УДК 674.093.05

ЛЕСОПИЛЬНЫЕ РАМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

© 2014 А.И. Агапов

Вятский государственный университет, г. Киров

Поступила в редакцию 20.03.2014

В статье отмечаются основные направления совершенствования лесопильных рам, и рассматривается вариант современной лесопильной рамы с рычажной подвеской пильной рамки в четырехзвенные механизмы Уатта. Для качания пильной рамки предлагается использовать дополнительный кривошипно-шатунный или эксцентриковый механизм, который имеет частоту вращения в два раза больше, чем кривошипно-шатунный механизм привода пильной рамки. Рассматривается кинематика процесса пиления на такой лесопильной раме, и предлагаются формулы для определения подачи на зуб пилы, а также формулы для определения радиуса эксцентрика при котором обеспечивается синхронизация главного движения и движения подачи. Расчеты показали, что для синхронизации этих движений применительно к параметрам одноэтажной лесопильной рамы, радиус эксцентрика должен быть равным 3,25 мм. Такой вариант лесопильной рамы позволяет увеличить производительность, снизить энергоемкость процесса и повысить надежность и долговечность.

Ключевые слова: *механизм качания, пильная рамка, рычажная подвеска, подача, зуб пилы, синхронизация движений, радиус эксцентрика*

В середине XX века в СССР был организован выпуск лесопильных рам, полностью обеспечивающий потребности лесопильной отрасли. Выпуск лесопильных рам производился на 4 заводах. Вологодский ЗДС «Северный Коммунар» выпускал двухэтажные лесопильные модели 2Р75 и 2Р50, Даниловский ЗДС выпускал одноэтажные лесопильные рамы модели Р63, Тарбагатайский ЗДС выпускал тарные лесопильные рамы модели РТ40 и одноэтажные лесопильные рамы модели Р63, Новозыбковский ЗДС выпускал и передвижные лесопильные рамы модели РП63 и коротышовые лесопильные рамы модели РК63. Начиная с 30-х годов XX века проводился также поиск путей развития и совершенствования лесопильных рам по следующим направлениям.

1.Совершенствование кинематики процесса пиления.

2.Уравновешивание сил инерции лесопильных рам.

3.Совершенствование конструкторских решений лесопильных рам.

Одновременно проводились работы по совершенствованию и развитию теории раскроя пиловочника, а также по совершенствованию технологических потоков лесопильного производства.Наряду с традиционными лесопильными потоками на базе головного оборудования лесопильных рам, ленточнопильных и круглопильных станков, появились лесопильные специализированные потоки для переработки тонкомерного сырья, а также пиловочника лиственных пород древесины. За этот период лесопильные рамы претерпели существенные изменения. Так, например, мощность привода механизма резания возросла в 1,7-2,5 раза. Это позволило увеличить их производительность. Лесопильные потоки на базе этих лесопильных рам были полностью механизированы и частично автоматизированы.

Особое научное внимание было уделено первым двум проблемам. Совершенствованию кинематики пиления на лесопильных рамах было посвящено ряд кандидатских и три докторских диссертаций. Работы по синхронизации двух движений проводились по двум направлениям: применение дополнительного движения в виде качания пил и использование переменной скорости подачи. Проблема совершенствования кинематики процесса пиления на лесопильных рамах заключалась в том, что при равномерной скорости подачи рамные пилы перемещались возвратно-поступательно с переменной скоростью. В результате в начале рабочего хода, когда пильная рамка перемещается с малой скоростью, подача на зуб пилы S_Z достигает максимального значения, а затем с увеличением скорости движения пил подача на зуб пилы уменьшается. К концу рабочего хода скорость движения пил уменьшается и становится не столь значительной и, следовательно, подача на зуб возрастает и в конце рабочего хода достигает максимального значения. В начале холостого хода скорость движения пил мала и поэтому происходит скобление зубьями пилы дна пропила.

