

УДК 674.093

**А.Е. Алексеев, В.П. Емельянов, Н.И. Маркин**

Архангельский государственный технический университет

Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры технологии конструкционных материалов и машиностроения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 180 научных трудов в области лесопиления.

Тел.: (8182) 21-61-63



Емельянов Владимир Павлович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, декан факультета промышленной энергетики Архангельского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы. Имеет более 80 печатных работ в области электромеханики и электропривода.

Тел.: (8182) 21-61-79



Маркин Николай Иванович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Ленинградский институт авиационного приборостроения, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 печатных работ в области автоматизации технологических процессов и линейного электропривода в лесопромышленном комплексе.

Тел.: (8182) 21- 89 -36



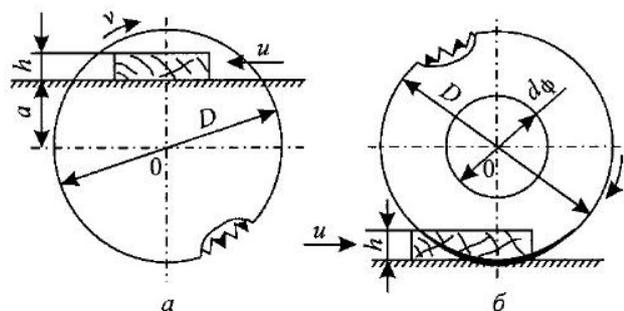
## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЗЛА РЕЗАНИЯ МАЯТНИКОВОГО ТОРЦОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА С ЛИНЕЙНЫМ ПРИВОДОМ

Определены технологические параметры торцовочного устройства с приводом главного движения от цилиндрического асинхронного линейного электродвигателя и процесса торцевания пиломатериалов.

Ключевые слова: торцовочный станок, линейный привод, маятниковая схема.

Для повышения эффективности работы узла резания маятникового торцовочного устройства нами предложено применять линейный асинхронный электропривод.

Рис. 1. Функциональная схема круглопильного станка для поперечной распиловки древесины с нижним (а) и верхним (б) расположением пилы



Функциональная схема процесса торцевания на однопильном круглопильном торцовочном устройстве для поперечной распиловки пиломатериалов приведена на рис. 1. Пила закрепляется на пильном валу и вращается с постоянной скоростью главного движения  $v$ . Распиливаемая заготовка базируется на столе или на суппорте, каретке, конвейере. В случае неподвижности заготовки движение подачи осуществляется пилой с постоянной скоростью подачи  $u$  (рис. 1, б). Угол перерезания волокон при поперечной распиловке древесины  $\psi = 90^\circ$ .

Расчет кинематических параметров устройства производят аналогично продольной распиловке (рис. 2, а). Пила 3 вращается с постоянной скоростью главного движения  $v$ . Распиливаемая заготовка 1 перемещается подающими вальцами 2 (в некоторых станках конвейером) по столу 4. В результате сложения этих двух движений траектория резания представляет собой циклоиду.

Ввиду того, что скорость главного движения в несколько десятков раз больше скорости подачи, то ее и принимают за скорость резания. Угол между направлениями векторов скоростей резания и подачи – кинематический угол встречи  $\theta$ , он же является и углом перерезания волокон древесины  $\psi$ . Эти углы изменяются в пределах от  $\theta_{\text{вх}}$  (угол входа зуба пилы в древесину) до  $\theta_{\text{вых}}$  (угол выхода зуба из пропила). В расчетах используют средние значения углов  $\theta_{\text{ср}}$  и  $\psi_{\text{ср}}$ .

Функциональная схема круглопильного станка для продольной распиловки древесины с верхним расположением пилы приведена на рис. 2, б. При распиловке лесоматериалы в станке базируются и перемещаются, как правило, гусеницей. Для обеспечения пропила на всю толщину заготовки зубья пилы специальным конструктивным решением выведены из пропила на 5...10 мм.

