

3. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

УДК 621.934.2/8

**В.И. Мелехов, И.И. Соловьев, А.В. Емельянов, Е.В. Сазанова,
Т.В. Тюрикова**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА УЗЛА РЕЗАНИЯ КРУГЛОПИЛЬНОГО СТАНКА

Введение. Круглопильные станки широко применяются в лесопильной и деревообрабатывающей промышленности и составляют 30...50% всего станочного парка [Якунин, 1977]. Круглопильные станки используются для раскроя бревен и бруса, заготовок, фанеры и др. Такие станки обладают рядом достоинств, к которым относятся высокая производительность, простота конструкции, эксплуатационная надежность. Показатели работы круглопильных станков в значительной степени определяются работоспособностью круглых пил. В связи с тенденцией интенсификации режимов резания возникает необходимость оптимизации режимов резания и использования тонких пил. Однако применение таких пил требует создания определенных условий для их использования. Одним из серьезных недостатков круглой пилы является недостаточная жесткость и устойчивость в процессе работы.

Известны узлы резания круглопильных станков, в которых круглая пила установлена на пильный вал с опорами и приводится во вращение через передачу или непосредственно от электродвигателя. Крутящий момент передается к пиле с механическими потерями [Глебов, 2010; Санёв, 1980]. Круглая пила установлена на пильный вал и закреплена фланцами. При таком креплении жесткость пилы оказывается недостаточной, что приводит к отклонению диска круглой пилы и потере устойчивости.

Повысить изгибную жесткость пильного диска можно применением контактных и бесконтактных направляющих. Применяют конструкции ко-

лодочных, роликовых, аэростатических, магнитных и электромагнитных направляющих. Применение электромагнитных и аэростатических направляющих позволяет исключить нагрев пильного диска от трения о направляющие и обеспечить стабилизацию пилы во время работы посредством системы управления.

Недостатком круглопильных станков являются колебания диска пилы, которые снижают качество обработки древесины, повышают динамическую напряженность, снижают прочность и приводят к выходу из строя пилы [Якунин, 1977]. Для устранения такого недостатка предлагается улучшить демпфирующие свойства узла резания круглопильного станка. В литературе было предложено и экспериментально подтверждено, что магнитное поле, в котором вращается диск пилы, служит демпфером, увеличивая декремент колебаний [Qiu et al, 2002]. Высокочастотные самовозбуждающиеся колебания, возникающие во время работы пилы, сопровождаются появлением шума, частота и уровень которого не соответствуют санитарным нормам.

Для увеличения надежности работы узла резания, повышения устойчивости круглой пилы, снижения колебаний диска пилы авторами предложено использовать линейный асинхронный дугостаторный электродвигатель (ЛАДД), ротором в котором является сама круглая пила. Разработана математическая модель привода круглой пилы с ЛАДД [Мелехов и др., 2021]. Для проверки адекватности математической модели создана экспериментальная установка.

Цель работы. Экспериментальная оценка разработанной математической модели и анализ характеристик ЛАДД.

Поставлены задачи: исследовать экспериментальные зависимости тягового усилия от мощности, тока, частоты вращения, скольжения, характеристики холостого хода и короткого замыкания; оценить влияние скольжения на мощность и $\cos \varphi$; определить экспериментально величину магнитной индукции в воздушном зазоре; проанализировать эффективность предлагаемого типа привода.

Методика исследования. Для исследования экспериментальных характеристик привода круглой пилы от ЛАДД создана экспериментальная установка (рис. 1, 2). Круглая пила является ротором в ЛАДД, статор выполнен из двух дугообразных индукторов, установленных соосно по обе стороны полотна пилы. Обмотка индукторов состоит из катушек, расположенных в пазах индуктора.

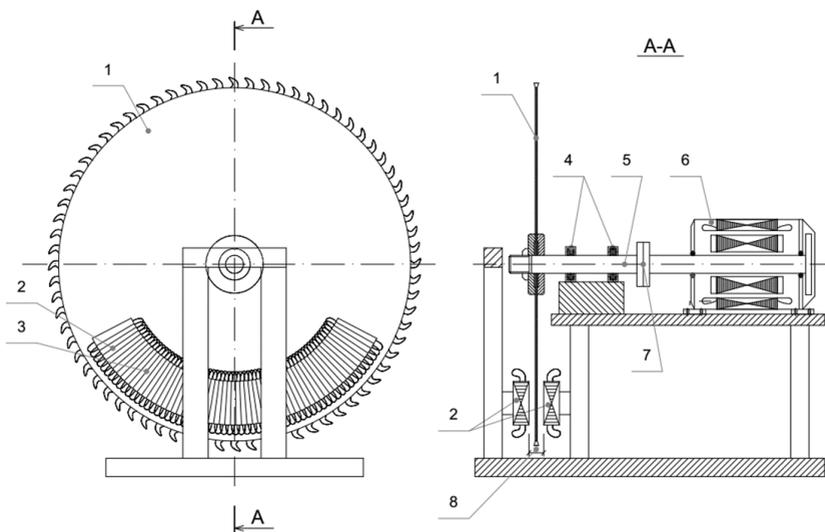


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – круглая пила; 2 – статор; 3 – катушки индукторов статора с пазами, в которых размещена обмотка; 4 – опорные подшипники; 5 – пильный вал; 6 – нагрузочный генератор; 7 – соединительная муфта; 8 – воздушный зазор

