

DOI: 10.15393/j2.art.2025.8863

УДК 674(075.8); 631.3-83

Статья

Энергозатраты при продольной распиловке лесоматериалов на станке с асинхронным электроприводом ленточного пильного аппарата

Стародубов Александр Сергеевич

аспирант, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), alexoldoak@mail.ru

Платонов Алексей Дмитриевич

доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), alekseyub66@yandex.ru

Афоничев Дмитрий Николаевич

доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I (Российская Федерация), dmafonichev@yandex.ru

Получена: 5 августа 2025 / Принята: 30 октября 2025 / Опубликована: 26 ноября 2025

Аннотация: В статье приведены аналитические зависимости скорости резания и рабочей мощности асинхронного электропривода ленточного пильного аппарата от сопротивления перемещению пильной ленты, которые учитывают номинальные момент и скольжение электродвигателя, что обеспечивает высокую точность расчёта при режимах работы асинхронного электропривода ленточного пильного аппарата, близких к номинальному и характеризующихся минимальными потерями мощности. Выполненные расчёты показали, что возрастание сопротивления перемещению пильной ленты от 100 Н до 400 Н приводит к несущественному падению скорости резания с 30,46 м/с до 29,18 м/с, т. е. всего на 1,28 м/с, или на 4,2 %. При этом рабочая мощность асинхронного электропривода ленточного пильного аппарата возрастает почти в четыре раза — с 3206,25 Вт до 12285,46 Вт, потери мощности в электродвигателе увеличиваются, возрастает мощность, потребляемая из электрической сети, и растёт ток статора, повышаются фактические значения коэффициента перегрузки и уставившейся температуры электродвигателя привода ленточного пильного аппарата.

Коэффициент полезного действия электродвигателя имеет максимум при сопротивлениях перемещению пильной ленты в пределах 150...250 Н, что объясняется малой долей потерь от мощности, потребляемой из сети. Так, при сопротивлении перемещению пильной ленты 100 Н доля потерь составляет 14,05 %, при 150 Н — 12,36 %, при 200 Н — 12,19 %, при 250 Н — 12,63 %, при 300 Н — 13,37 %. Наиболее эффективное использование ленточнопильного станка «Спектр-70» с электродвигателем привода пильной ленты АИРМ132S4 возможно при сопротивлениях перемещению пильной ленты 150...250 Н, при этом ток статора незначительно превышает номинальный ток двигателя или меньше номинального, что гарантирует надёжность электроснабжения. При фактических значениях коэффициента перегрузки больших единиц продолжительность работы электродвигателя и соответственно ленточнопильного станка ограничивается, причём чем выше фактическое значение коэффициента перегрузки, тем короче период работы станка. Станок «Спектр-70» с электродвигателем привода пильной ленты АИРМ132S4 можно применять при сопротивлениях перемещению пильной ленты до 400 Н.

Ключевые слова: ленточнопильный станок; скорость резания; сопротивление перемещению пильной ленты; асинхронный электродвигатель; мощность; коэффициент полезного действия

DOI: 10.15393/j2.art.2025.8863

Article

Energy consumption during longitudinal sawing of timber on a machine with an asynchronous electric drive for the band saw apparatus

Alexander Starodubov

Ph. D. student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), alexoldoak@mail.ru

Alexey Platonov

D. Sc. in engineering, professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), aleksey66@yandex.ru

Dmitriy Afonichev

D. Sc. in engineering, professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great (Russian Federation), dmafonichev@yandex.ru

Received: 5 August 2025 / Accepted: 30 October 2025 / Published: 26 November 2025

Abstract: The article provides analytical dependencies of the cutting speed and operating power of the asynchronous electric drive of the band saw apparatus on the resistance to movement of the saw belt, which take into account the nominal torque and slip of the electric motor, ensuring high accuracy of calculations in the operating modes of the asynchronous electric drive of the band saw apparatus that are close to the nominal modes and characterized by minimal power losses. The calculations performed showed that an increase in the resistance to the movement of the saw blade from 100 N to 400 N leads to a slight decrease in the cutting speed from 30.46 m/s to 29.18 m/s, which is only 1.28 m/s or 4.2 %. At the same time, the working capacity of the asynchronous electric drive of the band saw machine increases almost fourfold from 3206.25 W to 12285.46 W, the power loss in the electric motor increases, the power consumed from the electrical network increases, and the stator current increases, and the actual values of the overload factor and the set temperature of the electric motor of the band saw machine drive increase. The efficiency of the electric motor is maximum when the resistance to moving the saw belt is within 150...250 N, which is due to the low percentage of power loss from the electricity mains. Thus, when the resistance to movement of the saw blade is 100 N, the loss rate is 14.05 %; when it is 150 N, the loss rate is 12.36 %; when it is 200 N, the loss rate