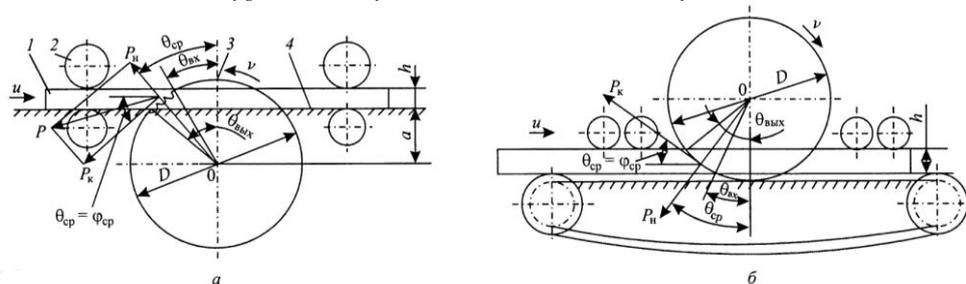


Рис. 2. Функциональная схема круглопильного станка для продольной распиловки древесины с нижним (а) и верхним (б) расположением пилы  
дачи совпадает по направлению с вектором скорости резания.

Расчеты кинематических параметров, силы и мощности резания во всех случаях идентичны и сводятся к следующему [2, 5, 7, 8].

Скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000}, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр пилы, мм;

$n$  – частота вращения пилы,  $\text{мин}^{-1}$ .

Подача на зуб

$$u_z = \frac{u \cdot 1000}{zn}, \quad (2)$$

где  $u$  – скорость подачи, м/мин;

$z$  – число зубьев на пиле, шт.

Кинематический угол встречи на выходе зубьев пилы из материала

$$\theta_{\text{вых}} = \arccos \frac{a}{D/2}, \quad (3)$$

где  $a$  – расстояние от оси вращения пилы до поверхности стола, мм.

Кинематический угол встречи на входе зубьев в пропила

$$\theta_{\text{вх}} = \arccos \frac{a+h}{D/2}. \quad (4)$$

где  $h$  – толщина распиливаемого материала, мм.

Средний кинематический угол встречи, как и средний угол перерезания волокон древесины,

$$\theta_{\text{ср}} = \psi_{\text{ср}} = \frac{\theta_{\text{вх}} + \theta_{\text{вых}}}{2}. \quad (5)$$

Средняя толщина стружки при пилении пилами:

с плющенными зубьями, наплавкой и пластинками из твердого сплава

$$e_{\text{ср}\Delta} = u_z \sin \theta_{\text{ср}}; \quad (6)$$

с разведенными зубьями

$$e_{\text{ср}\Delta} = u_z \frac{b}{s} \sin \theta_{\text{ср}}, \quad (7)$$

где  $b = s + 2s_0$  – ширина пропила, мм;

$s$  – толщина пилы, мм;

$s_0$  – уширение зубьев пилы на сторону, мм.

Касательная составляющая силы резания

$$P_{\text{к}} = \frac{kbhiu}{60v_{\text{ср}}}, \quad (8)$$

где  $k$  – удельное сопротивление резанию, МПа,

$$k = a_{\text{п}} a_{\text{в}} a_{\text{в}} (k_{\text{п}} + k_{\text{з}} + k_{\text{тр}}); \quad (9)$$

$a_{\text{п}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий породу распиливаемой древесины: для липы, ели, сосны, лиственницы, березы, бука, дуба и ясеня соответственно равен 0,80; 0,90; 1,00; 1,15; 1,25; 1,40; 1,55; 1,70;

$a_{\text{в}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влажность  $W$  распиливаемой древесины: при  $W = 8 \dots 12$ ;  $18 \dots 22$ ;  $25 \dots 30$ ;  $50 \dots 70^*$ ;  $> 70^*$  % соответственно равен 1,00; 1,07; 1,08; 1,13; 1,19;

\* Для мерзлой древесины  $a_{\text{в}} = 1,5$ .

\*\* При  $v < 50$  м/с в формулу (10) вместо  $v$  подставляют  $(90 - v)$ .

$a_b$  – поправочный коэффициент, учитывающий схему пиления: встречное пиление  $a_b = 1,0$ ; попутное – 1,1;  
 $k_{п}, k_3, k_{тр}$  – удельное сопротивление резанию по передней и задней грани зубьев пилы, МПа, и от трения опилок о стенки пропила, Н/мм<sup>2</sup>;  
 $i$  – количество пил, участвующих в резании, шт.

