

УДК 674.914:674.338

В. В. Раповец, инженер (БГТУ)

КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ ФРЕЗАМИ СО СПИРАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ДВУХЛЕЗВИЙНЫХ НОЖЕЙ

Статья содержит результаты исследований влияния геометрии двухлезвийных ножей фрезерно-брусующих станков на силовые показатели процесса обработки древесины с получением продукции. Разработана комплексная методика проведения экспериментальных исследований и технические средства для синхронной регистрации составляющих сил резания. Представлены результаты экспериментальных исследований процесса резания древесины на фрезерно-брусующих станках. Установлены закономерности влияния геометрических параметров лезвий ножа на составляющие силы резания и разработаны рекомендации по их практическому использованию для расчета мощности привода механизма резания, расчетов на жесткость и прочность узлов крепления и крепежных элементов двухлезвийных ножей. Проведены опытно-промышленные испытания разработанных конструкций сборных двухлезвийных ножей и внедрены в производство.

In this article results of researches of influence of geometrical parameters double-blade knives of chipper canter machine tools on power indicators of process of cutting of wood for reception saw product and technological chips are presented. The complex technique of carrying out of experimental researches and means is developed for synchronous registration of making forces of cutting. Results of experimental researches of a cutting action of wood on chipper-canter are presented. Laws of influence of geometrical parameters of knife blades on making forces of cutting are established and recommendations about their practical use are developed for calculation of capacity of a drive of the mechanism of cutting, calculations on rigidity and durability of knots of fastening and fixing elements double-blade knives. Trial tests of new designs modular double-blade knives are conducted and introduced in manufacture at complex processing of wood on chipper canter machine tools.

Введение. Согласно прогнозным данным Министерства экономики Республики Беларусь, общий объем заготовки ликвидной древесины составлял 13,6 млн. м³ в 2008 году, планируется его увеличение до 16,7 млн. м³ к 2015 году. Запланирован также выпуск пилопродукции в объеме около 6,1 млн. м³ из деловой древесины. Для изготовления плитных материалов (ДСтП, ДВП, МДФ) в 2008 году потребовалось около 1 млн. м³ технологической щепы и на перспективу планируется дальнейшее увеличение объемов производства. Концерном «Беллесбумпром» Республики Беларусь подготовлено 14 проектов по модернизации действующих производств и созданию новых с общим объемом финансирования около 1400 млрд. руб.

Комплексная переработка древесины на пилопродукцию и технологическую щепу позволяет совмещать во времени несколько технологических операций, обеспечивать безотходную технологию переработки древесины, высокую производительность, механизацию и автоматизацию процесса, контролируемую числовым программным управлением (ЧПУ).

В состав лесопильных линий входят фрезерно-брусующие станки (ФБС), оснащенные дорогостоящим режущим инструментом – сборными фрезами со спиральным расположением цельных двухлезвийных ножей, в основном зарубежного производства. Данное оборудование получило наибольшее распространение на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях Респуб-

ки Беларусь, например: эксплуатируется линия фирмы SAB (Германия) на ОАО «Борисовский ДОК», 2 линии Giga 02 фирмы A. Costa righi (Италия) на ОАО «Светлогорский ЦБК», 2 линии Giga 02 на РПУП «Завод газетной бумаги», линия на ОАО «Оршанский КСМ» и др.

Двухлезвийные ножи, жестко закрепленные в корпусах резцедержателей сборных фрез, не позволяют изменять режимы обработки в зависимости от обрабатываемых пород древесины, имеющих различные физико-механические характеристики (влажность, плотность, твердость, теплопроводность и др.), условий и местности произрастания и пр., даже в пределах одной группы.

Изменение геометрии двухлезвийных ножей позволяет устанавливать режимы обработки для получения качественной продукции: пиломатериалов и технологической щепы. Качество продукции комплексной обработки древесины необходимо контролировать, чтобы установить производственные режимы обработки, позволяющие снизить сырьевые, энергетические затраты, затраты на обслуживание режущего инструмента и ремонт оборудования. Поэтому актуальной проблемой комплексной обработки древесины на фрезерно-брусующих станках, эксплуатируемых в Республике Беларусь, является разработка сборных конструкций двухлезвийных ножей с геометрическими параметрами, обеспечивающих качество получаемой продукции и снижение энергетических затрат.

