

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ НАИБОЛЕЕ ВЛИЯЮЩИХ ПЕРЕМЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СИЛОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ РАМНЫМИ ПИЛАМИ

In article results of researches on revealing the most influencing variable factors on specific force of cutting wood by frame saws.

Анализ влияния переменных факторов на режимы эксплуатации рамных пил дает основание для проведения исследований с использованием математического метода планирования, так как он позволяет выполнять моделирование процесса с установлением рационального значения выходного показателя механической обработки.

В то же время для проведения исследований выделено девять переменных факторов, которые оказывают влияние на силы резания при пилении древесины рамными пилами. Такое количество переменных факторов требует проведения исследований по выявлению наиболее значимых.

Литературные данные содержат априорную информацию существований кривизны поверхности оптимума как для отдельно взятых факторов, так и их парных взаимодействий, что позволяет выполнить эксперимент с реализацией математического метода планирования второго порядка.

Метод случайного баланса, не обладая высокой достоверностью полученных результатов, использует планирование эксперимента первого порядка, т. е. все переменные факторы при использовании данного метода должны варьироваться только на двух уровнях. Такое условие позволяет сократить трудозатраты на подготовку образцов, изготовление и наладку экспериментальной оснастки и установки.

Для построения матрицы случайного баланса используется случайный механизм. Число опытов выбирают таким образом, чтобы оно было кратным 8 и превышало число $(k+1)$, где k – число переменных факторов. Для 9 переменных факторов можно применить матрицу из 16 опытов т. к. $8 < (9 + 1)$.

Матрица планирования построена при случайном распределении уровней факторов по столбцу путем произвольного выбора карточек со знаками «+» и «-».

Исследования выполнены на экспериментальных установках, обеспечивающих возможность проведения исследовательских работ по единой методике с установлением режимов резания для условий, предусмотренных методической сеткой опытов с учетом рекомендаций Ф.М. Манжоса, Н.А. Кряжева и Ю.А. Цуканова [1].

Для проведения исследований по силовым показателям применена экспериментальная установка, позволяющая производить регистрацию значений сил, действующих на зубья рамной пилы при распиловке древесины. Для создания установки за основу был взят станок модели Ф-4, который дополнительно оборудован специальными механизмами и приспособлениями с целью регулирования исследуемых факторов в широком диапазоне.

Для измерения составляющих сил резания применен высокочастотный динамометр (стакан) конструкции Дружкова с предварительно натянутыми проволочными датчиками сопротивления. Динамометр представляет собой упругий элемент в виде цилиндра и наружного кольца. В стакане имеются четыре отверстия для крепления зажимного приспособления, в котором закрепляется образец.

Для измерения напряжений на поверхностях измерительного динамометра в качестве чувствительных элементов использованы проволочные тензодатчики омического сопротивления, включенные в полумостовую схему. Для усиления мостового напряжения применялся усилитель 8АНЧ-7М. Регистрация выходных величин возможна путем использования либо микроамперметра М907, либо осциллографа.

Перед реализацией проведена проверка пригодности матрицы случайного баланса. Основное свойство этих матриц заключается в том, что среди столбцов для линейных и парных взаимодействий не должно быть двух столбцов с полностью совпадающими или с полностью противоположными знаками. В этом случае столбцы являются полностью закоррелированными ($r_{ij} = \pm 1$), и разделить влияние соответствующих эффектов невозможно. В то же время полностью некоррелированными ($r_{ij} = 0$) столбцы матрицы быть не могут, так как она не ортогональна, т. е. при многих $i \neq j$ сумма $\sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju}$ не равна нулю. Таким образом, принятая матрица планирования эксперимента путем случайной выборки верхних и нижних уровней варьирования переменных факторов является приемлемой для реализации.

В результате трехкратного повторения методической сетки опытов (таблица) получены значения удельной силы резания в зависимости от таких переменных факторов, как влажность древесины сосны W [X_1]; уширение на сторону b_0 [X_2]; угол косо́й заточки задней грани φ [X_3]; угол резания δ [X_4]; задний угол α [X_5]; угол разворота режущей кромки φ_1 [X_6]; радиус затупления режущей кромки ρ [X_7]; количество рабочих боковых граней m [X_8]; толщина стружки a [X_9].

