

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. А. Гришкевич

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ, УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ РЕЗАНИЯ

*Рекомендовано
учебно-методическим объединением учреждений высшего образования
Республики Беларусь по образованию в области природопользования
и лесного хозяйства в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений высшего образования по специальности
1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации
1-36 05 01 03 «Машины и оборудование деревообрабатывающей
промышленности»*

Минск 2012

УДК 674.05:621.9.048.3(075.8)

ББК 37.13я73

Г85

Рецензенты:

доктор технических наук,
профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроения»
Барановичского государственного университета,
заведующий отделом объемных гетерогенных систем
Физико-технического института НАН Беларуси *А. В. Алифанов*;
кафедра «Новые материалы и технологии»
Белорусского национального технического университета

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Гришкевич, А. А.

Г85 Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 03 «Машины и оборудование деревообрабатывающей промышленности» / А. А. Гришкевич. – Минск : БГТУ, 2012. – 111 с.

ISBN 978-985-530-211-8.

В пособии рассмотрены методики решения конструкторской и технологической задач основных технологических процессов механической обработки древесины и древесных материалов. Разработаны варианты и даны примеры решения контрольных задач. Представлены расчетные схемы и графические зависимости, а также приведен необходимый справочный материал для выполнения контрольных задач.

УДК 674.05:621.9.048.3(075.8)

ББК 37.13я73

ISBN 978-985-530-211-8

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2012

© Гришкевич А. А., 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Задача настоящего учебно-методического пособия – научить будущих инженеров-механиков теоретически решать инженерные задачи по механической обработке древесины и древесных материалов и в дальнейшем применять это умение на практике.

В соответствии с учебной программой курса «Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания» пособие базируется на теории резания древесины, разработанной профессором **А. Л. Бершадским**.

Теория резания древесины – это наука, которая объясняет физическую сущность процесса резания, открывает законы образования новых поверхностей и дает им качественную и количественную оценки, выраженные в виде расчетных методов их определения.

Приведенный материал необходим в дальнейшем при изучении деревообрабатывающего оборудования и его проектировании, разработке новых конструкций дереворежущих инструментов, расчете технологических потоков и определении рациональных режимов его работы.

Инженеры-конструкторы и инженеры-механики в своей практической деятельности, опираясь на теорию резания, могут выполнять расчеты мощности приводов деревообрабатывающих станков, выявлять наиболее нагруженные элементы оборудования, правильно его проектировать и эксплуатировать.

Учебно-методическое пособие может использоваться и для обучения инженеров-технологов по деревообработке, так как теория резания древесины и древесных материалов позволяет рационально устанавливать режимы резания деревообрабатывающих машин, управлять качеством обрабатываемых поверхностей и производительностью труда, снижать потери древесины в отходы.

Материал учебного пособия может быть базовым для дальнейшей работы по созданию алгоритма управления деревообрабатывающими машинами с числовым программным управлением (ЧПУ).

При написании пособия использованы материалы научных исследований в области резания древесных материалов, а также многолетний опыт преподавания дисциплины учеными кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов УО «Белорусский государственный технологический университет» кандидатами технических наук, доцентами Лахтановым А. Г., Микулинским В. И., Клубковым А. П., Фридрихом А. П. и др.

1. ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И РАЗМЕРНОСТЬ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ РЕШЕНИИ КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

1.1. Термины и определения общих понятий (ГОСТ 25762-83, ГОСТ 25751-83 (СТ СЭВ 6506-88), ГОСТ 3.1109-82)

Установленные определения можно, при необходимости, изменять по форме изложения, не допуская нарушения границ понятий. Основные термины и определения, используемые в учебно-методическом пособии, приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1

Основные термины и определения

Термин	Определение
Общие понятия	
1. Обработка	Действие, направленное на изменение свойств предмета труда при выполнении технологического процесса
2. Механическая обработка	Обработка давлением или резанием
3. Обработка резанием	Обработка, заключающаяся в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки
4. Стружка	Деформированный и отделенный в результате обработки резанием поверхностный слой материала заготовки
5. Обрабатываемая поверхность	Поверхность, подлежащая воздействию в процессе обработки
6. Обработанная поверхность	Поверхность, полученная после срезания стружки или ряда стружек
7. Поверхность резания	Поверхность, образуемая на обрабатываемой заготовке режущей кромкой лезвия
8. Плоскость резания	Плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через режущую кромку лезвия
9. Режущий инструмент	Инструмент для обработки резанием
10. Лезвие инструмента	Клинообразный элемент режущего инструмента для проникновения в материал заготовки и отделения слоя материала
11. Передняя поверхность лезвия (A_γ)	Поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой
12. Задняя поверхность лезвия (A_α)	Поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания с поверхностями обрабатываемой заготовки
13. Режущая кромка (К)	Кромка лезвия инструмента, образуемая пересечением передней и задней поверхности лезвия

Термин	Определение
14. Главная режущая кромка (К)	Часть режущей кромки, формирующая большую сторону сечения срезаемого слоя
15. Вспомогательная режущая кромка (К')	Часть режущей кромки, формирующая меньшую сторону сечения срезаемого слоя
16. Корпус режущего инструмента	Часть режущего инструмента, несущая на себе все его элементы
17. Инструмент	Технологическая оснастка, предназначенная для воздействия на предмет труда с целью изменения его состояния
18. Лезвийный инструмент	Режущий инструмент с заданным числом лезвий установленной формы
19. Дереворежущий инструмент	Режущий инструмент для обработки древесины и древесных материалов
20. Абразивный инструмент	Режущий инструмент, предназначенный для абразивной обработки
21. Дисковый режущий инструмент	Режущий инструмент в форме тела вращения, осевая длина которого меньше его диаметра
22. Цилиндрический режущий инструмент	Режущий инструмент в форме тела вращения, режущие кромки которого расположены на цилиндрической поверхности
23. Насадной режущий инструмент	Режущий инструмент с посадочным отверстием
24. Хвостовой режущий инструмент	Режущий инструмент с хвостовиком
25. Хвостовик режущего инструмента	Крепежная часть режущего инструмента в виде стержня
26. Резец	Однолезвийный инструмент для обработки с поступательным или вращательным главным движением резания и возможностью движения подачи в нескольких направлениях
27. Зуб лезвийного инструмента	Выступ на многолезвийном инструменте, содержащий лезвие
28. Режущий зуб лезвийного инструмента	Зуб лезвийного инструмента для удаления с заготовки заданного слоя припуска
29. Нож лезвийного инструмента	Зуб лезвийного инструмента, изготовленный отдельно и образующий с корпусом лезвийного инструмента разъемное соединение
30. Фаска лезвия	Узкий участок передней или задней поверхности лезвия вдоль режущей кромки с меньшими значениями переднего или заднего угла по сравнению с теми, которые имеются на основной части передней или задней поверхности
31. Ленточка лезвия	Сравнительно узкий участок задней поверхности лезвия вдоль режущей кромки с меньшими значениями заднего угла по сравнению с основной частью задней поверхности

Термин	Определение
Надежность режущих инструментов	
32. Работоспособное состояние (работоспособность) режущего инструмента (лезвия)	Состояние режущего инструмента (лезвия), при котором выполняется обработка резанием при установленных условиях с установленными требованиями
33. Отказ режущего инструмента (лезвия)	Событие, заключающееся в отклонении от установленных значений хотя бы одного из параметров режущего инструмента, характеризующих его работоспособное состояние, требований или характеристик обработки, выполняемой этим инструментом
34. Стойкостью отказ режущего инструмента (лезвия)	Постепенный отказ режущего инструмента (лезвия), наступающий после достижения им критерия затупления
35. Критерий затупления режущего инструмента (лезвия)	Критерий отказа режущего инструмента (лезвия), характеризующийся максимально допустимым значением износа режущего инструмента (лезвия), после достижения которого наступает его отказ <i>Примечание.</i> Под износом понимают значение, характеризующее изменение формы и размеров режущего инструмента (лезвия)
36. Период стойкости режущего инструмента (лезвия)	Время резания новым или восстановленным режущим инструментом (лезвием) с начала резания до отказа <i>Примечание.</i> Под временем резания понимают интервал времени, в течение которого инструмент находится в непосредственном контакте с обрабатываемой поверхностью, сопровождающемся снятием стружки
37. Полный период стойкости режущего инструмента (лезвия)	Сумма периодов стойкости режущего инструмента (лезвия) от начала резания новым инструментом (лезвием) до достижения предельного состояния
38. Надежность режущего инструмента (лезвия)	Свойство режущего инструмента сохранять во времени установленные значения всех параметров, характеризующих его работоспособное состояние, требований и характеристик обработки, выполняемой этим инструментом, при установленном порядке технического обслуживания, восстановления, ремонта, транспортирования и хранения

1.2. Системы координатных плоскостей и координатные плоскости

Поверхность резания (R_p) – поверхность, образуемая режущей кромкой в результирующем движении резания.