Удельное сопротивление резанию, МПа, при средней толщине стружки  $e_{cp} > 0,1$  мм:

по передней грани зубьев пилы

$$k_{п} = (0,196 + 0,00392 \theta_{cp})\delta + (0,0686 + 0,00147 \theta_{cp})v^{**} - (5,4 + 0,167 \theta_{cp}), \quad (10)$$

где  $\delta$  – угол резания;

по задней грани зубьев пилы

$$k_3 = \frac{a_p p}{e_{cp}}, \quad (11)$$

где  $a_p$  – коэффициент, учитывающий затупление зубьев пилы,

$$a_p = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{\rho_0}; \quad (12)$$

$\Delta\rho$  – приращение радиуса затупления зубьев за время их работы, мкм,

$$\Delta\rho = \frac{A\check{e}nT}{1000}; \quad (13)$$

$A$  – приращение радиуса затупления главной режущей кромки за 1 м пути резания: при пиления хвойных и мягколиственных пород древесины  $A = 0,001$  мкм/м; для твердолиственных пород  $A = 0,0013$  мкм/м;

$\check{e}$  – длина дуги резания, мм,

$$\check{e} = \frac{h}{\sin \theta_{cp}}; \quad (14)$$

$T$  – продолжительность непрерывной работы станка, мин;

$\rho_0$  – начальный радиус закругления главной режущей кромки после заточки,  $\rho_0 = 10$  мкм;

$p$  – фиктивная удельная сила резания по задней грани зубьев пилы,

$$p = 3,92 + 0,0353\theta_{cp}.$$

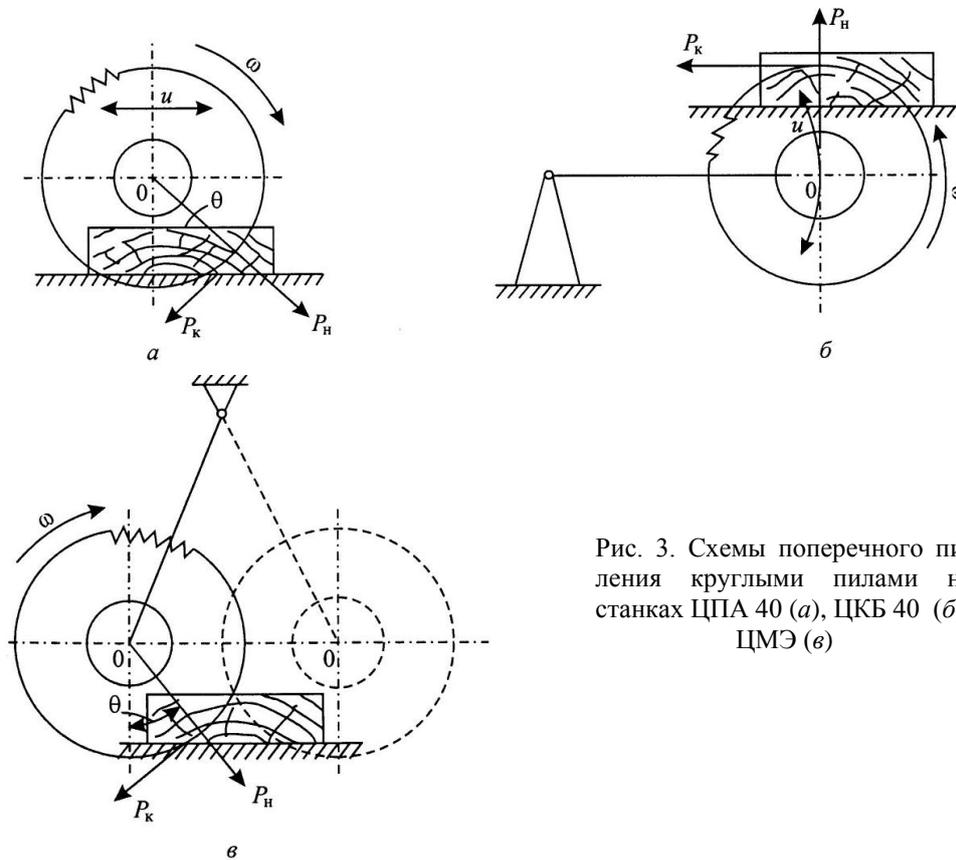


Рис. 3. Схемы поперечного пиления круглыми пилами на станках ЦПА 40 (а), ЦКБ 40 (б), ЦМЭ (в)

Удельное сопротивление от трения опилок о стенки пропила, Н/мм<sup>2</sup>,

$$k_{т.п.} = \frac{\alpha h}{b}, \quad (15)$$

где  $\alpha$  – интенсивность трения опилок о стенки пропила: при пилении пилами с плющеными зубьями  $\alpha_{\Delta} = 0,57$  МПа, с разведенными зубьями  $\alpha_{\wedge} = 0,71$  МПа.