Основная часть. Изучению процессов при фрезеровании древесины, эффективности использования оборудования, геометрии режущих инструментов посвящены исследования отечественных и зарубежных ученых (А. Л. Бершадский, N. Hartler, R. Papworth, Л. З. Лурье, Н. Bausch, J. Stone, С. А. Воскресенский, В. В. Амалицкий, Е. М. Боровиков, А. Э. Грубе, В. И. Санев и др.). От геометрии ножей фрез, режимов обработки древесины различных пород зависят качество получаемых пилопродукции и технологической щепы, энергетические затраты, эксплуатационные расходы на режущий инструмент. Факторы, влияющие на результат резания в наибольшей степени, определяются геометрией двухлезвийных ножей фрез фрезерно-брусующих станков: углы резания при длинном и коротком лезвиях ножа, углы перерезания волокон, угол движения.

Сборные фрезы фрезерно-брусующих станков со спиральным расположением цельных двухлезвийных ножей предназначены для переработки бревен на пилопродукцию и конструктивно обеспечивают получение заданных размерных параметров технологической щепы (рис. 1).

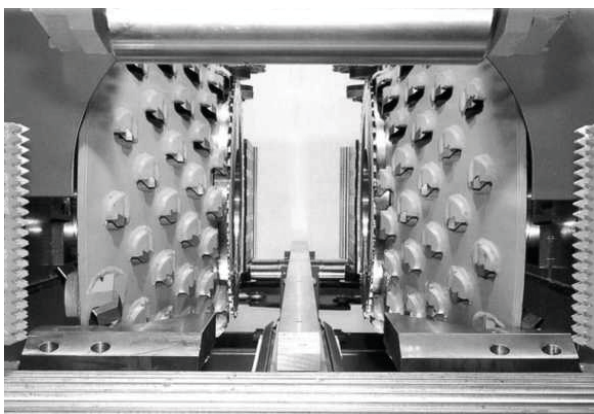


Рис. 1. Сборные фрезы фрезерно-брусующих станков

Вид резания древесины (торцевой, поперечный, продольный, их переходные комбинации) влияет на силы резания, в том числе и касательную, определяющую мощность на резание, и качественные показатели продукции (шероховатость, риски, сколы, вырывы на поверхности пласти пиломатериала, геометрические параметры и торцевой угол среза технологической щепы) и фиксирован для условий работы лезвий ножа [1].

Конструкции сборных фрез со спиральным расположением цельных двухлезвийных ножей, которыми оснащено оборудование фирм SAB, EWD (Германия), Soderhamn-Eriksson, Ari Vislanda (Швеция), A. Costa rigli (Италия-Германия), Storti, Artiglio (Италия), Heinola, Veisto Group (Финляндия) и др., не позволяют

изменять режимы резания, варьируя угловыми параметрами ножей, и оказывают влияние на энергозатраты и качество продукции. Цельные ножи изнашиваются по-разному. Для комплексной обработки промышленных пород древесины с разными физико-механическими характеристиками необходимы и различные угловые параметры лезвий ножей.

Предложено использовать не цельные двухлезвийные ножи, а сборные конструкции, состоящие из двух отдельных лезвий (рис. 2). Это позволяет изменять геометрию лезвий ножей, смещать их независимо друг от друга, определять рациональные параметры для обрабатываемой породы древесины, обеспечить высокое качество продукции, снизить энергетические затраты, повысить стойкость режущего инструмента.



Рис. 2. Сборные двухлезвийные ножи

Снижение сил резания при обработке древесины на фрезерно-брусующих станках двухлезвийными ножами возможно за счет изменения геометрии ножей: углов резания при коротком и длинном лезвиях ножа, угла перерезания волокон, углов заострения лезвий ножа, заднего угла, а также смещения лезвий ножа.

