

А. Ф. Аникеенко, ассистент; А. А. Гришкевич, канд. техн. наук

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА СИЛУ И МОЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ (MDF)

Theoretical researches in the field of machining wood with a design procedure of power parameters are brought. The opportunity to make use of experience of the previous researchers for calculation of force and power of process of milling of wood-fiber plates of average density is analyzed. The technique of carrying out of experiment by definition of force and power of milling of wood-fiber plates is described. Results of the lead experiments are presented. As a result of the analysis modes of milling, optimal of a position of the maximal productivity and the minimal power consumption are chosen.

Введение. Одними из главных задач развития народного хозяйства Республики Беларусь является ускорение научно-технического прогресса, улучшение качества выпускаемой продукции, инструментов, станков, повышение их производительности и надежности.

Эффективным средством повышения производительности труда на предприятиях мебельной и деревообрабатывающей промышленности является применение рациональных режимов обработки. Поэтому задача оптимизации режимов обработки древесины и древесных материалов на предприятиях отрасли представляется актуальной.

На протяжении многих десятилетий проводятся экспериментальные и теоретические исследования процесса резания древесины и древесных материалов. Рассматривались и анализировались различные схемы распределения сил по передней и задней поверхности режущего инструмента, объясняющие процесс резания с теоретической точки зрения. На основании теоретических и экспериментальных исследований накапливались сведения, объясняющие закономерности процесса резания древесины.

Цель работы – исследование влияния технологических характеристик (скорости резания и скорости подачи) на силу и мощность процесса обработки древесноволокнистых плит средней плотности.

Теоретические исследования. Для оптимизации процессов фрезерования изучаются различные теоретические исследования в области механической обработки древесины.

И. А. Тиме [1] устанавливает формулу для расчета силы резания с учетом углов резания δ и скальвания β_1 . Уравнение было определено исходя из положений следующей схемы (рис. 1).

Работу силы резания P^* на пути движения резца x по направлению резания И. А. Тиме принял равной работе силы $P_{ск}$ на пути перемещения стружки y по направлению скальвания отдельного элемента, т. е.

$$P_x = P_{ск} y. \quad (1)$$

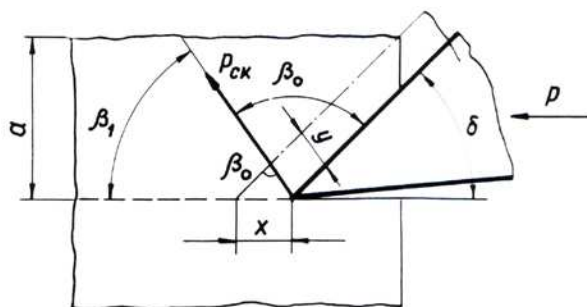


Рис. 1. Схема сил резания по И. А. Тиме

После выполнения ряда математических преобразований формула силы резания может быть выражена уравнением

$$P = K_{ск} \frac{\sin \delta}{\sin \beta_0 \sin \beta_1} ab, \quad (2)$$

где b – ширина обработки.

Схема сил И. А. Тиме в последствии (1893г.) была развита К. А. Зворыкиным, впервые рассмотревшим схему работы режущего инструмента с указанием сил, приложенных к задней поверхности инструмента.

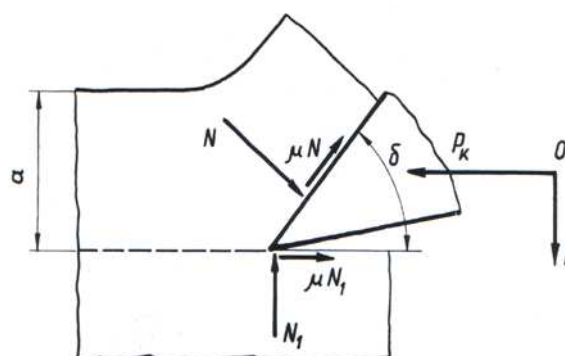


Рис. 2. Схема сил резания по К. А. Зворыкину

По мнению К. А. Зворыкина [1], силы N_1 и μN_1 не влияют на образование стружки, а участвуют только в придании вида обрабатываемой поверхности. Силы же N и μN образуют стружку.

P^* – обозначения в тексте и на схемах приняты такие, как в оригинале.

К. А. Зворыкиным было установлено, что сила резания изменяется не прямо пропорционально изменению толщины стружки, а с замедлением, причем математическое выражение этой зависимости может быть представлено в виде степенной функции,

$$P = Kab^{1-m}, \quad (3)$$

где K – коэффициент резания, устанавливаемый в результате проведения экспериментов.