При срезании микростружки ( $e_{ср} < 0,1$  мм)

$$k_M = k_{п.м} + k_{з.м} + k_{т.п.}; \quad (16)$$

$$k_{п.м} = k_{п.} + k_{з.м} + k_{т.п.}; \quad (17)$$

$$k_{з.м} = \frac{(a_p - 0,8)p}{e_m}. \quad (18)$$

Потребная мощность электродвигателя механизма резания, кВт,

$$N = \frac{P_k v}{1000\eta}, \quad (19)$$

где  $\eta$  – КПД привода: для встроенного электропривода  $\eta = 0,9$ ; с ременной передачей  $\eta = 0,8$ .

Схемы приложения сил при поперечном пилении пиломатериалов круглыми пилами на станках ЦПА 40, ЦКБ 40 и ЦМЭ приведены на рис. 3.

В случае маятникового исполнения узла резания торцовочного станка (рис. 3, б, в) расчет силы резания сводится к следующему.

Касательная составляющая силы резания

$$P_k = \frac{k b h u}{60 v}, \quad (20)$$

где  $k$  – удельная сила резания, МПа,

$$k = a_n a_w (k_n + k_3). \quad (21)$$

При  $e_{cp} > 0,1$  мм

$$k_n = 62 - 14b + (0,42 - 0,006\gamma)\varphi, \quad (22)$$

где  $b \leq 3,5$  мм;

$\gamma$  – передний угол,  $\gamma = 90 - \delta$ ;

$\varphi$  – угол боковой заточки в теле резца,  $\varphi = 45 \dots 80^\circ$ .

Удельное сопротивление резанию по задней грани зубьев пилы определяют по формуле (11), где  $a_p$  и  $e_{cp}$  – рассчитывают по формулам продольного пиления;  $p = 1,0$  Н/м.

Расчет мощности резания, построение графика стружкообразования и его анализ осуществляют аналогично продольной распиловке круглыми пилами.

Цилиндрический линейный асинхронный двигатель (ЦЛАД) позволяет исключить применение промышленных механических передач и таким образом повысить энергетическую эффективность привода. ЦЛАД состоит из индуктора с ферромагнитным стержнем. Обмотка создает бегущее со скоростью  $v_1 = 2 \tau f_1$  магнитное поле, наводящее ЭДС во вторичном элементе. Под действием ЭДС появляется ток, при взаимодействии которого с магнитным полем и возникает тяговое усилие, обуславливающее движение вторичного элемента, соединенного с исполнительным механизмом и приводящего его в движение.

Обоснование параметров узла резания торцовочного устройства с линейным электроприводом при возвратно-поступательном движении суппорта дано в работах [1, 4].

При маятниковом исполнении рычажного механизма привода перемещения узла резания круглопильного торцовочного станка (рис. 4) необходимо согласование энергетических параметров процесса торцевания с параметрами линейного электропривода. В общем случае при расчете параметров движения

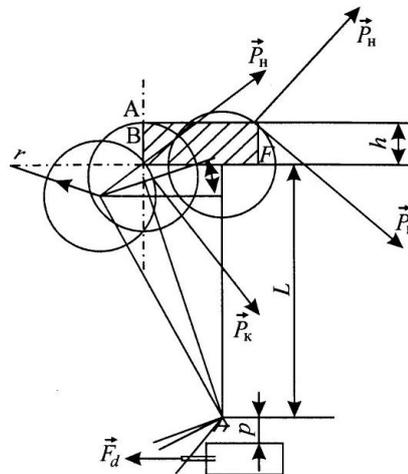


Рис. 4. Расчетная схема рычажного механизма привода перемещения узла резания круглопильного торцовочного станка: А – точка входа зуба пилы в древесину; В – точка выхода зуба из древесины;  $h$  – высота пропила (толщина доски), мм;  $r$  – радиус пилы, мм

вторичного элемента ЦЛАД [3, 6] предполагается, что его перемещению препятствует сила  $F_d$ . Расстояние  $L$  выбирают исходя из технологических и конструктивных соображений, условий размещения стола, высоты обслуживаемого оборудования, расстояния перемещения пилы и т. д.