Fig. 1. Diagram of the experimental setup:

1 – circular saw; 2 – stator; 3 – coils of stator inductors with slots in which the winding is located; 4 – support bearings; 5 – saw shaft; 6 – load generator; 7 – connecting sleeve; 8 – air gap

Круглая пила 2 установлена на двухопорном пильном валу консольно. С ЛАДД посредством муфты соединен нагрузочный генератор постоянного тока 7. Генератор подключен к блоку нагрузочных резисторов 8 и имитируют нагрузку, возникающую при работе круглой пилы. Блок нагрузочных резисторов имеет ступени регулирования и позволяет варьировать нагрузку на диск пилы и, соответственно, на ЛАДД. Для измерения электрических параметров ЛАДД использовался энергомонитор 3. Частоту вращения диска пилы измеряли бесконтактным цифровым тахометром 6.

Базовые элементы установки:

1. Индукторы ЛАДД дугообразной формы. Число пар полюсов $p = 2$; обмотка петлевая, двухслойная, с полузаполненными пазами по краям; катушки соединены последовательно; число витков в катушке $\omega_k = 36$; диаметр провода 1,25 мм; число пазов $z = 48$; паз 8×26 мм.

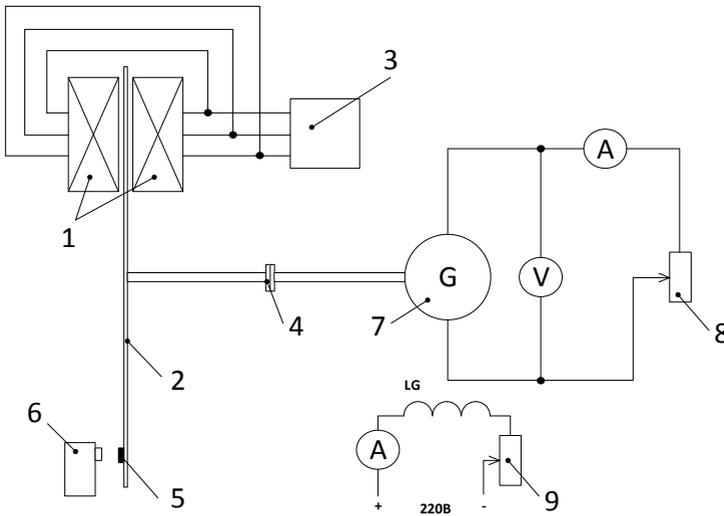


Рис. 2. Электрическая схема экспериментальной установки с ЛАДД для исследования характеристик ЛАДД:

- 1 – двусторонний статор; 2 – диск пилы; 3 – энергомонитор; 4 – муфта;
 5 – отражающий элемент на диске пилы; 6 – цифровой тахометр DT2234A;
 7 – якорь нагрузочного генератора; 8 – блок нагрузочных резисторов;
 9 – резистор для регулировки тока возбуждения

Fig. 2. Electrical diagram of an experimental setup with a linear induction arc-stator motor (LIASM) for studying the characteristics of a LIASM:

- 1 – double-sided stator; 2 – saw blade; 3 – energy monitor; 4 – clutch;
 5 – reflective element on the saw blade; 6 – digital tachometer DT2234A;
 7 – anchor of the load generator; 8 – block of load resistors;
 9 – resistor for adjusting the excitation current

2. Нагрузочный генератор ПЗ1-94. Мощность $P_n = 1,5$ кВт; напряжение $U = 220$ В; ток $I = 8,65$ А; частота вращения $n_n = 1500$ об/мин; $\eta = 79\%$; момент инерции якоря $J_p = 0,021$ кг*м²; сопротивление обмотки якоря $R_{я} = 1,85$ Ом; $R_{доб.п} = 0,501$ Ом; $r_{обм.возб} = 490$ Ом;

3. Нагрузка генератора: блок резисторов ЯС 131/4. Сопротивление 223 Ом, 7 ступеней.

Эксперимент проводили при ступенчатом изменении нагрузки генератора G. Все остальные факторы были неизменными. Результат опыта приведен в табл. 1.

