

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМА ПРИВОДА ЛЕСОПИЛЬНОЙ РАМЫ

Гмырак А.С., Матулевич А.И., Вихренко В.С.

*The log frame with a new type of drive mechanism and plane motion of the saw frame is considered. The analytical expressions for kinematic characteristics are deduced. The dynamic forces on the log frame basement are calculated and compared for two types of log frames. It is shown that the new type of log frames is characterized by reduced dynamical forces. Calculations were performed within MathCAD program package.*

На современном этапе развития рациональное использование энергетических ресурсов играет важную роль в лесопилении. Необходимым является минимизация энергетических затрат на получение готовой продукции, что может быть достигнуто внедрением новых технологий в производственный процесс, требующих в большинстве случаев частичной модернизации или полной замены лесопильного оборудования.

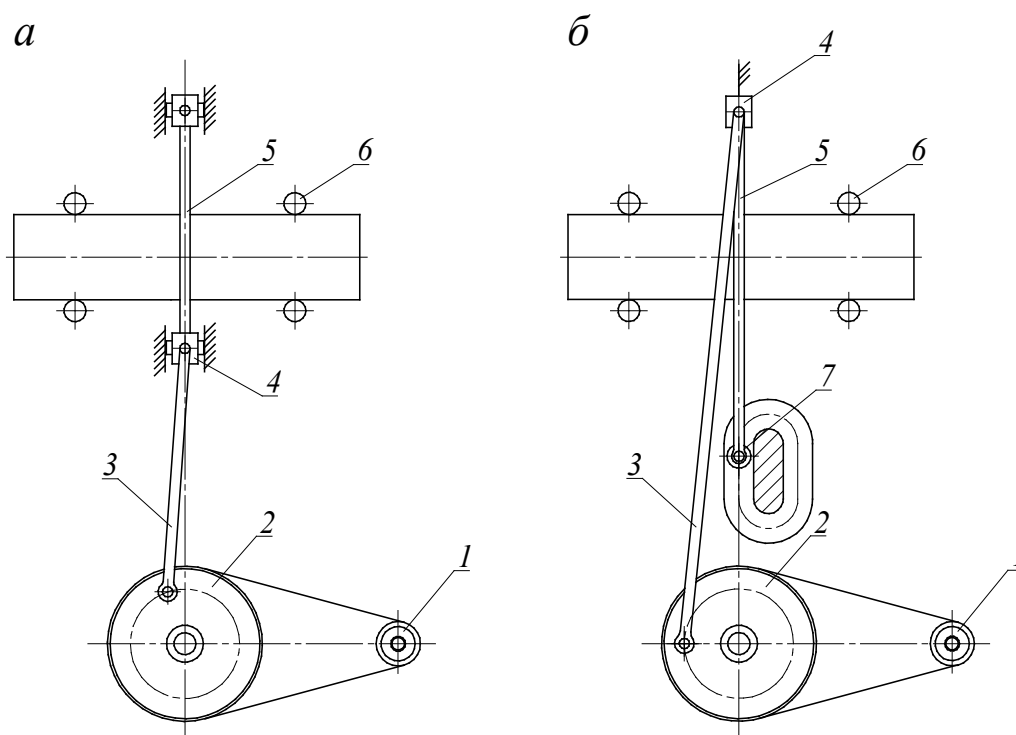


Рис 1. Кинематические схемы лесопильных рам: а) с центральным КПМ и возвратно-поступательным движением пильной рамки; б) с центральным КПМ и усложненной кинематикой пильной рамки. 1 – двигатель, 2 – кривошип, совмещенный с маховиком, 3 – шатун, 4 – ползун, 5 – пильная рамка, 6 – подающие вальцы, 7 – направляющий ролик.

В лесопилении наиболее широкое применение находят ленточнопильные станки, круглопильные комплексы проходного типа с плавающими пилами, лесопильные рамы (ЛПР). Все они характеризуются примерно одинаковыми удельными производственными затратами на кубометр полученных пиломатериалов. Однако в больших производственных масштабах наиболее эффективным остается использование ЛПР ввиду их высокой технологичности и ремонтпригодности.

