

**МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ**

УДК 674:631.571

В.Е. ВОСКРЕСЕНСКИЙ, С.М. КРУЖКОВ

С.-Петербургская лесотехническая академия



Воскресенский Владимир Евгеньевич родился в 1938 г., окончил в 1960 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории механизмов, деталей машин и подъемно-транспортных устройств С.-Петербургской лесотехнической академии, академик МАНЕБ. Имеет около 120 печатных работ в области исследования и разработки новых технологий и нестандартного оборудования в фанерной и деревообрабатывающей промышленности.



Кружков Сергей Михайлович родился в 1972 г., окончил в 1995 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, аспирант кафедры станков и инструментов СПбЛТА.

**УДЕЛЬНАЯ СИЛА РЕЗАНИЯ
ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЛУБА И БЕРЕСТЫ
В ОТХОДАХ ОКОРКИ ФАНЕРНОГО СЫРЬЯ**

Построена мультипликативная математическая модель, характеризующая экспоненциальную зависимость удельной силы резания луба и бересты от подачи на резец при различных передних углах ножа; приведены степенные коэффициенты уравнения для всех условий резания луба и бересты.

Multiplicative mathematical model has been constructed for determining exponential dependence of the specific cutting force of bast and birch bark on in-blade feed at different front angles of a knife. Power coefficients of the equation are given for all bast and bark cutting conditions.

Цель данной работы – построить мультипликативную математическую модель для определения удельной силы резания при фрезеровании луба и бересты.

Показатель удельной силы резания необходим для определения силы резания при отделении луба от бересты фрезерованием [3], энергозатрат при фрезеровании луба [4], оптимизации параметров и режимов работы установки для отделения луба от бересты [7].

Удельная сила резания луба и бересты определена нами на маятниковом копре [5] с пересчетом по формулам

$$F_{уд}^л = |9,81 K^л|; \quad (1)$$

$$F_{уд}^б = |9,81 K^б|,$$

где $K^л, K^б$ – удельная работа резания соответственно луба и бересты, кгм/см^3 .

Удельная работа резания K – это работа, затраченная на образование 1 см^3 стружки [5]:

$$K = \frac{A_{рез}}{Q_{стр}}, \quad (2)$$

где $A_{рез}$ – работа, затраченная на резание, $\text{кг} \cdot \text{м}$,

$$A_{рез} = GL (\sin \nu_1 - \sin \nu_2); \quad (3)$$

GL – грузовой момент физического маятника, $\text{кг} \cdot \text{м}$;

ν_1 – угол подъема маятника от горизонтальной плоскости после совершения холостого качания (затраты работы на трение);

ν_2 – угол подъема маятника от горизонтальной плоскости после совершения процесса резания (затраты работы на резание);

$Q_{стр}$ – объем срезанной стружки при разовом качании маятника с резцом, см^3 ,

$$Q_{стр} = U_z b h \cdot 10^{-3}; \quad (4)$$

U_z – подача на резец, мм ;

b – ширина резца, мм ;

h – толщина срезаемого слоя, мм .

В процессе эксперимента изменяли передний угол ножа γ (принят отрицательным) и угол заточки β (табл. 1). Выбор отрицательного переднего угла обусловлен тем, что при положительном γ ножи фрезерующего ротора установки для отделения луба от бересты перерезают бересту, поступающую с кусками коры в рабочий зазор между отделяющими роторами, на узкие полоски шириной, равной шагу между ножами в роторе, что ухудшает сортность получаемой бересты и производимого из нее дегтя [2]. Эксперименты показали, что высокое качество отделения луба от бересты обеспечивается при $\gamma = -25 \dots -35^\circ$. Кроме того, изменяли подачу материала на нож в пределах $U_z = 0,1 \dots 2,0 \text{ мм}$. В качестве постоянных факторов был принят грузо-

вой момент на копре $GL = 0,399$ кг·м при начальном угле подъема маятника $\upsilon_1 = 42^\circ$ и закрытом резании. Удельную силу резания определяли при резании луба $F_{уд}^л$ и бересты $F_{уд}^б$ поперек и вдоль волокон. Абсолютная влажность бересты $W_a^б = 39\%$, луба $W_a^л = 100\%$.