Сравнительные расчеты значений сил резания по методикам А. Л. Бершадского, П. С. Афанасьева, Ф. И. Коперина, Н. М. Вальщикова, Н. И. Тимофеева показали разброс в интервале значений от 500 Н до 1649,4 Н при равных условиях: древесина сосны влажностью 35%, скорость резания 13 м/с, толщина технологической щепы 5 мм, длина щепы 25 мм, угол перерезания волокон 45°, угол заострения режущих кромок 40°, угол резания 43°, радиус затупления режущих кромок 8 мкм. Данные эмпирические методики разрабатывались для строго определенных условий проведения экспериментов и предполагают последовательное

поэтапное исследование факторов, влияющих на процесс обработки древесины фрезами со спиральным расположением двухлезвийных ножей. Установлено, что в приведенных методиках не учитывается динамика процесса резания, в частности трансформация углов резания при режущих лезвиях, а также появляющийся на коротком лезвии ножа при его движении динамический задний угол.

Разработана комплексная методика, которая позволила установить взаимосвязь показателей качества продукции и силовых характеристик процесса комплексной обработки древесины на фрезерно-брусующих станках [2] с учетом его достаточной сложности и специфических особенностей, а использование современной контрольно-измерительной аппаратуры – обеспечить достоверность и высокую точность результатов.

Переменными исследуемыми факторами являются: угол скоса ξ_d при длинном лезвии ножа, угол скоса ξ_k при коротком лезвии ножа, смещение лезвий ножа Δl . Выходными параметрами являлись составляющие силы резания F_x, F_y, F_z , фиксируемые разработанной измерительной системой, качество поверхности пласти бруса (шероховатость) и технологической щепы (размерно-качественные характеристики). Использован план B_3 математического планирования экспериментов, который позволяет получить функции отклика в виде уравнений регрессии второго порядка. Схема синхронной регистрации составляющих силы резания при взаимодействии сборного двухлезвийного ножа с древесиной с древесиной представлена на рис. 3.

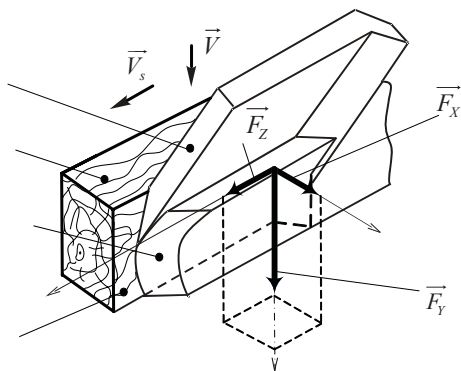


Рис. 3. Схема синхронной регистрации составляющих силы резания при взаимодействии сборного двухлезвийного ножа с древесиной: V_s – вектор скорости подачи; V – вектор скорости резания; F_x – составляющая сил резания вдоль оси X ; F_y – составляющая сил резания вдоль оси Y ; F_z – составляющая сил резания вдоль оси Z

Составляющая суммарной силы резания F_y определяет энергетические показатели процесса

резания древесины, и ее значения необходимы для расчета мощности привода механизма резания; F_x, F_z воспринимаются узлами крепления двухлезвийных ножей и рекомендуются к использованию для практических расчетов на жесткость и прочность крепежных элементов [3].

В соответствии с комплексной методикой проведения экспериментальных работ и методической сеткой опытов изготовлены из легированной термообработанной стали марки 65Г экспериментальные образцы сборных двухлезвийных ножей с различными угловыми параметрами. Конструкции ножей предусматривают возможность крепления на колонке-резцедержателе с независимой установкой требуемых угловых параметров и линейного смещения лезвий на колонке-резцедержателе. Проведены экспериментальные исследования.

Постоянными факторами приняты следующие: исследуемый материал – древесина сосны, ели; скорость резания $V = 13$ м/с; направление резания – поперечное, поперечно-торцовое; толщина снимаемого слоя 5 мм; диаметр резания 470 мм; подача на нож $U_z = 25$ мм; задний угол на лезвиях ножа $\alpha = 3^\circ$; угол заострения длинного и короткого режущих лезвий 40° ; начальный радиус закругления лезвий ножа 6–8 мкм.