ЛПР широко применяются в лесоперерабатывающих комплексах как на территории Республики Беларусь, так и за ее пределами. Наибольшее распространение получили ЛПР с центральным кривошипно-ползунным механизмом (КПМ) и поступательным движением пильной рамки (рис 1, а). Это, в первую очередь, связано с простотой конструкции и относительно небольшими затратами на их производство. Однако при работе ЛПР проявляются такие неблагоприятные эффекты, как большие динамические нагрузки на опорные и соединительные узлы, сильная вибрация, давление бревна на пилы на холостом ходу при непрерывной подаче, что приводит к сокращению ресурса работы и уменьшению производительности лесопильных рам. В связи с этим разработаны и внедрены в производство ЛПР с усложненной кинематикой пильной рамки [1] (рис. 1, б), в которых, кроме того, использованы прогрессивные материалы (в частности, антифрикционные и легкие сплавы). В результате достигается уменьшение динамической нагруженности ЛПР, уровня вибраций и воздействия на окружающие объекты. Однако инженерам удалось не в достаточной мере устранить большие нагрузки на опорные и соединительные узлы, сильную вибрацию и высокую металлоемкость конструкции. Эти эффекты накладывают ряд ограничений на ресурс работы и производительность лесопильных рам, снижая тем самым их конкурентоспособность.

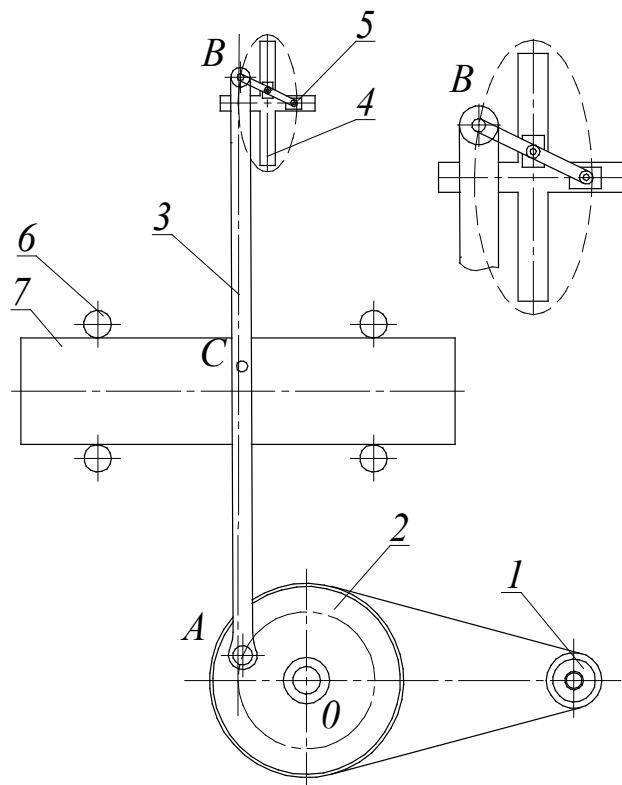


Рис 2. Кинематическая схема разработанного механизма лесопильной рамы: 1 – двигатель, 2 – шкив, совмещенный с маховиком, 3 – пильная рамка, 4 – направляющая эллипсографа, 5 – ползун эллипсографа, 6 – подающие вальцы, 7 – пиломатериал.

Исследования, проведенные в [2], показали, что для минимизации неблагоприятных эффектов необходимо заменить траекторию подвески пильной рамки на безударную - эллипсовидную, и отказаться от поступательного движения пильной рамки. На основании этого разработан новый тип движущего механизма пильной рамки с использованием эллипсографа в верхней подвеске и шкива, совмещенного с маховиком, в качестве нижней подвески (рис 2).

Для анализа эффективности применения разработанной кинематической схемы привода пильной рамки используем математическое моделирование процессов с применением программно-вычислительных модулей. Оно позволяет в кратчайшие сроки реализовать готовую математическую модель в программном модуле, выполнить ее обработку и сделать соответствующие выводы. С ее помощью можно реализовать не только математические расчеты, но и выполнить анимирование реально действующего механизма, что важно при проверке правильности составленной математической модели. Все это позволит сократить до минимума затраты на проектирование и разработку оптимальных режимов работы лесопильной рамы.

Математическую модель построим на основании принципа Даламбера, в соответствии с которым сумма активных сил, реакций связей и сил инерции, а также

сумма моментов указанных сил относительно произвольной точки (рассматривается плоская постановка задачи) равны нулю:

$$\sum_{i=1}^k \mathbf{F}_i + \sum_{i=1}^m \mathbf{R}_i + \sum_{i=1}^n \Phi_i = 0, \quad \sum_{i=1}^k M(\mathbf{F}_i) + \sum_{i=1}^m M(\mathbf{R}_i) + \sum_{i=1}^n M(\Phi_i) = 0,$$

где  $\Phi_i$  - силы инерции Даламбера,  $\mathbf{R}_i$  - реакции основания  $\mathbf{F}_i$  - активные силы.