Каждый опыт повторяли три раза.

Путем регрессионного анализа установлено, что адекватно описывает удельную силу резания $F_{уд}$ луба и бересты мультипликативная (степенная) модель вида $y = ax^b$ (где x – подача материала U_z , мм). При этом в ЭВМ модель преобразуется к следующему виду:

$$\ln y = \ln a + b \ln x,$$

отсюда

$$y = e^{\ln a + b \ln x}. \quad (5)$$

Для снижения трудностей при образовании указанных в табл. 1 углов γ угол заточки β по абсолютной величине был принят равным углу γ (за исключением первого случая).

С помощью ЭВМ получены значения степенных коэффициентов $\ln a$ и b (табл. 2) уравнения (5) и произведена оценка точности модели. В табл. 3 приведены значения удельной силы резания $F_{уд}$ луба и бересты, полученные для рекомендуемых к применению в промышленности передних углов γ

Таблица 1

Угловые параметры (град) ножей, принятые в экспериментах

Передний угол γ	0	- 10	- 15	- 20	- 25	- 30	- 35	- 40
Угол заточки β	10	10	15	20	25	30	35	40
Задний угол α	80	90	90	90	90	90	90	90
Угол резания δ	90	100	105	110	115	120	125	130

Таблица 2

Значения коэффициентов $\ln a$ и b уравнения (5)

Передний угол γ , град	Луб вдоль волокон		Береста вдоль волокон		Береста поперек волокон	
	$\ln a$	b	$\ln a$	b	$\ln a$	b
0	2,580	-0,636	3,836	-0,626	4,321	-0,632
-10	2,660	-0,560	3,850	-0,550	4,080	-0,500
-15	2,350	-0,668	3,900	-0,604	3,270	-0,455
-20	2,340	-0,600	3,660	-0,309	4,346	-0,594
-25	2,309	-0,591	3,719	-0,318	3,685	-0,582
-30	2,565	-0,642	2,740	-0,730	3,770	-0,249
-35	2,640	-0,595	3,960	-0,385	4,210	-0,398
-40	2,776	-0,569	3,490	-0,270	3,737	-0,260

Таблица 3

**Экспериментальные \bar{Y} и расчетные \hat{Y} значения силы резания (Н/мм²)
для рекомендуемых передних углов**

Передний угол γ , град	Подача на нож U_z , мм	Луб вдоль волокон		Береста вдоль волокон		Береста поперек волокон	
		$\bar{Y}^л$	$Y^л$	$\bar{Y}_{II}^б$	$Y_{II}^б$	$\bar{Y}_{\perp}^б$	$Y_{\perp}^б$
-25	0,1	42,00	40,57	82,11	87,28	164,22	155,08
	0,5	12,50	15,32	49,27	52,07	53,60	60,19
	1,0	9,04	10,07	44,21	41,68	35,90	40,04
	1,5	8,72	7,88	38,99	36,59	31,41	31,55
	2,0	7,45	6,62	30,4	33,36	30,63	26,64
-30	0,1	55,60	57,01	81,00	83,17	81,00	76,96
	0,5	19,80	20,29	23,50	25,69	48,60	51,55
	1,0	11,73	13,00	13,46	15,49	38,13	43,38
	1,5	9,81	10,02	10,80	11,52	41,45	39,21
	2,0	8,89	8,33	10,79	9,34	38,75	36,50
-35	0,1	54,25	56,12	128,30	124,96	180,50	175,84
	0,5	23,50	21,26	64,50	66,71	82,70	90,17
	1,0	15,00	14,00	49,22	50,91	54,83	67,63
	1,5	11,80	10,96	46,02	43,46	62,04	57,15
	2,0	9,55	9,22	43,05	38,85	59,13	50,72

Таблица 4

**Результаты статистической обработки экспериментальных
и модельных кривых силы резания для рекомендуемых передних углов**

Передний угол γ , град	Луб вдоль волокон			Береста вдоль волокон			Береста поперек волокон		
	K_{xy}	R^2 , %	Π , %	K_{xy}	R^2 , %	Π , %	K_{xy}	R^2 , %	Π , %
-25	-0,980	96,29	7,0	-0,981	96,41	2,0	-0,987	97,59	4,1
-30	-0,997	99,42	1,3	-0,990	98,47	4,4	-0,960	93,00	2,9
-35	-0,990	99,66	0,6	-0,990	98,49	1,2	-0,950	92,00	6,7

Примечание. Π – процент отклонения суммы квадратов модельной кривой от экспериментальной.