А. Брикс [1] разработал схему сил, действующих по передней поверхности инструмента, с учетом уравнивания сил резания и в направлении перпендикулярном к плоскости резания (рис. 3). Однако следует заметить, что А. Брикс, проводя анализ сил, не рассматривает работу радиуса округления режущей кромки резца и задней поверхности резца.

Формула силы резания по Бриксу

$$P = K_1b + K_2ba, \quad (4)$$

K_1 и K_2 – коэффициенты, определяемые по графику опытной зависимости P/b от a .

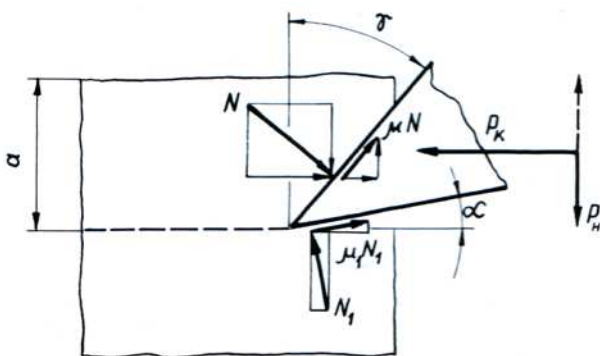


Рис. 3. Силы, действующие на элемент стружки по А. Бриксу

Используя положительные стороны различных схем сил резания, разработанных предшественниками, С. С. Рудник [1] дает схему сил, наиболее полно отражающую механику процесса резания (рис. 4). Он отмечает, что «...усилие резания... является суммой двух слагаемых, из которых только одно пропорционально сечению стружки. Это вызвано тем, что в исходные уравнения, наряду с внешней силой P_n , внесена сила N_1 нормального давления задней поверхности на острие резца, независимая от сил, действующих на переднюю поверхность».

Действительно, согласно рис. 4, на котором показана принятая многими исследователями система сил при открытом резании, имеем

$$P_k = N_1(\mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha) + N(\sin \delta + \mu \cos \delta), \quad (5)$$

$$P_n = N_1(\cos \alpha + \mu_1 \sin \alpha) - N(\cos \delta - \mu \sin \delta), \quad (6)$$

где первое слагаемое P_k содержит силы, действующие по задней поверхности (части режущей кромки и задней поверхности), второе – по передней поверхности резца.

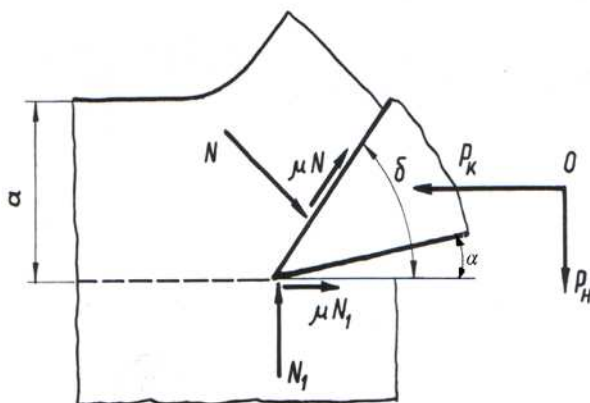


Рис. 4. Схема сил, действующая при резании по С. С. Руднику

Из рассмотренных схем сил резания видно, что исследователи пришли к выводу о необходимости учета работы задней поверхности, которая особенно существенно проявляется при увеличении степени затупления резца и уменьшении заднего угла. С другой стороны, в большинстве схем рассматриваются силы передней поверхности без учета сил задней поверхности, т. е. принято условное разделение работ передней и задней поверхности инструмента.

Некоторые приведенные выше положения по механике сил резания к резанию древесины относятся частично, в основном они посвящены вопросом резания металлов. Однако методика исследований сил резания и исходные предпосылки для изучения процессов резания древесных материалов во многом могут быть рассмотрены с позиций теории резания металлов, разработке которой посвящено значительно больше теоретических и экспериментальных исследований.

Вопросами механической обработки древесины посвящены многие теоретические и экспериментальные работы следующих исследователей: М. А. Дешевого [2], С. А. Воскресенного [3], А. Л. Бершадского [4]. Значительные работы выполнены в этом направлении как отечественными, так и зарубежными исследователями.

Взаимодействие резца с древесиной при стружкообразовании протекает так же, как и при резании металлов, под влиянием сил, нормальных к поверхностям режущего инструмента и сил трения.