is 12.19 %; when it is 250 N, the loss rate is 12.63 %; and when it is 300 N, the loss rate is 13.37 %. The most efficient use of the Spectrum-70 band saw machine with the AIRM132S4 saw belt drive electric motor is possible when the resistance to the movement of the saw belt is 150...250 N, and the stator current is slightly higher than the rated current of the motor or lower than the rated current, which ensures reliable power supply. When the actual overload factor is greater than one, the operating time of the electric motor and, consequently, the band saw machine is limited. The higher the actual overload factor, the shorter the operating time of the machine. The Spectrum-70 band saw machine with the AIRM132S4 saw belt drive electric motor can be used with saw belt resistance up to 400 N.

Keywords: band saw machine; cutting speed; resistance to movement of the saw belt; asynchronous electric motor; power; efficiency factor

1. Введение

Использование горизонтальных ленточнопильных станков позволяет повысить эффективность производства пиломатериалов, особенно при малых объёмах продольной распиловки [1], [2]. В качестве режущего инструмента в таких станках применяется ленточная пила или пильная лента, надетая на шкивы, один из которых приводной, а другой — ведомый и оснащён регулировочными устройствами, позволяющими настраивать натяжение пильной ленты и наклон шкива во избежание сбега ленточной пилы [1—5]. В настоящее время разработано большое количество моделей ленточнопильных станков, отличающихся габаритными размерами, производительностью и уровнем автоматизации [1], [6], [7]. Горизонтальные ленточнопильные станки, предназначенные для эксплуатации в производственных помещениях, а также на производственных площадках под навесами, оснащаются электроприводом ленточного пильного аппарата и механизма подъёма-опускания пильной каретки [1], [6], [7]. Подача ленточного пильного аппарата на обрабатываемый материал во многих моделях горизонтальных ленточнопильных станков предусмотрена ручная [1], [6], [7].

Электропривод ленточного пильного аппарата обеспечивает протягивание пильной ленты через обрабатываемый материал и его резание [7—10]. Мощность электродвигателя N (Вт), необходимая для привода пильной ленты (ленточной пилы), или рабочая мощность электродвигателя определяется по формуле [6], [7]

$$N = \frac{PV}{\eta_0}, \quad (1)$$

где P — сопротивление перемещению пильной ленты, зависящее от породы и влажности древесины, типа, геометрических параметров и эксплуатационного состояния ленточной пилы, Н; V — скорость движения пильной ленты (скорость резания), м/с; η_0 — коэффициент полезного действия (КПД) механической передачи, учитывающий потери энергии в механической передаче и шкивах.

Сопротивление перемещению пильной ленты P создаёт момент сопротивления на валу электродвигателя M_C :

$$M_C = \frac{PD}{2z\eta_0}, \quad (2)$$

где D — диаметр приводного шкива, м; z — передаточное число механической передачи.

При установившемся режиме работы ленточного пильного аппарата электромагнитный момент электродвигателя привода пильной ленты M равен моменту сопротивления M_C [8], [9], создаваемому на валу электродвигателя ленточным пильным аппаратом, т. е. $M = M_C$, а значит,

$$M = M_C = \frac{PD}{2z\eta_0}. \quad (3)$$

Угловая скорость вращения ротора электродвигателя ω связана со скоростью движения пильной ленты V зависимостью [6], [7]

$$V = \frac{\omega D}{2z}. \quad (4)$$

Из формулы (4) выразим угловую скорость вращения ротора электродвигателя ω :