Поверхность главного движения (R_r) – поверхность, образуемая режущей кромкой в главном движении резания.

Рабочая плоскость (P_s) – плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения резания и движения подачи.

Инструментальная система координат (ИСК) – прямоугольная система координат с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно геометрических элементов режущего инструмента, принятых за базу (рис. 2–4).

Инструментальная система координат применяется для изготовления и контроля инструмента.

Статическая система координат (ССК) – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания (рис. 1–4).

Статическая система координат применяется для приближенных расчетов углов лезвия в процессе резания и для учета изменения этих углов после установки инструмента на станке. Она является в общем случае переходной системой от инструментальной системы координат к кинематической.

Кинематическая система координат (КСК) – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания (рис. 1–5).

Основная плоскость (P_v) – координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости *главного* или *результирующего* движения резания в этой точке (в инструментальной системе координат направление скорости главного движения резания у дисковых токарных резцов, осевых инструментов и фрез принимается по касательной к траектории вращательного движения инструмента или заготовки) (рис. 1–4).

Инструментальная основная плоскость ($P_{ви}$) – основная плоскость инструментальной системы координат (рис. 1–5).

Статическая основная плоскость (P_{vc}) – основная плоскость статической системы координат (рис. 1–5).

Кинематическая основная плоскость (P_{vk}) – основная плоскость кинематической системы координат (рис. 1–5).

Плоскость резания (P_n) – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости (рис. 1–5).

Инструментальная плоскость резания ($P_{ни}$) – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная инструментальной основной плоскости (рис. 1–5).

Статическая плоскость резания (P_{nc}) – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная статической основной плоскости (рис. 1–5).

Кинематическая плоскость резания ($P_{нк}$) – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная кинематической основной плоскости (рис. 1–5).

Главная секущая плоскость (P_τ) – координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания (рис. 2–3).