Эти силы приводятся к общей равнодействующей сил резания, составляющими которой является касательная сила (сила резания) P_k и

нормальная сила P_n . Рассматривая силы, действующие на поверхность инструмента (передняя поверхность, поверхность округления режущей кромки и задняя поверхность), исследователи по разному их группируют и обосновывают значимость этих сил в процессе резания.

М. А. Дешевой [2] указывает, что площадка давлений в направлении резания по контуру резца dex (рис. 4) «пропорциональна усилиям, идущим на отделения от материала элементов стружки», а площадка, отнесенная к контуру db , «пропорциональна силам, затраченным на деформацию части материала, лежащей между фактической плоскостью резания cd и параллельной ей плоскостью ab , касательной к закруглению на резце».

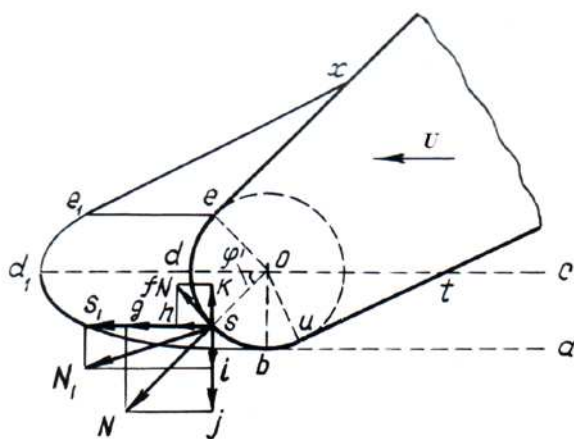


Рис. 5. Схема сил по М. А. Дешевому

Касательная составляющая сил резания (сила резания) P_k по М. А. Дешевому определяется следующей формулой

$$P_k = P_0 + S + F, \quad (7)$$

где P_0 – сила резания для абсолютно острого резца; S – усилие по всему контуру лезвия; F – сила трения, $F = \mu K$, K – сила отжима.

Различная природа отмеченных выше сил определяет двухчленный характер зависимости составляющих равнодействующей всех сил, действующих в процессе резания. Поэтому формулы сил резания, состоящие из двух слагаемых, возможно, в большей степени выражают действительность процесса. Однако данный вид формул не является единственно возможным.

Для определения сил, действующих по передней и задней поверхностям резца, используют специальные методы экспериментального исследования (метод составного резца, поляризационно-оптический метод, применение интерференционного микроскопа и др.)

Однако среднее значение сил, действующих на передней и задней поверхностях

резца, могут быть установлены экспериментально при обработке опытных зависимостей $P_k a = f(\)$ и $P_k a = f_1(\)$ от толщины стружки по методу экстраполяции от нулевой толщины стружки.

Для реализации поставленной задачи был осуществлен ряд экспериментов. Все опыты проводились в одинаковых условиях: одинаковым режущим инструментом: фреза ($\varnothing 125$ мм) (рис. 6) со сменными твердосплавными пластинками вольфрама – кобальтового сплава ВК4, угол заточки 55° (рис. 7).

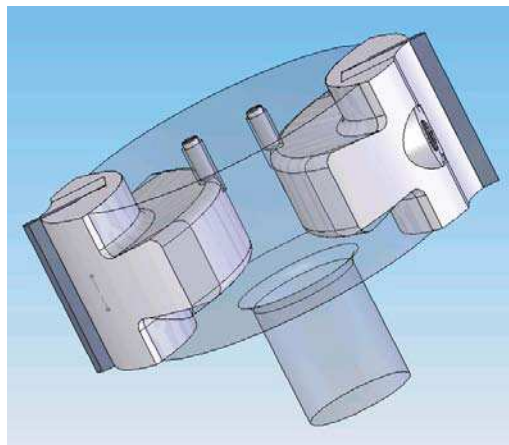


Рис. 6. Сборная концевая фреза с изменяемыми угловыми параметрами

Фреза является усовершенствованным вариантом насадной сборной цилиндрической фрезы с изменяемыми угловыми параметрами [6]

Использование одноразовых сменных пластин и неоднократное повторение каждого замера позволили получить данные высокой достоверности.

