

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ ПРИВОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Владимир Геннадьевич Новоселов

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург,
Россия

novoselovvg@m.usfeu.ru

Аннотация. Установлена экспоненциальная зависимость коэффициента трения скольжения в ременных передачах от величины давления на поверхности контакта ремня со шкивом. Предложена уточненная методика расчета тяговой способности ременных передач.

Ключевые слова: передача, ремень, шкив, давление, трение

Благодарности: работа выполнена в рамках исполнения госбюджетной темы FEUG.

Для цитирования: Новоселов В. Г. Уточнение методики расчета ременных передач приводов деревообрабатывающих машин // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века = Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century : материалы XX Международного евразийского симпозиума. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 78–83.

Original article

UPDATE OF THE CALCULATION METHOD OF BELT DRIVE OF WOODWORKING MACHINES

Vladimir G. Novoselov

Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

novoselovvg@m.usfeu.ru

Abstract. Exponential dependence of coefficient of sliding friction in belt drives on the value of pressure on contact surface of the belt with the pulley is established. An updated method for calculating the traction capacity of belt drives is proposed.

Keywords: drive, belt, pulley, pressure, friction

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the implementation of the state budgetary theme FEUG.

For citation: Novoselov V. G. (2025) Utochnenie metodiki rascheta remen-nyh peredach privodov derevoobrabatyvayushchih mashin [Update of the calculation method of belt drive of woodworking machines]. Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century [Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century : materials of the XX International Eurasian Symposium]. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 78–83. (In Russ).

Приводы большинства деревообрабатывающих машин включают в качестве редуцирующего или мультиплицирующего звена, а также предохранительного элемента ременные передачи. Расчет их тяговой способности, начиная с выведенной Л. Эйлером зависимости между усилиями в набегающей и сбегающей ветвях невесомой абсолютно гибкой нерастяжимой нити, скользящей по барабану, подвергался в дальнейшем уточнению и дополнению, например [1–3]. Многообразие конструкций, свойств и условий эксплуатации ременных передач в современных методиках инженерных расчетов учитываются путем введения ряда частных коэффициентов [4]. Например, порядок расчета клиноременных передач регламентирован ГОСТ 1284.3–96 [5]. Значительные интервалы числовых значений поправочных коэффициентов и определенный произвол при их выборе дают большой разброс расчетных параметров, влияющих на работоспособность передач.

Наряду с традиционными плоскоременными или клиноременными передачами существуют также так называемые «плоско-клиноременные», в которых ведущий шкив имеет ручки для клиновых ремней, передающих окружное усилие на гладкий цилиндрический ведомый шкив своей внутренней, а не боковой поверхностью. Теория и методика расчета таких передач недостаточно разработаны, известна лишь рекомендация [6] по минимальному передаточному числу $i = 3 \dots 4$, при котором их тяговая способность соответствует обычным клиноременным передачам.

Работоспособность ременных передач оценивается их тяговой характеристикой – зависимостью коэффициента скольжения ξ от коэффициента тяги ψ . Эта характеристика абстрагирована от абсолютных значений параметров передачи и должна была бы давать однозначную оценку ее тяговой способности. Однако проведенный нами анализ полученных экспериментальных данных [2, 3, 7, 8] показал, что эти характеристики не совпадают у передач с различными конструктивными, эксплуатационными и типологическими характеристиками. Это приводит к неточности в расчетах по основному критерию – тяговой способности.

Целью настоящей работы является обобщение зависимости фрикционных свойств различных типов ременных передач от основных конструктивно-эксплуатационных параметров и уточнение определения их тяговой способности.

Для обеспечения единства подхода и унификации условий оценки для анализа были отобраны данные опытов из различных источников, содержащие следующие сведения: межосевое расстояние передачи A ; диаметры шкивов D_1, D_2 ; тип и размеры поперечного сечения ремня; сила начального натяжения ремня F_0 ; предельный коэффициент тяги $\psi_{\max}$, соответствующий полному буксованию и максимальной окружной силе в передаче $F_{t\max}$; нагрузка спокойная.