Таблица 1

Влияние нагрузки на ток, частоту и мощность ЛАДД

The influence of load on current, frequency and power of LIASM

Ступени нагрузки	Ток, А по фазам			Суммарная потребляемая мощность, Вт	Частота вращения, об/мин	Нагрузка	
	U, В	I, А					
0	4,76	5,22	4,87	629,9	615	80	0
1	4,76	5,18	4,84	676,7	602	78	0,9
2	4,77	5,19	4,83	691,7	600	74	1
3	4,79	5,2	4,86	736,6	592	70	1,5
4	4,82	5,24	4,89	785,7	582	68	2,1
5	4,92	5,34	4,98	890,3	557	60	3,5
6	4,99	5,37	5,03	966,09	513	50	4,5
7	5,12	5,52	5,18	1150,4	452	38	6,8

По результатам экспериментальных данных рассчитаны параметры ЛАДД, данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные параметры ЛАДД

The calculated parameters of LIASM

Ступени нагрузки	Средний ток, А	$P_{\text{нагр}}$, Вт	Угловая скорость диска пилы ν , м/с	Скольжение, s	$\omega_{\text{диска}}$, рад/с	P_B , на валу ЛАДД без учета мех.потерь, Вт	ΔP – мех. потери, Вт	P_e на валу с учетом мех. потерь	Тяговое усилие $F_{\text{т}}$, Н	Момент M , Н·м
0	4,95	0	15,99	0,07	64,57	0	13,99	13,99	0,861	0,217
1	4,92	70,2	15,65	0,09	63,21	245,6	13,4	193,4	12,14	3,06
2	4,93	74	15,6	0,093	63	238,7	13,32	200,6	12,619	3,18
3	4,95	105	15,39	0,105	62,16	304,3	12,96	241,3	15,397	3,88
4	4,98	142,8	15,13	0,12	61,11	366,1	12,53	292,5	18,992	4,786
5	5,08	210	14,48	0,158	58,4	442,1	11,48	393,3	26,722	6,734
6	5,13	225	13,34	0,22	53,86	468,7	9,71	404,4	29,794	7,508
7	5,27	258,4	11,75	0,32	47,46	516,8	7,56	453,1	37,884	9,547

Для определения расчетных величин приняты характеристики ЛАДД:

$\delta = 0,023$ м – зазор между индукторами статора;

$\Delta = 0,005$ м – толщина диска пилы;

$\tau = 0,172$ м – полюсное деление;

$A_{л1} = 38117$ А/м – линейная токовая нагрузка двух индукторов;

$p = 2$ – число пар полюсов;

$k_{об} = 0,96$ – обмоточный коэффициент;

$L = 0,68$ м – средняя длина индуктора, ширина индуктора 0,11 м;

$\gamma_3 = 5,6 \cdot 10^6$ – удельная проводимость материалы пилы (стали);

$\mu_3 = 200\mu_0$ – относительная магнитная проницаемость диска пилы.

Рассчитана величина скольжения $s = \frac{v_1 - v}{v_1}$, где v_1 – линейная скорость

бегающего магнитного поля $v_1 = 2\tau f_1 = 2 \cdot 0,172 \cdot 50 = 17,2$ м/с;

$\omega_{диска} = \pi n / 30 = 0,105 \cdot n$, рад/с;

Для расчета потерь используется зависимость $\eta = f(P)$ для генератора П 31-94;

момент $M = p_b / \omega$, Н·м;

тяговое усилие $F_x = M / R$, Н;

R – радиус до средней линии индуктора.

Результаты исследования. В результате проведенных опытов исследованы рабочие характеристики ЛАДД (рис. 3 и 4), характеристики холостого хода и короткого замыкания (рис. 5 и 6), механические характеристики, экспериментально подтверждены расчётные значения магнитной индукции.

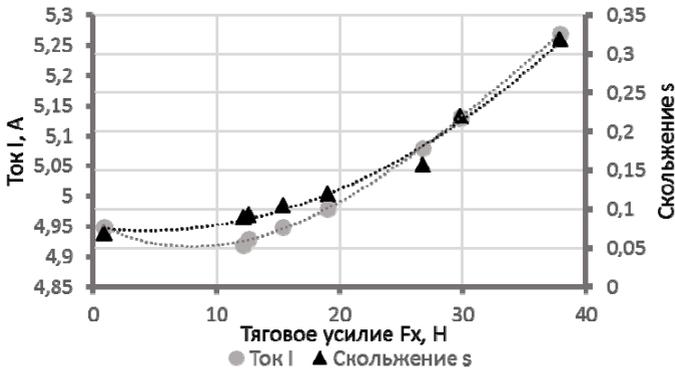


Рис. 3. Рабочие характеристики ЛАДД (зависимости тока и скольжения от тягового усилия, действующего на диск пилы)
 Fig. 3. Engine performance of LIASM (influence of the tractive effort, acting on the saw blade, on power and frequency)

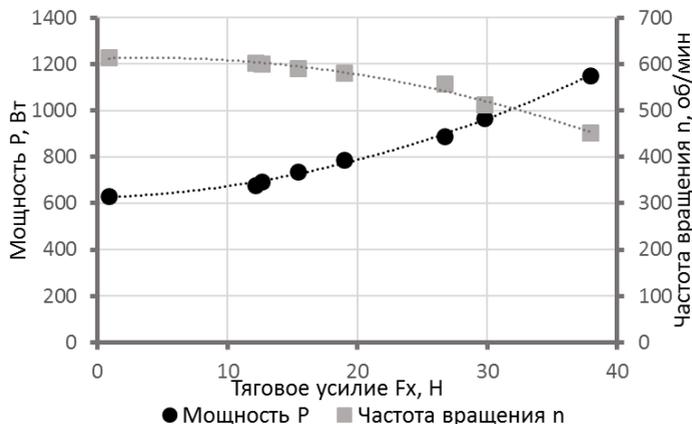


Рис. 4. Рабочие характеристики ЛАДД (зависимости мощности и частоты от тягового усилия)