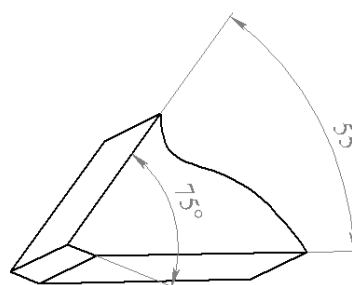


Рис. 7. Твердосплавная одноразовая пластина ВК4

Экспериментальная установка создана на базе обрабатывающего центра Rover В 4.35 с числовым программным управлением (ЧПУ) [7].

Каждый из проводимых экспериментов проходил многократное повторение, тем самым исключалась возможность влияния случайных факторов на получаемые результаты.

Обрабатываемый материал также подготавливался специальным образом: вырезались

заготовки одинаковой длины, высоты и ширины из материала одной партии т. е. с максимально одинаковыми физико-механическими характеристиками.

Технические характеристики станка на базе которого создана установка, позволяют с высокой точностью воспроизводить заданные режимы. Поэтому эксперимент проводился классическим методом и имел множество повторений. Переменные факторы, такие как скорость пода-

чи, частота вращения инструмента, припуск на обработку, изменялись в широких пределах с минимальным шагом. Такая методика дала возможность исследовать в широких пределах основные режимы фрезерования.

Данные, полученные в результате многократного повторения эксперимента, усреднялись, проходили статистическую обработку. По результатам получены графические зависимости (рис. 8, 9, 10, 11, 12, 13).

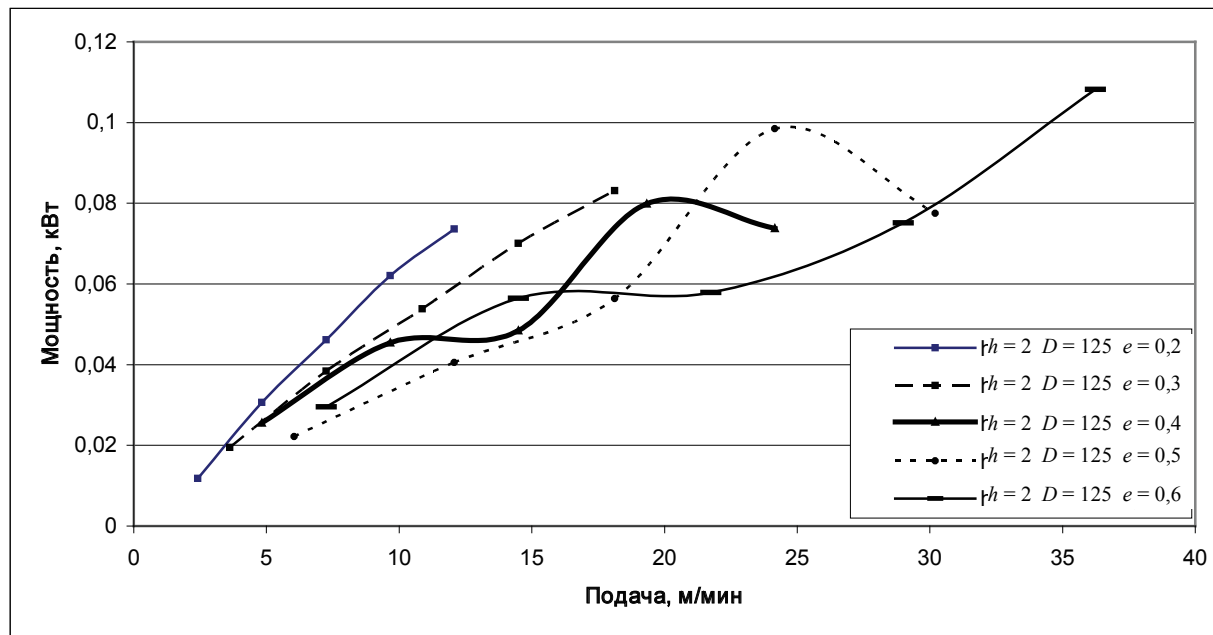


Рис. 8. График зависимости мощности резания от скорости подачи при высоте снимаемого слоя в $h = 2$ мм и толщине стружки $e = 0,2-0,6$ мм