Считая, что при буксовании соблюдается равенство Понселе, среднее давление на поверхностях контакта ремней со шкивами $\bar{p}$ определяли по формуле

$$\bar{p} = 2F_0 / DB, \quad (1)$$

где D – диаметр шкива, на котором происходит буксование (ведущего D_1 – в плоскоременной и клиноременной передачах; ведомого D_2 в плоско-клиноременной передаче при $i < 3$);

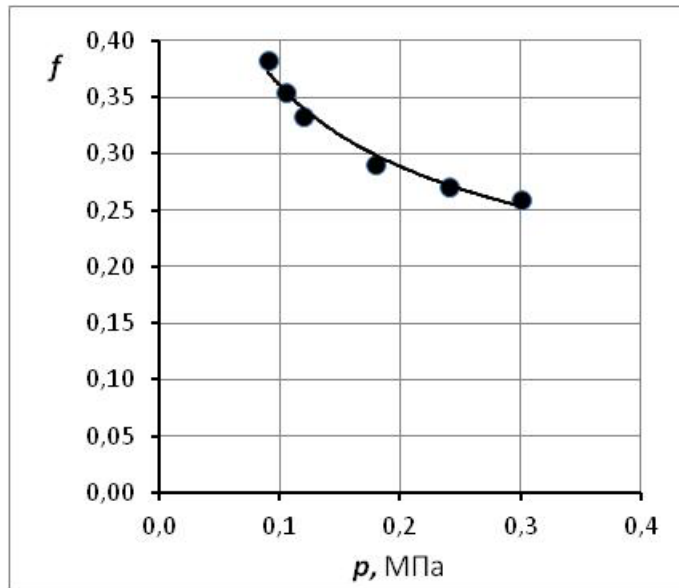
B – ширина поверхностей контакта ремней со шкивом (в плоскоременных передачах B – ширина ремня; в клиноременных – удвоенная ширина проекции боковой стороны трапецеидального сечения ремня на образующую цилиндра с диаметром, равным расчетному; в плоско-клиноременных – длина меньшего основания трапецеидального сечения ремня). В многоручьевых передачах учитывалось также количество ремней.

Усредненный при данном давлении коэффициент трения скольжения ремней о шкивы $\bar{f}$ определяли на основании уравнения Эйлера по формуле

$$\bar{f} = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1 + \psi_{\max}}{1 - \psi_{\max}} \right), \quad (2)$$

где α – угол обхвата ремнями шкива, на котором происходит буксование.

Для клиноременных передач полученное значение $\bar{f}$ дополнительно корректировали с учетом угла клина φ путем деления на $\sin(\varphi/2)$. График зависимости среднего коэффициента трения ремней о шкивы от среднего давления на поверхности их контакта приведен на рисунке.



Зависимость коэффициента трения от давления в контакте ремня со шкивом

Как видно, эта зависимость имеет убывающий характер, то есть максимальная окружная сила в передаче $F_{t\max}$ растет не пропорционально увеличению начального натяжения F_0 . Экспоненциальная аппроксимация с достоверностью 0,98 дает уравнение кривой вида

$$\bar{f} = f_{\lim} \exp\left(\frac{a}{p}\right), \quad (3)$$

где $f_{\lim}$ – предельное (асимптотическое) значение коэффициента трения при неограниченном росте давления;

a – характеристическая константа.

Для рассмотренных случаев $f_{\lim} = 0,22$, $a = 0,05$ МПа.

На основе полученной зависимости предлагается рассчитывать ременные передачи, исходя из величины максимальной окружной силы $F_{t\max}$, которую надлежит обеспечить передачей. Вначале по известным рекомендациям [4, 5] предварительно определяются: тип и размеры сечения ремня; геометрические параметры передачи (диаметры шкивов, межосевое расстояние, длина ремня, угол обхвата, ширина поверхности контакта, начальное натяжение и линейная скорость ремня V , полезная окружная сила F_t).

$$F_t = \frac{1000P\eta}{V}, \quad (4)$$

где P – передаваемая мощность, кВт;

η – КПД передачи (для плоско-клиноременных).