Fig. 4. Engine performance of LIASM (influence of the tractive effort on power and frequency)

Потребляемая мощность и ток растут одновременно с увеличением силы F_x , ток при этом меняется незначительно (от 4,9А до 5,3А). Полученная токовая зависимость характеризует отличие ЛАДД от традиционного вращающегося асинхронного двигателя.

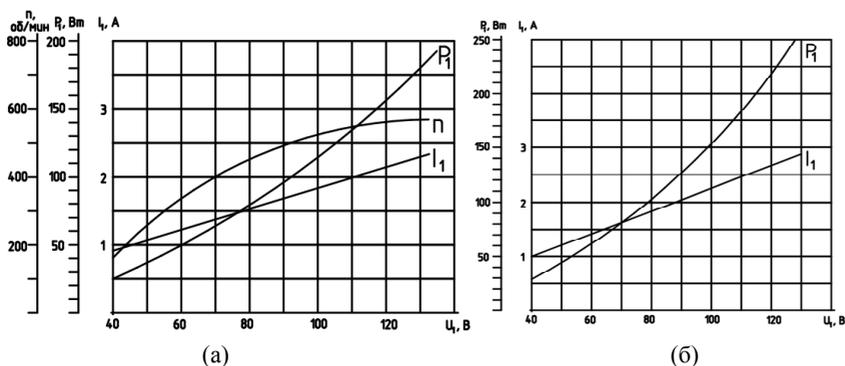


Рис. 5. Характеристики холостого хода (а) и короткого замыкания (б) ЛАДД: P_1 – потребляемая мощность, I_1 – ток статора, n – число оборотов

Fig. 5. Idling characteristic (a) and short circuit (б) characteristic of LIASM: P_1 – power consumption, I_1 – stator current

На рис. 5 приведены характеристики холостого хода и короткого замыкания. Приведенные зависимости ЛАДД показывают соответствие аналогичным зависимостям вращающегося асинхронного двигателя.

На рис. 6 для сравнения приведены характеристики $F_x = f(s)$, полученные экспериментальным путем и рассчитанные согласно двухмерной теории [Ямамура, 1983]. Расчетная кривая (1) располагается выше экспериментальной. Различие в области рабочих скольжений ($s = 0,25-0,3$) составляет 9–17%, но в области малых скольжений ($s < 0,25$) различие больше. Это объясняется тем, что двухмерная теория не учитывает поперечный краевой эффект. Для уточнения методики возможно ввести уточняющие коэффициенты или фиктивные токовые слои [Емельянов и др., 2015].

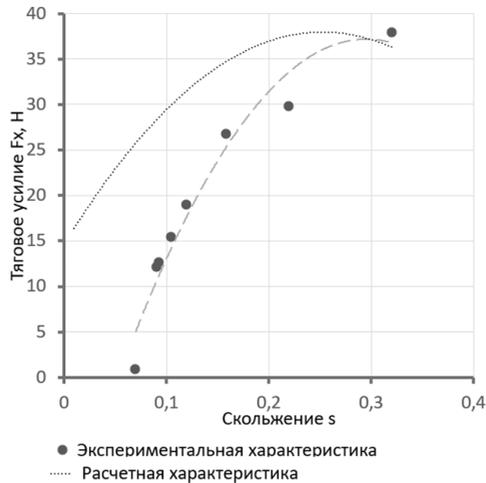


Рис. 6. Механические характеристики ЛАДД $F_x = f(s)$

Fig. 6. Mechanical characteristics of LIASM $F_x = f(s)$

Экспериментально установлено, что низкая электропроводность стального диска пилы снижает эффективность ЛАДД. Для улучшения характеристик линейного двигателя А.Г. Афанасьевым, Е.В. Волянской, А.И. Кузнецовым было предложено установить в роторе ЛАДД постоянные магниты [Афанасьев и др., 2018], что неприменимо для круглой пилы из-за конструктивных особенностей узла резания.

Авторами предложено усовершенствовать характеристики ротора ЛАДД (круглой пилы) путем нанесения на боковые поверхности полотна

пилы материала с высокой электропроводностью (меди). Была разработана технология нанесения меди, проведены опыты и выполнены расчеты. Поверхность пилы оснащали покрытием из фольги толщиной 0,1 мм в виде дуговых сегментов, соединенных с боковой поверхностью пилы клеевой композицией на основе эпоксидного клея.

Для сравнения был проведен эксперимент с диском пилы, не имеющим медного покрытия и диском, покрытым медью. На рис. 7 приведены зависимости тягового усилия от частоты вращения для пильного диска с покрытием медью и без покрытия и для разных напряжений питания (механические характеристики).

