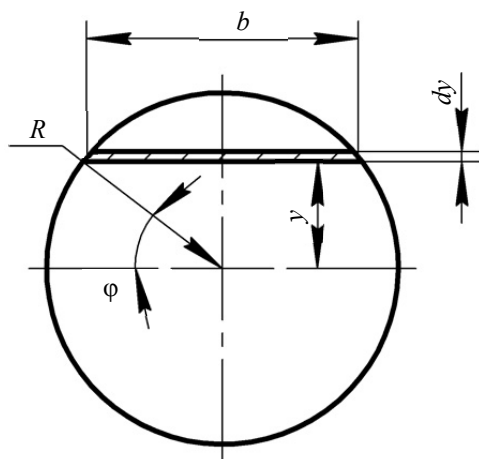


Рис. 3. Расчетная схема

Разобьем интеграл на два по зонам, соответствующим упругой и пластической составляющим. С учетом симметричности сечения получим

$$M = 2 \int_0^{y_T} \sigma \cdot b \cdot y \cdot dy + 2 \int_{y_T}^R \sigma_T \cdot b \cdot y \cdot dy. \quad (2)$$

Затем перейдем в полярную систему с координатами φ и R (рис. 3). Тогда: $y = R \cdot \sin \varphi$, $dy = R \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi$, $b = 2 \cdot R \cdot \cos \varphi$.

Нижний предел интегрирования для первой зоны $\varphi_1 = 0$.

Верхний предел интегрирования для первой зоны

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{y_T}{R}. \quad (3)$$

Согласно публикациям [11–13], связь кривизны оси ρ с напряжением σ можно выразить следующим образом:

$$\sigma = E \cdot \frac{y}{\rho}, \quad (4)$$

где E – модуль Юнга, МПа.

С учетом (3) и (4) в полярной системе координат для первого слагаемого выражения (2) можно записать

$$M_1 = \frac{4E}{\rho} \cdot R^4 \cdot \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin^2 \varphi \cdot \cos^2 \varphi \cdot d\varphi. \quad (5)$$

Проведя ряд преобразований и решив уравнение (5) с учетом пределов интегрирования, получим

$$M_1 = \frac{E \cdot R^4}{\rho} \left(\frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin^4 \varphi_2}{8} \right). \quad (6)$$

Нижний предел интегрирования для второй зоны будет равен φ_2 .

Верхний предел интегрирования для второй зоны $\varphi_3 = \pi / 2$.

Для второго слагаемого с учетом подстановок получим

$$M_2 = 4 \cdot \sigma_T \cdot R^3 \cdot \int_{\varphi_2}^{\varphi_3} \cos^3 \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi. \quad (7)$$

Проведя ряд преобразований и решив уравнение (7) с учетом пределов интегрирования, получим

$$M_2 = \frac{4}{3} \cdot \sigma_T \cdot R^3 \cdot \cos^3 \varphi_2. \quad (8)$$

Таким образом, суммарный момент в сечении вычисляется по выражению

$$M = E \cdot \frac{R^4}{\rho} \cdot \left(\frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin^4 \varphi_2}{8} \right) + \frac{4}{3} \cdot \sigma_T \cdot R^3 \cdot \cos^3 \varphi_2. \quad (9)$$

Величина φ_2 с учетом формул (3) и (4) также может быть выражена через радиус кривизны ρ .

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{\sigma_T \cdot \rho}{E \cdot R}. \quad (10)$$

Определим пределы применимости выражения (9).

Допустим, что напряжения в опасном сечении не достигли предела текучести σ_T , т. е. закон Гука остается справедливым. В этом случае можно записать [14, 15]

$$\sigma = \frac{M_1}{W} \leq \sigma_T, \quad (11)$$

где W – момент сопротивления круглого сечения, м^3 .

Момент сопротивления круглого сечения находится по известной формуле [11]:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}, \quad (12)$$

где d – диаметр оси когтевой завесы, м.