$$\omega = \frac{2zV}{D}. \quad (5)$$

Умножение правой части формулы (3) на правую часть формулы (5) даёт правую часть зависимости (1), что абсолютно достоверно, т. к. мощность электродвигателя равна произведению его электромагнитного момента M на угловую скорость вращения ротора ω [8—10]. Электромагнитный момент двигателя M связан с угловой скоростью вращения ротора ω механической характеристикой, вид которой определяется типом и параметрами конкретного электродвигателя, а также схемой его подключения к электрической сети [8—12]. Электромагнитный момент электродвигателя M привода ленточного пильного аппарата в установившемся режиме определяется величиной сопротивления перемещению пильной ленты P (зависимость (3)). Согласно механической характеристике электродвигателя, моменту M соответствует определённая угловая скорость вращения ротора ω и определённая рабочая механическая мощность (мощность на валу) двигателя N . Таким образом, изменение сопротивления перемещению пильной ленты P приводит к изменению угловой скорости вращения ротора электродвигателя ω привода ленточного пильного аппарата и соответствующему изменению скорости движения пильной ленты V , которая является в рассматриваемом случае и скоростью резания, а также к изменению рабочей мощности N , затрачиваемой на привод пильной ленты, и мощности N_3 , потребляемой электродвигателем привода ленточного пильного аппарата из электрической сети.

На основе вышеизложенного поставлена цель работы: определить для ленточнопильного станка закономерности изменения скорости резания V , рабочей мощности N , затрачиваемой на привод пильной ленты, и мощности N_3 , потребляемой электродвигателем привода ленточного пильного аппарата из электрической сети, в зависимости от сопротивления перемещению пильной ленты P .

2. Материалы и методы

Объект исследования — горизонтальный ленточнопильный станок «Спектр-70», предназначенный для продольной распиловки бревен любых пород древесины диаметром до 70 см. Технические характеристики данного станка: подача пильной каретки — ручная; подъём-опускание пильной каретки — электропривод; максимальная ширина распила 650 мм; длина

обрабатываемых брёвен 0,5...6,7 м; толщина доски (бруса) 2...350 мм; толщина последней доски 25 мм; толщина пропила 2...2,5 мм; диаметр шкивов 590 мм; ширина пильной ленты 32, 38 мм; номинальная длина пильной ленты 5270 мм; скорость резания 30 м/с; габариты без направляющих — 2820 × 980 × 1620 мм; масса 900 кг. Привод пильной ленты осуществляется асинхронным электродвигателем АИРМ132S4 производства ОАО «Владимирский электро-моторный завод». Указанный электродвигатель, в свою очередь, имеет следующие технические характеристики. Тип ротора — короткозамкнутый; режим работы — S1; система охлаждения — IC411; степень защиты — IP54, IP55; класс нагревостойкости изоляции — F; монтажное исполнение — IM1081, IM1082, IM2081, IM2082, IM3081, IM3082; напряжение питания 380/220 В; 660/380 В; частота питающего напряжения 50 Гц; номинальное напряжение питания $U_H = 380$ В; номинальная мощность (на валу) $N_H = 7,5$ кВт; номинальный ток статора $I_H = 15,3$ А; номинальный КПД $\eta_H = 0,875$; номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_H = 0,85$; частота вращения электромагнитного поля статора $n_{\Pi} = 1500$ об./мин; номинальная частота вращения ротора $n_H = 1450$ об./мин; масса $m = 70$ кг; кратность пускового момента $\mu_{\Pi} = 2,1$; кратность критического момента $\mu_K = 2,8$; кратность пускового тока $K_I = 7,0$.

Используя приведённые параметры электродвигателя АИРМ132S4, по известным зависимостям [8], [9] рассчитали такие важные его показатели, как угловая скорость вращения электромагнитного поля статора $\omega_{\Pi} = 157,05 \text{ c}^{-1}$; номинальное скольжение $s_H = 0,033$; номинальная угловая скорость вращения ротора $\omega_H = 151,82 \text{ c}^{-1}$; номинальный момент $M_H = 49,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$; пусковой момент $M_{\Pi} = 73,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$ (при падении напряжения питания до 320 В); пусковой ток $I_{\Pi} = 107,1$ А; критическое скольжение $s_K = 0,203$; критический момент $M_K = 138,32 \text{ Н}\cdot\text{м}$; потери мощности при номинальной нагрузке $\Delta N_H = 1071,43$ Вт; потери, зависящие от нагрузки, при номинальной мощности $\Delta N_{VH} = 669,64$ Вт; потери мощности, не зависящие от нагрузки, $\Delta N_C = 401,79$ Вт; постоянная времени нагрева $t_H = 28,27$ мин.