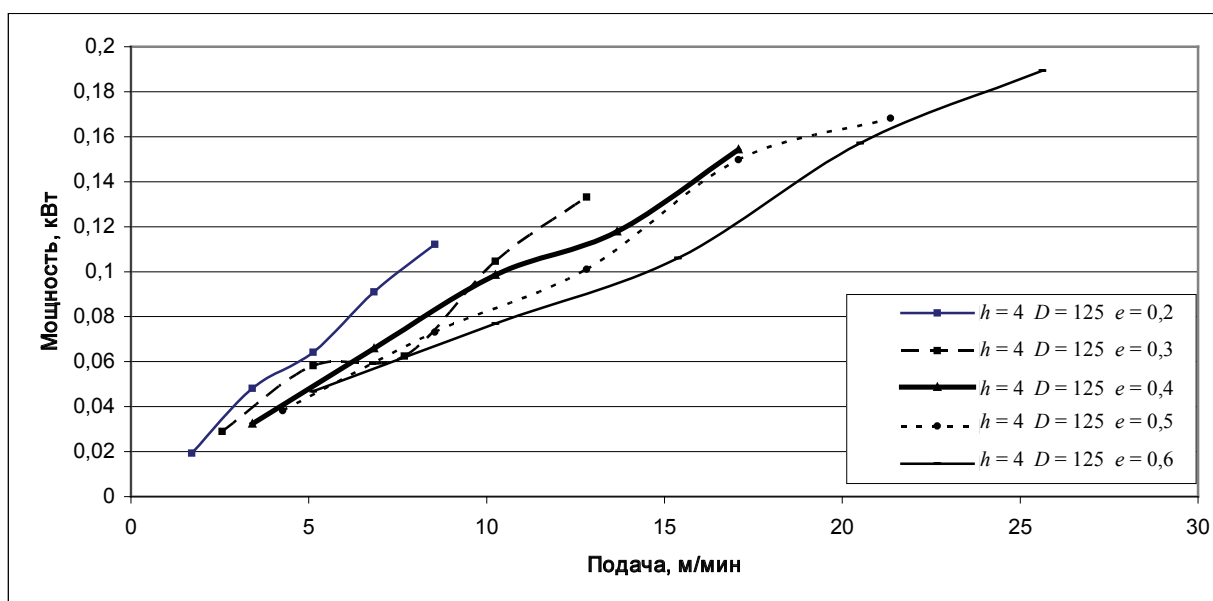


Рис. 9. График зависимости мощности резания от скорости подачи при высоте снимаемого слоя в $h = 4$ мм и толщине стружки $e = 0,2-0,6$ мм

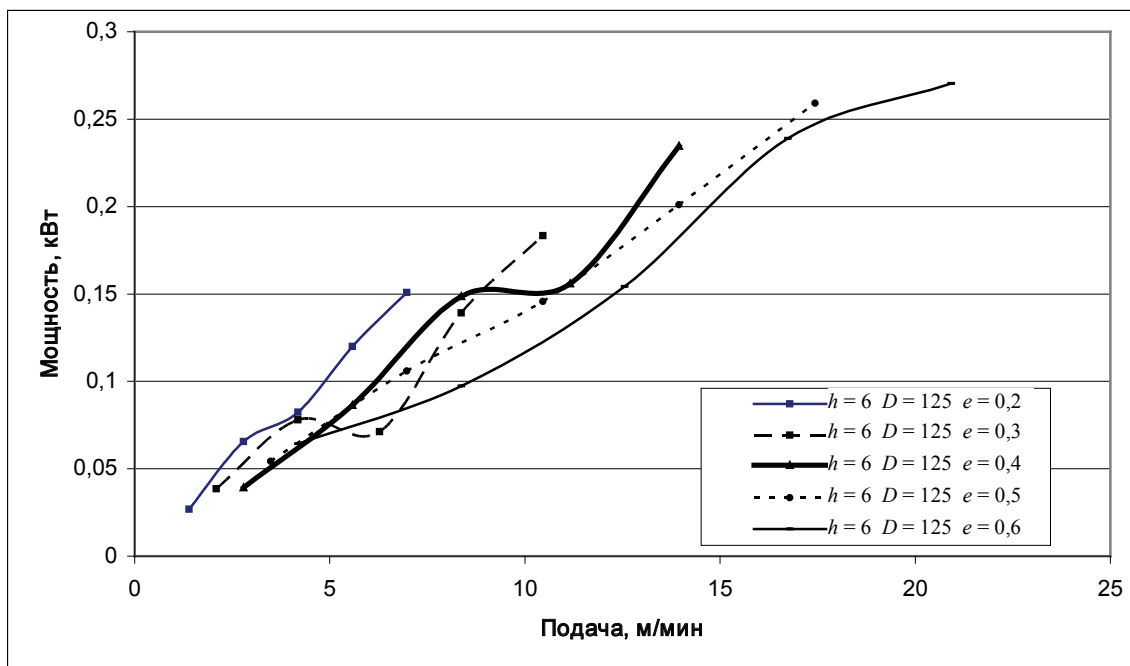


Рис. 10. График зависимости мощности резания от скорости подачи при высоте снимаемого слоя в $h = 6$ мм и толщине стружки $e = 0,2-0,6$ мм

