

УДК 674.023

Б. В. Войтеховский, ассистент (БГТУ)

### ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДСТП ФРЕЗАМИ С НАКЛОННЫМИ РЕЖУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Данная статья посвящена исследованию влияния основных технологических факторов на энергопотребление при фрезеровании ламинированных ДСТП.

Приведены результаты исследований влияния угла наклона режущего лезвия, угла резания, скорости резания, толщины срезаемого слоя, толщины стружки на путь резания. По опытным данным получены математические модели и построены графические зависимости, сделаны выводы.

The energetics problem is one of the important for our republic. In paper researches of basic technology factors influence on power of cutting are presented at milling laminated chipboards. The main technological parameters (angle of cutting edge inclination, angle of cutting, cutting speed, height of a removed layer, thickness of a shaving) influencing on power of cutting are considered. As a result of experiment the mathematical model describing influence of the above-stated factors on power is received. The graphic dependences allowing evidently estimating influence of each technology factor on milling power are constructed.

**Введение.** В настоящее время энергетическая проблема является одной из наиболее актуальных для Республики Беларусь [1]. Одним из основных направлений решения энергетической проблемы в области деревообработки является установление рациональных режимов резания, обеспечивающих требуемое качество обработки при минимальных энергозатратах.

В мебельной промышленности широкое применение находят ламинированные древесностружечные плиты. Фрезерование кромок этого материала является довольно энергоемким процессом. Одним из способов снижения потребляемой мощности и повышения качества обработки является создание угла наклона режущих элементов. Эффективность этого приема для натуральной древесины экспериментально доказана в работах В. Д. Лескива [2] и А. М. Векшина [3]. Однако эти результаты не могут быть применены к ламинированным древесностружечным плитам в силу специфических физико-механических свойств данного древесного материала. В то же время установлено, что создание угла наклона при фрезеровании ламинированных древесностружечных плит позволяет повысить стойкость режущего инструмента [4].

**Основная часть.** Для установления рациональных режимов фрезерования кромок ламинированных древесностружечных плит наклонными режущими элементами было решено провести исследование влияния основных технологических факторов на энергопотребление процесса. При проведении исследований применен метод планирования эксперимента и выбран план  $B_5$ .

Методическая сетка опытов реализована на экспериментальной установке на базе четырехстороннего продольно-фрезерного станка мар-

ки С26-2М. Данная установка позволяет плавно изменять частоту вращения режущего инструмента (от 0 до 6000 мин<sup>-1</sup>) и скорость подачи обрабатываемого материала (от 0 до 30 м/мин).

Для проведения эксперимента была специально разработана конструкция сборной цилиндрической фрезы с изменяемыми углами наклона режущей кромки и углами резания.

Условия проведения исследований аналогичны с приведенными в работе [5]. Основными переменными технологическими факторами приняты: угол наклона реза в плане  $\omega$ , угол резания  $\delta$ , скорость резания  $V$ , толщина срезаемого слоя (припуск)  $h$ , средняя толщина стружки  $a$ .

В результате проведения опытов получены значения начальной и конечной мощности. Начальная мощность соответствует потребляемой мощности при остром резе, а конечная – потребляемой мощности при появлении сколов слоя ламинита на поверхности плиты.

Полученные данные приведены в методической сетке опытов (таблица).

В результате статистической обработки данных получены следующие уравнения регрессии:

– для начальной мощности

$$N_0 = 598,98 - 5,51 \cdot \omega - 9,63 \cdot \delta + 59,75 \times \\ \times V + 64,84 \cdot h + 178,56 \cdot a - 1,19 \cdot V^2 - \\ - 6682,75 \cdot a^2 + 0,42 \cdot \delta \cdot V + 41,73 \cdot \delta \times \\ \times a + 41,6 \cdot V \cdot a.$$

– для конечной мощности

$$N = 490,31 + 121,25 \cdot \omega + 0,64 \cdot \delta + 0,32 \times \\ \times V - 51,11 \cdot h - 2218,05 \cdot a + 4,98 \cdot \omega^2 - \\ - 2,61 \cdot \omega \cdot \delta + 1,21 \cdot \omega \cdot V + 24,75 \cdot \omega \cdot h + \\ + 288,03 \cdot \omega \cdot a + 62,78 \cdot V \cdot a + 917,19 \cdot h \cdot a.$$

Адекватность полученных математических моделей подтверждена проверкой по F-критерию Фишера.

Для удобства анализа влияния основных технологических факторов на начальную и конечную мощность построены графические зависимости на верхнем, среднем и нижнем уровнях варьирования (рис. 1–5). На графиках сплошной линией построены зависимости для

конечной мощности ( $N$ ), а штриховой для начальной мощности ( $N_0$ ). Однако следует указать, что зависимости для конечной мощности трудно сопоставимы и при их анализе необходимо дополнительно учитывать путь, пройденный резцом в обработанном материале. На рис. 1 представлены зависимости начальной и конечной мощности от угла наклона режущего элемента  $\omega$ .