Для построения графика зависимости угла резания от угла отклонения рычага (рис. 5) определяли следующие параметры: расстояние от правой и левой кромок доски до вертикальной оси симметрии при длине рычага  $L$  до оси вращения; углы отклонения рычага в разные моменты пиления (когда угол входа пилы приходится на левую кромку доски, а угол выхода – на нижнюю пластъ доски; когда угол входа пилы приходится на верхнюю пластъ доски, а угол выхода – на нижнюю пластъ доски; когда угол входа пилы приходится на верхнюю пластъ доски, а угол выхода – на правую кромку доски). Для расчета общей зависимости угла резания от угла отклонения рычага определяли углы его отклонения в граничных (А, В, F) точках: 24°, 14°, 6°.

При решении дифференциального уравнения движения вторичного элемента ЦЛАД выражали угол  $\beta$  отклонения рычага через перемещение вторичного элемента с учетом угла изгиба рычага.

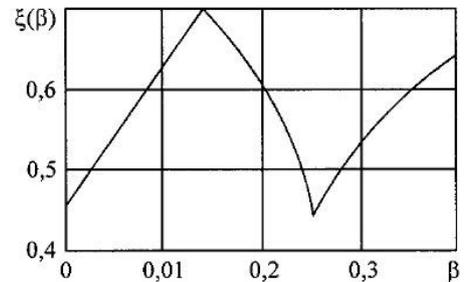
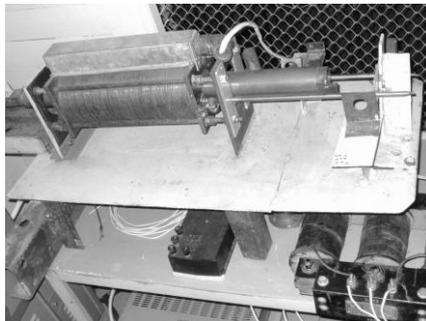
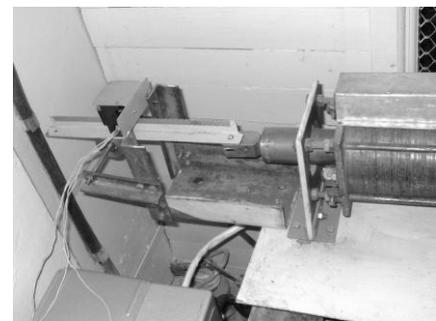


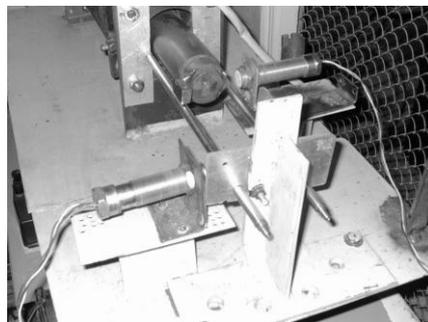
Рис. 5. Изменение угла резания от угла отклонения рычага



а



б



в

Рис. 6. Экспериментальная установка (электропозиционер): а – ЦЛАД; б – устройство измерения перемещения и скорости перемещения штока; в – оптические датчики