(– 25°, – 30°, – 35°), обеспечивающих отсутствие перерезания бересты в процессе отделения луба [1]. Как видно из табл. 3, расчетные (по уравнению (5)) данные хорошо согласуются с экспериментальными.

Так, процент остаточных сумм квадратов R^2 (табл. 4), показывающих степень согласования экспериментальных и модельных кривых, находится в пределах 92 ... 99 %. При этом ошибка, показывающая отклонение R^2 модельных кривых от экспериментальных, не превышает 7 %, составляя в большинстве случаев 1 ... 3 %. Коэффициент корреляции K_{xy} находится в пределах 0,95...0,99, что также свидетельствует о стабильности вероятностной связи между варьируемыми переменными.

Из приведенных на рис.1 графиков, подтверждающих экспоненциальную зависимость удельной силы резания $F_{уд}$ луба и бересты от подачи на нож

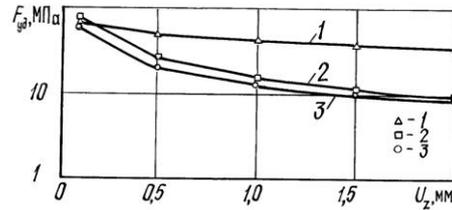


Рис. 1. Зависимость удельной силы резания $F_{уд}$ от подачи U_z : 1 – береста поперек волокон; 2 – береста вдоль волокон; 3 – луб вдоль волокон

U_z , следует, что наибольшее значение $F_{уд}$ имеет при резании бересты поперек волокон, наименьшее – при резании луба вдоль волокон.

На рис. 2 представлены графики, показывающие влияние величины переднего угла ножа γ на удельную силу резания луба вдоль волокон $F_{удл}^л$ при различных значениях U_z . Из рис. 2 следует, что при увеличении переднего угла от 0 до -15° сила $F_{уд}^л$ снижается незначительно, а при $\gamma = -15 \dots -25^\circ$ – значительно, после чего начинает расти до $\gamma = -40^\circ$.

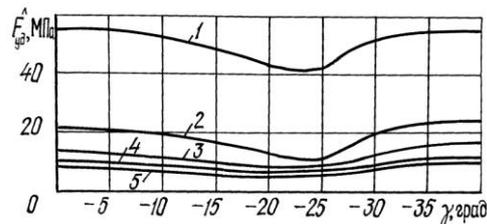


Рис. 2. Зависимость удельной силы резания луба вдоль волокон $F_{удл}^л$ от переднего угла γ при различных значениях подачи U_z : 1 – 0,1 мм; 2 – 0,5; 3 – 1,0; 4 – 1,5; 5 – 2,0 мм

Это можно объяснить следующим. До $\gamma = -15^\circ$ уменьшение $F_{уд}$ связано с удалением материала путем скобления режущей кромкой, с увеличением γ в пределах $-15 \dots -25^\circ$ усиливается деформирование материала передней гранью ножа с ростом сил трения. Роль удаления материала режущей кромкой снижается, что приводит к значительному уменьшению удельной силы резания. При увеличении γ от -25° до -40° наблюдается рост давления со стороны передней грани и снижение скобления, что повышает $F_{уд}$.

На основании анализа результатов проведенных опытов можно сделать следующие выводы.

1. Математико-статистическая модель (5) для удельной силы резания при фрезеровании луба и бересты дает хорошее приближение к данным, полученным экспериментальным путем (табл. 3), и адекватно описывает исследуемый процесс (табл. 4).

2. Определенная экспериментальным путем удельная сила резания при фрезеровании луба и бересты для различных передних углов резания и подачах на нож, позволяет определять силу и мощность резания при отделении луба от бересты и осуществлять оптимизацию параметров отделяющих роторов установки.