Методическая сетка и результаты опытов

№ опыта	X1	X2	X3	X 4	X 5	$Y_0$	Y
	$[\omega]$	$[\delta]$	$[V]$	$[h]$	$[a]$	$[N_0]$	$[N]$
	град	град	м/с	мм	мм	Вт	Вт
1	30	80	50	4,5	0,45	1662,5	2625
2	0	80	50	4,5	0,45	2000	2420
3	30	60	50	4,5	0,45	805	2100
4	0	60	50	4,5	0,45	1200	1990
5	30	80	20	4,5	0,45	647,5	1662,5
6	0	80	20	4,5	0,45	900	1180
7	30	60	20	4,5	0,45	455	1190
8	0	60	20	4,5	0,45	540	780
9	30	80	50	1,5	0,45	1347,5	2170
10	0	80	50	1,5	0,45	1500	2230
11	30	60	50	1,5	0,45	840	1592,5
12	0	60	50	1,5	0,45	960	1760
13	30	80	20	1,5	0,45	472,5	1417,5
14	0	80	20	1,5	0,45	720	950
15	30	60	20	1,5	0,45	280	787,5
16	0	60	20	1,5	0,45	400	530
17	30	80	50	4,5	0,05	752,5	962,5
18	0	80	50	4,5	0,05	860	1020
19	30	60	50	4,5	0,05	542,5	892,5
20	0	60	50	4,5	0,05	640	990
21	30	80	20	4,5	0,05	350	1015
22	0	80	20	4,5	0,05	410	590
23	30	60	20	4,5	0,05	297,5	857,5
24	0	60	20	4,5	0,05	350	750
25	30	80	50	1,5	0,05	437,5	630
26	0	80	50	1,5	0,05	560	790
27	30	60	50	1,5	0,05	315	472,5
28	0	60	50	1,5	0,05	380	890
29	30	80	20	1,5	0,05	332,5	857,5
30	0	80	20	1,5	0,05	380	560
31	30	60	20	1,5	0,05	210	647,5
32	0	60	20	1,5	0,05	250	580
33	30	70	35	3	0,25	997,5	1960
34	0	70	35	3	0,25	1500	1872,5
35	15	80	35	3	0,25	1330	1837,5
36	15	60	35	3	0,25	945	1505
37	15	70	50	3	0,25	1365	1732,5
38	15	70	20	3	0,25	805	1207,5
39	15	70	35	4,5	0,25	1295	1680
40	15	70	35	1,5	0,25	1015	1505
41	15	70	35	3	0,45	1382,5	1662,5
42	15	70	35	3	0,05	787,5	875

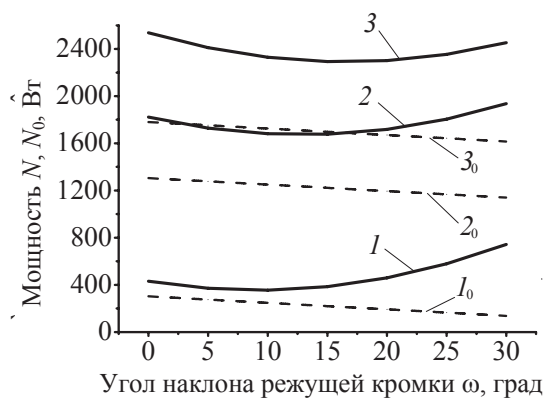


Рис. 1. Влияние угла наклона режущей кромки на мощность:

- 1,  $I_0 - a = 0,45$  мм;  $h = 4,5$  мм;  $V = 50$  м/с;  $\delta = 80^\circ$   
 2,  $2_0 - a = 0,25$  мм;  $h = 3,0$  мм;  $V = 35$  м/с;  $\delta = 70^\circ$   
 3,  $3_0 - a = 0,05$  мм;  $h = 1,5$  мм;  $V = 20$  м/с;  $\delta = 60^\circ$

На графиках показано, что с увеличением угла наклона режущего элемента начальная мощность снижается. Уменьшение начальной мощности связано с плавностью входа режущего элемента в обрабатываемый материал и эффектом кинематического заострения резца. Влияние угла наклона на величину конечной мощности противоречиво. Увеличение  $\omega$ , с одной стороны, приводит к снижению потребляемой мощности, а с другой – к увеличению пути резания, соответственно, к большему затуплению режущего инструмента и увеличению потребляемой мощности. Увеличение пути резания при наклоне режущей кромки обеспечивается за счет создания осевой составляющей силы резания, которая прижимает ламинат к основе, препятствуя возникновению сколов [5]. Так, например, на нижнем уровне варьирования путь резания составил 479 м, а на верхнем – 13 499 м.