Рабочий процесс асинхронного электродвигателя описывается двумя дифференциальными уравнениями [8], [9], [13], для решения которых необходимо, в частности, знать активные и индуктивные сопротивления статора и ротора. При некоторых допущениях по номинальным и критическим параметрам асинхронного электродвигателя можно определить его момент M и угловую скорость вращения ротора ω при любой нагрузке, приложенной к валу двигателя [8], [9], [13]. В пособии [14] приведено дифференциальное уравнение, связывающее электромагнитный момент асинхронного электродвигателя M с его номинальными моментом M_H и скольжением s_H , критическим скольжением s_K , при скольжениях s , близких к номинальному скольжению s_H :

$$\frac{dM}{dt} + \omega_{\Pi} s_K M = \frac{M_H \omega_{\Pi} s_K s}{s_H} \left(\frac{U}{U_H} \right)^2, \quad (6)$$

где t — время, с; ω_n — угловая скорость вращения электромагнитного поля статора, с^{-1} ; U — напряжение питания (фактическое), В; U_H — номинальное напряжение питания, В.

В установившем режиме работы электродвигателя его момент M является постоянным и уравнение (6) преобразуется к виду:

$$M = \frac{M_H s}{s_H} \left(\frac{U}{U_H} \right)^2. \quad (7)$$

При напряжении питания U , равном номинальному напряжению U_H , формула (7) упрощается:

$$M = \frac{M_H s}{s_H}. \quad (8)$$

Из формулы (8) можно выразить скольжение s :

$$s = \frac{s_H M}{M_H}. \quad (9)$$

В установившемся режиме работы двигателя $M = M_C$, тогда, подставив формулу (3) в зависимость (9), получим:

$$s = \frac{s_H P D}{2z\eta_0 M_H}. \quad (10)$$

Угловая скорость вращения ротора ω связана со скольжением s зависимостью [8], [9], [13], [14]:

$$\omega = \omega_n (1 - s). \quad (11)$$

Подставим выражение (10) в формулу (11):

$$\omega = \omega_n \left(1 - \frac{s_H P D}{2z\eta_0 M_H} \right). \quad (12)$$

Правые части формул (5) и (12) равны, а поэтому

$$\frac{2zV}{D} = \omega_n \left(1 - \frac{s_H P D}{2z\eta_0 M_H} \right). \quad (13)$$

Из уравнения (13) выражаем скорость резания V :

$$V = \frac{\omega_n D}{2z} \left(1 - \frac{s_H P D}{2z\eta_0 M_H} \right). \quad (14)$$

Рабочую мощность электропривода ленточного пильного аппарата N определим подстановкой уравнения (14) в формулу (1):

$$N = \frac{\omega_{\pi} PD}{2z\eta_0} \left(1 - \frac{s_H PD}{2z\eta_0 M_H} \right). \quad (15)$$

Для определения мощности N_{ϑ} , потребляемой электродвигателем привода ленточного пильного аппарата из электрической сети, необходимо установить потери мощности в двигателе ΔN , которые складываются из потерь ΔN_C , не зависящих от нагрузки, и потерь ΔN_V , зависящих от нагрузки. Последние зависят от коэффициента загрузки электродвигателя K_3 , представляющего собой отношение рабочей мощности электродвигателя N к его номинальной мощности N_H [9]:

$$\Delta N_V = \Delta N_{VH} K_3^2, \quad (16)$$

где ΔN_{VH} — потери, зависящие от нагрузки, при номинальной мощности N_H , кВт.

$$N_{\vartheta} = N + \Delta N. \quad (17)$$

КПД электродвигателя η равен отношению рабочей мощности N к мощности N_{ϑ} , потребляемой электродвигателем из электрической сети, т. е. $\eta = N / N_{\vartheta}$.