Агапов Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры Машины и технологии деревообработки». E-mail: kaf_mtd@vyatsu.ru

В связи с этим в процессе рабочего хода возникают значительные пиковые нагрузки, а в начале холостого хода наблюдается скобление зубьями пилы дна пропила. В результате чего необходимо увеличивать толщину пилы, а с целью уменьшения сил скобления в начале холостого хода А.Л. Бершадский рекомендовал увеличить задний угол пил с 18° до 28° и, следовательно, угол резания был принят равным 75° вместо 65°. Увеличение угла резания вызывает рост сил резания и ухудшение шероховатости поверхности пропила. Исследования В.Я. Фильквевича [2] показали, что распиливаемая заготовка (бревно, брус) в начале холостого хода останавливается или даже совершает возвратное перемещение. Максимальные подачи на зуб во время рабочего хода вызывают не только пиковые нагрузки во время рабочего хода, но и ухудшают шероховатость поверхности пропила.

Первые работы по совершенствованию кинематики процесса пиления древесины на лесопильных рамах были неудачными. Ожидаемый эффект не получался. При качании пил по эллиптической или каплевидной кривой не обеспечивалась синхронизация главного движения и движения подачи. При кажущейся очевидности экспериментальные проверки на опытных образцах лесопильных рам с качанием пил по эллиптическим траекториям приводили к отрицательному результату. Стало ясно, что работы в этом направлении необходимо выполнять на более высоком теоретическом уровне с аналитическим обоснованием законов перемещения пил и заготовки. Работы, выполненные автором [1], показали, что качание пил необходимо осуществлять по замкнутой самопересекающейся кривой: за рабочий ход – по кривой соответствующей половине восьмерки, а за холостой ход – соответствующей половине каплевидной кривой. В этом случае, когда пилы находятся в начале рабочего хода, их необходимо отводить от дна пропила и тем самым будет осуществляться выравнивание подачи на зуб, затем с увеличением скорости движения пил пильную рамку необходимо надвигать на заготовку, а в конце рабочего хода пильную рамку необходимо снова отводить от дна пропила. В начале холостого хода пилы необходимо отводить от дна пропила с целью исключения скобления зубьями пилы дна пропила, а затем плавно возвратить в исходное верхнее положение.

При использовании переменной скорости подачи ожидаемого роста производительности и улучшения качества пропила также не наблюдалось. Было установлено[1], что при толчковой подаче за рабочий или холостой ходы наблюдается ухудшение качества поверхности пропила, что вынуждало снижать скорость подачи. При переменной скорости с циклом на оборот исключить скобление зубьями пилы дна пропила невозможно и к тому же наблюдаются пиковые нагрузки во время рабочего хода. Работами автора [1] было установлено, что перемещение заготовки необходимо осуществлять с переменной скоростью с циклом равным ходу пил или с остановками или с возвратными перемещениями в момент нахождения пильной рамки в верхней и нижней мертвых точках. Только в этом случае можно достигнуть исключения скобления зубьями пилы дна пропила в начале холостого хода и исключить пиковые нагрузки во время рабочего хода.

На основании выполненных работ [1], Даниловский завод деревообрабатывающих станков в 1984 г изготовил опытно-промышленный образец одноэтажной лесопильной рамы Р63-4 с качанием пил по замкнутой самопересекающейся кривой типа восьмерки. Затем по исходным данным Вятского государственного университета Головное конструкторское бюро по проектированию деревообрабатывающего оборудования (ГКБД, г. Вологда) разработало проект одноэтажной лесопильной рамы модели Р63-7 с качанием пил с такой же траекторией движения. Опытный образец этой модели лесопильной рамы был изготовлен в 1992 г. Тарбагатайским ЗДС (Читинская область). Испытания показали, что производительность возросла в 1,5 раза, а энергоемкость процесса пиления снизилась на 37%. Серийный выпуск этой модели лесопильной рамы производился 6 лет.

Для совершенствования конструкций лесопильных рам предлагалось использовать рычажную подвеску для пильной рамки. В этом случае ползуны – направляющие заменяются шарнирными соединениями, что увеличивает коэффициент полезного действия машины, а так же повышает надежность и долговечность. Работы в этом направлении [3] показали, что можно также повысить число ходов пильной рамки. Однако серийного выпуска лесопильных рам с рычажной подвеской так и не было сделано. Предлагалось также использовать облегченные пильные рамки из титана, а также с полным или частичным уравновешиванием сил инерции первого порядка. Серийного изготовления таких лесопильных рам также не было. Поэтому лесопильные рамы нового поколения должны выпускаться с новой кинематикой процесса, с рычажной подвеской пильной рамки и уравновешиванием сил инерции хотя бы первого порядка.