Отметим, что пильная рамка 3 на рисунке 3 совершает плоскопараллельное движение и, помимо сил инерции, приложенных в центрах масс звеньев, необходимо также учесть моменты сил инерции относительно их центров масс

$$M_i^O = -J_i \ddot{\phi}_i,$$

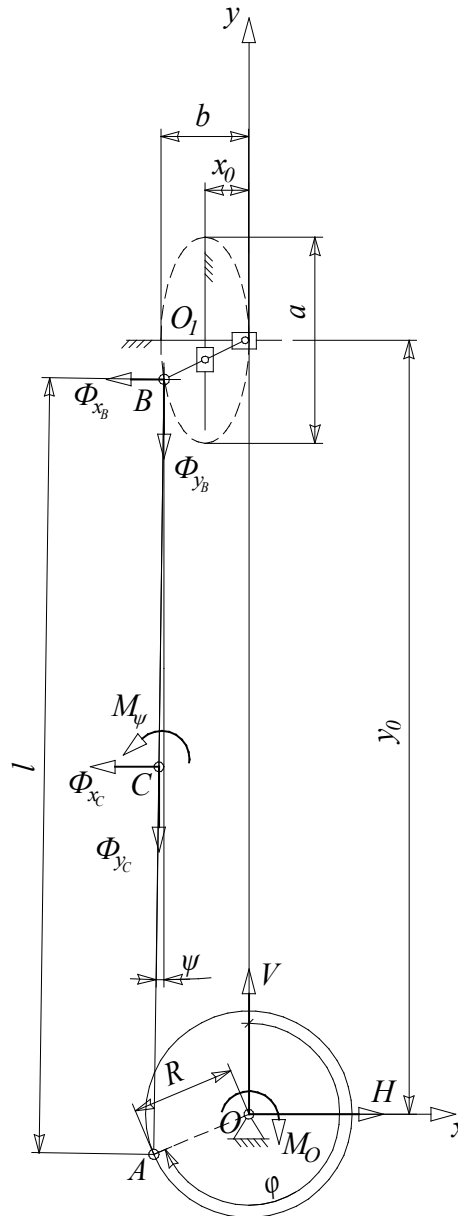


Рис 3. Схема распределения сил инерции в лесопильной раме

где  $J_i$  - центральный момент инерции соответствующего звена,  $\ddot{\phi}_i$  - угловое ускорение звена.

Реакции основания ЛПР приведем к точке  $O$ , находящейся на оси вращения маховика, причем будем полагать, что центр масс последнего находится на оси вращения. Найдем горизонтальную ( $H$ ) и вертикальную ( $V$ ) реакции, и реактивный

момент ( $M_o$ ). Именно они определяют величину воздействия ЛПР на основание в процессе её работы.

Силы инерции удобно представить их составляющими вдоль осей координат, определяемыми согласно выражениям

$$\Phi_{x_i} = m_i \ddot{x}_i, \Phi_{y_i} = m_i \ddot{y}_i,$$

где  $m_i, x_i, y_i$  - масса и координаты центра масс  $i$ -го звена. Знак минус учтен направлениями сил инерции на рисунке.

Моменты сил инерции определяются по формулам

$$M_o(\Phi_{x_i}) = y_i \Phi_{x_i}, M_o(\Phi_{y_i}) = -x_i \Phi_{y_i}.$$

Решая уравнения принципа Даламбера относительно искомых реакций и реактивного момента, получим:

$$V(t) = m_2 \ddot{y}_A + m_3 \ddot{y}_C + m_4 \ddot{y}_B, \quad (1)$$

$$H(t) = m_2 \ddot{x}_A + m_3 \ddot{x}_C + m_4 \ddot{x}_B, \quad (2)$$

$$M_o(t) = m_2 \ddot{x}_A y_A - m_2 \ddot{y}_A x_A + m_3 \ddot{x}_C y_C - m_3 \ddot{y}_C x_C + m_4 \ddot{x}_B y_B - m_4 \ddot{y}_B x_B + M_{\psi}. \quad (3)$$

где  $x_A = R \sin \phi$ ,  $x_B = x_A + l \sin \psi$ ,  $x_C = x_A + \frac{l}{2} \sin \psi$ ,  $y_A = R \cos \phi$ ,  $y_B = y_A + l \cos \psi$ ,

$$y_C = y_A + \frac{l}{2} \cos \psi, \quad M_{\psi} = -m_3 l^2 \ddot{\psi} / 12. \quad \psi = \arctan \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A}$$

Здесь  $m_i$  – масса  $i$ -го звена,  $R$  – радиус кривошипа,  $l$  – длина пильной рамки,  $\psi$  – угол наклона пильной рамки к вертикальной оси,  $\phi$  – угол поворота маховика.