Ток статора I можно определить, приняв напряжение питания постоянным и равным номинальному U_H и коэффициент мощности постоянным и равным номинальному $\cos \varphi_H$:

$$I = \frac{N_{\vartheta}}{\sqrt{3}U_H \cos \varphi_H}. \quad (18)$$

Превышение температуры электродвигателя τ в конце нагружочного цикла определяется по формуле [9]

$$\tau = \tau_{yem} \left(1 - e^{-\frac{t_p}{t_H}} \right), \quad (19)$$

где τ_{yem} — фактическое значение установившейся температуры электродвигателя, °С; e — основание натурального логарифма; t_p — продолжительность работы электродвигателя, мин; t_H — постоянная времени нагрева, мин.

$$\tau_{yem} = p\tau_{don}, \quad (20)$$

где τ_{don} — допустимое превышение температуры двигателя, °С.

$$p = \frac{\alpha_0 + K_3^2}{\alpha_0 + 1}, \quad (21)$$

где α_0 — коэффициент потерь, зависящий от номинальной мощности электродвигателя и его исполнения (для асинхронных двигателей $\alpha_0 = 0,5...0,7$ [9]).

Из формулы (19) можно найти продолжительность работы электродвигателя без перегрева t_p , когда превышение температуры электродвигателя τ в конце нагружочного цикла

не будет больше допустимого превышения температуры τ_{don} для данного класса нагревостойкости изоляции:

$$t_P = -t_H \ln \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{yem}} \right). \quad (22)$$

Приняв $\tau = \tau_{don}$, с учётом формулы (20) преобразуем выражение (22) к виду:

$$t_P = -t_H \ln \left(1 - \frac{1}{p} \right). \quad (23)$$

Полученное выражение (23) существует при условии, что

$$1 - \frac{1}{p} > 0 \text{ или } p > 1. \quad (24)$$

Таким образом, определить продолжительность работы электродвигателя без перегрева t_P по формулам (22) и (23) возможно только при условии, что фактическое значение коэффициента перегрузки p больше единицы. Если $p \leq 1$, то перегрев электродвигателя не происходит при достаточно большой продолжительности работы. При t_P/t_H число $e \approx 2,72$ в степени $-t_P/t_H$ близко к нулю, а следовательно, в формуле (19) выражение, заключённое в скобки, будет чуть меньше единицы, а т. к. при $p = 1$, согласно зависимости (20), $\tau_{yem} = \tau_{don}$, то из зависимости (19) следует, что $\tau < \tau_{don}$.

3. Результаты

Значения скорости резания V и рабочей мощности электропривода ленточного пильного аппарата N при принятых значениях сопротивления перемещению пильной ленты P в диапазоне 100...400 Н приведены в таблице 1.

Данные таблицы 1 показывают, что с увеличением сопротивления перемещению пильной ленты скорость резания уменьшается, но очень незначительно, увеличение сопротивления от 100 Н до 400 Н приводит к падению скорости резания с 30,46 м/с до 29,18 м/с, т. е. всего на 1,28 м/с. При этом рабочая мощность электропривода ленточного пильного аппарата возрастает почти в четыре раза — с 3206,25 Вт до 12285,46 Вт. Такое возрастание мощности обусловлено значительным увеличением сопротивления перемещению пильной ленты со 100 Н до 400 Н. Незначительное изменение скорости резания указывает на незначительное падение производительности ленточнопильного станка «Спектр-70» с увеличением сопротивления перемещению пильной ленты.

Результаты расчёта потерь мощности в электродвигателе ΔN , мощности N_3 , потребляемой из электрической сети, КПД электродвигателя η и тока статора I представлены в таблице 2.

Таблица 1. Значения скорости резания V и рабочей мощности электропривода ленточного пильного аппарата N в зависимости от сопротивления перемещению пильной ленты P

Table 1. Values of cutting speed and operating power of the electric drive of the band saw machine, depending on the resistance to movement of the saw band

Сопротивление перемещению пильной ленты P , Н	Скольжение асинхронного электродвигателя s	Скорость резания V , м/с	Рабочая мощность электропривода ленточного пильного аппарата N , Вт
100	0,014	30,46	3206,25
150	0,021	30,25	4775,65
200	0,028	30,03	6322,58
250	0,035	29,82	7847,02
300	0,041	29,61	9348,98
350	0,048	29,39	10828,46
400	0,055	29,18	12285,46

Таблица 2. Значения потерь мощности в электродвигателе ΔN , мощности N_{ϑ} , потребляемой из электрической сети, КПД электродвигателя η и тока статора I в зависимости от сопротивления перемещению пильной ленты P