Рассмотрим вариант такого механизма резания лесопильной рамы с использованием четырехзвенного шарнирно-рычажного механизма

Уатта (рис. 1). Для качания пил используется кривошипно-шатунный (эксцентриковый) механизм, который должен иметь частоту вращения в 2 раза больше, чем кривошипно-шатунный механизм привода пильной рамки.

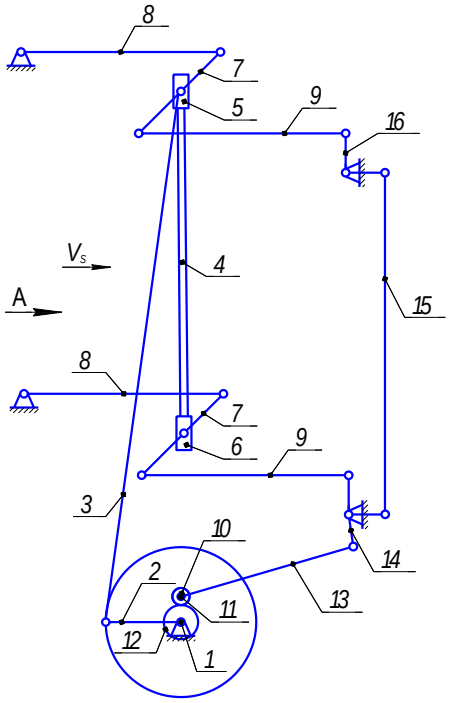


Рис. 1. Принципиальная схема лесопильной рамы с рычажной подвеской и качанием пильной рамки по самопересекающейся замкнутой кривой типа восьмерки

Лесопильная рама содержит станину, коленчатый вал *1*, кривошипы *2*, шатун *3*, пильную рамку *4* с пилами, верхнюю *5* и нижнюю *6* поперечины пильной рамки, которые установлены на средние рычаги *7* четырёхзвенных прямолинейно-направляющих механизмов Уатта. Средние рычаги *7* шарнирно соединены с крайними передними *8* и задними *9* рычагами верхних и нижних механизмов Уатта. Для осуществления качания пильной рамки в горизонтальном направлении может использоваться дополнительный кривошипно-шатунный механизм или эксцентрик *10*, который установлен на нижнем промежуточном валу *11*.

Нижний промежуточный вал *11* кинематически связан зубчатой или цепной передачей *12* с коленчатым валом *1* с передаточным отношением 2:1. Промежуточный вал *11* связан тягой (шатуном) *13*, связан и нижними двуплечими рычагами *14*. На другом конце нижнего двуплечего рычага *14* установлены шарниры, которые соединены с нижними задними рычагами *9* механизма Уатта. Нижний двуплечий рычаг *14* с помощью тяга *15* шарнирно соединен с верхними двуплечими рычагами *16*, которые в свою очередь шарнирно соединены с верхними задними рычагами *9* механизма Уатта.

Лесопильная рама работает следующим образом. Движение от коленчатого вала *1* передаётся кривошипу *2*, шатунам *3* и пильной рамке *4*. Одновременно от коленчатого вала с помощью зубчатой или цепной передачи *12* движение передаётся на промежуточный вал *11*, на котором установлены эксцентрики *10*, шарнирно соединенные с крайними нижними задними рычагами *9* механизма Уатта. Движение от вала *11* передаётся эксцентриком *10* через тягу *13* на двуплечий рычаг *14*, который шарнирно соединён с нижними задними крайними рычагами *9* механизма Уатта. Верхние крайние рычаги *9* механизма Уатта соединены с верхними двуплечими рычагами *16*, которые получают качание от нижнего двуплечего рычага *14* с помощью тяг *15*.