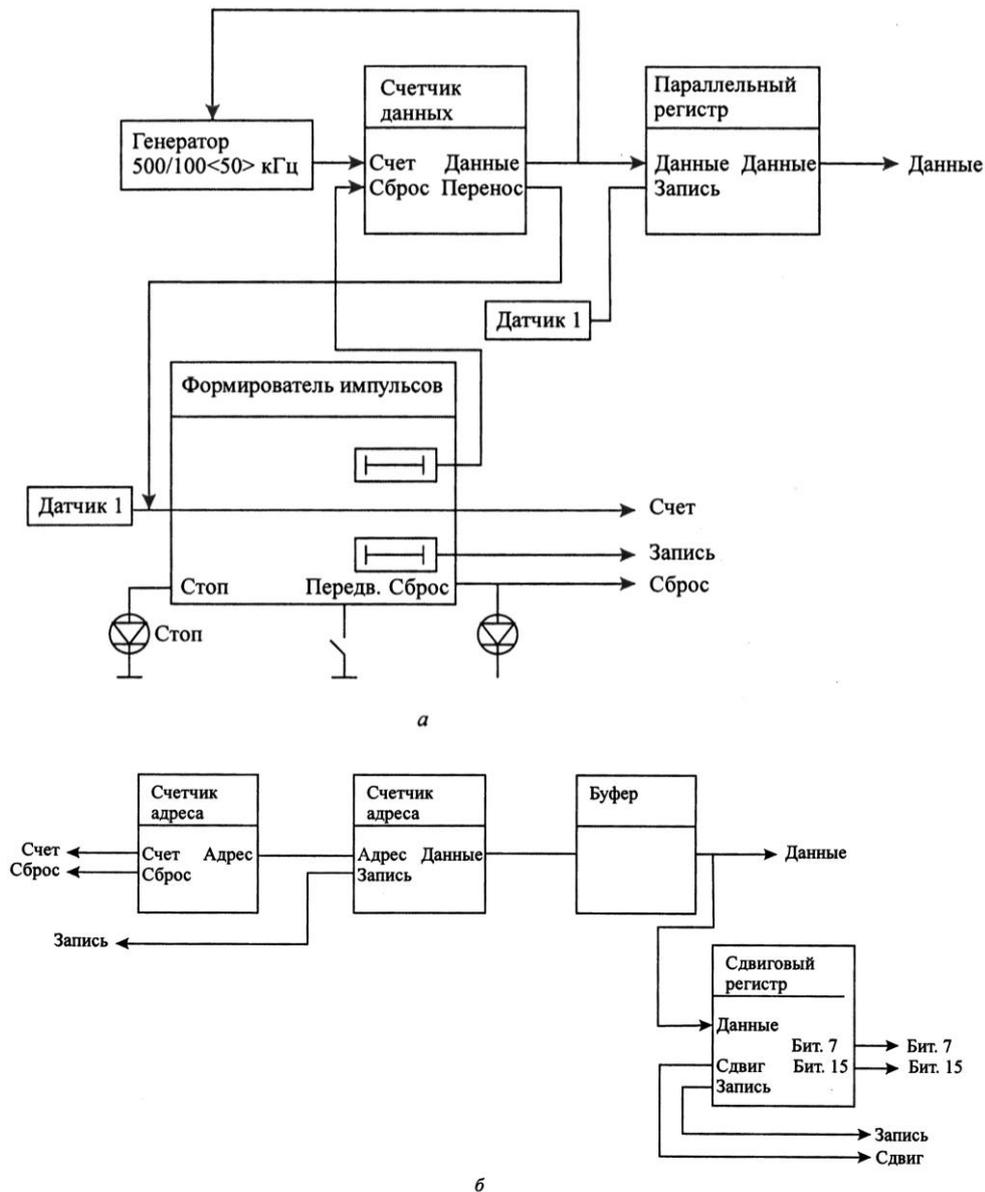


Рис. 7. Структурные схемы блока измерения скорости перемещения вторичного элемента (а) и блока памяти (б) ЦЛАД

Экспериментальная установка приведена на рис. 6, структурные схемы блоков измерения скорости перемещения вторичного элемента электропозicionера и блока памяти – на рис. 7.

Принцип работы устройства заключается в следующем. Измерение скорости производят с помощью оптического датчика, вырабатывающего

прямоугольные импульсы с периодом, пропорциональным скорости движения. Вместе с штоком движется и гребенчатая металлическая рейка (рис. 8) с шириной пропила и зуба по 1 мм. Двухканальный оптический датчик закреплен неподвижно и представляет собой светодиод, два фотодиода и два триггера Шмитта для формирования прямоугольных импульсов. Гребенчатая рейка свободно перемещается в зазоре между свето- и фотодиодами. Таким образом, с выхода оптического датчика поступают импульсы с частотой, пропорциональной скорости движения гребенчатой рейки. В этом и состоит основной принцип работы схемы – измерение длительности поступающих импульсов. При скорости движения 5 м/с период поступающих импульсов составляет 0,4 мс.

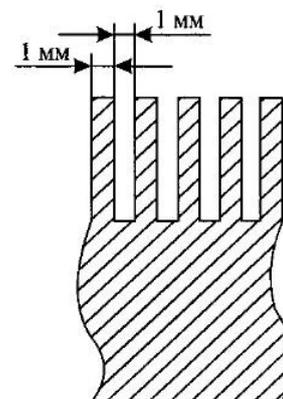


Рис. 8. Гребенчатая рейка

Используя второй канал оптического датчика, смещенного относительно первого канала на угол  $90^\circ$ , можно определить направление движения гребенчатой рейки.

