

ЛЕСОПИЛЬНЫЕ РАМЫ С НОВОЙ КИНЕМАТИКОЙ РЕЗАНИЯ

FRAME SAW THE NEW KINEMATICS OF CUTTING

Докт. техн. наук, проф. Агапов А. Вятский государственный университет, кафедра МТД, Киров, Россия, kaf_mtd@vyatsu.ru

Аннотация: Рассматриваются вопросы создания лесопильных рам нового поколения с установкой пильной рамки в шарнирно-рычажной подвеске и качанием пил по самопересекающейся замкнутой кривой типа восьмерки. В результате улучшаются условия работы пил и снижается энергоёмкость процесса пиления на 40...50%. При этом производительность лесопильных рам можно увеличить в 1,5...2 раза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЛЕСОПИЛЬНАЯ РАМА, ПИЛЬНАЯ РАМКА, ЗАГОТОВКА, МЕХАНИЗМ КАЧАНИЯ, КИНЕМАТИКА РЕЗАНИЯ

Abstract: The question of creating a new generation of log frames with the installation of the saw frame in hinged - arm suspension and swing saws on self-intersecting closed curve such as the Group of Eight. As a result of improved working conditions and reduced energy consumption saws sawing process by 40 ... 50 %. This performance saw-frames can be increased in 1.5 ... 2 times.

KEYWORDS: FRAME SAW, THE SAW FRAME, BLANK, ROCKING MECHANISM, KINEMATICS OF CUTTING

1. Введение

Лесопильные рамы используются в качестве головного оборудования в линиях изготовления пиломатериалов. Поэтому качество пиломатериалов, а также производительность и эффективность этих линий в основном определяется работой лесопильных рам. В связи с этим в прошлом столетии был выполнен ряд работ по изучению, исследованию и совершенствованию следующих проблемных вопросов дальнейшего развития лесопильных рам [7]:

- 1) Кинематика процесса пиления;
- 2) Уравновешивание сил инерции;
- 3) Замена направляющих и установка пильной рамки в шарнирно-рычажные механизмы;
- 4) Силовые и качественные показатели процесса пиления;
- 5) Конструктивные особенности узлов и механизмов;
- 6) Повышение надежности и долговечности.

Следует отметить, что кинематика процесса пиления на лесопильных рамах достаточно основательно была изложена в работах М.А. Дешевого [5]. Было отмечено, что при пилении древесины с равномерной скоростью подачи во время рабочего хода величина подачи на зуб (толщина срезаемого слоя древесины зубом пилы) существенно изменяется, а в начале холостого хода продолжается взаимодействие зубьев пилы с дном пропила и наблюдается даже смятие древесины. В результате возникают дополнительные силы – силы скобления, которые препятствуют продвижению заготовки в этот период времени. При этом ошибочно отмечалось, что это скобление можно уменьшить или даже исключить путем установки пил с большим уклоном. Исследования В.Я. Филькевича [6] показали, что в начале холостого хода, в результате взаимодействия зубьев пилы с древесиной, заготовка (пиловочник) останавливается или даже совершает возвратное перемещение. Эти силы скобления, действуют на полотно рамной пилы, вызывают боковое отклонение их и обуславливают преждевременную потерю устойчивости. С целью уменьшения сил скобления зубьев пилы о дно пропила в начале холостого хода А.Л. Бершадский [4] рекомендовал задний угол зубьев рамных пил увеличить и принять его равным 28° вместо 18°. Это отрицательно повлияло на процесс резания во время рабочего хода, так как с увеличением угла резания на 10° сила резания возросла, а качество поверхности пропила ухудшилось.