Таким образом, пильная рамка перемещается в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Сложение вертикального и горизонтального движения пильной рамки обеспечивает движение пил по замкнутой самопересекающейся кривой типа восьмёрки (рис. 2), которая позволяет исключить скобление зубьями пилы дна пропила в начале холостого хода пил и ликвидировать максимальные значения подачи на зуб во время рабочего хода.

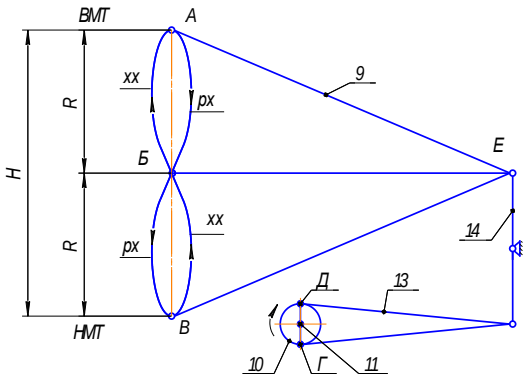


Рис. 2. Положения крайнего рычага *9* четырёхзвенного шарнирно-рычажного механизма Уатта

Важным аспектом таких лесопильных рам с качанием пильной рамки является синхронизация этих движений (рис. 2). В начальный период рабочего хода пильной рамки, когда пилы находятся в верхней мёртвой точке, пилы необходимо отводить от дна пропила, так как скорость движения пил небольшая и таким образом будет осуществляться выравнивание толщины срезаемого слоя древесины зубом пилы. Примерно в середине первой половины хода пил необходимо надвигать на распиливаемую заготовку, так как скорость пил возросла и продолжает возрастать и, следовательно, можно увеличивать подачу на

зуб пилы. Этот этап завершается примерно в третьей четверти хода пил. В последней четверти хода пильной рамки пилы снова необходимо отводить от дна пропила и тем самым обеспечивать выравнивание толщины срезаемого слоя. В начале холостого хода необходимо продолжить отвод пил от заготовки, чтобы исключить скобление зубьями пилы дна пропила, так как скорость движения пил в этот период небольшая. Следует иметь в виду, что скорость движения пил возрастает по мере перемещения пильной рамки вверх, а затем уменьшается. В дальнейшем во время холостого хода пилы необходимо возвратить в исходное верхнее крайнее положение, исключая их взаимодействие с заготовкой.

Синхронизацию главного движения с движением подачи можно достигнуть в том случае, когда радиус эксцентрика *10* должен находиться в нижнем крайнем положении (точка Г). При повороте эксцентрика из точки Г в точку Д другая крайняя точка А рычага *9* займёт положение Б. При дальнейшем повороте эксцентрика из точки Д в точку Г крайняя точка А рычага *9* переместиться в точку В. Во время холостого хода эта точка В рычага 9 переместиться сначала в точку Б, заняв положение БЕ, а затем в точку А, заняв положение АЕ. Таким образом, при повороте кривошипа *2* привода пильной рамки на 360° эксцентрик *10* совершает поворот на 720°, т.е. эксцентрик вращается в 2 раза быстрее, чем кривошип привода пильной рамки. Только в этом случае будет обеспечиваться синхронизация главного движения и движения подачи, позволяющая оптимизировать процесс пиления древесины рамными пилами и исключить пиковые нагрузки на зубья пилы. Следовательно, когда пильная рамка *4* занимает верхнее крайнее положение (ВМТ), эксцентриситет эксцентрика *10* должен находиться в крайнем нижнем положении (точка Г, рис. 2) и рычаг *9* должен занимать положение АЕ. В начале рабочего хода пильной рамки перемещение эксцентрика *10* необходимо осуществлять по часовой стрелки и только в этом случае пилы будут отводиться от дна пропила, и будет наблюдаться выравнивание толщины срезаемого слоя в начале рабочего хода пил.