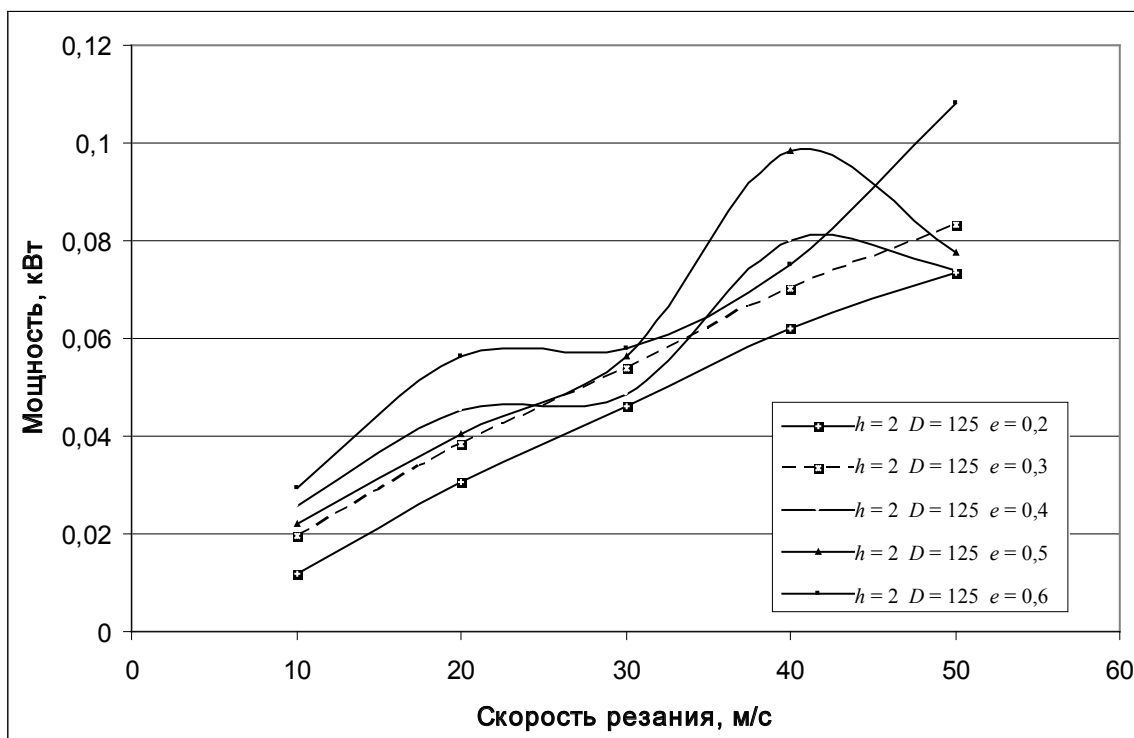


Рис. 11. График зависимости мощности резания от скорости резания при высоте снимаемого слоя в $h = 2$ мм и толщине стружки $e = 0,2-0,6$ мм