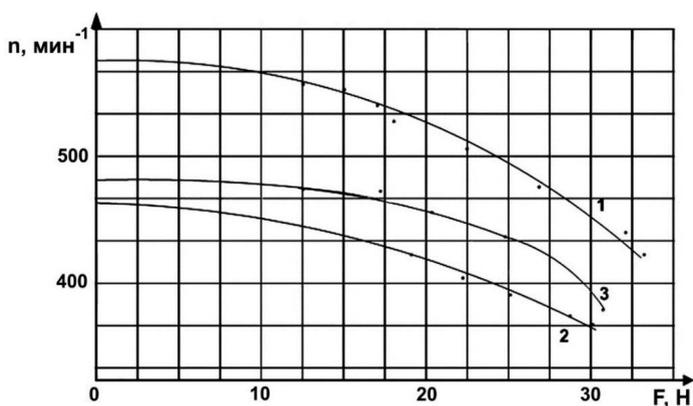


Рис. 7. Механические характеристики ЛАДД:

- 1 – экспериментальная зависимость для стального диска пилы с покрытием медью ($U_n = 220$ В);
- 2 – экспериментальная зависимость для стального диска пилы без покрытия ($U_n = 220$ В);
- 3 – экспериментальная зависимость для стального диска пилы без покрытия ($U_n = 380$ В)

Fig. 7. Mechanical characteristics of LIASM:

- 1 – experimental curve for a copper-plated steel saw blade ($U_l = 220$ V);
- 2 – experimental curve for a steel saw blade without cover ($U_l = 220$ V);
- 3 – experimental curve for a steel saw blade without cover ($U_l = 380$ V)

Для ЛАДД с пильным диском, покрытым медью, тяговое усилие при частоте вращения 500 об/мин увеличивается в 3,25 раза по сравнению с диском без покрытия.

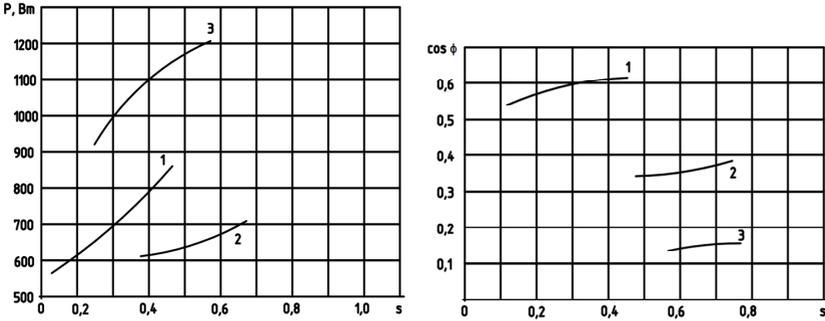


Рис. 8. Зависимости мощности P и $\cos \varphi$ от скольжения s :

- 1 – экспериментальная зависимость для стального диска пилы с покрытием медью ($U_n = 220$ В); 2 – экспериментальная зависимость для стального диска пилы без покрытия ($U_n = 220$ В); 3 – экспериментальная зависимость для стального диска пилы без покрытия ($U_n = 220$ В)

Fig. 8. Influence of slip s on power P and $\cos \varphi$:

- 1 – experimental curve for a copper-plated steel saw blade ($U_l = 220$ V);
 2 – experimental curve for a steel saw blade without cover ($U_l = 220$ V);
 3 – experimental curve for a steel saw blade without cover ($U_l = 380$ V)

На рис. 8 приведены зависимости потребляемой мощности P и $\cos \varphi$ от скольжения s . Отмечено, что одновременно с увеличением тягового усилия двигателя с ротором, которым является полотно пилы с покрытием медью, увеличивается потребляемая мощность, особенно для скольжений $s > 0,5$. $\cos \varphi$ возрастает из-за увеличения активной составляющей вторичного тока и возрастания потерь в статорной обмотке. Для диска пилы без покрытия $\cos \varphi$ не превышает 0,36, для диска с покрытием – 0,6. Увеличение тягового усилия также может быть достигнуто уменьшением воздушного зазора между индукторами (исходный воздушный зазор составил 35 мм) и повышением напряжения на статоре до 380...500 В.

Распределение магнитного поля в воздушном зазоре определяли датчиком Холла, который располагали в зазоре между индуктором и полотном пилы. В ходе эксперимента проводили замеры магнитной индукции в воздушном зазоре между индукторами и стальным диском в нескольких точках (рис. 9).