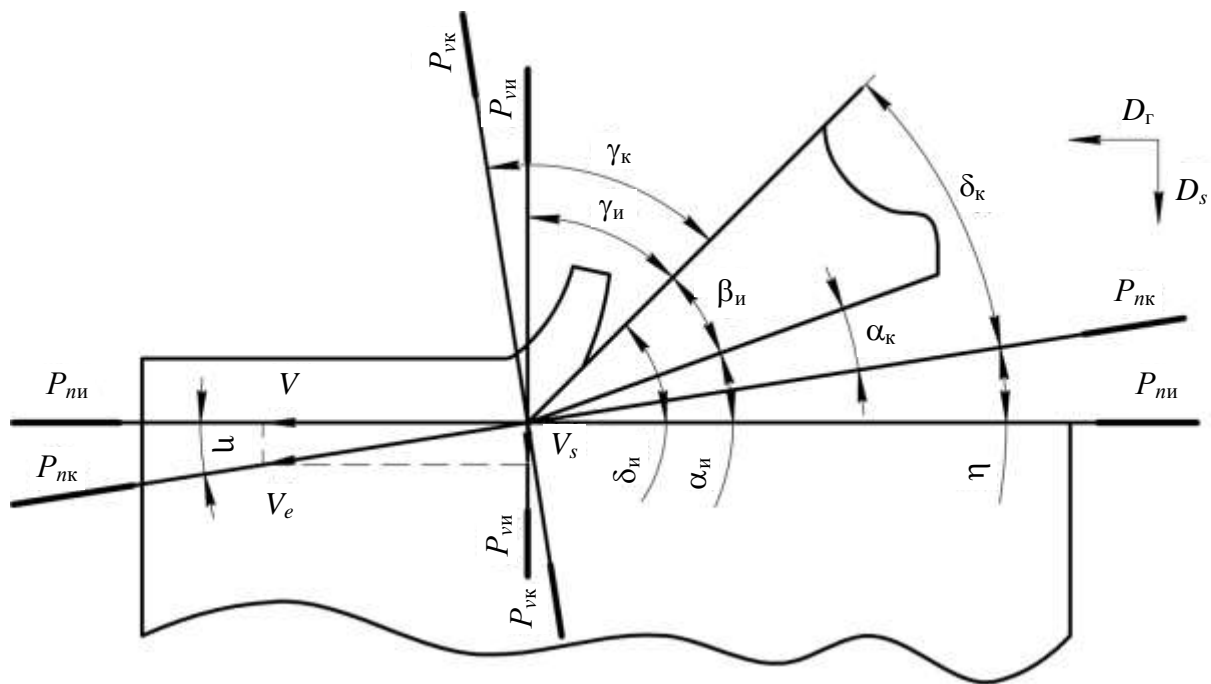


Рис. 1. Принципиальная схема резания с двумя прямолинейными движениями

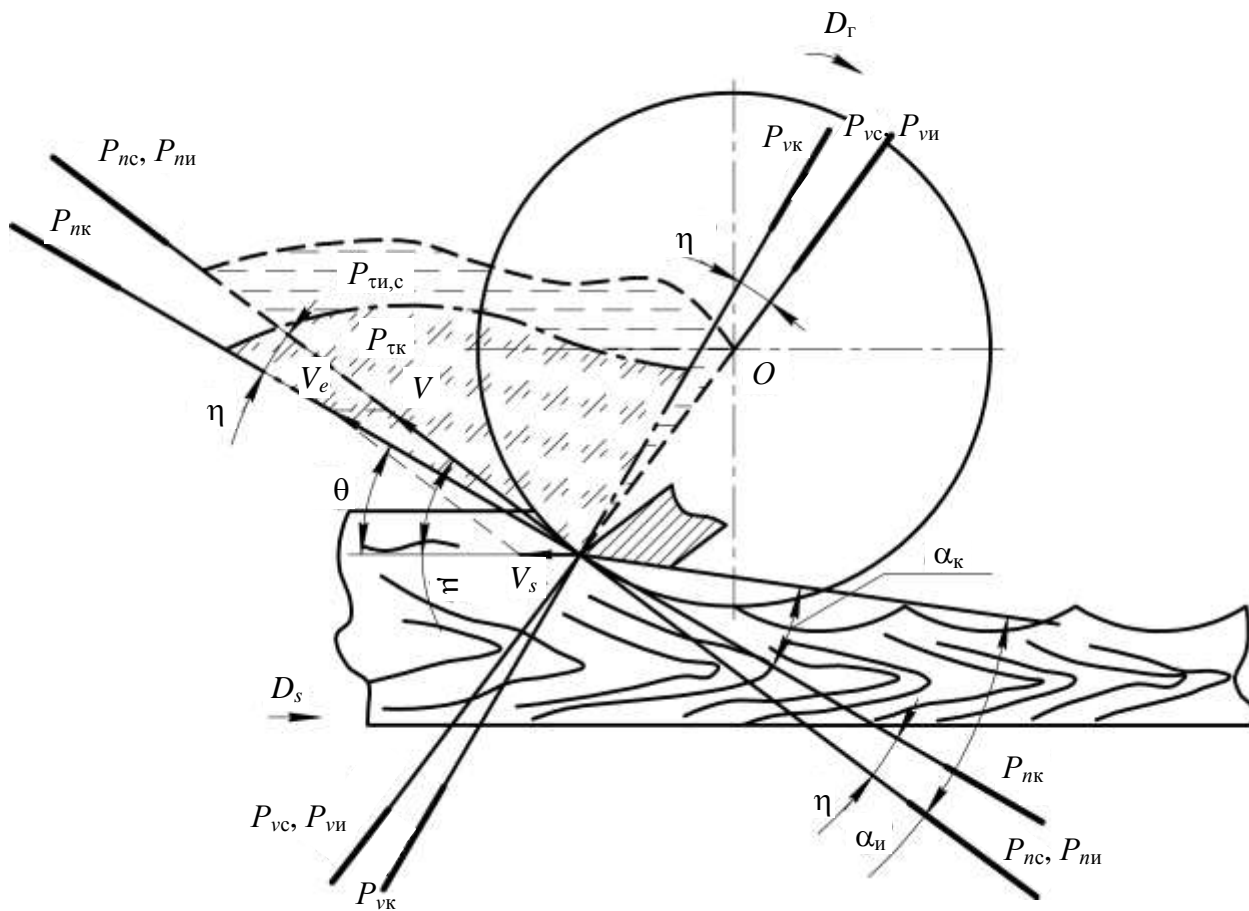


Рис. 2. Системы координат и координатные плоскости при фрезеровании

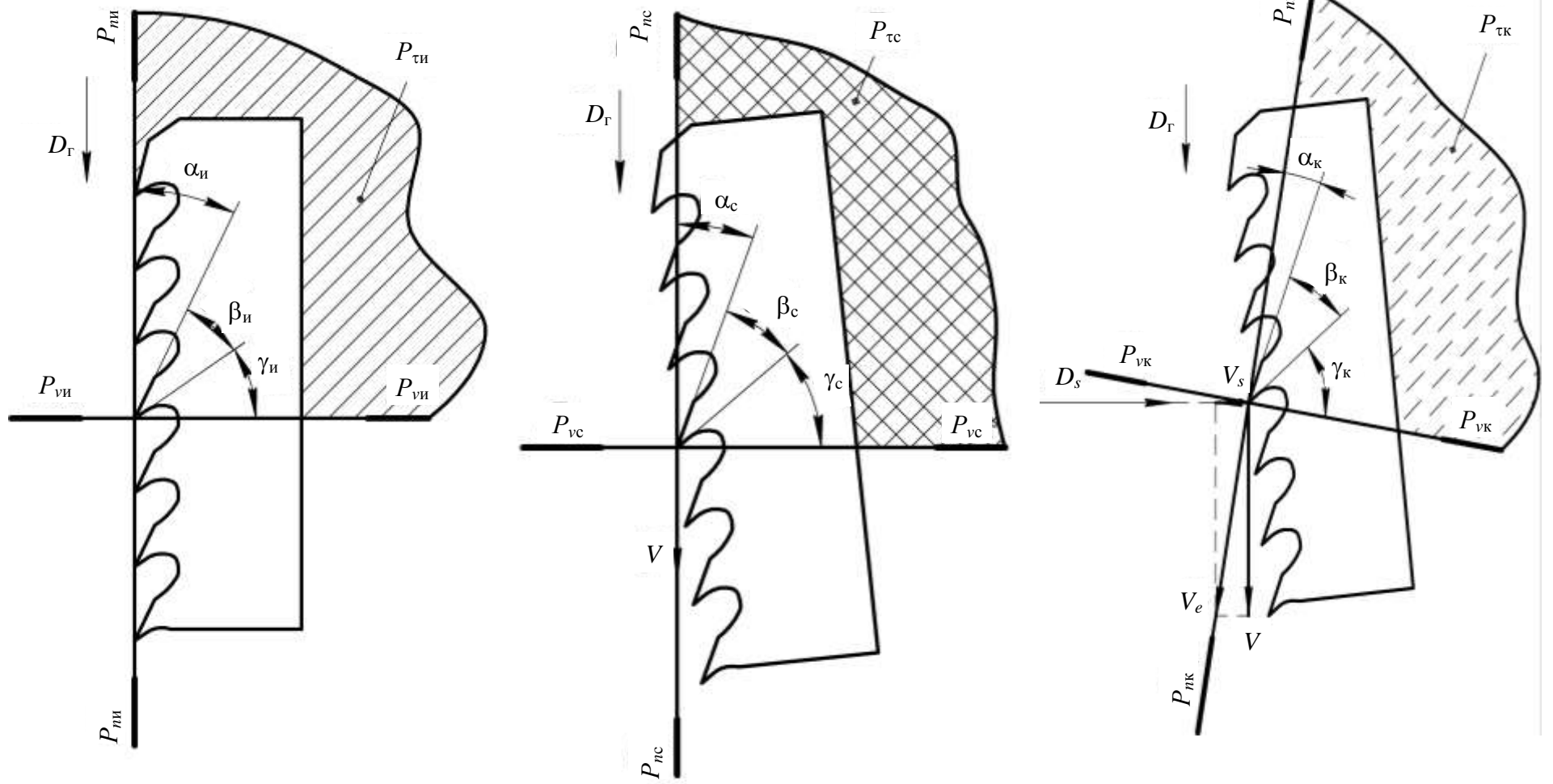


Рис. 3. Системы координат и координатные плоскости при рамном пилении

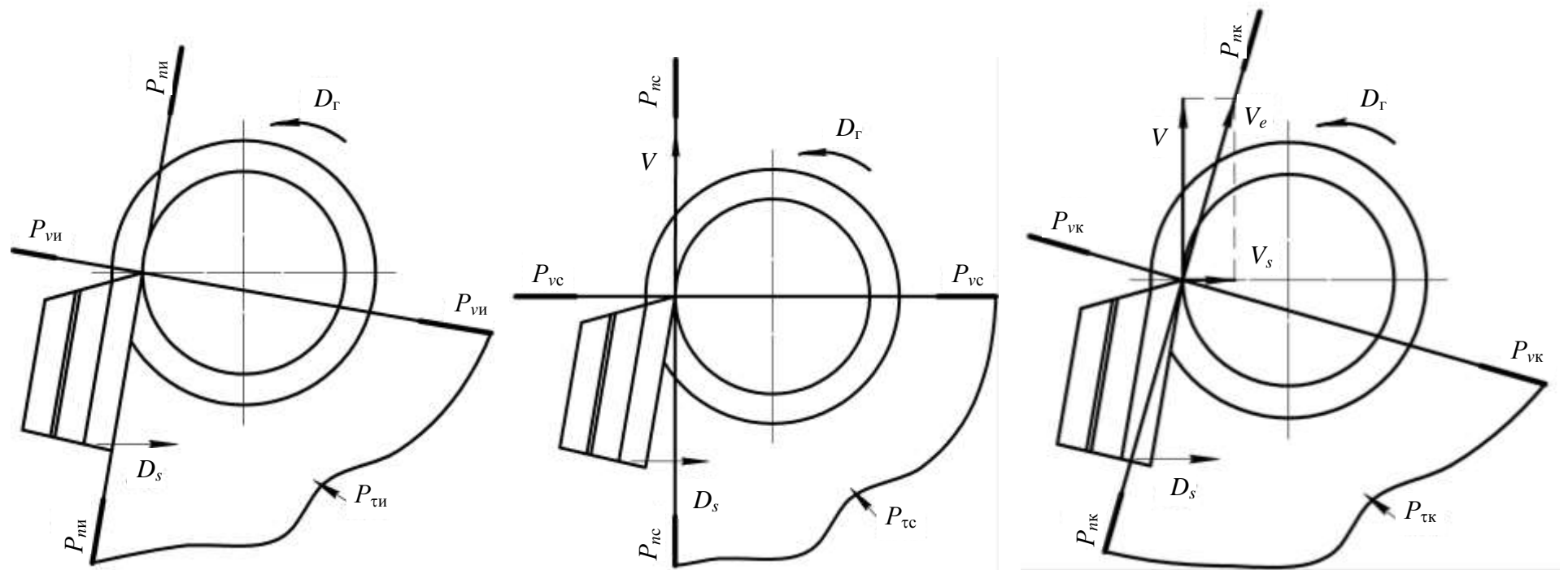


Рис. 4. Системы координат и координатные плоскости при фасонном точении

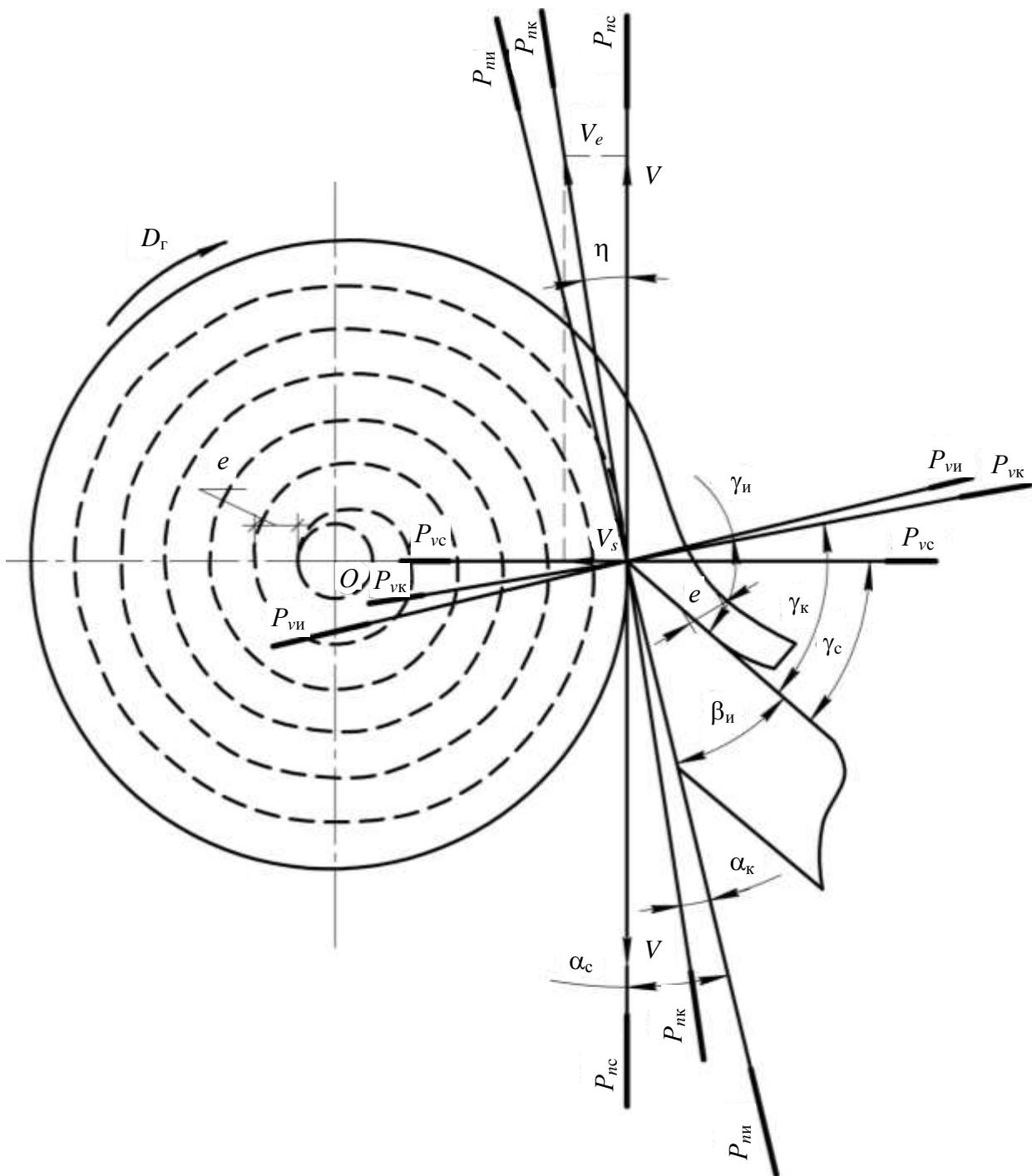


Рис. 5. Системы координат и координатные плоскости при лущении

1.3. Обозначения и размерность параметров, принятых в учебно-методическом пособии

Обозначение параметров соответствует ГОСТ 25762-83, а их размерность – СТ СЭВ 1052-78.

Основные обозначения и размерность параметров, принятых в данном учебно-методическом пособии, приведены в табл. 2.

Основные обозначения и их определения

Но- мер п/п	Обо- значе- ние	Единица измерения	Название параметра
1	D	мм	Диаметр окружности резания (фрезы, пилы, сверла и т. д.)
2	R	мм	Радиус окружности резания (фрезы, пилы, сверла и т. д.)
3	h	мм	Припуск на обработку при фрезеровании (высота распиливаемого материала при пилении рамными, ленточными, круглыми пилами)
4	l	мм	Путь резания (суммарное расстояние, пройденное рассматриваемой точкой режущей кромки в контакте с заготовкой за рассматриваемый интервал времени и измеренное вдоль траектории этой точки в результирующем движении резания)
5	l_B	мм	Длина волны
6	l_K	мм	Длина дуги контакта
7	l_L	мм	Длина лезвия
8	$\theta_{вх}$	град	Угол входа резца в древесину (угол между радиусом, нормальным к скорости движения подачи, и радиусом, проходящим через точку входа резца в обрабатываемый материал)