Для нахождения координат точек  $B$  и  $C$  через угол поворота кривошипа  $\phi$  используем уравнение, определяющее положение точки  $B$  – уравнение эллипса

$$\frac{(y_B - y_{O_1})^2}{a^2} + \frac{(x_B - x_{O_1})^2}{b^2} = 1, \quad (4)$$

где  $x_{O_1}$  и  $y_{O_1}$  – координаты центра эллипса (точка  $O_1$ ),  $a$  и  $b$  – полуоси эллипса.

Полагая, что  $\dot{\phi} = \omega = \text{const}$ , полученные выражения дифференцируем дважды по времени согласно правилу

$$\frac{dz}{dt} = \frac{dz}{d\phi} \dot{\phi}, \quad \frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{d^2 z}{d\phi^2} \dot{\phi}^2, \quad (5)$$

и подставляем результаты дифференцирования в уравнения реакций (1), (2) и реактивного момента (3).

Уравнения (1) – (3) характеризуют динамическое воздействие лесопильной рамы на основание, и позволяют оценить эффективность использования разработанной кинематической схемы (рис. 2) на основании сравнения с динамикой лесопильной рамы классического типа (рис 1, а), расчеты которой детально изложены в [3].

Результаты вычисления реакций лесопильной рамы нового и классического типа, как функций угла поворота при единичной угловой скорости маховика представлены на рисунке 4. Все величины на рисунках даны в единицах системы СИ. Геометрические характеристики и массы звеньев ЛПР двух типов приняты равными: это позволяет сопоставить влияние кинематических особенностей ЛПР на их динамические характеристики.

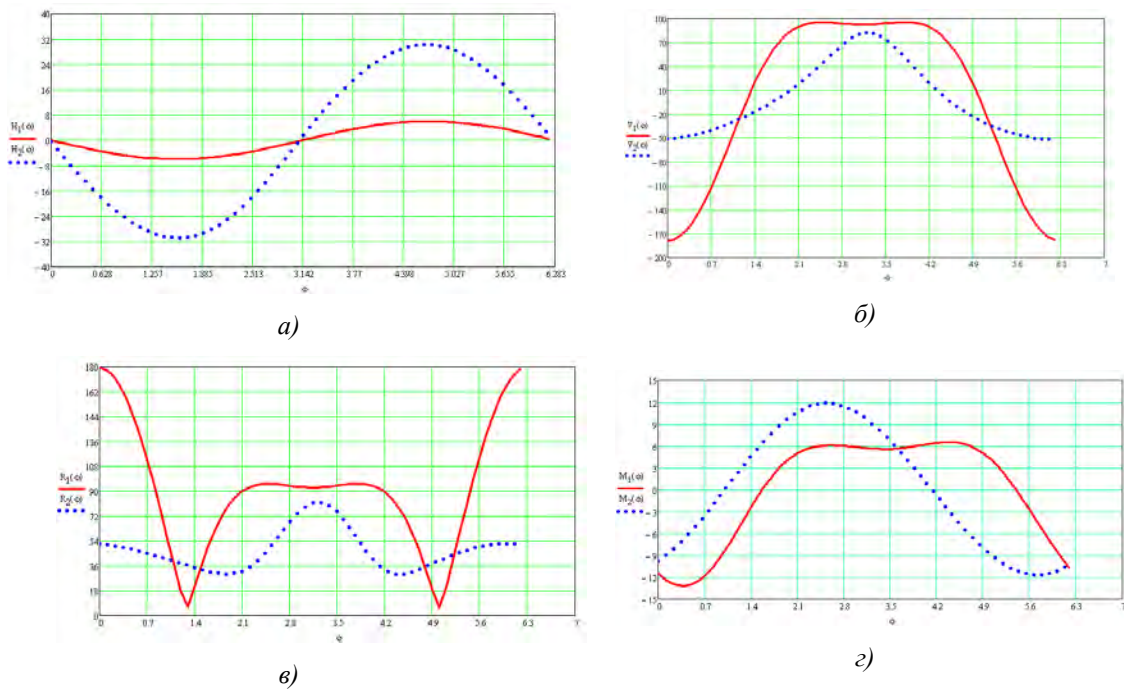


Рис 4. Графики зависимости реакций и реактивного момента от угла поворота  $\phi$  :  
 $H_1$ ,  $H_2$  и  $V_1$ ,  $V_2$  – горизонтальная и вертикальная реакции ЛПР классического и нового типа;  $R_1$ ,  $R_2$  и  $M_1$ ,  $M_2$  – результирующая реакция и реактивный момент, соответственно

Анализ графиков показывает, что горизонтальная составляющая разработанной ЛПР (рис 4, а) существенно больше таковой для рамы классического типа но она сравнительно не велика. Что касается вертикальной составляющей (рис 4, б), то она составляет в среднем 60% от таковой для рамы классического типа. Момент сил инерции (рис. 4, г) изменяется по синусоидальному закону, и сопоставим по величине с моментом для рамы классического типа. Суммарная реакция (рис. 4, в) классической ЛПР превышает аналогичные реакции для нового типа ЛПР в 1,5-2 раза.