В блоке памяти используются шестнадцатиразрядная схема включения двух восьмиразрядных микросхем ОЗУ К537РУ10 и сдвиговой регистр для последовательного доступа к записанным данным. Основные части блока: счетчик адреса, ОЗУ (две микросхемы К537РУ10), буфер шины данных, сдвиговой регистр с двумя выходными линиями. Блок памяти является блоком последовательного доступа, т.е. к произвольной ячейке памяти можно получить доступ, лишь считав данные из всех предыдущих. Последовательный доступ обусловлен наличием счетчика адреса. Счетчик адреса формулирует адрес ячейки памяти, к которой будет произведен доступ для записи или чтения. Подача импульса на вход счетчика адреса увеличивает его значение на единицу, подача импульса на вход сброса адреса обнуляет его значение.

Выбор действия (запись/чтение) производится сигналом «Запись», подаваемым на ОЗУ и буфер. Этот сигнал определяет направление передачи данных. При записи данных из блока измерения данные о скорости записываются параллельно в блок ОЗУ по 16-разрядной шине данных, что обеспечивает высокую скорость записи. Считывание не требует высокой скорости. Поэтому для простоты считывания 16-разрядных данных используют параллельный порт компьютера, который вырабатывает сигналы сброса и счета для счетчика адреса, а также сигналы записи в сдвиговой регистр 16-разрядных данных и их последовательного сдвига. Считывание происходит по два бита – одновременно считываются два старших бита младшего и старшего байтов.

Программное обеспечение включает программы считывания данных из блока ОЗУ и записи их в файл данных; вывода данных из блока ОЗУ на экран монитора и в структурированный файл; построения графиков скорости по результатам теоретических (для холостого хода и нагрузок 2,5; 5,0; 8,5 кг) и экспериментальных исследований.

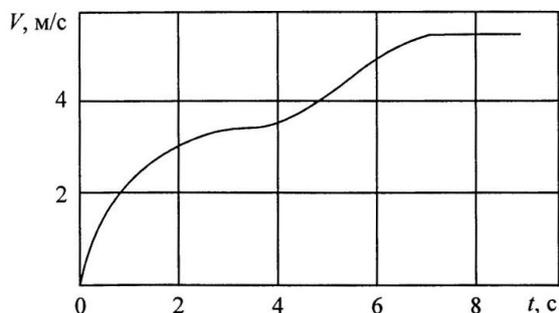


Рис. 9. График скорости движения вторичного элемента линейного асинхронного двигателя

С помощью разработанного измерительного устройства были определены скоростные характеристики ЦЛАД, которые могут быть применены для построения механических характеристик. График скорости движения вторичного элемента ЦЛАД приведен на рис. 9.

Таким образом, полученные нами результаты могут быть использованы при разработке систем позиционирования и слежения исполнительного механизма маятникового торцовочного станка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, А.Е.* Исследование привода механизма перемещения узла резания однопильного торцовочного станка [Текст] / А.Е. Алексеев, В.М. Волков, С.В. Петухов // Лесн. журн. – 2006. – № 5. – С. 90–95. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Бершадский, А.Л.* Справочник по расчету режимов резания древесины [Текст] / А.Л. Бершадский. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 125 с.
3. *Веселовский, О.Н.* Линейные асинхронные двигатели [Текст] / О.Н. Веселовский. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
4. *Петухов, С.В.* Обоснование технологических параметров механизма перемещения узла резания торцовочного станка [Текст] / С.В. Петухов // Лесн. журн. – 2006. – № 3. – С. 92–97. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Санев, В.И.* Обработка древесины круглыми пилами [Текст] / В.И. Санев. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 323 с.
6. *Соколов, М.М.* Электропривод с линейными асинхронными двигателями [Текст] / М.М. Соколов, Л.К. Сорокин. – М.: Энергия, 1974. – 136 с.
7. *Стахийев, Ю.М.* Работоспособность плоских круглых пил [Текст] / Ю.М. Стахийев. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 384 с.
8. *Якунин, Н.К.* Круглые пилы и их эксплуатация [Текст] / Н.К. Якунин. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 200 с.

Поступила 02.12.08

---

*A.E. Alekseev, V.P. Emelyanov, N.I. Markin*  
Arkhangelsk State Technical University

**Substantiation of Cutting Unit Parameters for Swinging Trimming Device with Linear Drive**

Process parameters are determined for trimming device with main motion drive from cylindrical asynchronous linear electric drive and sawn timber trimming process.

Keywords: trimming machine, linear drive, swinging scheme.

---