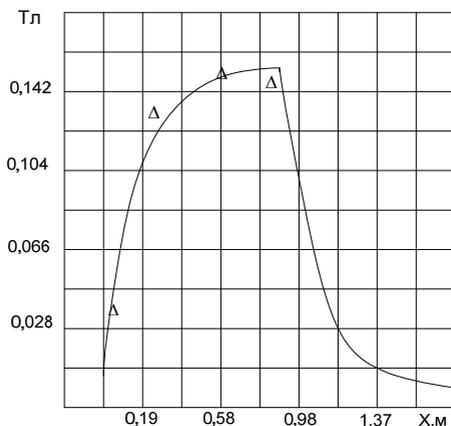


Рис. 9. Экспериментальные (Δ) и расчетные (—) значения магнитной индукции B в воздушном зазоре ЛАДД

Fig. 9. Magnetic induction B distribution in the air gap. Experimental (Δ) and calculated (—) values

Результаты замеров хорошо совпадают с рассчитанными по двумерной теории (различие не более 10%). Для скольжения $s = 0,3$ значение B_m , полученное расчетом, составляет 0,153 Тл, измеренное в ходе эксперимента с помощью датчика Холла – 0,156 Тл. Погрешность в пределах 2%.

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования характеристик линейного электропривода узла резания круглопильного станка подтвердили возможность применения в узле резания ЛАДД, что позволяет эффективно применять тонкие пилы, обеспечивая их работоспособность. Полученные результаты подтверждают адекватность математической модели ЛАДД. Предложенная технология нанесения на боковые поверхности полотна пилы материала с высокой электропроводностью (меди) позволяет повысить эффективность работы привода узла резания с ЛАДД.

Библиографический список

Афанасьев А.Г., Волянская Е.В., Кузнецов А.И. Пильный модуль с кольцевой пилой // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды XI Международного евразийского симпозиума 20–23 сентября 2016 г. / Минобрнауки России, Уральский государственный лесотехнический университет, Уральский лесной технопарк. Екатеринбург, 2016. С.160–162.

Глебов И.Т. Резание древесины. СПб.: Лань, 2010. 256 с.

Емельянов В.П., Емельянов А.В. Моделирование реальной геометрии индукторов линейных асинхронных двигателей // Современные тенденции в науке и образовании: сб. трудов по матер. Междунар. научно-практ. конференции в 5 ч. Ч. III (28 февраля 2015 г.). М.: АР-Консалт, 2015. С.11–12.

Мелехов В.И., Соловьев И.И., Емельянов А.В. Теоретические исследования узла резания круглопильного станка с приводным устройством на основе линейного асинхронного дугостаторного двигателя // Вестник ПГТУ. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. №2 (в печати).

Осмоловский Д.С. Снижение шума от круглопильных деревообрабатывающих станков применением унифицированных вибродемпфирующих фрикционных прокладок (ВДПСТ) между пильным диском и зажимным фланцем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2011. 24 с.

Памфилов Е.А., Пыриков П.Г. Применение управляемых магнитных полей в функциональных узлах деревообрабатывающего оборудования // ИВУЗ. Лесной журнал. 2006. № 2. С. 85–91 .

Пат. № 2005139674/03 РФ. МКИ. Отжимная аэростатическая направляющая ленточной пилы / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин, № 2307024; заяв. 27.09.2007; бюл. № 18.

Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. М.: Лесная пром-сть, 1990. 240 с.

Санев В.И. Обработка древесины круглыми пилами. М.: Лесная пром-сть, 1980. 232 с.

Свечарник Д.В. Электрические машины непосредственного привода: Безредукторный электропривод. М.: Энергоатомиздат, 1988. 208 с.

Соколов М.М., Сорокин Л.К. Электропривод с линейными асинхронными двигателями. М.: Энергия, 1974. 136 с.

Стахив Ю.М. Работоспособность плоских круглых пил. М.: Лесная промышленность, 1989. 384 с.

Якунин Н.К. Круглые пилы и их эксплуатация. М.: Лесная пром-сть, 1977. 200 с.

Ямамура С. Теория линейных асинхронных двигателей / пер. с англ. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-е, 1983. 180 с.

Aiken Etal H.H. United states patent 3327696. Saw stabilizing means and method : CI. 125-13; appl. no. 402878; filed Oct. 9, 1964; patented June 27, 1967

Peabody Frank, Dunford W.G. An analysis of a thin steel rotor, double sided annular, linear induction motor // Int. Conf. Maglev and Linear Drives, Vancouver, May 14-16, 1986. New York. 1986. No. 4. P. 143–198.

Qiu Jinbo, Huang Xieqing, Wang Daqing, Xiong Youlun Experiments on the Active Control of Circular Disk Vibration // Journal of low frequency noise, vibration and active control. 2002. No. 4, P. 229–238.

Richard R. Martin. United states patent 5497684A. Method for reducing the kerf with made by a circular saw blade : B 27b 5/00/; appl. no.199575; filed Feb. 22, 1994; patented Mar. 12, 1996.

Vasques C.M.A., Rodrigues J.D. Design of ‘quiet’ circular saw blades through added damping // 8^o Congresso Nacional de Mecânica Experimental Guimarães, (21–23 de Abril, 2010).