Затем по формуле (1) вычисляется среднее давление в контакте ремня со шкивом и по формуле (3) определяется усредненный коэффициент трения.

Для плоскоремennых и плоско-клиноремennых передач максимальная окружная сила определяется непосредственно по формуле

$$F_{t\max} = 2F_0 \frac{\exp(\bar{f}\alpha) - 1}{\exp(\bar{f}\alpha) + 1}, \quad (5)$$

а для клиноремennых передач полученное по формуле (5) значение корректируется путем деления на $\sin(\varphi/2)$.

Далее, для многоручьевых клиноремennых и плоско-клиноремennых передач определяется необходимое количество ремней Z :

$$Z = F_t / F_{t\max}, \quad (6)$$

с округлением до целого значения в большую сторону, что идет в запас тяговой способности передачи. Для плоскоремennых передач максимальная окружная сила сравнивается с полезной окружной силой, и, если соблюдается неравенство $F_{t\max} \geq F_t$, предварительно выбранные параметры передачи принимаются окончательно, иначе производится их соответствующая корректировка.

Предлагаемая методика позволит более точно и объективно определять параметры ремennых передач различных типоразмеров, исходя из их тяговой способности.

Список источников

1. Андреев А. В. Передача трением. М. : Машиностроение, 1978. 176 с.
2. Валявин В. Ю. Физико-механические особенности повышения тяговой способности ремennых передач сельхозмашин : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Виктор Юрьевич Валявин. Ростов н/Д, 1993. 22 с.
3. Stoyanov S., Dobрева A. A Software System for Researching of the Traction Capability of Belt Transmissions with Flexible Bandage // International Conference on Computer Systems and Technologies. 2004. С. 1–5.
4. Иванов М. Н., Финогенов В. А. Детали машин : учебник. 12-е изд., испр. М. : Высш. шк., 2008. 400 с.
5. ГОСТ 1284.3–96. Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Передаваемые мощности. Введен 01.01.1998. М. : Изд-во стандартов. 65 с.
6. Детали машин : сборник материалов по расчету и конструированию. В 2-х кн. Кн. 1 / под ред. Н. С. Ачеркана. М. : Машгиз, 1954. 400 с.

7. Повышение тяговой способности привода лесорамы Р63-4 / Л. А. Шабалин, В. Г. Новоселов, В. И. Смирнов, А. А. Якушев // Деревообрабатывающее оборудование: Экспресс-информация. М. : НИИМАШ, 1979. С. 3–7.
8. Воробьев И. И. Ременные передачи. М. : Машиностроение, 1979. 168 с.

References

1. Andreev A. V. Friction transmission. M. : Mechanical Engineering, 1978. 176 p. (In Russ).
2. Valyavin V. Yu. Physical and mechanical features of increasing the traction capacity of belt drives of agricultural machines : abstract of dis. ... Candidate of Technical Sciences / Viktor Yurievich Valyavin. Rostov on/D, 1993. 22 p. (In Russ).
3. Stoyanov S., Dobрева A. A Software System for Researching of the Traction Capability of Belt Transmissions with Flexible Bandage // International Conference on Computer Systems and Technologies. 2004. P. 1–5.
4. Ivanov M. N., Finogenov V. A. Machine details : textbook. 12th ed., corr. M. : Higher school, 2008. 400 p. (In Russ).
5. GOST 1284.3–96. Transmission V-belts of normal cross-sections. Transmitted powers. Entered on 01.01.1998. M. : Publishing House of Standards. 65 p. (In Russ).
6. Machine parts : collection of materials on calculation and design. In 2 books. Book 1 / ed. by N. S. Acherkan. M. : Mashgiz, 1954. 400 p. (In Russ).
7. Increasing the traction capacity of the drive of the timber frame R63-4 / L. A. Shabalin, V. G. Novoselov, V. I. Smirnov, A. A. Yakushev / Woodworking equipment: Express information. M. : RIME, 1979. P. 3–7. (In Russ).
8. Vorobiev I. I. Belt drives. M. : Mechanical Engineering, 1979. 168 p. (In Russ).