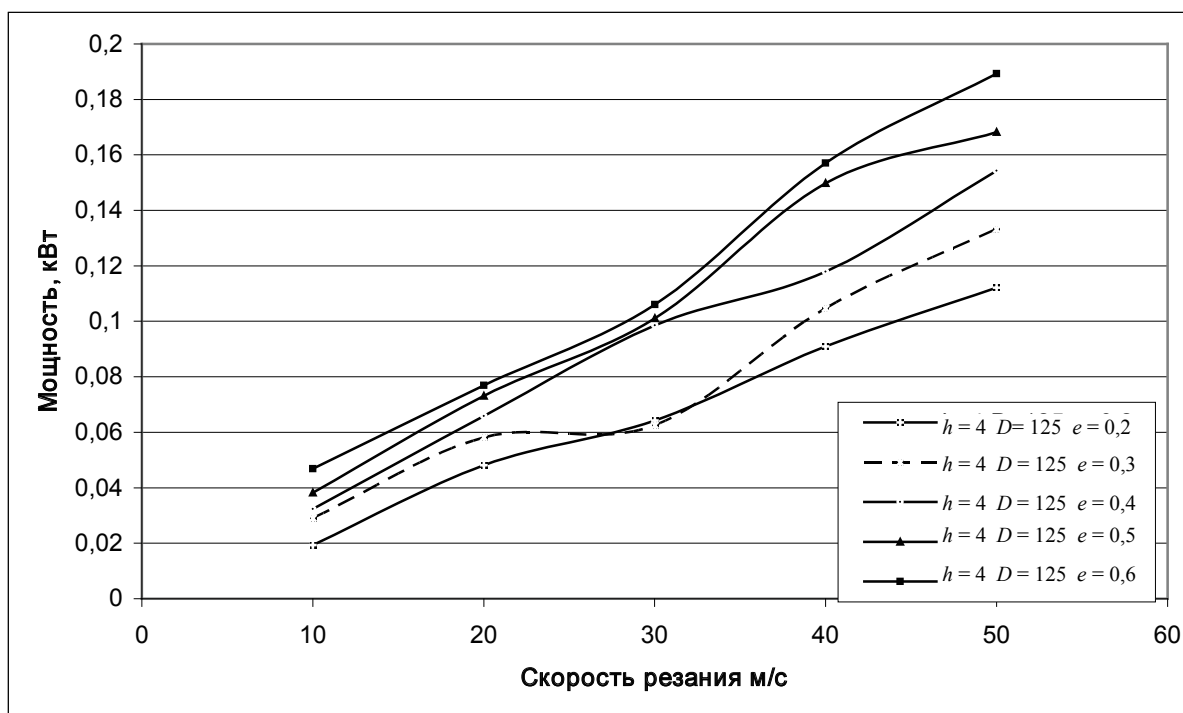


Рис. 12. График зависимости мощности резания от скорости резания при высоте снимаемого слоя в $h = 4$ мм и толщине стружки $e = 0,2-0,6$ мм

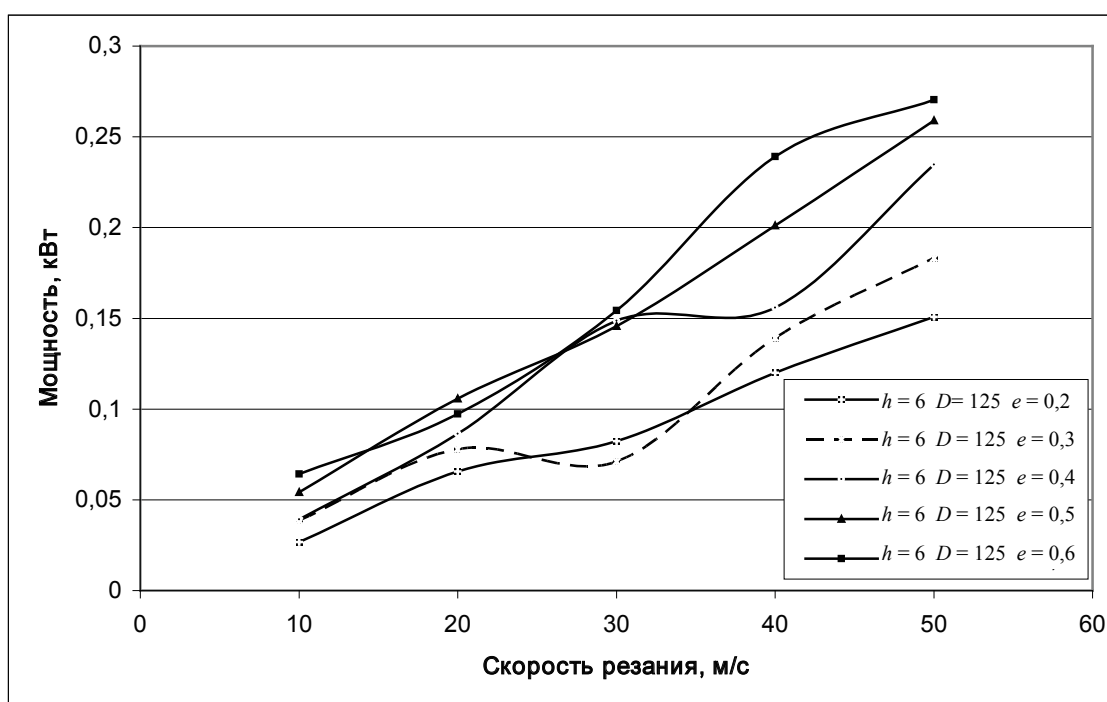


Рис. 13. График зависимости мощности резания от скорости резания при высоте снимаемого слоя в $h = 6$ мм и толщине стружки $e = 0,2-0,6$ мм

Результаты экспериментальных исследований. Основным технологическим параметром при выборе оборудования является скорость подачи. В зависимости от требуемого объема обработки того или иного материала этот показатель технологического процесса изменяется в сторону увеличения или уменьшения.