2. Научный поиск совершенствования кинематики резания

В связи с этим начались поиски улучшения и совершенствования кинематики процесса пиления на лесопильных рамах. Предлагалось дополнительно осуществлять качание пил в плоскости пиления по эллиптической или каплевидной кривой. Однако исследования В.Ф. Фонкина [8] показали, что в этом случае смятие древесины зубьями пилы в начале холостого хода можно не только уменьшить, но и полностью исключить. Но при этом происходит еще большая неравномерность подачи на зуб во время рабочего хода, чем при пилении без качания пил. Это обуславливает увеличение максимальных нагрузок на пилы и ухудшение качества поверхности пропила. Создание опытных образцов с такой кинематикой резания не увенчалось успехом, так как качество поверхности пропила ухудшалось, а производительность в связи с этим снижалась.

Предлагалось так же осуществлять перемещение заготовки с переменной скоростью (толчками) с циклом за рабочий или холостой ходы, а также с циклом за рабочий и холостой ход или за оборот. Исследования показали [1,2], что в том случае, когда подача заготовки осуществляется с переменной скоростью с циклом за рабочий или холостой ходы, скобление зубьями пилы дна пропила в начале холостого хода можно исключить, но во время рабочего хода возрастают максимальные значения подачи на зуб и, следовательно, максимальные значения силы резания увеличиваются, а качество поверхности пропила ухудшается. При подаче заготовки с переменной скоростью с циклом за рабочий и холостой ходы или с циклом за оборот исключить скобление зубьями пилы дна пропила не представляется возможным. При опережении или запаздывании цикла переменных подач наблюдается рост подачи на зуб во время рабочего хода и ухудшение качества поверхности пропила. Таким образом, создание лесопильных рам с предложенными ранее переменными скоростями подачи заготовки не эффективно, так как производительность снижается, а качество поверхности обработки пиломатериалов ухудшается. Несмотря на эти научные выводы ученых, промышленность продолжает иногда выпуск лесопильных рам с такими переменными скоростями подачи.

3. *Решение рассматриваемой проблемы. Основные научные положения по синхронизации движений пил и заготовки*

Работами автора [2] было установлено, что для синхронизации движений рамных пил и заготовки качание пил необходимо осуществлять за рабочий ход по кривой, представляющей собой половину восьмерки, а за холостой ход - по кривой, представляющей собой половину капли. Причем оказалось, что рамные пилы в начале рабочего хода необходимо отводить от дна пропила, затем в средней части хода пил надвигать их на заготовку, а в конце хода пил снова отводить от дна пропила. В начале холостого хода необходимо продолжить отвод пил от дна пропила, а затем переместить их в верхнее крайнее положение пильной рамки. Такие полученные математические модели перемещения пил осуществить на практике довольно трудно, так как математическая модель движения пил за рабочий ход существенно отличается от математической модели движения пил за холостой ход. Проблема осуществления полной синхронизации движений пил и заготовки оказалась противоречивой и сложной. Таким образом, создание лесопильных рам с полной синхронизацией движений пил и заготовки трудно выполнимо, так как разработка механизма качания пил с получением за рабочий ход подачи на зуб пилы $S_z = const$ и в то же время исключить скобление зубьями пилы дна пропила в начале холостого хода – довольно сложная задача. Поэтому на первом этапе предлагаются упрощенные математические модели перемещения пил, в которых неперемещением (первостепенным) условием ставится исключение скобления зубьями пилы дна пропила в начале холостого хода, а подача на зуб пилы во время рабочего хода может изменяться, достигая максимального значения в 1,2...1,3 раза от ее среднего значения. Такого результата можно достигнуть, если перемещение пил осуществлять по самопересекающейся замкнутой кривой типа восьмерки. Еще лучшие результаты получаются в том случае, когда перемещение пил осуществляется по самопересекающейся замкнутой кривой, у которой узловая точка смещена в сторону верхнего положения пильной рамки, а размах качания в нижней части хода пил больше в 2,0 раза, чем размах качания в верхней части хода пил.