На рис. 2 приведены графики, отражающие влияние угла резания на начальную и конечную мощности.

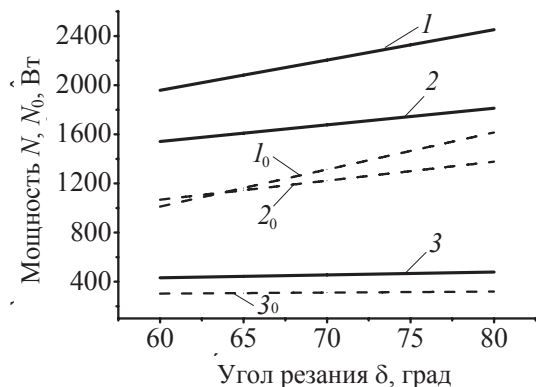


Рис. 2. Влияние угла резания на мощность:

- 1,  $I_0 - a = 0,45$  мм;  $h = 4,5$  мм;  $V = 50$  м/с;  $\omega = 30^\circ$   
 2,  $2_0 - a = 0,25$  мм;  $h = 3,0$  мм;  $V = 35$  м/с;  $\omega = 15^\circ$   
 3,  $3_0 - a = 0,05$  мм;  $h = 1,5$  мм;  $V = 20$  м/с;  $\omega = 0^\circ$

Очевидно, что с увеличением угла резания начальная и конечная мощности возрастают. Увеличение энергопотребления связано с ростом давления на переднюю поверхность резца и ухудшением условий схода стружки.

На рис. 3 представлены зависимости влияния скорости резания на начальную и конечную мощности.

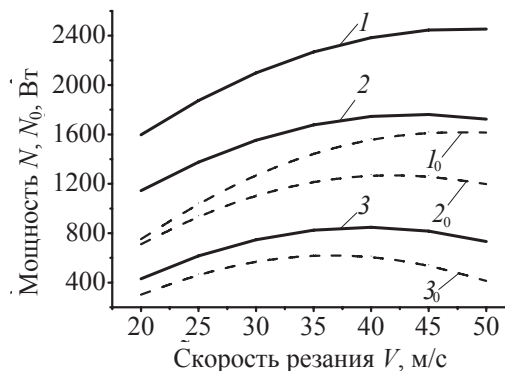


Рис. 3. Влияние скорости резания на мощность:

- 1,  $I_0 - a = 0,45$  мм;  $h = 4,5$  мм;  $\omega = 30^\circ$ ;  $\delta = 80^\circ$   
 2,  $2_0 - a = 0,25$  мм;  $h = 3,0$  мм;  $\omega = 15^\circ$ ;  $\delta = 70^\circ$   
 3,  $3_0 - a = 0,05$  мм;  $h = 1,5$  мм;  $\omega = 0^\circ$ ;  $\delta = 60^\circ$

С ростом скорости резания мощности изменяются по параболическим зависимостям. На нижнем уровне варьирования переменных факторов мощность растет при увеличении скорости от 20 до 35 – 40 м/с, а при дальнейшем росте скорости резания до 50 м/с – падает. Как указывает В. И. Любченко [5], скорость резания влияет на выходные показатели через противоречиво действующие факторы. В частности, увеличение скорости приводит к увеличению сил инерции отводимой стружки, но при этом может уменьшаться коэффициент трения. На нулевом и верхнем уровнях варьирования переменных факторов вершина параболы смещается в сторону увеличения скорости. Данный факт объясняется ростом сил инерции при увеличении толщины стружки.

Влияние толщины срезаемого слоя  $h$  на начальную и конечную мощности представлено на рис. 4.

Во всех случаях наблюдается увеличение мощности с ростом величины припуска. Повышение начальной мощности может быть связано с увеличением дуги контакта резца с обрабатываемым материалом. А на рост конечной мощности также оказывает влияние увеличение пути резания и, соответственно, затупление инструмента.

Как показано на графике, на нижнем уровне варьирования с ростом толщины стружки от 0,05 мм до 0,25 мм наблюдается рост потребляемой мощности, а при дальнейшем увеличении

толщины стружки – падение. Повышение мощности с увеличением толщины стружки связано с увеличением давления стружки на переднюю поверхность резца. Дальнейшее падение мощности, вероятно, связано с переходом на неустойчивый режим резания. Здесь часть материала удаляется не резанием, а сдвигом, что характерно для средней, более рыхлой части плиты. На нулевом и верхнем уровнях варьирования переменных факторов вершина параболы смещается в сторону больших толщин стружек, что связано с влиянием скорости резания и стабилизации процесса резания за счет инерционного подпора.