9	$\theta_{вых}$	град	Угол выхода резца из древесины (угол между радиусом, нормальным к скорости движения подачи, и радиусом, проходящим через точку выхода резца из обрабатываемого материала)
10	θ	град	Угол кинематический (угол в рабочей плоскости между направлениями скоростей результирующего движения резания и движения подачи)
11	μ	град	Угол подачи (угол в рабочей плоскости между направлениями скоростей движения подачи и главного движения резания)
12	η	град	Угол скорости резания (угол в рабочей плоскости между направлениями скоростей результирующего движения резания и главного движения резания)
13	λ	град	Угол наклона кромки (угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью)
14	$\lambda_{и}$	град	Инструментальный угол наклона кромки (угол в инструментальной плоскости резания между режущей кромкой и инструментальной основной плоскостью)
15	λ_c	град	Статический угол наклона кромки (угол в статической плоскости резания между режущей кромкой и статической основной плоскостью)
16	λ_k	град	Кинематический угол наклона кромки (угол в кинематической плоскости резания между режущей кромкой и кинематической основной плоскостью)
17	φ	град	Угол в плане (угол в основной плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью)
18	$\varphi_{и}$	град	Инструментальный угол в плане (угол в инструментальной основной плоскости между инструментальной плоскостью резания и рабочей плоскостью)
19	φ_c	град	Статический угол в плане (угол в статической основной плоскости между статической плоскостью резания и рабочей плоскостью)