Оценка показателей качества технологической щепы проводилась поверенными измерительными приборами: контроль линейных параметров – штангенциркулем с ценой деления 0,01 мм; показатели качества торцевого среза щепы – лупой с 20-кратным увеличением и электронным микроскопом JEOL JSM-5610; шероховатость обработанной поверхности пласти бруса – индикаторным глубиномером, оптическим прибором ТСП-4, микроскопом МИС-11 с использованием стандартных методик проведения измерений. Кроме того, проводилась фоторегистрация показателей качества продукции цифровым фотоаппаратом Canon A710 IS с разрешением 3072×2304 dpi (точек на квадратный дюйм). Выполнено более 5,5 тыс. снимков с различных ракурсов для объективной оценки полученных результатов.

Результаты выполненных исследований позволили разработать математические модели (1) и (2), описывающие указанное влияние геометрии лезвий ножа на касательную силу резания.

Для древесины сосны функция отклика F_y в явном виде выглядит следующим образом:

$$F_y = 632,78 - 1,51\xi_d + 1,89\xi_d + 2,80\Delta l - 0,03\xi_d\xi_k + 0,03\xi_d\Delta l + 0,45\xi_k\Delta l + 0,19\xi_k^2 + 3,76\Delta l^2, \quad (1)$$

где ξ_d – угол скоса при длинном лезвии ножа, град; ξ_k – угол скоса при коротком лезвии ножа, град; Δl – смещение лезвий ножа, мм.

Для древесины ели функция отклика F_Y в явном виде

$$F_Y = 669,64 - 2,20\xi_d - 7,86\Delta l + 0,08\xi_d\xi_k - 0,36\xi_d\Delta l + 0,66\xi_k\Delta l + 0,02\xi_d^2 + 0,20\xi_k^2 + 3,72\Delta l^2. \quad (2)$$

Для анализа полученных моделей и установления степени влияния каждого независимого фактора на касательную силу F_Y , определяющую энергетические затраты и необходимую для расчета мощности привода механизма резания, целесообразно использовать поверхности отклика.

Для древесины сосны (рис. 4): при угле скоса длинного лезвия ножа $+30^\circ$, угле скоса короткого лезвия ножа -2° и смещении лезвий ножа на величину $-0,3$ мм минимальное значение функции отклика касательной силы резания F_Y равно $585,9$ Н; при угле скоса длинного лезвия ножа -30° , угле скоса короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещении лезвий ножа на $+5$ мм максимальное значение функции отклика касательной силы резания F_Y равно 960 Н.

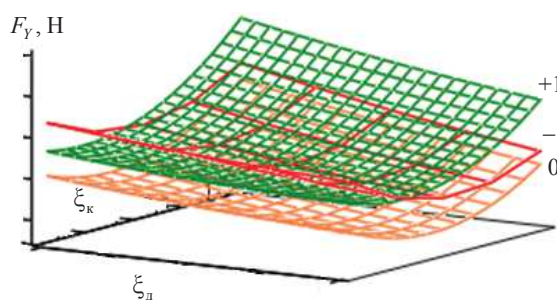


Рис. 4. Поверхности отклика функции касательной силы резания F_Y при фиксировании фактора X_3 – смещения лезвий ножа для древесины сосны

С увеличением угла скоса длинного лезвия ножа от -30° до $+30^\circ$ происходит уменьшение касательной силы резания на всех трех уровнях варьирования смещения лезвий ножа. Это связано с уменьшением угла резания при длинном лезвии ножа и увеличением плавности входа его в древесину. С увеличением угла скоса короткого лезвия ножа от -20° до $+20^\circ$ увеличивается касательная сила резания. Такой характер поведения данной функции отклика заметнее проявляется при переходах от основного уровня варьирования (0) фактора X_3 к верхнему уровню (+1), возрастание касательной силы резания более интенсивное. Причиной служит увеличение суммарной длины резания коротким лезвием ножа, работающего в условиях поперечно-торцевого

вида резания. Аналогично проведен анализ построенных функций отклика при варьировании переменными факторами X_1 и X_2 .