В том случае, когда синхронизация движений пил и заготовки осуществляется с переменной скоростью подачи, перемещение заготовки необходимо производить с возвратным движением в начале холостого хода. Причем скорости движений заготовки во время рабочего и холостого ходов должны быть различными, при этом скорость перемещения заготовки во время холостого хода пил больше, чем во время рабочего хода. Такую математическую модель выполнить довольно сложно, в виду того, что математическое описание перемещения заготовки во время рабочего хода отличается от математического описания перемещения заготовки во время холостого хода. В связи с этим предлагаются упрощенные варианты перемещения заготовки. За рабочий и холостой ходы перемещение заготовки необходимо осуществлять с остановками или возвратными перемещениями в моменты, когда пильная рамка находится в верхнем и нижнем крайних положениях. В этом случае скобление зубьями пилы дна пропила во время холостого хода исключается, а максимальное значение подачи на зуб во время рабочего хода может достигать значения $S_z = (1,2...1,3)$ от средней её величины, что вполне допустимо.

Таким образом научно разработаны математические модели перемещения пил и заготовки, при которых можно обеспечить полную или частичную синхронизацию.

4. *Реализация научных положений в промышленности*

Вариант качания пил по самопересекающейся замкнутой кривой типа восьмерки [2] был впервые реализован на одноэтажной лесопильной раме мод. Р63-4. Даниловский ЗДС в 1983 году по предложению ВятГУ изготовил опытно-промышленный образец, который подтвердил научные положения автора [2] и показал положительные результаты и работоспособность образца в промышленных условиях. Фактическая траектория движения пил с высокой степенью точности совпадает с расчетной теоретической траекторией перемещения пил.

В дальнейшем по исходным данным автора [2] Вологодское ГКБД разработало рабочий проект одноэтажной лесопильной рамы мод. Р63-7, в которой была реализована такая же траектория движения пил, как и на опытно-промышленном образце лесопильной рамы мод. Р63-4. Испытания опытного образца лесопильной рамы мод. Р63-7, изготовленного Тарбагатайским ЗДС (Читинская область) в 1992 году показали, что производительность возросла в 1,5 раза, а энергоемкость процесса пиления снизилась на 37%. Такая модель лесопильной рамы изготавливалась 6 лет. Несмотря на положительную реализацию научных положений в промышленном масштабе, дальнейший выпуск и совершенствование лесопильных рам с улучшенной кинематикой резания в настоящее время приостановлен.

5. *Опыт использования шарнирно-рычажной подвески пильной рамки*

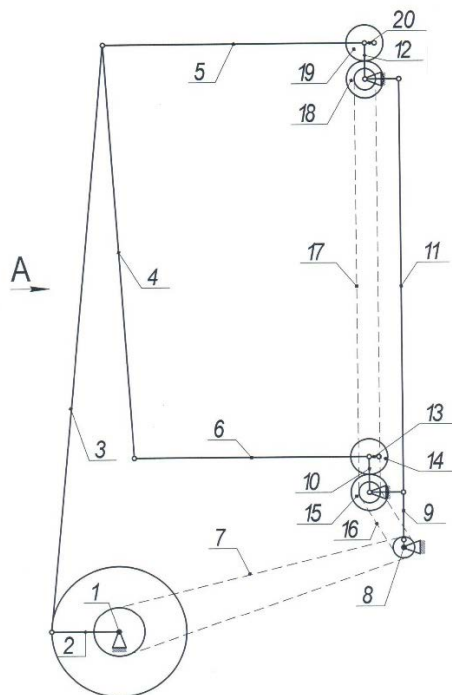
Заслуживают внимания и одобрения также работы по установке пильной рамки в шарнирно-рычажные механизмы. Для этого рекомендовалось использовать четырехзвенные шарнирно-рычажные механизмы Уатта, Робертса, Эванса, Чебышева и других ученых. В этом случае трение скольжения в паре ползун-направляющие заменяется на трение качения в шарнирно-рычажном механизме. Опытные образцы лесопильных рам с шарнирно-рычажной подвеской пильной рамки были изготовлены в СССР в лабораторных условиях и показали свою работоспособность. Зарубежными фирмами были предложены опытно-промышленные образцы лесопильных рам с шарнирно-рычажной подвеской пильной рамки. Но специалистами промышленности признания эти образцы лесопильных рам не получили. Предлагаемые шарнирно-рычажные механизмы достаточно сложны и проблемы с их использованием не были достаточно глубоко изучены и апробированы в промышленности. К тому же на этих образцах лесопильных рам производительность не повышалась, а энергоемкость процесса практически оставалась на прежнем уровне, так как кинематика процесса пиления не изменялась.