Основным показателем воздействия на основание является импульс результирующей реакции (рис. 5), который определяется, как

$$P_i = \sqrt{\left(\int H_i(\varphi)d\varphi\right)^2 + \left(\int V_i(\varphi)d\varphi\right)^2} .$$

Таким образом, конструкция ЛПР с предложенной кинематической схемой разгружена в среднем в 1,5-2 раза по сравнению с классической ЛПР, с точки зрения воздействия на основание и элементы конструкции. Это обусловлено, в основном, практически полной ликвидацией динамических воздействий на удвоенной частоте  $2\omega$ , свойственных ЛПР классического типа. Снижение динамических реакций оказывает положительный эффект с точки зрения снижения энергоемкости, так как уменьшается работа по преодолению сил сопротивления. Это позволяет применить менее мощный двигатель для привода механизма пиления лесопильной рамы.

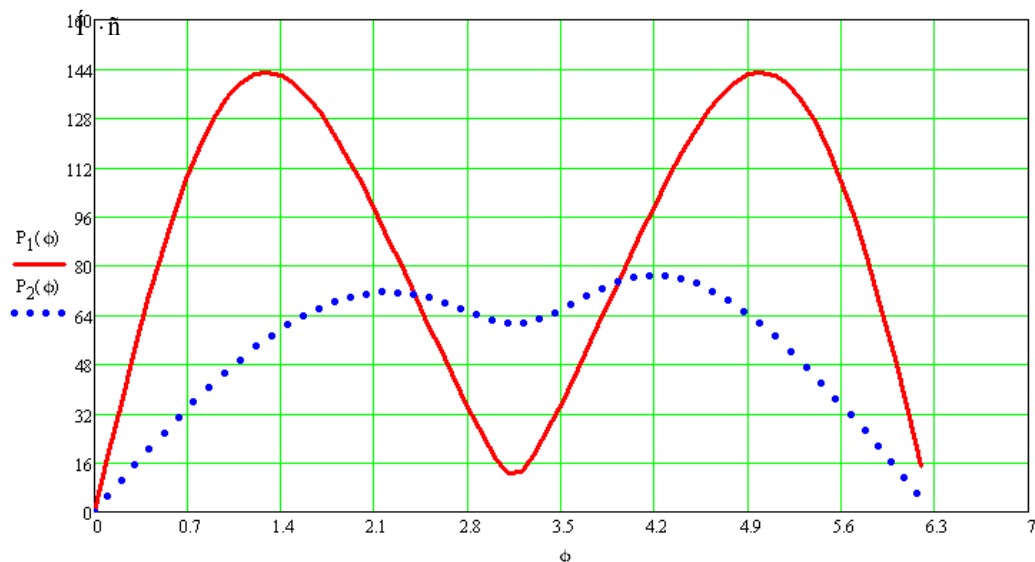


Рис 5. Графики зависимости импульсов от угла поворота  $\phi$  :  
 $P_1$  - импульс ЛППР классического типа;  $P_2$  - импульс разрабатываемой ЛППР нового типа

Разработанная математическая модель лесопильной рамы и возможность использования профессионального пакета MathCAD обеспечивает возможность исследования различных режимов работы этого механизма, а также позволяет моделировать его различные варианты и вносить изменения в имеющуюся конструкцию, что в дальнейшем может существенно сократить финансовые, материальные и временные затраты при проектировании модернизированных вариантов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.wood.ru>, <http://www.nszavod.ru>.
2. Гмырак, А. С., Вихренко В.С. Сравнительный анализ динамических реакций основания двух типов лесопильных рам / Теоретическая и прикладная механика – Вып. 23. 2008 г.
3. Агапов А.И. Динамика процесса пиления древесины на лесопильных рамах. – Горький: ГГУ, 1999 г.
4. Амалицкий В.В. Деревообрабатывающие станки и инструменты.– М.: Академия, 2007.
5. Дьяконов В.М. Специальный справочник по MathCAD. – СПб: Петербург, 2006.