Table 2. Values of power loss in the electric motor, power consumed from the electrical network, efficiency of the electric motor, and stator current, depending on the resistance to movement of the saw belt

Сопротивление перемещению пильной ленты P , Н	Рабочая мощность электропривода ленточного пильного аппарата N , Вт	Коэффициент загрузки K_3	Потери мощности в двигателе ΔN , Вт	Мощность N_{ϑ} , потребляемая из электрической сети, Вт	КПД электродвигателя, η	Ток статора I , А
100	3206,25	0,43	524,17	3730,42	0,859	6,67
150	4775,65	0,64	673,30	5448,95	0,876	9,74
200	6322,58	0,84	877,68	7200,26	0,878	12,87
250	7847,02	1,05	1134,83	8981,85	0,874	16,06
300	9348,98	1,25	1442,30	10791,28	0,866	19,29
350	10828,46	1,44	1797,68	12626,14	0,858	22,57
400	12285,46	1,64	2198,60	14484,06	0,848	25,89

Из таблицы 2 видно, что с возрастанием сопротивления перемещению пильной ленты потери мощности в электродвигателе увеличиваются, соответственно возрастает мощность, потребляемая из электрической сети, и растёт ток статора, при этом КПД двигателя имеет максимум при сопротивлениях перемещению пильной ленты 150...250 Н, что объясняется малой долей потерь от мощности, потребляемой из сети. Так, при сопротивлении перемещению пильной ленты 100 Н доля потерь составляет 14,05 %, при 150 Н — 12,36 %, при 200 Н — 12,19 %, при 250 Н — 12,63 %, при 300 Н — 13,37 %. Наиболее эффективное использование ленточнопильного станка «Спектр-70» с электродвигателем привода пильной ленты АИРМ132S4 возможно при сопротивлениях перемещению пильной ленты 150...250 Н, при этом ток статора незначительно превышает номинальный ток двигателя (при 250 Н — 16,06 А) или меньше номинального, что гарантирует надёжность электроснабжения.

В таблице 3 приведены результаты расчёта фактических значений коэффициента перегрузки p , установившейся температуры электродвигателя $\tau_{y_{cm}}$ и продолжительности работы электродвигателя без перегрева t_p .

Таблица 3. Фактические значения коэффициента перегрузки p , установившейся температуры электродвигателя $\tau_{y_{cm}}$ и продолжительность работы электродвигателя без перегрева при принятых значениях сопротивления перемещению пильной ленты P (класс нагревостойкости изоляции — F, $\tau_{\text{don}} = 110^\circ\text{C}$)

Table 3. The actual values of the overload factor and the set temperature of the electric motor, as well as the duration of the electric motor's operation without overheating, based on the accepted values of the resistance to the movement of the saw belt (heat resistance class — F, $\tau_{\text{don}} = 110^\circ\text{C}$)

Сопротивление перемещению пильной ленты P , Н	Коэффициент загрузки K_3	Фактическое значение коэффициента перегрузки p	Фактическое значение установившейся температуры электродвигателя $\tau_{y_{cm}}$, $^\circ\text{C}$	Продолжительность работы электродвигателя без перегрева t_p , мин
100	0,43	0,49	53,81	Не ограничена
150	0,64	0,63	69,13	Не ограничена
200	0,84	0,82	90,11	Не ограничена
250	1,05	1,06	116,51	81,48
300	1,25	1,35	148,08	38,41
350	1,44	1,68	184,56	25,62
400	1,64	2,05	225,72	18,86

Согласно таблице 3, увеличение сопротивления перемещению пильной ленты приводит к возрастанию фактических значений коэффициента перегрузки и установившейся температуры электродвигателя привода ленточного пильного аппарата. При фактических значениях коэффициента перегрузки больших единиц продолжительность работы электродвигателя и соответственно ленточнопильного станка ограничивается, причём чем выше фактическое значение коэффициента перегрузки, тем короче период работы станка.