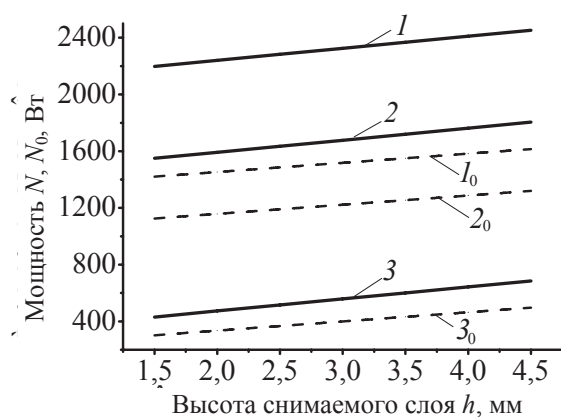


Рис. 4. Влияние толщины снимаемого слоя на мощность:

- 1,  $I_0 - a = 0,45$  мм;  $V = 50$  м/с;  $\omega = 30^\circ$ ;  $\delta = 80^\circ$
- 2,  $2_0 - a = 0,25$  мм;  $V = 35$  м/с;  $\omega = 15^\circ$ ;  $\delta = 70^\circ$
- 3,  $3_0 - a = 0,05$  мм;  $V = 20$  м/с;  $\omega = 0^\circ$ ;  $\delta = 60^\circ$

Влияние толщины стружки на энергопотребления представлено на рис. 5.

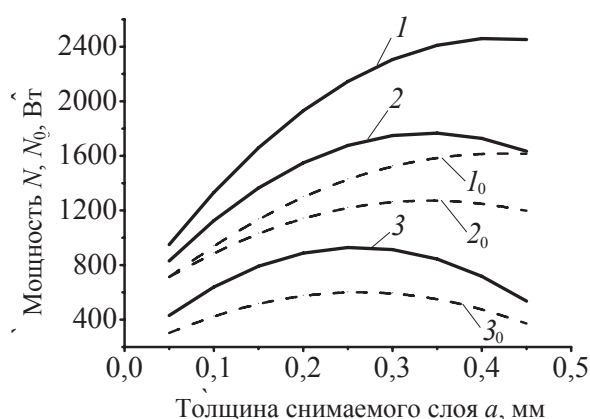


Рис. 5. Влияние толщины стружки  $a$  на мощность:

- 1,  $I_0 - \delta = 80^\circ$ ;  $h = 4,5$  мм;  $V = 50$  м/с;  $\omega = 30^\circ$
- 2,  $2_0 - \delta = 70^\circ$ ;  $h = 3,0$  мм;  $V = 35$  м/с;  $\omega = 15^\circ$
- 3,  $3_0 - \delta = 60^\circ$ ;  $h = 1,5$  мм;  $V = 20$  м/с;  $\omega = 0^\circ$

**Заключение.** 1. В результате проведенных исследований получены математические моде-

ли, отражающие влияние основных переменных технологических факторов на начальную и конечную мощность резания при фрезеровании кромок ламинированных древесностружечных плит наклонными резцами.

2. Увеличение угла наклона режущих элементов снижает значение начальной мощности и увеличивает технологическую стойкость инструмента. С ростом  $\omega$  до  $10-15^\circ$  конечная мощность снижается, а при дальнейшем увеличении  $\omega$  растет.

3. Начальная и конечная мощности с увеличением угла резания увеличиваются вследствие увеличения давления на переднюю поверхность резца и ухудшения условий схода стружки.

4. С ростом скорости резания начальная и конечная мощности также увеличиваются из-за роста энергозатрат на отвод стружки из зоны резания.

5. Зависимости начальной и конечной мощности резания от средней толщины стружки имеют вид парабол. Подобное влияние может быть объяснено неустойчивым характером стружкообразования при больших значениях толщин стружки.

## Литература

1. Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства: Директива Президента Республики Беларусь № 3 от 14.06.07. [www.president.gov.by](http://www.president.gov.by).
2. Лискив, В. Д. Исследование зависимостей силовых и качественных показателей процесса цилиндрического фрезерования древесины от положения лезвия относительно направления резания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02 / В. Д. Лискив // Львов. лесотехн. ин-т. – Львов, 1973. – 24 с.
3. Векшин, А. М. Исследование процесса цилиндрического фрезерования древесины тонкими винтовыми ножами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 421 / А. М. Векшин; Моск. лесотехн. ин-т. – М., 1970. – 31 с.
4. Войтеховский, Б. В. Исследование стойкости фрезерного инструмента с наклонными резцами при обработке кромок ДСтП / Б. В. Войтеховский, С. А. Гриневиц, В. Т. Лукаш // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С 225–229.
5. Гриневиц, С. А. Исследование технологической стойкости при фрезеровании ламинированных древесностружечных плит наклонными резцами / С. А. Гриневиц, Б. В. Войтеховский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 284–287.
6. Любченко, В. И. Резание древесины / В. И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 292 с.

Поступила 01.04.2010