Учитывая формулы (11) и (12) и выражая диаметр d через радиус R , можно записать M_1 как

$$M_1 \leq \frac{\pi \cdot R^3}{4} \cdot \sigma_T. \quad (13)$$

или

$$[M_1] = \frac{\pi \cdot R^3}{4} \cdot \sigma_T. \quad (14)$$

Рассмотрим второй предельный случай, когда напряжения во всем сечении оси достигли предела текучести σ_T . При этом для выражения (7)

нижний предел интегрирования $\varphi_2 = 0$, а верхний $\varphi_3 = \pi / 2$.

Решив уравнение (7) с учетом новых пределов интегрирования, найдем

$$[M_2] = \frac{4}{3} \cdot \sigma_T \cdot R^3. \quad (15)$$

Значит, использование выражения (9) справедливо при соблюдении условия

$$\frac{\pi \cdot R^3}{4} \cdot \sigma_T \leq M \leq \frac{4}{3} \cdot \sigma_T \cdot R^3. \quad (16)$$

Заключение. Таким образом, получено выражение, устанавливающее взаимосвязь между изгибающим моментом M и радиусом кривизны изогнутой оси ρ в области упруго-пластической деформации, которое может быть использовано для расчетов деформации осей когтевых завес при работе за пределами закона Гука.

Список литературы

1. Об охране труда: Закон Респ. Беларусь, 23.06.2008, № 356-З: в ред. от 18 дек. 2019 г. № 274-З // Pravo.by. URL: https://pravo.by/upload/docs/op/H11900274_1577394000.pdf (дата обращения: 06.03.2022).
2. Гришкевич А. А., Гриневич С. А., Гаранин В. Н. К вопросу об обеспечении безопасности при эксплуатации круглопильного оборудования // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. докл. 84-й науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с междунар. участием), Минск, 3–14 февр. 2020 г. Минск, 2020. С. 152–153.
3. Гриневич С. А., Гришкевич А. А., Волкович Д. С. К вопросу об обеспечении безопасности при эксплуатации круглопильного оборудования // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 2. С. 325–329.
4. Вихренко В. С., Гриневич С. А. Энергетические характеристики материала при его выбросе дереворежущим оборудованием // Новые технологии высшей школы. Наука, техника, педагогика: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Москва, 15–25 марта 2021 г. М., 2021. С. 136–139.
5. Гриневич С. А., Гришкевич А. А. Расчет скорости обратного выброса заготовки // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. докл. 85-й науч.-техн. конф. (с междунар. участием), Минск, 3–14 февраля 2021 г. Минск, 2021. С. 153–154.
6. Правила по охране труда при ведении лесного хозяйства, обработке древесины и производстве изделий из дерева: постановление М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь и М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 30.03.2020, № 32/5 // Pravo.by. URL: https://pravo.by/upload/docs/op/W22035383p_1590181200.pdf (дата обращения: 06.03.2022).
7. О безопасности машин и оборудования: TP TC 010/2011 // Eurasiancommission.org. URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/techreg/deptexreg/tr/Documents/P_823_1.pdf (дата обращения: 09.03.2022).
8. Оборудование деревообрабатывающее. Требования безопасности к конструкции: ГОСТ 12.2.026.0–1993. Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 1996. 46 с.
9. Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные. Ч. 4. Станки многоплотные для продольной резки с ручной загрузкой и/или выгрузкой: СТБ ЕН 1870-4–2006. Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2006. 36 с.
10. Волкович Д. С. Определение угла заклинивания зубчатой завесы // 71-я науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов БГТУ: тез. докл., Минск, 20–22 апр. 2020 г. Минск, 2020. С. 229–231.
11. Феодосьев В. И. Соппротивление материалов. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1963. 540 с.
12. Беляев Н. М. Соппротивление материалов. М.: Наука, 1976. 608 с.
13. Степин П. А. Соппротивление материалов. М.: Высш. шк., 1988. 367 с.
14. Ицкович Г. М. Соппротивление материалов. М.: Высш. шк., 1966. 512 с.
15. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наук. думка, 1988. 736 с.