References

Afanasyev A.G., Volyanskaya E.V., Kuznetsov A.I. Saw module with an annular saw. *Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century: proceedings of the XI International Eurasian Symposium September 20-23, 2016 / Ministry of Education and Science of Russia, Ural State Forestry University, Ural Forest Technopark. Yekaterinburg, 2016, pp. 160–162. (In Russ.)*

Aiken Etal H.H. United states patent 3327696. Saw stabilizing means and method : CI. 125-13; appl. no. 402878; filed Oct. 9, 1964; patented June 27, 1967

Emelyanov V.P., Emelyanov A.V. Modeling the real geometry of inductors of linear induction motors. *Modern trends in science and education: a collection of works based on the materials of the International Scientific and Practical Conference in 5 parts. P. III (February 28, 2015). Moscow: AR-Consult, 2015, pp. 11–12. (In Russ.)*

Glebov I.T. Wood cutting. SPb.: Lan, 2010. 256 p. (In Russ.)

Melekhov V.I., Soloviev I.I., Emelyanov A.V. Theoretical studies of the circular saw cutting unit with a drive device, based on a linear induction arc-stator motor. *Vestnik PGTU. Series: Materials. Constructions. Technologies*, 2021, no. 2. (in the press). (In Russ.)

Osmolovsky D.S. Reducing noise from circular saw woodworking machines by using unified vibration damping friction pads (VDPST) between the saw blade and the clamping flange: Abstract of thesis. dis. cand. sciences. St. Petersburg, 2011. 24 p. (In Russ.)

Pamfilov E.A., Pyrikov P.G. Application of controlled magnetic fields in functional units of woodworking equipment. *IVUZ. Forest Journal*, 2006, no. 2, pp. 85–91. (In Russ.)

Pat. No. 2005139674/03 RF. MKI. Squeezing-out aerostatic guide of the band saw / G.F. Prokofiev, I.I. Ivankin. No. 2307024; opub. 27.09.2007; bul. No. 18. (In Russ.)

Peabody Frank, Dunford W.G. An analysis of a thin steel rotor, double sided annular, linear induction motor. *Int. Conf. Maglev and Linear Drives*, Vancouver, May 14–16, 1986. New York, 1986, no. 4, pp. 143–198.

Prokofiev G.F. Intensification of wood sawing with frame and band saws. M. : Lesnaya prom-st, 1990. 240 p. (In Russ.)

Qiu Jinbo, Huang Xieqing, Wang Daqing, Xiong Youlun. Experiments on the Active Control of Circular Disk Vibration. *Journal of low frequency noise, vibration and active control*, 2002, no. 4, pp. 229–238

Richard R. Martin. United states patent 5497684A. Method for reducing the kerf with made by a circular saw blade : B 27b 5/00/; appl. no.199575; filed Feb. 22, 1994; patented Mar. 12, 1996.

Sanev V.I. Wood processing with circular saws. M.: Lesnaya prom-st, 1980. 232 p. (In Russ.)

Sokolov M.M., Sorokin L.K. Electric drive with linear asynchronous motors. M.: Energiya, 1974. 136 p. (In Russ.)

Stakhiev Y.M. Efficiency of flat circular saws. M.: Forest Industry, 1989. 384 p. (In Russ.)

Svecharnik D.V. Direct drive electric machines: Gearless electric drive. M.: Energoatomizdat, 1988. 208 p. (In Russ.)

Vasques C.M.A., Rodrigues J.D. Design of ‘quiet’ circular saw blades through added damping. 8^o Congresso Nacional de Mecânica Experimental Guimarães, (21–23 de Abril, 2010).

Yakunin N.K. Circular saws and their maintenance. M.: Lesnaya prom-st, 1977. 200 p. (In Russ.)

Yamamura S. Theory of linear induction motors: Translation from English L.: Energoatom, Leningrad branch, 1983. 180 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 26.05.2021

Мелехов В.И., Соловьев И.И., Емельянов А.В., Сазанова Е.В., Тюрикова Т.В. Экспериментальное исследование характеристик линейного электропривода узла резания круглопильного станка // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 204–220. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.204-220

Широкое применение круглопильных станков в лесопильной и деревообрабатывающей промышленности обусловлено их высокой производительностью, простотой, надежностью конструкции, низкой энергоемкостью. Для повышения полезного выхода пилопродукции применяют тонкие пилы. Существенным недостатком, ограничивающим использование таких пил, является их недостаточная жесткость и устойчивость во время работы. Для повышения изгибной жесткости круглой пилы применяются щелевые, роликовые, аэростатические и электромагнитные направляющие. Большинство направляющих создают сопротивление вращению диска пилы. К недостаткам круглопильных станков следует отнести механические потери при передаче крутящего момента от двигателя диску пилы. Колебания диска круглой пилы во время работы являются еще одним недостатком тонких круглых пил, которые снижают качество обработки древесины, приводят к поломкам пил и повышенному уровню шума. Для увеличения надежности узла резания, стабилизации диска пилы во время работы, уменьшения колебаний пильного

диска предложено использовать линейный асинхронный дугостаторный двигатель (ЛАДД), ротором в котором является сама круглая пила. Для проверки разработанной математической модели ЛАДД с круглой пилой в качестве ротора была создана экспериментальная установка. Целью работы явилась экспериментальная оценка математической модели и анализ рабочих и механических характеристик ЛАДД, характеристики холостого хода и короткого замыкания двигателя, зависимости мощности и $\cos \phi$ от скольжения. Экспериментально установлено влияние электропроводности диска пилы на эффективность ЛАДД. Для увеличения тягового усилия предложено нанести на боковые поверхности диска пилы материал с высокой электропроводностью (медь). Проведенный эксперимент показал существенное увеличение тягового усилия для диска пилы с покрытием медью. Установленная экспериментально величина магнитной индукции в воздушном зазоре ЛАДД показала корректное совпадение с результатами расчетов по разработанной математической модели.