Но- мер п/п	Обо- значе- ние	Единица измерения	Название параметра
20	φ_k	град	Кинематический угол в плане (угол в кинематической основной плоскости между кинематической плоскостью резания и рабочей плоскостью)
21	φ_p	град	Рабочий кинематический угол в плане (угол между режущей кромкой и рабочей плоскостью)
22	φ_v	град	Угол встречи с волокнами (угол между направлением волокон и скоростью результирующего движения резания)
23	$\varphi_{и1}$	град	Угол наклона инструмента (угол в рабочей плоскости между скоростью главного движения и линией, проходящей через режущие кромки лезвий полосового инструмента)
24	$\varphi_{и2}$	град	Угол наклона волокон (угол между направлением волокон и скоростью движения подачи)
25	e	мм	Толщина стружки (кратчайшее расстояние между двумя смежными траекториями резца в материале)
26	S_z	мм	Подача на зуб (подача, соответствующая повороту инструмента или заготовки на один угловой шаг зубьев режущего инструмента)
27	n	мин ⁻¹	Число оборотов вала (шпинделя) в минуту
28	z	шт.	Число ножей (зубьев), врезающихся за один оборот инструмента (вала) в материал
29	z_l	шт.	Число резцов (зубьев), находящихся на дуге резания
30	t_z	мм	Шаг зубьев (расстояние между двумя смежными режущими кромками зубьев (ножей))
31	D_T	–	Главное движение резания (прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания)
32	D_s	–	Движение подачи (прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания; предназначено для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность)
33	D_k	–	Касательное движение (прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания и направлена по касательной к режущей кромке; предназначено для того, чтобы сменять контактирующие с заготовкой участки режущей кромки)
34	D_e	–	Результирующее движение резания (суммарное движение режущего инструмента относительно заготовки, включающее главное движение резания, движение подачи и касательное движение)
35	V	м/с	Скорость главного движения резания (скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в главном движении резания)

Но- мер п/п	Обо- значе- ние	Единица измерения	Название параметра
36	S	мм/цикл	Подача (отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой режущей кромки или заготовки вдоль траектории этой точки в движении подачи, к соответствующему числу циклов или определенных долей цикла другого движения во время резания или к числу определенных долей цикла другого движения) <i>Примечания:</i> 1. Под циклом движения понимают полный оборот, ход или двойной ход режущего инструмента или заготовки. Долей цикла является часть оборота, соответствующая угловому шагу зубьев режущего инструмента 2. Под ходом понимают движение в одну сторону при возвратно-поступательном движении
37	V_s	м/мин	Скорость движения подачи (скорость рассматриваемой точки режущей кромки в движении подачи)
38	V_e	м/с	Скорость результирующего движения резания (скорость рассматриваемой точки режущей кромки в результирующем движении резания)
39	V_k	м/с	Скорость касательного движения (скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в касательном движении)
40	P	Вт	Мощность
41	K	Н/мм ²	Среднее давление (удельная работа) резания
42	h_{cp}	мм	Средняя высота пропила
43	$F(P)$	Н	Сила резания (равнодействующая сил, действующих на режущий инструмент при обработке резанием)
44	$F_z(P_z)$	Н	Главная составляющая силы резания (<i>тангенциальная составляющая силы резания</i>) (составляющая силы резания, совпадающая по направлению со скоростью главного движения резания в вершине лезвия)
45	–	Н	Касательная составляющая силы резания (главная составляющая силы резания при вращательном главном движении резания)
46	$F_x(P_x)$	Н	Осевая составляющая силы резания (составляющая силы резания, параллельная оси главного вращательного движения резания)
47	$F_y(P_y)$	Н	Радиальная составляющая силы резания (составляющая силы резания, направленная по радиусу главного вращательного движения резания в вершине лезвия)
48	$F_{z \text{ зуб}}$	Н	Главная составляющая силы резания, приходящаяся на один нож (зуб)
49	F_3	Н	Средняя сила резания за полный оборот инструмента, действующая по задней поверхности лезвия
50	F_{II}	Н	Средняя сила резания за полный оборот инструмента, действующая по передней поверхности лезвия
51	$F_{уд}$	Н/мм	Удельная сила резания
52	$F_{зуб}^{max}$	Н	Максимальная главная составляющая силы резания, приходящаяся на один нож (зуб)
53	$\varphi_{тр}$	град	Угол трения
54	$f_{пр}$	–	Приведенный коэффициент трения и пластической деформации

Но- мер п/п	Обо- зна- чение	Единица измере- ния	Название параметра
55	a_p	–	Коэффициент, учитывающий потерю режущей способности ножа (зуба)
56	ρ	–	Радиус округления режущей кромки (радиус кривизны режущей кромки в сечении ее нормальной секущей плоскостью)
57	ρ_0	мкм	Радиус округления режущей кромки острого ножа
58	$\Delta\rho$	мкм	Приращение радиуса округления режущей кромки ножа на пути резания l за время резания T
59	–	–	Вершина лезвия (участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей. <i>Примечание:</i> у сверла – точка пересечения главной и вспомогательной режущих кромок)
60	ε	мкм/м	Коэффициент, учитывающий приращение радиуса округления режущей кромки ножа на пути резания $l = 1$ м
61	F_Q	Н	Усилие подачи
62	F_S	Н	Сила, нормальная к направлению движения подачи
63	k	МПа	Касательное давление на переднюю поверхность лезвия
64	p	Н/мм	Средняя удельная (единичная) сила резания по задней поверхности лезвия
65	S_{zP}	мм	Подача на нож при полном использовании мощности электродвигателя механизма резания
66	$S_{zP\mu}$	мм	Подача на нож при полном использовании мощности электродвигателя механизма резания при микростружке
67	a_λ	Н/мм ²	Коэффициент, учитывающий трение и прессование стружки во впадине зуба (λ – разведенный зуб)
68	a_Δ	Н/мм ²	Коэффициент, учитывающий трение и прессование стружки во впадине зуба (Δ – плющенный зуб) ($a_\lambda = 1,25a_\Delta$)
69	V_{\max}	м/с	Максимальная скорость главного движения резания
70	$M_{кр}$	Н · м	Крутящий момент
71	$d_{\text{вал}}$	мм	Диаметр подающего вальца
72	$T_{\text{заг}}$	мин	Время обработки заготовки
73	$L_{\text{заг}}$	м	Длина заготовки
74	b	мм	Ширина срезаемого слоя
75	W	%	Влажность
76	γ	град	Передний угол (угол в секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью)
77	γ_n	град	Нормальный передний угол (передний угол в нормальной секущей плоскости)
78	γ	град	Главный передний угол (передний угол в главной секущей плоскости)
79	γ_n	град	Инструментальный главный передний угол (угол в инструментальной главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и инструментальной основной плоскостью)
80	γ_c	град	Статический главный передний угол (угол в статической главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и статической основной плоскостью)
81	γ_k	град	Кинематический главный передний угол (угол в кинематической главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и кинематической основной плоскостью)

Но- мер п/п	Обо- значе- ние	Единица измерения	Название параметра
82	γ_p	град	Рабочий кинематический передний угол (угол в секущей плоскости схода стружки между передней поверхностью лезвия и кинематической основной плоскостью)
83	α	град	Задний угол (угол в секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания)
84	α_n	град	Нормальный задний угол (задний угол в нормальной секущей плоскости)
85	α	град	Главный задний угол (задний угол в главной секущей плоскости)
86	α_n	град	Инструментальный главный задний угол (угол в инструментальной главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и инструментальной плоскостью резания)
87	α_c	град	Статический главный задний угол (угол в статической главной секущей плоскости лезвия между задней поверхностью и статической плоскостью резания)
88	α_k	град	Кинематический главный задний угол (угол в кинематической главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и кинематической плоскостью резания)
89	α_p	град	Рабочий кинематический задний угол (угол в рабочей плоскости между задней поверхностью лезвия и направлением скорости результирующего движения резания в рассматриваемой точке режущей кромки)
90	β	град	Угол заострения (угол в секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия)
91	β_n	град	Нормальный угол заострения (угол заострения в нормальной секущей плоскости)
92	β	град	Главный угол заострения (угол заострения в главной секущей плоскости)
93	β_n	град	Инструментальный главный угол заострения (угол в инструментальной главной секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия)
94	β_c	град	Статический главный угол заострения (угол в статической главной секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия)
95	β_k	град	Кинематический главный угол заострения (угол в кинематической главной секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия)
96	δ	град	Угол резания ($\delta = \alpha + \beta$). <i>Примечание.</i> Понятие не определено ГОСТ 25762-83 и используется в инженерных расчетах для решения задач по резанию древесины и древесных материалов
97	—	—	Направление схода стружки (направление движения стружки в плоскости, касательной к передней поверхности лезвия)
98	ν	град	Угол схода стружки (угол в плоскости, касательной к передней поверхности лезвия, между направлением схода стружки и следом главной секущей плоскости)