References

1. On Labor Protection: The Law of Republic of Belarus, 23.06.2008, no. 356-C Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/H11900274_1577394000.pdf (accessed 06.03.2022) (In Russian).
2. Grishkevich A. A., Grinevich S. A., Garanin V. N. On the issue of ensuring safety in the operation of circular saw equipment. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: tezis dokladov 84-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchyonnoy 90-letnemu yubileyu BGTU i Dnyu belorusskoy nauki (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forest engineering, materials science and design: thesis of reports of the

84th Scientific and technical conference dedicated to the 90th anniversary of BSTU and the Day of Belarusian Science (with international participation)]. Minsk, 2020, pp. 152–153 (In Russian).

3. Grinevich S. A., Grishkevich A. A., Volkovich D. S. On the issue of ensuring safety in the operation of circular saw equipment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2020, no. 2, pp. 325–329 (In Russian).

4. Vihrenko V. S., Grinevich S. A. Energy characteristics of the material when it is ejected by wood-cutting equipment. *Novyye tekhnologii vysshey shkoly. Nauka, tekhnika, pedagogika: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New technologies of higher education. Science, technology, pedagogy: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Moscow, 2021, pp. 136–139 (In Russian).

5. Grinevich S. A., Grishkevich A. A. Calculation of the reverse ejection rate of the workpiece. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest Engineering, Materials Science and Design: materials of the 85th Scientific and Technical conference with the international participation]. Minsk, 2021, pp. 153–154 (In Russian).

6. Rules for labor protection in forestry, wood processing and production of wood products: resolution of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Belarus and the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 30.03.2020, no. 32/5. Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/W22035383p_1590181200.pdf (accessed 06.03.2022) (In Russian).

7. TR TS 010/2011. On the safety of machinery and equipment. Available at: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/txenreg/deptexreg/tr/Documents/P_823_1.pdf (accessed 09.03.2022) (In Russian).

8. GOST 12.2.026.0–1993. Woodworking equipment. Safety requirements for the design. Minsk, Gosudarstvennyy komitet po standartizatsii Respubliki Belarus' Publ., 1996. 46 p. (In Russian).

9. STB EN 1870-4–2006. Safety of woodworking machines. Circular sawing machines. Part 4. Multi-blade rip sawing machines with manual loading and/or unloading. Minsk, Gosudarstvennyy komitet po standartizatsii Respubliki Belarus' Publ., 2006. 36 p. (In Russian).

10. Volkovich D. S. Determination of the angle of jamming of the toothed curtain. *71-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya uchashchikhsya, studentov i magistrantov BGTU: tezisy dokladov* [71st Scientific and Technical Conference of students, undergraduates and undergraduates of BSTU: thesis of reports]. Minsk, 2020, pp. 229–231 (In Russian).

11. Feodosyev V. I. *Soprotivleniye materialov* [Resistance of materials]. Moscow, Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury Publ., 1963. 540 p. (In Russian).

12. Belyaev N. M. *Soprotivleniye materialov* [Resistance of materials]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 608 p. (In Russian).

13. Stepin P. A. *Soprotivleniye materialov* [Resistance of materials]. Moscow, Vy'sshaya shkola Publ., 1988. 367 p. (In Russian).

14. Iczkovich G. M. *Soprotivleniye materialov* [Resistance of materials]. Moscow, Vy'sshaya shkola Publ., 1966. 512 p. (In Russian).

15. Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V. V. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov* [Handbook on the resistance of materials]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1988. 736 p. (In Russian).

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: grinevich@belstu.by

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

Information about the authors

Grinevich Sergey Anatol'yevich – 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: grinevich@belstu.by

Grishkevich Aleksandr 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

Поступила 11.03.2022