Современные конструкции деревообрабатывающих станков позволяют изменять скорость подачи бесступенчато, тем самым устанавливая нужную производительность, качество обработки, обеспечивая условия работоспособности инструмента, рационализацию (оптимизацию) энергопотребления при выполнении процесса механической обработки материала.

Влияние скорости подачи на потребляемую мощность при обработке древесноволокнистых плит средней плотности (MDF) методом фрезерования можно проследить на рис. 8, 9, 10.

Определение рациональной скорости подачи по мощности, расходуемой на выполнение процесса фрезерования. Одним из основных показателей уровня механической обработки материала является мощность, затрачиваемая на получение новых поверхностей.

Имеющиеся на сегодняшний момент формулы для определения силы и мощности при фрезеровании не адекватны тем результатам, которые получены экспериментальным путем, и не могут быть применены при проектировании станков.

При скоростях резания до 20 м/с, небольшом припуске на обработку $h = 2$ и 4 мм теоретические расчеты и экспериментальные данные в общем согласуются. Но на большом припуске на обработку $h = 6$ мм, при толщине стружки $e = 0,4; 0,5$ и $0,6$ мм показатели изменяются, не подчиняясь классическому описанию.

В интервале скоростей от 20 до 40 м/с, при $h = 2, 4, 6$ мм, проходит рассогласование данных экспериментальных исследований по показанию мощности и приведенными теоретическими зависимостями.

При скоростях резания 40 м/с и выше закономерности роста мощности экспериментальных данных и расчетных согласуются.

Падение мощности происходит только при $e = 0,4$ и $0,5$ мм при скорости резания свыше 40 м/с при малой высоте удаляемого материала $h = 2$ мм.

Мощность на резание при высоте снимаемого слоя $h = 2$ мм и толщине стружки $e = 0,2$ и $0,3$ мм имеет практически линейный характер в зависимости от скорости подачи.

В интервале скоростей по дчи от 5 до 20 м/мин мощность затрачивается на удаление припуска, практически во всем диапазоне толщин стружек имеем нелинейный характер.

По результатам исследований построены графические зависимости мощности на резание от скорости подачи (рис. 8, 9, 10) и скорости резания (рис. 11, 12, 13).

Выводы и рекомендации. На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

1. С увеличением скорости резания выше 40 м/с мощность на фрезерование возрастет при $h = 4 \div 6$ мм и $e = 0,2 \div 0,6$ мм.

2. При скорости резания 20–40 м/с затрачиваемая на процесс фрезерования мощность не имеет устойчивого роста и может изменяться даже в сторону уменьшения.

3. Скорость подачи влияет на мощность фрезерования не всегда пропорционально увеличению толщины стружки $e = 0,3 \div 0,5$ мм

4. Рациональными толщинами стружек при обработке методом фрезерования следует считать $0,50,6$ мм при скорости подачи $U = 8 \div 20$ м/мин.

5. Устанавливать рациональные скорости подачи в настоящее время на современном оборудовании целесообразно по практическим рекомендациям (графики, таблицы, номограммы и т. д.), полученным в результате экспериментальных исследований.

Литература

1. Панченко, К. П. Русские ученые – основоположники науки резания металлов. Жизнь, деятельность и избранные труды И. А. Тиме, К. А. Зворыкина, Я. Г. Усачева, А. Н. Челюскина / К. П. Панченко. – М., 1952. – 220 с.

2. Дешевой, М. А. Механическая технология дерева / М. А. Дешевой. – Л.: Кубуч, 1934. – Ч. 1. – 512 с.

3. Воскресенский, С. А. О разграничении силы среза и давления на стружку: сб. науч.-исслед. работ / С. А. Воскресенский. – Архангельск, ЦНИИМОД, 1940.

4. Бершадский, А. Л., Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова – Минск: Выш. школа, 1975. – 304 с.

5. Пижурин, А. А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки / А. А. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2004. – 375 с.

6. Сборная цилиндрическая фреза для фрезерования древесины и древесных материалов / А. А. Гришкевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 163–166.

7. А. Ф. Аникеенко Экспериментальная установка для исследования процессов фрезерования древесины и древесных материалов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 202–204.