Следует также отметить, что качание пильной рамки вместе с ползунами и направляющими представляет собой такую систему, в которой трудно добиться выполнения требуемой точности теоретической траектории движения пил. К тому же стабильность и жесткость пильной рамки в боковом направлении при качании ее снижается. Следовательно, только совместное использование этих двух направлений – установка

пильной рамки в шарнирно-рычажной подвеске и синхронизация движения пил и заготовки позволит обеспечить создание надежных и более эффективных лесопильных рам нового поколения.

6. Предлагаемый вариант лесопильной рамы с новой кинематикой резания

Предлагается вариант лесопильной рамы с новой кинематикой резания и установкой пильной рамки в шарнирно-рычажной подвеске (фиг. 1, фиг. 2).



Фиг. 1 Принципиальная схема лесопильной рамы с качанием пил (вид в поперечном направлении).

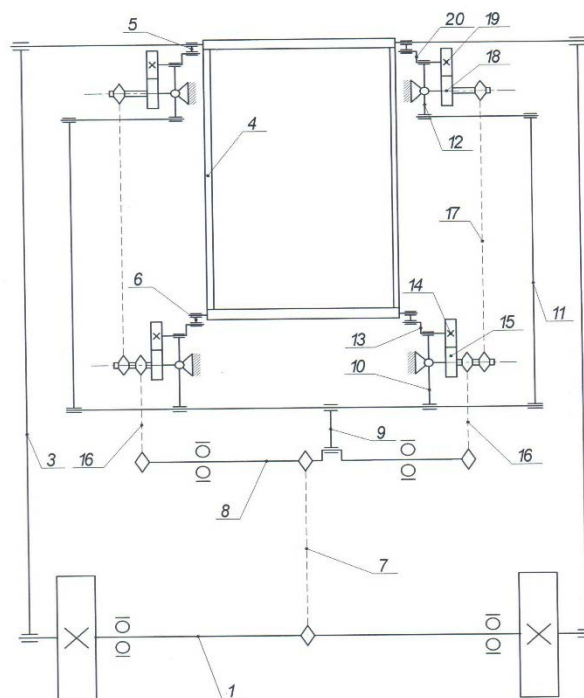
Лесопильная рама состоит из коленчатого вала 1, кривошипов 2, шатунов 3, соединенных с пильной рамкой 4, которая установлена в верхних 5 и нижних 6 рычагах. На коленчатом валу 1 установлена звездочка цепной передачи 7 с передаточным отношением 2:1. Цепная передача 7 передает движение на промежуточный вал 8, на котором расположены дополнительные кривошипно-шатунные механизмы 9, которые шарнирно соединены с одним из концов нижнего двуплечего рычага 10 и с помощью тяги 11 кинематически связаны с одним из концов верхнего двуплечего рычага 12. На другом конце нижнего двуплечего рычага 10 установлен эксцентриковый вал 13 с радиусом r . На этом же валу установлено зубчатое колесо 14, которое находится в зацеплении с зубчатым колесом 15 и вращается вместе со звездочкой цепной передачи 16, установленной на промежуточном валу 8. Эксцентриковые валы 13 шарнирно соединены с нижними рычагами 6 пильной рамки. На валу зубчатого колеса 15 установлена звездочка цепной передачи 17, которая связана с верхней звездочкой и зубчатым колесом 18, находящимся в зацеплении с другим зубчатым колесом 19, расположенным на другом конце двуплечего рычага 12. На валу зубчатого колеса 19 расположен верхний эксцентриковый вал 20 с радиусом r , который связан шарнирно с верхним рычагом 5 пильной рамки 4.