Для древесины ели (рис. 5): исследование экстремумов функции отклика касательной силы резания F_Y показало, что при угле скоса длинного лезвия ножа $+30^\circ$, угле скоса короткого лезвия ножа $-11,5^\circ$, смещении лезвий ножа на величину $+3,5$ мм функция отклика касательной силы резания F_Y принимает минимальное значение $575,4$ Н; при угле скоса длинного лезвия ножа -30° , угле скоса короткого лезвия ножа $+20^\circ$ и смещении лезвий ножа на величину $+5$ мм максимальное значение функции отклика касательной силы резания F_Y равно 1024 Н.

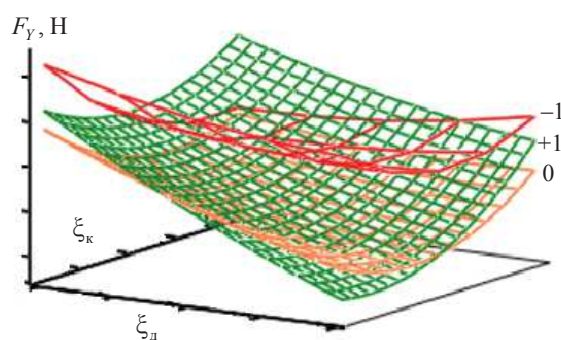


Рис. 5. Поверхности отклика функции касательной силы резания F_Y при фиксировании фактора X_3 – смещения лезвий ножа для древесины ели

Представленные на рис. 5 поверхности отклика показывают, что при увеличении угла скоса длинного лезвия ножа от -30° до $+30^\circ$ резко снижается значение функции отклика касательной силы резания на уровнях варьирования смещения лезвий ножа (0) и (+1). Менее интенсивно касательная сила резания падает при нижнем уровне варьирования фактора X_3 . Это объясняется уменьшением угла резания при длинном лезвии ножа и увеличением плавности входа его в древесину. С увеличением угла скоса короткого лезвия ножа от -20° до $+20^\circ$ изменение касательной силы резания на трех уровнях варьирования фактора X_3 проявляется по-разному. На нижнем уровне (-1) она снижается за счет преобладания поперечного вида резания длинным лезвием ножа, так как короткое лезвие ножа внедряется в древесину с запаздыванием. На верхнем уровне (+1) значения касательной силы резания плавно увеличиваются из-за увеличения суммарной длины резания коротким лезвием ножа и доминирования поперечно-торцевого вида резания, при этом с запаздыванием рез осуществляет длинное лезвие. На основном уровне (0) функция отклика касательной силы резания F_Y остается практически пологой с небольшими изменениями.

Аналогично проведен анализ построенных функций отклика при варьировании переменными факторами X_1 , X_2 и для древесины ели.

При определении качества среза торца технологической щепы использовался электронный микроскоп JEOL JSM-5610. Микроструктурные исследования показали, что торец технологической щепы может быть образован без смятия волокон древесины или с их частичной закрытостью. При угле скоса длинного лезвия ножа -15° , угле скоса короткого лезвия ножа $+10^\circ$, смещении лезвий ножа 0 мм технологическая щепка образуется без смятия волокон древесины (рис. 6). Такая щепка характеризуется стабильными размерно-качественными характеристиками в соответствии с требованиями ГОСТ 15815 и рекомендуется к использованию в целлюлозно-бумажном производстве.

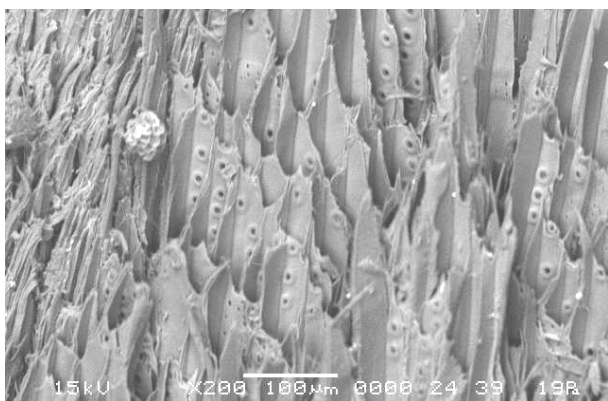


Рис. 6. Микроструктура торца технологической щепы с открытой структурой волокон древесины

При угле скоса длинного лезвия ножа $+15^\circ$, угле скоса короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещении лезвий ножа 0 мм технологическая щепка образуется с частичным смятием волокон древесины (рис. 7). Такая щепка также характеризуется стабильными размерно-качественными характеристиками и рекомендуется к использованию в производствах плитных материалов.