1.4. Геометрия обработанной поверхности

Шероховатость поверхности древесины и древесных материалов по ГОСТ 7016-82 (СТ СЭВ 3503-81) характеризуется числовыми значениями параметров неровностей (риски, волнистость, структурные неровности поверхностей плит, спрессованных из древесных частиц) и наличием или отсутствием ворсистости и мшистости на обработанных поверхностях. Анатомические неровности древесины при этом не учитываются.

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться путем указания параметров шероховатости (одного или нескольких) из установленной номенклатуры.

Параметры шероховатости устанавливаются из следующей номенклатуры.

1. Rm_{\max} – **среднее арифметическое высот отдельных наибольших неровностей** на поверхности, вычисленное по формуле

$$Rm_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{\max_i}, \quad (1)$$

где n – число наибольших неровностей (не менее 5);

H_{\max_i} – расстояние от высшей до низшей точки i -й наибольшей неровности (рис. 6).

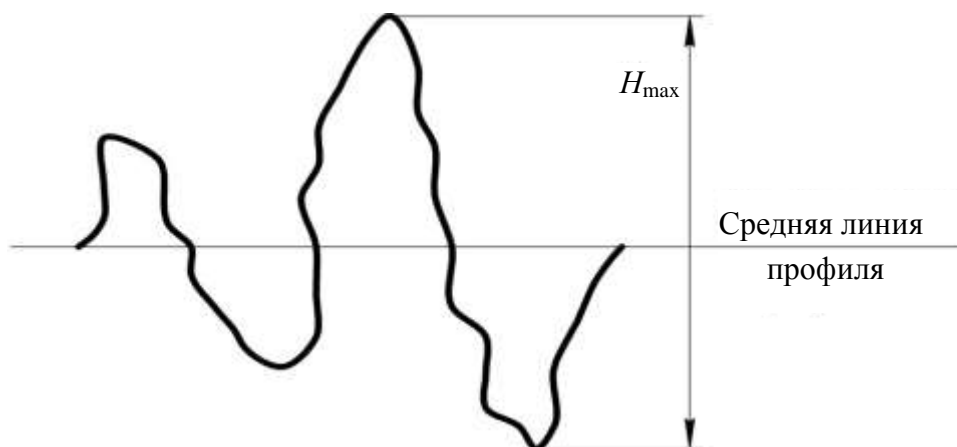


Рис. 6. Расстояние от высшей до низшей точки i -й наибольшей неровности

2. Rm – **наибольшая высота неровностей профиля**, вычисленная по формуле

$$Rm = y_{p\max} + y_{v\max}, \quad (2)$$

где $y_{p\max}$ – расстояние от средней линии профиля до высшей точки профиля в пределах базовой длины (рис. 7);

$y_{v\max}$ – расстояние от средней линии профиля до низшей точки профиля в пределах базовой длины.

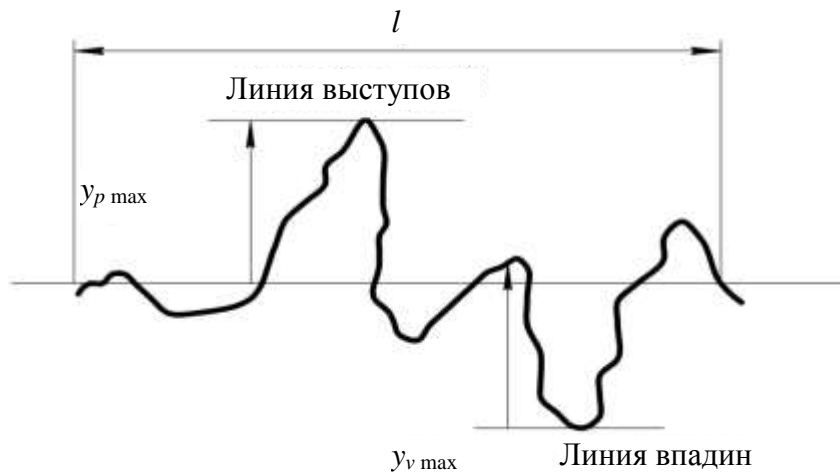


Рис. 7. Расстояние от средней линии профиля до высшей и низшей точек профиля в пределах базовой длины

3. R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам при отсчете от базовой линии, вычисленная по формуле

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 h_{\max i} - \sum_{i=1}^5 h_{\min i} \right), \quad (3)$$

или при отсчете от средней линии профиля:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}, \quad (4)$$

где $h_{\max i}$ – расстояние от высшей точки i -го наибольшего выступа до линии, эквидистантной (параллельной) средней и не пересекающей профиль (рис. 8);

$h_{\min i}$ – расстояние от низшей точки i -й наибольшей впадины до линии, эквидистантной (параллельной) средней и не пересекающей профиль;

y_{pi} – высота i -го наибольшего выступа профиля;

y_{vi} – глубина i -й наибольшей впадины профиля.

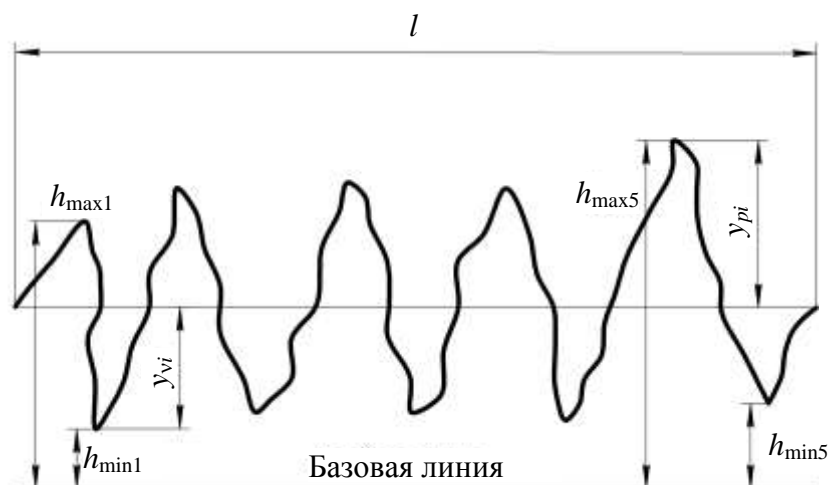


Рис. 8. Высота i -го наибольшего выступа профиля

4. Ra – среднее арифметическое абсолютных отклонений профиля, вычисленное по формуле

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx, \quad (5)$$

или приближенно:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (6)$$

где l – базовая длина;

n – число выбранных точек профиля на базовой длине;

y_i – отклонение профиля от средней линии (рис. 9).