Качание пильной рамки по самопересекающейся замкнутой кривой осуществляется от дополнительного кривошипно-шатунного механизма 9, а выравнивание оси симметрии этой кривой производится эксцентриковыми механизмами 13 и 20.

Величина амплитуды качания пил по самопересекающейся замкнутой кривой типа восьмерки осуществляется от дополнительного кривошипно-шатунного механизма 9 и определяется уравнением

$$x_k = r_k \cdot \sin 2\alpha, \quad (1)$$

где r_k – радиус дополнительного кривошипно-шатунного механизма качания пил; α – угол поворота кривошипа.



Фиг. 2 Принципиальная схема лесопильной рамы с качанием пил (вид по направлению скорости движения заготовки).

Величина радиуса дополнительного кривошипно-шатунного механизма качания пил рассчитывается с учетом хода пильной рамки R , подачи на один оборот коренного вала S_0 , шага зубьев пил t_z , а также соотношений плеч двуплечего рычага по обычным методикам [3].

Для обеспечения движения пильной рамки (перемещение пил) по самопересекающейся замкнутой кривой типа восьмерки, имеющей прямолинейную вертикальную ось симметрии необходимо установить эксцентриковый вал таким образом, чтобы законы перемещения эксцентрикового вала и пильной рамки были идентичными. Движение пильной рамки по вертикали описывается уравнением

$$y = R \cdot (1 - \cos \alpha) + L \cdot (1 - \cos \beta), \quad (2)$$

где R – радиус кривошипа привода пильной рамки; L – длина шатуна; β – угол между шатуном и вертикалью.

Угол поворота шатуна относительно вертикали можно определить по формуле

$$\beta = \arcsin \frac{R \cdot \sin \alpha}{L}. \quad (3)$$

При перемещении пильной рамки поворачиваются и рычаги, с которыми она связана шарнирами. При повороте шарнира рычага по дуге окружности пильная рамка получает смещение по горизонтали x_p , которое можно компенсировать эксцентриком. При этом эксцентрик необходимо расположить таким образом, чтобы начало рабочего хода пил совпадало с началом отвода их по горизонтали. В данном варианте лесопильной рамы эксцентрик необходимо расположить в крайнее левое положение, когда пильная рамка будет находиться в начале рабочего хода в верхнем крайнем положении. Только в этом случае будет происходить выравнивание дуги окружности движения шарнирного соединения рычага с пильной рамкой за счет получаемого перемещения от эксцентрикового вала.

Движение эксцентрика по горизонтали будет осуществляться по уравнению

$$x_p = r(1 - \cos 2\alpha), \quad (4)$$

где r – радиус эксцентриков 13 и 20.

За половину рабочего хода пильной рамки ($y=R$) пилы необходимо отвести по горизонтали на максимальную величину искривления оси движения рычага по горизонтали, которое должно быть равно $2r$. В этом случае за половину хода пил ($\alpha=90^\circ$) эксцентрик должен повернуться на 180° и тогда перемещение по горизонтали будет равно $2r$. За вторую половину рабочего хода пил эксцентрик снова повернется на 180° и обеспечит возврат пильной рамки в исходное положение на величину $2r$. Следовательно, угловая скорость вращения эксцентрика должна быть в 2 раза больше, чем угловая скорость вращения кривошипа привода пильной рамки.