На современных лесопильных рамах с кривошипно-шатунным механизмом привода пильной рамки вращение коленчатого вала за рабочий ход направлено против вектора скорости подачи. Это объясняется тем, что динамические нагрузки на ползуны и направляющие (или шарниры) пильной рамки уменьшаются во время рабочего хода. Следовательно, если эксцентрик в начале рабочего хода необходимо вращать по направлению вектора скорости подачи, то вращение коленчатого вала должно быть направлено против направления вращения эксцентрика. Для таких лесопильных рам важно выбрать рациональные параметры особенно механизма качания. Прежде всего необходимо определить радиус эксцентрика или дополнительного кривошипно-шатунного механизма качания пильной рамки. Обосновать выбор этого радиуса можно лишь из кинематики процесса пиления древесины на лесопильных рамах. Перемещение пил по вертикали осуществляется по формуле (рис. 3)

$$y=R\,(1-\cos\alpha) \qquad (1)$$

где R – радиус кривошипа привода пильной рамки, α– угол поворота кривошипа.

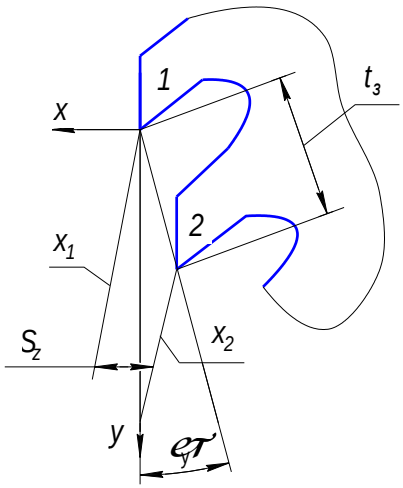


Рис. 3. Схема перемещения зубьев пилы в пропиле

Перемещение заготовки в горизонтальной плоскости с равномерной скоростью подачи определяется уравнением (для первого зуба пилы)

$$x_1=\frac{S_0}{2\pi}\alpha, \qquad (2)$$

где S_0 – подача на один оборот коленчатого вала кривошипно-шатунного механизма привода пильной рамки.

Качание пил в горизонтальной плоскости производится от эксцентрика или дополнительного кривошипно-шатунного механизма с частотой в 2 раза больше чем кривошипно-шатунного механизма привода пильной рамки. Качание пил по горизонтали опишется уравнением

$$x_к=r\cdot\sin 2\alpha, \qquad (3)$$

где r – радиус эксцентрика или дополнительного кривошипно-шатунного механизма качания пильной рамки.

Тогда траектория движения зуба пилы в пропиле определится по формуле

$$x_1 = \frac{S_0}{2\pi}\arccos\frac{R-y}{R} - r\cdot\sin 2\arccos\frac{R-y}{R}. \quad (4)$$

Аналогично траектория второго нижнего соседнего зуба пилы в пропиле описывается следующей системой уравнений

$$\begin{cases} y = R(1-\cos\alpha)+t_з\cdot\cos\varphi_y \\ x = \frac{S_0}{2\pi} - t_з\cdot\sin\varphi_y \\ x_к = r\cdot\sin 2\alpha \end{cases}, \quad (5)$$

где φ_y – угол наклона пил, который определяется по формуле

$$\varphi_y = \operatorname{arctg}\frac{S_0}{2H}, \quad (6)$$

где H – ход пильной рамки, который для центральных кривошипно-шатунных механизмов равен H =2R.

Тогда траектория движения соседнего нижнего зуба пилы определится уравнением

$$x_2 = \frac{S_0}{2\pi}\arccos\frac{R-y+t_з}{R} - r\cdot\sin 2\arccos\frac{R-y+t_з}{R} - \frac{t_з S_0}{2H}. \quad (7)$$

Следовательно, подача на зуб пилы определится по формуле

$$S_z = x_1 - x_2 = \frac{S_0}{2\pi}\arccos\frac{R-y}{R} - \arccos\frac{R-y+t_з}{R} + \frac{t_з S_0}{4R} - r\left(\sin\left(2\arccos\frac{R-y}{R}\right) - \sin\left(2\arccos\frac{R-y+t_з}{R}\right)\right), \quad (8)$$

В конце рабочего хода пилы (y=2R и α=π), подача на зуб пилы определиться по формуле

$$S_z = \frac{S_0}{2\pi}\left(\pi - \arccos\frac{t_з-R}{R}\right) - r\left(\sin 2\pi - \sin 2\frac{t_з-R}{R}\right) + \frac{t_з S_0}{4R}, \quad (9)$$