Скорость подачи прямо пропорциональна скорости резания и для станка «Спектр-70» составляет 5...45 м/мин. При скорости подачи 5 м/мин продолжительность одного продольного пропила бревна длиной 6,7 м составит 1,34 мин. При сопротивлении перемещению пильной ленты 400 Н продолжительность работы станка 18,86 мин (см. таблицу 3), за это время можно произвести $18,86/1,34 = 14$ пропилов, что достаточно для разделки на доски бревна диаметром до 65 см. Таким образом, станок «Спектр-70» с электродвигателем привода пильной ленты АИРМ132S4 можно применять при сопротивлениях перемещению пильной ленты до 400 Н. При указанном сопротивлении коэффициент тепловой перегрузки составляет 2,05, а коэффициент механической перегрузки — 1,64 (определен по методике, приведённой в работе [9]), тогда мощность, которую может развить двигатель не перегреваясь, равна: $1,64 \cdot 7,5 = 12,3$ кВт.

4. Обсуждение и заключение

Полученные аналитические зависимости скорости резания и рабочей мощности асинхронного электропривода ленточного пильного аппарата от сопротивления перемещению пильной ленты учитывают номинальные момент и скольжение электродвигателя, что обеспечивает высокую точность расчёта при режимах работы асинхронного электропривода ленточного пильного аппарата, близких к номинальному и характеризующихся минимальными потерями мощности.

Возрастание сопротивления перемещению пильной ленты от 100 Н до 400 Н приводит к несущественному падению скорости резания с 30,46 м/с до 29,18 м/с, т. е. всего на 1,28 м/с, или на 4,2 %. При этом рабочая мощность асинхронного электропривода ленточного пильного аппарата возрастает почти в четыре раза — с 3206,25 Вт до 12285,46 Вт, потери мощности в электродвигателе увеличиваются, возрастает мощность, потребляемая из электрической сети, и растёт ток статора, повышаются фактические значения коэффициента перегрузки и установившейся температуры электродвигателя привода ленточного пильного аппарата.

Незначительное изменение скорости резания указывает на несущественное падение производительности ленточнопильного станка «Спектр-70» с увеличением сопротивления перемещению пильной ленты.

Коэффициент полезного действия электродвигателя имеет максимум при сопротивлениях перемещению пильной ленты 150...250 Н, что объясняется малой долей потерь от мощности, потребляемой из сети. Так, при сопротивлении перемещению пильной ленты 100 Н доля

потерь составляет 14,05 %, при 150 Н — 12,36 %, при 200 Н — 12,19 %, при 250 Н — 12,63 %, при 300 Н — 13,37 %. Наиболее эффективное использование ленточнопильного станка «Спектр-70» с электродвигателем привода пильной ленты АИРМ132S4 возможно при сопротивлениях перемещению пильной ленты 150...250 Н, при этом ток статора незначительно превышает номинальный ток двигателя или меньше номинального, что гарантирует надёжность электроснабжения.

При фактических значениях коэффициента перегрузки больших единиц продолжительность работы электродвигателя и соответственно ленточнопильного станка ограничивается, причём чем выше фактическое значение коэффициента перегрузки, тем короче период работы станка. Станок «Спектр-70» с электродвигателем привода пильной ленты АИРМ132S4 можно применять при сопротивлениях перемещению пильной ленты до 400 Н. При указанном сопротивлении мощность, которую может развить двигатель не перегреваясь, составляет 12,3 кВт, такое же значение мощности получено расчётом по установленной аналитической зависимости рабочей мощности асинхронного электропривода ленточного пильного аппарата от сопротивления перемещению пильной ленты при последнем значении, равном 400 Н.