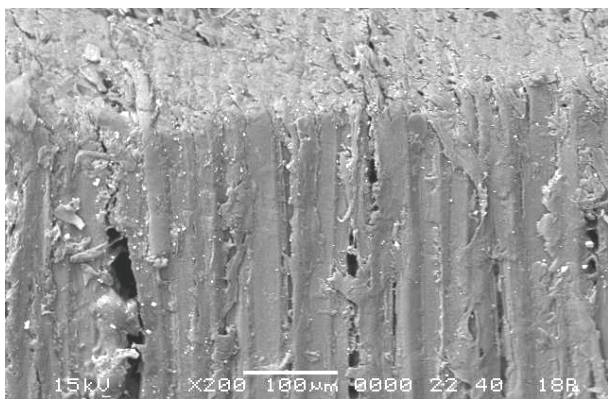


Рис. 7. Микроструктура торца технологической щепы с закрытой структурой волокон древесины

Результаты анализа разработанных математических моделей и построенных на их основе трехмерных поверхностей функций отклика касательной силы резания F_T в пределах исследуемых интервалов варьирования независимых факторов, оценки показателей качества продукции позволили рекомендовать к практическому использованию геометрические параметры сборного двухлезвийного ножа: при обработке древесины сосны угол скоса длинного лезвия ножа $+15^\circ$, угол скоса короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещение лезвий ножа 0 мм с получением шероховатости поверхности пласти бруса около 150 мкм (рис. 8).

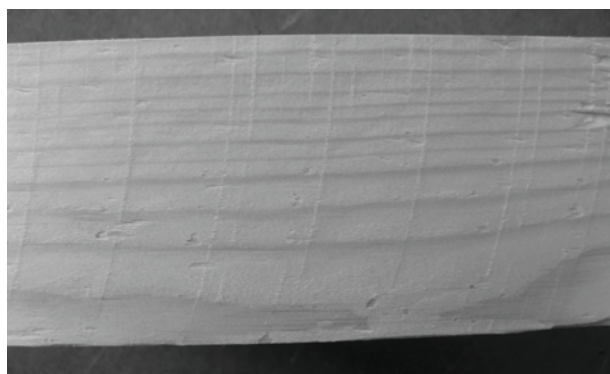


Рис. 8. Качество поверхности пласти бруса древесины сосны

Изготовлены промышленные образцы нового режущего инструмента с указанными геометрическими параметрами (рис. 9).

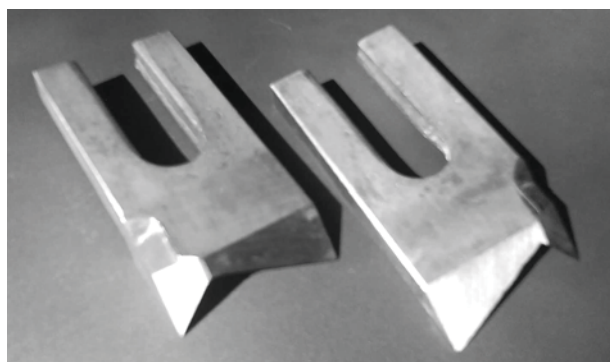


Рис. 9. Промышленные образцы нового режущего инструмента

Проводились производственные испытания изготовленных промышленных образцов двухлезвийных ножей на фрезерно-брусующем станке PSP 500 второго ряда в составе линии SAB (Германия) ОАО «Борисовский ДОК».

При проведении производственных испытаний фиксировалась шероховатость поверхности пласти бруса древесины сосны. При обработке базовыми двухлезвийными ножами (угол скоса длинного лезвия ножа 0° , угол скоса короткого

лезвия ножа -20° , смещение лезвий ножа 0 мм) шероховатость поверхности составляла около 350 мкм, разработанными новыми (угол скоса длинного лезвия ножа $+15^\circ$, угол скоса короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещение лезвий ножа 0 мм) – 150 мкм, т. е. снизилась в 2,3 раза. Аналогичные результаты могут быть получены при проведении испытаний разработанных новых конструкций сборных двухлезвийных ножей на других лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях, выпускающих пилопродукцию и технологическую щепу на фрезерно-брусующих станках.