Принимая подачу на зуб пилы в конце рабочего хода равной половине среднего значения подачи на зуб за оборот, $S_z = \frac{S_0\cdot t_з}{4R}$, можно определить радиус эксцентрика или дополнительного кривошипно-шатунного механизма качания пильной рамки по формуле

$$r = \frac{\frac{S_0}{2\pi}\cdot\left(\pi - \arccos\frac{t_з-R}{R}\right)}{\sin 2\pi - \sin\left(2\arccos\frac{t_з-R}{R}\right)}. \quad (10)$$

Расчеты по представленным формулам показывают, что радиус эксцентрика для одноэтажных лесопильных рам (R=200 мм, S_o=30 мм, $t_з$=26 мм) составляет 3,25 мм. Для этого варианта изменение подачи на зуб S_Z во время рабочего хода представлена в табл. 1. В расчетах принято передаточное отношение рычажной подвески механизма качания равным единице.

Таблица 1. Изменение величины подачи на зуб S_Z во время рабочего хода при R=200 мм и $t_з$=26 мм

r	So	Положение пильной рамки по вертикали, мм									
		y	26	50	100	150	200	250	300	350	400
0	30	S_Z	3,43	2,06	1,73	1,60	1,64	1,61	1,66	1,83	3,43
3,25	30		0,64	1,55	2,09	2,34	2,43	2,41	2,24	1,89	0,65
3,25	20		-0,49	0,86	1,52	1,8	1,90	1,87	1,69	1,28	-0,49
3,25	10		-1,64	0,18	0,94	1,25	1,37	1,33	1,13	0,67	-1,64

Расчеты показывают, что при отсутствии качания пильной рамки пиковые значения подачи на зуб достигают S_Z=3,43 мм. При качании пильной рамки пиковые значения S_Z отсутствуют, но наблюдается потеря рабочего хода когда подача на оборот уменьшилась в 1,5 раза. Такое изменение вполне приемлемо, так как перемещение пильной рамки в зонах верхней и нижней мертвых точек происходит с малой скоростью. Таким образом, такое сочетание движений обеспечивает не только синхронизацию главного движения и движения подачи, но и создает оптимальные условия работы механизма резания лесопильной рамы.

Выводы: технологические расчеты и анализ параметров существующих одноэтажных лесопильных рам модели Р63 показал, что мощность привода механизма резания, равная 45 кВт, явно не достаточно. Поэтому рекомендуется в лесопильных рамах Р63 нового поколения мощность привода механизма резания увеличить до 65-75 кВт. В этом случае производительность таких лесопильных рам в совокупности увеличится в 2,0-2,2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Агапов, А.И.* Кинематика лесопильных рам. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. 144 с.
2. Фонкин, В.Ф. Лесопильные станки и линии. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. 320 с.
3. Филькевич, В.Я. Динамика лесопильных рам. – М.: Лесн. пром-сть, 1968. 230 с.

SAWING FRAMES OF NEW GENERATION

© 2014 A.I. Agapov

Vyatka State University, Kirov

In article the main directions of improvement the sawing frames are noted and variant of a modern sawing frame with lever suspension bracket of a saw frame in Watt's four-unit mechanisms is considered. For swing of a saw frame it is offered to use additional crank-rod or clown mechanism which has the frequency of rotation twice bigger, than the crank-rod mechanism of saw frame drive. The kinematics of sawing process on such sawing frame is considered, and formulas for feeding definition on saw tooth are offered, and also formulas for determination the clown radius at which synchronization of the main movement and feeding movement is provided. Calculations showed that for synchronization of these movements in relation to parameters of one-storeyed sawing frame, the radius of the clown has to be equal to 3,25 mm. Such variant of a sawing frame allows to increase productivity, to reduce power consumption of process and to increase reliability and durability.

Key words: *swing mechanism, saw frame, lever suspension bracket, feeding, saw tooth, synchronization of movements, clown radius*

Alexander Agapov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department "Machines and Technologies of Woodworking". E-mail: kaf_mtd@vyatsu.ru