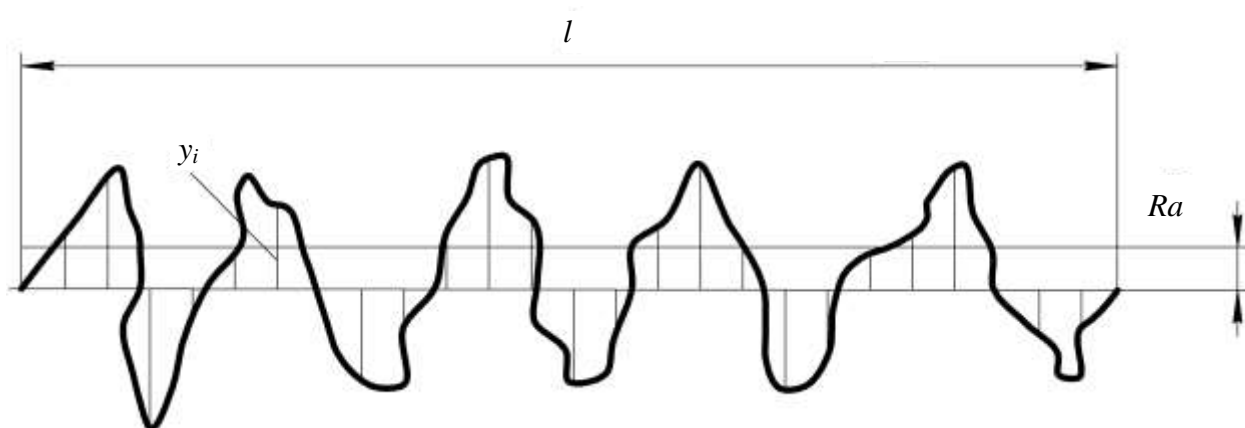


Рис. 9. Отклонение профиля от средней линии

5. S_z – средний шаг неровностей профиля по впадинам, вычисленный по формуле

$$S_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{zi}, \quad (7)$$

где S_{zi} – шаг i -й неровности по впадинам (рис. 10).

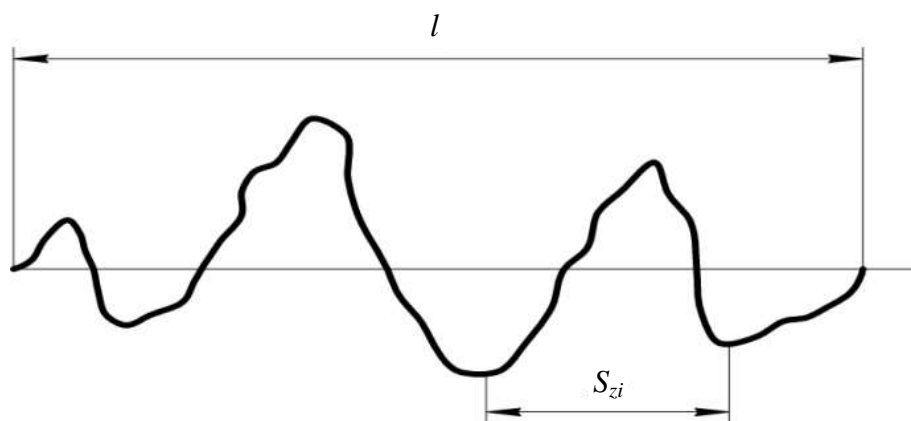


Рис. 10. Шаг i -й неровности по впадинам

Вид, значения параметров шероховатости, материалы, изделия и способы обработки представлены в табл. 2 приложения.

Контрольные вопросы

1. Основные термины и определения: стружка, инструмент, нож, зуб, резец и т. д.
2. Период стойкости режущего инструмента (лезвия), полный период стойкости режущего инструмента (лезвия).
3. Системы координатных плоскостей и координатные плоскости.
4. Обозначения и размерность параметров, принятых в учебно-методическом пособии: толщина стружки, подача на зуб, углы (кинематический, подачи, скорости резания, наклона кромки, в плане), виды движений, скорости движений, подача.
5. Номенклатура параметров шероховатости, их определения и расчет.

2. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО РЕЗАНИЮ ДРЕВЕСИНЫ

В практике конструирования, модернизации и эксплуатации дереворежущих машин инженер постоянно сталкивается с необходимостью решения задач по процессам сложного резания. Условно все эти задачи могут быть отнесены к одному из двух типов: конструкторским или технологическим.

Конструкторскими называют расчетные задачи, в которых по заданной скорости подачи и известным технологическим параметрам обработки (толщине удаляемого припуска, высоте пропила или глубине сверления, породе и влажности древесины и др.) требуется определить мощность и силу (составляющие силы) резания, а также ожидаемую шероховатость обработанной поверхности.

В **технологических** задачах требуется определить главную характеристику режима резания – скорость подачи материала, исходя из заданной мощности резания или сил механизма резания и механизма подачи с учетом ограничений по шероховатости обработанной поверхности, работоспособности, производительности инструмента и других параметров обработки.

В настоящее время имеется достаточное количество теоретических разработок и экспериментальных данных по процессам сложного резания древесины и древесных материалов, позволяющих решать эти задачи.

Расчеты, связанные с шероховатостью обработанных поверхностей, основаны, главным образом, на использовании эмпирических зависимостей между основными исходными характеристиками режимов резания (подача на зуб S_z или толщина стружки e , геометрия зуба (ножа)) и высотой неровностей обработанной поверхности. Такие данные по процессам механической обработки приведены в табл. 1–7 приложения. Они в равной степени пригодны для решения конструкторских и технологических задач, пользование ими не требует дополнительных разъяснений.

Существует два основных метода решения конструкторских и технологических задач:

- 1) аналитический метод расчета теории резания;
- 2) метод расчета, базирующийся на использовании имеющихся результатов экспериментальных исследований.

Метод расчета по аналитическим формулам обоснован трудами профессора М. А. Дешевого и профессора С. А. Воскресенского. Этот метод пока не имеет широкого применения в практике инженерных расчетов из-за отсутствия надежных и полных данных о характеристиках обрабатываемых материалов и об условиях их взаимодействия с лезвием в процессе резания.

Метод расчета по экспериментальным данным предполагает использование в качестве справочных материалов результаты наиболее известных и полных экспериментальных исследований определенных процессов резания, полученных для фиксированных условий эксперимента. При этом влияние условий расчета, отличных от условий проведения «справочного», «таблич-

ного» эксперимента, на результат расчета прогнозируется (учитывается) системой поправочных коэффициентов, численные значения которых также получены в результате экспериментов.

Этот метод в нескольких его разновидностях лежит в основе всех современных инженерных расчетов.

Наибольшее распространение получили следующие методики:

- а) расчеты по методике профессора А. Л. Бершадского;
- б) расчеты по степенным формулам;
- в) расчеты по «табличной» силе;
- г) расчеты по «объемной» формуле мощности резания;
- д) расчеты по уравнениям регрессии.

Знание закономерностей элементарного резания древесины и роли осложняющих факторов, отличающих сложное резание от элементарного, дает возможность инженеру правильно провести анализ любого сложного процесса резания. Изучать процесс сложного резания нужно по определенной системе.

Прежде всего, необходимо выделить общие сведения об изучаемом процессе:

- а) наименование процесса резания (пиление, фрезерование, сверление, строгание, шлифование, точение, лущение);
- б) его особенности (представление функциональной схемы позволяет учесть особенности процесса обработки материала);
- в) понятие о режущем инструменте (геометрия режущего инструмента и материал, из которого он изготовлен).

Далее необходимо исследовать кинематику изучаемого процесса:

- 1) выделить, в первую очередь, главное движение и движение подачи, установить, чему сообщено главное движение (режущему инструменту или заготовке);
- 2) установить линию траектории главного движения (прямую, окружность и т. п.); если главное движение циклическое, то какова частота циклов и амплитуда движения;
- 3) вычислить величину скорости главного движения; если она переменная, то найти ее пределы изменения и среднее значение;
- 4) ответить на аналогичные вопросы относительно движения подачи.

По сведениям о главном движении и движении подачи производят синтез: определяют форму траектории резания, величину скорости резания, величину подачи на один цикл (на один оборот), величину подачи на один нож (зуб).