Невысокая кратность повторений каждого опыта вызвана следующими соображениями:

- метод случайного баланса, обладая низкой чувствительностью, позволяет выделить из всего числа переменных факторов, взятых под подозрение, только явно оказывающие в больших долях влияние на выходной показатель;
- матрица планирования дает возможность установить приближенную оценку коэффициентов регрессии и интерпретацию полученных результатов;
- средние значения выходных величин методической сетки опытов позволяют устанавливать только статистически значимое влияние переменных факторов на оценочный показатель.

В то же время с целью избежания получения случайных параметров измеряемой величины результаты каждого опыта приняты за основу, если их значения не превышали $\pm 5-10\%$ от среднего значения. Кроме этого, при проведении эксперимента опыты, заданные матрицей планирования, были рандомизированы. Обеспечение случайного порядка их проведения достигалось за счет использования таблицы случайных чисел.

Результаты экспериментов влияния переменных факторов на удельную касательную силу представлены в таблице.

Выявление наиболее влияющих переменных факторов устанавливалось графоаналитическим методом по произведению числа выделившихся точек и медианы. Построение таблиц с двумя или тремя входами позволило получить оценки эффектов выделившихся факторов и их парных взаимодействий. Полученные числовые оценки эффектов проверены на статистическую значимость по t -критерию Стьюдента.

Результаты расчетов представлены в виде диаграммы эффектов (рисунок) выделенных факторов и их парных взаимодействий на удельную силу резания.

Теоретическая предпосылка расчленения силообразования по граням резца подтверждается результатами отсеивающего эксперимента, которые отражают физическую сущность процесса резания с получением приближенного уравнения регрессии.

$$Y = 72.9 + 30X_3 + 18.6X_4 + 13.4X_7 - 10.1X_3 - 10X_2 + 6.7X_3X_6 + 5X_1X_6 + 3.9X_2X_4 - 2.3X_2X_7 - 2.2X_7X_8 - 2.2X_7X_9 - 2.1X_1X_2 - 1.7X_3X_8.$$

Коэффициенты, входящие в представленное уравнение, получены путем уменьшения в два раза числового значения степени влияния каждого переменного фактора. Следует отметить, что данное уравнение регрессии не отражает динамику влияния переменных на силу резания, так как коэффициенты Vx_i и $Vx_i x_u$ позволяют оценить воздействие на выходной показатель в виде прямолинейных зависимостей, хотя не исключено, что это воздействие может происходить по криволинейным закономерностям.

Таблица

Результаты исследований влияния переменных факторов на удельную силу резания

Переменные факторы									Удельная сила резания, F_k , Н/мм			
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Y1	Y2	Y3	\bar{Y}
+	-	-	+	-	-	-	-	+	123.27	137.23	132.58	131.03
+	-	-	-	+	+	+	+	-	72.88	73.85	73.37	73.37
-	-	+	-	-	+	+	+	+	93.75	99.13	100.92	97.93
+	-	+	-	+	-	+	-	+	97.9	94.32	95.61	95.94
-	+	-	-	+	+	+	+	-	22.33	22.33	24.45	22.94
-	+	-	-	-	+	+	-	-	23.72	24.65	22.33	23.57
-	-	+	-	-	-	-	-	-	16.37	16.37	16.59	16.44
-	-	+	+	+	-	+	-	-	76.74	76.52	76.74	76.67
+	+	-	+	-	-	-	-	+	119.11	114.46	119.11	117.56
+	+	-	+	+	-	-	+	+	126.35	122.38	126.1	128.28
+	+	-	+	+	+	+	+	+	116.54	133.77	130.46	129.92
-	-	+	+	+	+	-	+	-	50.89	51.11	51.03	51.01
-	+	+	+	+	-	+	+	+	114.44	121.59	114.44	116.82
-	-	-	+	-	+	-	-	-	40.96	41.15	41.44	41.18
+	+	+	-	-	-	-	+	+	42.96	45.0	41.48	43.15
+	+	+	-	-	+	-	-	-	0.74	1.11	1.11	0.99