Ключевые слова: круглая пила, линейный асинхронный дугостаторный двигатель, круглопильный станок; узел резания; устойчивость круглой пилы.

Melekhov V.I., Soloviev I.I., Emelyanov A.V., Sazanova E.V., Tyurikova T.V. Experimental study of the characteristics of the circular saw cutting unit linear electric drive. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2021, iss. 237, pp. 204–220 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.204-220

The circular saws are widespread in sawmill and woodworking industry due to their high productivity, simplicity, design reliability, and low energy consumption. Thin saws are used to increase the effective yield of sawn timber. The insufficient rigidity and stability during operation of such saws limit their use. Slotted, roller, aerostatic and electromagnetic guides are applied to increase the bending stiffness of a circular saw. Most such guides create resistance to the rotation of the saw blade. Mechanical losses during the torque transmission from the motor to the saw blade is one of the circular saws disadvantages. Another disadvantage of thin circular saws is vibration of the circular saw blade during operation, which reduce the quality of wood processing, lead to the saw crashes and increased noise levels. It is proposed to use a linear induction arc-stator motor (LIASM), implementing the circular saw is the rotor, to increase the reliability of the cutting unit, stabilize the saw blade during operation, and reduce the oscillations of the saw blade. The experimental setup was created to analyze the developed mathematical model of a LIASM with a circular saw as a rotor. The aim of the work is the experimental evaluation of the mathematical model and the analysis of operating and mechanical LIASM characteristics, idling and short-circuit characteristics of the motor, the dependence of power and $\cos \phi$ on slip. The influence of the saw blade electrical conductivity on the efficiency of the LIASM has been experimentally established. It was proposed to apply a material with high electrical

conductivity (copper) on the side surfaces of the saw blade to increase the tractive effort of the drive. The carried-out experiment showed a significant increase in the tractive effort for a copper-coated saw blade. The experimentally established values of the magnetic induction in the air gap of the LIASM showed good coincidence with the calculated results from the developed mathematical model.

Key words: circular saw, linear asynchronous arc-stator motor, cutting unit, stability of the circular saw.

МЕЛЕХОВ Владимир Иванович – профессор кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, действительный член РАЕН и Академии проблем качества РФ, член Координационного совета по современным проблемам лесоведения Международной академии лесоведения. Аттестованный эксперт РФ по вопросам лесоведения, технологии и оборудования для деревообрабатывающего производства, доктор технических наук. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2583-3012>

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: v.melekhov@narfu.ru

MELEKHOV Vladimir I. – DSc (Technical), Professor, Professor of the Department of Timber Industry and Material Processing of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, full member of the Russian Academy of Natural Sciences and the Academy of Quality Problems of the Russian Federation, member of the Coordination Council on Modern Problems of Timber Science of the International Timber Academy. Certified expert of the Russian Federation on wood science, technology and equipment for woodworking production. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2583-3012>

163002, Severnaya Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: v.melekhov@narfu.ru

СОЛОВЬЕВ Иван Иванович – доцент кафедры электроэнергетики и электротехники Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, кандидат технических наук. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2008-7073>

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: i.solovev@narfu.ru

SOLOVIEV Ivan I. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Electric Power and Electrical Engineering of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2008-7073>

163002, Severnaya Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: i.solovev@narfu.ru

ЕМЕЛЬЯНОВ Александр Владимирович – аспирант кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0858-6467>

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: emelyanov.a@live.com

EMEL'YANOV Alexander V. – PhD student of the Department of Timber Industry and Material Processing of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0858-6467>.

163002, Severnaya Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: emelyanov.a@edu.narfu.ru

САЗАНОВА Екатерина Владимировна – доцент кафедры экономики высшей школы экономики, управления и права САФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, кандидат экономических наук. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5731-7517>.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: e.sazanova@narfu.ru

SAZANOVA Ekaterina V. – PhD (Economics), Associate Professor of the Department of Economics, Higher School of Economics, Management and Law of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5731-7517>

163002, Severnaya Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: e.sazanova@narfu.ru

ТЮРИКОВА Татьяна Витальевна – доцент кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, кандидат технических наук. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3592-310X>

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: t.turikova@narfu.ru

TYURIKOVA Tatiana V. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Timber Industry and Material Processing of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3592-310X>.

163002, Severnaya Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: t.turikova@narfu.ru