Список литературы

1. Фокин С. В., Шпортько О. Н. Технология и оборудование лесопильного производства. М.: ИНФРА-М, 2025. 327 с.
2. Puttkammer K. Analyse der Spannungsverhältnisse in Bandsägeblättern für die Holzbearbeitung // Industrie — Anzeiger. 1975. № 59. P. 1292—1293.
3. Puttkammer K. Bruchsicherheit von Bandsägeblättern für die Holzbearbeitung // Industrie — Anzeiger. 1976. № 14. P. 238—239.
4. Thunell B. Über die Maphaltigkeit beim Trenner mit Bandsagema-schinen // Holztechnologie. 1972. № 1. P. 28—33.
5. Thunell B. Stability of the Band Sow Blade // Holz als Roh- und Werkstoff. 1970. № 9. P. 343—348.
6. Маковский Н. В., Комаров Г. А., Кузнецов В. М. Теория и конструкция деревообрабатывающих машин. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 608 с.
7. Феоктистов А. Е. Ленточнопильные станки. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 152 с.
8. Епифанов А. П., Малайчук Л. М., Гущинский А. Г. Электропривод. СПб.: Лань, 2021. 400 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/168426?category=43855>. Текст: электронный.
9. Кабдин Н. Е., Сторчевой В. Ф. Электропривод. М.: МЭСХ, 2021. 286 с.
10. Glumineau Alain, Morales Jesús de León. Sensorless AC Electric Motor Control. Robust Advanced Design Techniques and Applications. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. 258 p.
11. Modeling, Simulation and Control of Electrical Drives / Edited by Muhammed Fazlur Rahman, Sanjeet K. Dwivedi. London: The Institution of Engineering and Technology, 2019. 741 p.
12. Sadegh Vaez-Zadeh. Control of Permanent Magnet Synchronous Motors. New York: Oxford University Press, 2018. 358 p.
13. Афоничев Д. Н., Аксенов И. И., Пиляев С. Н. Математическая модель асинхронного электродвигателя в программном комплексе SimInTech // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: Материалы междунар. научно-

практич. конф., г. Воронеж, 6 июня 2024 г. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2024. С. 63—69.

14. Автоматика / Д. Н. Афоничев, С. Н. Пиляев, М. Ю. Еремин [и др.]. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2025. 241 с. URL: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b178137.pdf>. Текст: электронный.

References

1. Fokin S. V., Shportko O. N. *Technology and equipment of sawmill production*. Moscow, INFRA-M, 2025. 327 p. (In Russ.)
2. Puttkammer K. Analyse der Spannungsverhältnisse in Bandsägeblättern für die Holzbearbeitung. *Industrie — Anzeiger*, 1975, no. 59, pp. 1292—1293.
3. Puttkammer K. Bruchsicherheit von Bandsägeblättern für die Holzbearbeitung. *Industrie — Anzeiger*, 1976, no. 14, pp. 238—239.
4. Thunell B. *Ober die Maphaltigkeit beim Trenner mit Bandsagemaschinen*. Holztechnologie, 1972, no. 1, pp. 28—33.
5. Thunell B. *Stability of the Band Sow Blade*. Holz als Roh- und Werkstoff, 1970, no. 9, pp. 343—348.
6. Makovsky N. V., Komarov G. A., Kuznetsov V. M. *Theory and construction of woodworking machines*. Moscow, Lesnaya industriya, 1990. 608 p. (In Russ.)
7. Feoktistov A. E. *Band sawing machines*. Moscow, Forest Industry, 1976. 152 p. (In Russ.)
8. Epifanov A. P., Malaychuk L. M., Gushevsky A. G. *Electric drive*. Saint Petersburg, Lan, 2021. 400 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/168426?category=43855>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
9. Kabdin N. E., Storchevoy V. F. *Electric drive*. Moscow, MESKH, 2021. 286 p. (In Russ.)
10. Glumineau Alain, Morales Jesús de León. *Sensorless AC Electric Motor Control. Robust Advanced Design Techniques and Applications*. Switzerland, Springer International Publishing, 2015. 258 p.
11. Modeling, Simulation and Control of Electrical Drives. Edited by Muhammed Fazlur Rahman, Sanjeet K. Dwivedi. London, The Institution of Engineering and Technology, 2019. 741 p.
12. Sadegh Vaez-Zadeh. *Control of Permanent Magnet Synchronous Motors*. New York, Oxford University Press, 2018. 358 p.
13. Afonichev D. N., Aksenov I. I., Pilyaev S. N. Mathematical model of an asynchronous electric motor in the SimInTech software package. *Energy efficiency and Energy conservation in Modern Production and society: proceedings of the International Scientific and practical Conference; Voronezh, June 6, 2024*. Voronezh, Voronezh State Agrarian University, 2024, pp. 63—69. (In Russ.)
14. Afonichev D. N., Pilyaev S. N., Eremin M. Yu., Aksenov I. I., Vasiliev V. V. *Automation*. Voronezh, Voronezh State Pedagogical University, 2025. 241 p. Available at: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b178137.pdf>. (In Russ.)