Заключение. Результаты экспериментальных исследований позволили установить эмпирические зависимости составляющих F_X и F_Z силы резания, которые рекомендуются к использованию при конструировании узлов крепления ножей фрезерно-брусующих станков. Установлено, что геометрические параметры двухлезвийных ножей влияют на касательную силу резания F_Y , определяющую энергетические затраты процесса резания.

Касательная сила резания F_Y при обработке:

а) древесины сосны на режимах с углом скоса длинного лезвия ножа $+30^\circ$, углом скоса короткого лезвия ножа -2° , смещением лезвий ножа $-0,3$ мм уменьшается на 12,9% (с 672,4 Н до 585,9 Н);

б) древесины ели на режимах с углом скоса длинного лезвия ножа $+30^\circ$, углом скоса короткого лезвия ножа $-11,5^\circ$, смещением лезвий ножа $+3,5$ мм уменьшается на 23,4% (с 751,0 Н до 575,4 Н).

Обеспечивается следующее качество поверхности пласти бруса:

а) для древесины сосны на режимах с углом скоса длинного лезвия ножа $+15^\circ$, углом скоса короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещением лезвий ножа 0 мм шероховатость обработанной поверхности пласти бруса снижается с 350 мкм до 150 мкм по сравнению с аналогом и одновременным повышением энергетических затрат на процесс.

б) для древесины ели на режимах с углом скоса длинного лезвия ножа $+15^\circ$, углом скоса короткого лезвия ножа -20° , смещением лезвий ножа $+5$ мм шероховатость обработанной поверхности пласти бруса снижается с 930 мкм до 380 мкм с повышением энергетических затрат на процесс.

Стабильные размерно-качественные характеристики технологической щепы обеспечиваются:

а) для древесины сосны на режимах с углом скоса длинного лезвия ножа -15° , углом скоса короткого лезвия ножа $+10^\circ$, смещением лезвий ножа 0 мм;

б) для древесины ели на режимах с углом скоса длинного лезвия ножа -15° , углом скоса короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещением лезвий ножа 0 мм.

Результаты экспериментальных исследований обработки древесины сосны и ели на фрезерно-брусующих станках показали, что рациональные геометрические параметры двухлезвийных ножей должны устанавливаться в каждом конкретном случае с учетом снижения энергетических показателей процесса резания и обеспечения требуемых качественных показателей продукции.

Проведенные опытно-промышленные испытания разработанных новых конструкций сборных двухлезвийных ножей на ОАО «Борисовский ДОК» на ФБС второго ряда при обработке 2-кантного бруса на 4-кантный за счет снижения сил резания позволили уменьшить сколы и вырывы на кромках и получить шероховатость поверхности пласти бруса до 150 мкм, снизить производственный брак.

Выполненные расчеты технико-экономических показателей применительно к ОАО «Борисовский ДОК» свидетельствуют об экономической эффективности использования новых конструкций сборных двухлезвийных ножей ФБС. За счет снижения текущих затрат на режущий инструмент, электрическую энергию, снижение брака производства готовой продукции при обеспечении требуемого качества можно достичь ожидаемого годового экономического эффекта в размере 49 511,26 тыс. руб. в ценах 2009 года.

Литература

1. Раповец, В. В. Возможности управления качественными и силовыми показателями процесса формирования технологической щепы двухлезвийными резцами на фрезерно-брусующих станках / В. В. Раповец, Н. В. Бурносков // Труды БГТУ, Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 251–255.

2. Раповец, В. В. Методика проведения экспериментальных исследований процесса резания древесины на фрезерно-брусующих станках / В. В. Раповец, Н. В. Бурносков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 175–177.

3. Раповец, В. В. Влияние угловых параметров двухлезвийных ножей фрезерно-брусующих станков на энергетические показатели / В. В. Раповец, Н. В. Бурносков, А. К. Вершина // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 297–300.

Поступила 01.04.2010