При использовании эксцентрика перемещение пильной рамки по горизонтали определится по формуле

$$X_p = l_p(\cos \varphi_B - \cos \varphi) - r(1 - \cos 2\alpha), \quad (5)$$

где l_p – длина рычага шарнирно-рычажной подвески пильной рамки; φ_B – угол наклона рычага шарнирно-рычажной подвески пильной рамки определяющей верхнее крайнее положение; φ – текущий угол поворота этого рычага пильной рамки относительно горизонтали.

Угол φ_B можно определить по формуле

$$\varphi_B = \arcsin \frac{R}{l_p}. \quad (6)$$

Текущий угол поворота рычага шарнирно-рычажной подвески пильной рамки можно определить по формуле

$$\varphi = \arcsin \frac{R - y - r \sin 2\alpha}{l_p}. \quad (7)$$

Следовательно, необходимо, чтобы при работе такого механизма обеспечивалось равенство

$$l_p \cdot (1 - \cos \alpha) = r(1 - \cos 2\alpha). \quad (8)$$

Используя это равенство и подставляя численные значения в это равенство при $\varphi=0$ и $\alpha=180^\circ$, получим величину радиуса эксцентрика, при котором обеспечивается прямолинейная ось симметрии перемещения пилы по самопересекающейся замкнутой кривой типа восьмерки. В этом случае радиус эксцентрика определится по формуле

$$r = 0,5 \cdot (l_p - \sqrt{l_p^2 - R^2}). \quad (9)$$

Таким образом, выравнивание оси движения пильной рамки по самопересекающейся замкнутой кривой типа восьмерки в прямую линию будет наблюдаться только лишь в том случае, когда радиус эксцентрика будет определяться по формуле (9).

7. Выводы и предложения

Таким образом имеются научные и практические предпосылки для создания лесопильных рам с шарнирно-рычажной подвеской пильной рамки и новой кинематикой резания. Рациональной траекторией качания пил является самопересекающаяся замкнутая кривая типа восьмерки, которая позволяет исключить скобление зубьями пилы дна пропила в начале холостого хода и уменьшить максимальные нагрузки на пилы во время рабочего хода. Для получения такого перемещения пильной рамки необходимо чтобы угловая скорость качания пил была в 2 раза больше чем угловая скорость движения коренного вала лесопильной рамы. При синхронизации движений пил и заготовки путем использования переменной скорости подачи заготовки необходимо, чтобы перемещение заготовки осуществлялось с циклом за рабочий и холостой ходы с остановками или с возвратными перемещениями этой заготовки в моменты, когда пильная рамка находится в верхнем и нижнем крайних положениях. На лесопильных рамах с новой кинематикой резания рекомендуется использовать пилы с углом резания 60° вместо 75° . При этом задний угол рекомендуется принимать равным 13° вместо 18° . Улучшение условий работы пил позволяет увеличить производительность лесопильных рам в 1,5...2,0 раза, снизить энергоемкость процесса пиления на 40...50% и уменьшить потери древесины в опилки.

8. Литература

1. Агапов, А. Кинематика процесса пиления древесины на лесопильных рамах. – Горький: Изд-во ГГУ, 1981. – 99 с.
2. Агапов, А. Кинематика лесопильных рам. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 144 с.
3. Агапов, А. Лесопильные рамы нового поколения. – Актуальные проблемы машиностроения. Изд-во Самарского научного центра РАН, том 16, №1(2), 2014. – С. 340-345.
4. Бершадский, А. Резание древесины (Бершадский, А., Цветкова, Н.) – Минск: Выш. шк., 1975. – 304 с.
5. Дешевой, М. Механическая обработка дерева. – Л., М.: Главная редакция литературы по машиностроению и металлообработке, 1936. – 429 с.
6. Филькевич, В. Динамика лесопильных рам. – М.: Лесн. пром-сть, 1968. – 230 с.
7. Фонкин, В. Современные лесопильные рамы. – М.: ЦИНТИАМ, 1964. – 66 с.
8. Фонкин, В. Лесопильные станки и линии. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 320 с.