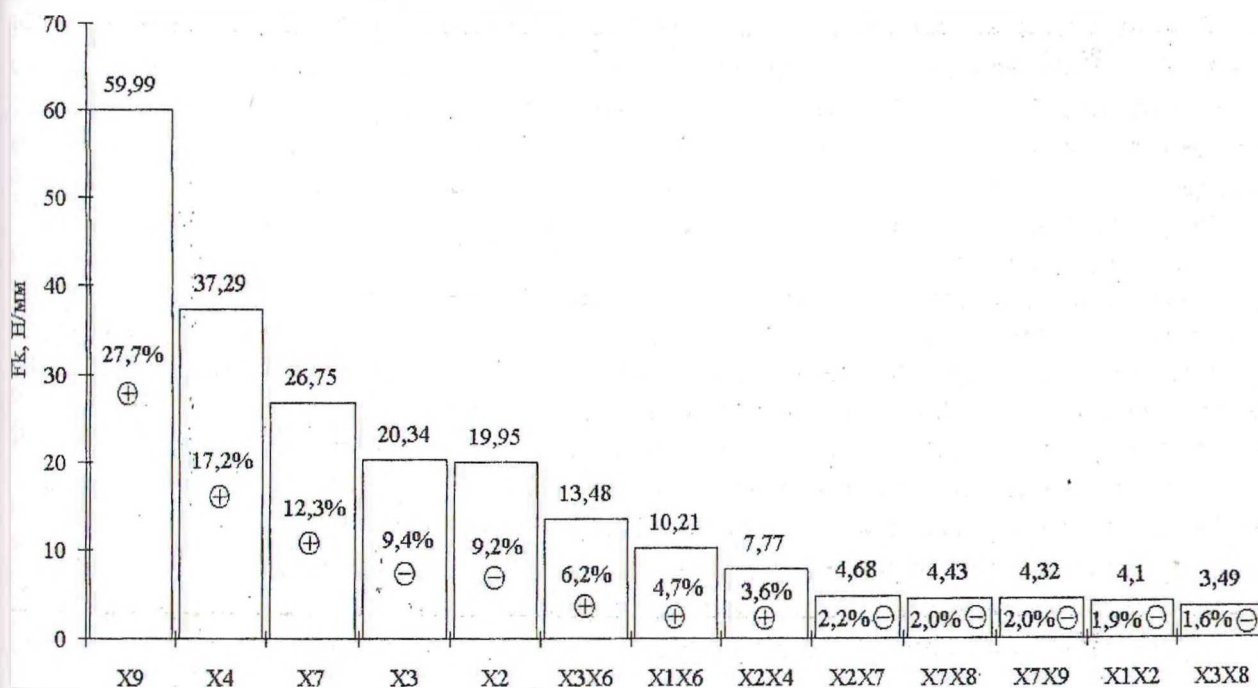


Рис. Диаграмма рангов выделившихся факторов

Как видно из представленной диаграммы, наибольшее влияние оказывают толщина стружки a [X_9] и угол резания δ [X_4]. Эти переменные факторы отражают работу передней грани резца. Эффекты их влияния положительные, т. е. при увеличении параметров от нижнего к верхнему уровню касательная сила резания возрастает. Суммарное воздействие этих переменных на силообразование составляет 44.9%.

Радиус затупления ρ [X_7], характеризующий силы резания по задней грани, составляет 12.3% также с положительным эффектом. Принятая методика проведения эксперимента позволяет осуществлять контакт боковой грани от вершины зуба к его основанию в диапазоне от 0 до 1.5 мм, что соответствует величине срезаемой стружки. Исследование процесса резания при толщине стружки, равной нулю, позволяет фиксировать силовые показатели только по задней грани.

Обработка результатов исследований показала, что наряду с единичным влиянием переменных факторов на выходной показатель встречаются и парные взаимодействия. Так, переменный фактор радиуса затупления в сочетании с уширением на сторону S_0 [X_2] имеет отрицательный эффект и составляет 2.2%. При отсутствии величины развода зуба удельная сила резания постоянно увеличивается по мере затупления главной режущей кромки.

Уширение на сторону S_0 [X_2] и угол косо́й боковой заточки задней грани φ [X_3], характеризующие силообразование по боковым граням, составляет 18.6%. Эффект влияния этих переменных факторов отрицательный, т. е. при увеличении их значений сила резания уменьшается. Уширение на сторону, как отмечалось выше, обеспечивает уменьшение сил трения за счет изменения площади контакта боковой грани о стенки пропила. Фактор косо́й боковой заточки зуба по задней грани позволяет уменьшить касательную силу резания несмотря на увеличение ширины стружки. Но в данном случае происходит рост боковых сил, вызывающих потерю устойчивости полотна пилы. Результаты отсеивающего эксперимента выявили целый ряд парных взаимодействий с незначительным эффектом, не превышающим $\pm 2\%$. Несмотря на небольшое влияние этих взаимодействий, они отражают физический смысл силообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Манжос Ф.М., Кряжев Н. А., Цуканов Ю. А. Методология и унифицированное экспериментальное оборудование для исследований процессов резания древесных материалов // Рефераты докладов МЛТИ. – М., 1965. – С. 27–31.