Используя параметры кинематики, необходимо найти характеристики геометрии срезаемого слоя: контур срезаемого слоя в продольном и поперечном сечениях; толщину (пределы изменения, текущее и среднее значения), ширину и длину.

Очень важной характеристикой процесса резания является геометрия лезвия. Необходимо знать номинальные углы: задний, передний и угол заострения (углы в нормальной секущей плоскости $\alpha_n, \gamma_n, \beta_n$); рабочие кинематические передний и задний углы α_p, γ_p , кинематический главный угол заост-

рения β_p ; угол наклона кромки λ ; способ уширения пропила и величину уширения (для пиления); число резцов и величину шага между ними (для многолезвийного инструмента).

Микрогеометрию лезвия характеризует величина радиуса округления режущей кромки ρ – типичная характеристика параметра потери режущей способности лезвия.

Знание вышеуказанных характеристик процесса резания позволит найти теоретические характеристики неровности (шероховатости) обработанной поверхности, например шаг и высоту гребешков на стенках пропила при пилении, длину и глубину волн при фрезеровании и т. д. Инженер должен знать практические методы измерения характеристик шероховатости.

Изучая силовые (энергетические) характеристики процесса резания, необходимо определить величины касательных и нормальных составляющих силы резания (мгновенных, средних за время резания, средних за цикл), зависимость их от факторов процесса.

Инженер должен знать методы измерения и записи сил при резании древесины, уметь по силам определить работу и мощность резания и подачи. Далее следует установить особенности стружкообразования в данном процессе резания, указать пути управления стружкообразованием в целях снижения энергоемкости или повышения качества процесса резания; сформулировать требования к конструкции режущего инструмента, вытекающие из анализа процесса резания.

Очень важно научиться назначать для каждого процесса резания оптимальный режим, знать критерии оптимизации, методы и технику разработки режима резания.

В конечном итоге существует необходимость создания такой теории резания древесины и древесных материалов, по которой, зная лишь физико-механические свойства обрабатываемого материала и режущего инструмента, можно было бы предсказать оптимальные методы и режимы обработки, а также силовые и качественные показатели процесса резания.

Контрольные вопросы

1. Какая задача называется конструкторской?
2. Какая задача называется технологической?
3. Основные методы решения конструкторских и технологических задач.
4. Какие существуют методики решения инженерных задач в деревообработке?
5. Важнейшие характеристики процесса резания.
6. Какие общие сведения при изучении сложного резания необходимо выделять?
7. Каким образом необходимо исследовать кинематику изучаемого процесса?

3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ (F) И МОЩНОСТИ (P) РЕЗАНИЯ, СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДАЧИ (V_s), СКОРОСТИ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ РЕЗАНИЯ (V), СКОРОСТИ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕГО ДВИЖЕНИЯ РЕЗАНИЯ (V_e) ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ

3.1. Процесс фрезерования

Рекомендуемые формулы для расчетов технологических режимов резания и конструкторских разработок фрезерного оборудования

Фреза – лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания инструмента без изменения радиуса траектории этого движения и хотя бы с одним движением подачи, направление которого не совпадает с осью вращения.

1. Мощность на резание:

$$P_{\text{рез}} = \frac{F_x \cdot V_e}{1000}, \text{ кВт}, \quad (8)$$

также $P_{\text{рез}} = P_{\text{уст}} \cdot \sum \eta_{\text{к.п.д}}$, кВт.

2. Скорость главного движения:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 2R \cdot n}{60 \cdot 1000}, \text{ м/с}, \quad (9)$$

где D – диаметр резания, мм;

n – частота вращения шпинделя, мин^{-1} .

3. Скорость резания:

$$V_e = \sqrt{V^2 + V_s^2 + 2V \cdot V_s \cdot \cos \mu}, \text{ м/с}, \quad (10)$$

где μ – угол между векторами \vec{V} и \vec{V}_s (см. рис. 11).

4. Угол скорости резания (кинематический угол):

$$\eta = \arctg \frac{V_s \cdot \sin \mu}{V + V_s \cdot \cos \mu}, \text{ град},$$

если $\mu = 90^\circ$, тогда

$$\eta = \arctg \frac{V_s}{V}. \quad (11)$$

5. Углы входа (выхода) ножа (зуба) в материал можно определить:

$$\theta_{\text{вх}} = \arcsin \left(\frac{S_z}{2R} \right); \quad (12)$$

$$\theta_{\text{вых}} = \arccos \left(\frac{R-h}{R} \right). \quad (13)$$

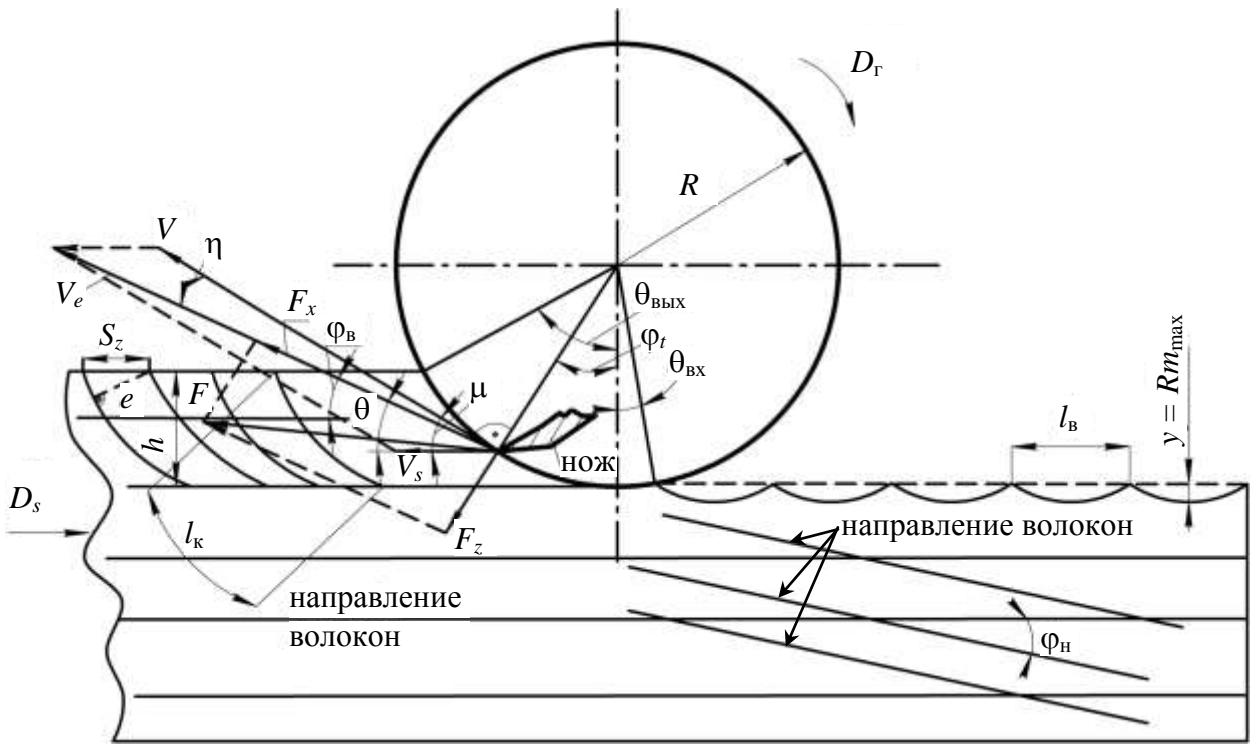


Рис. 11. Схема фрезерования

6. Касательная составляющая силы резания (средняя за оборот):

$$F_x = F_{\text{зуб}} \cdot \frac{l_{\kappa}}{t_3}, \text{ Н.} \quad (14)$$

7. Длина дуги контакта:

$$l_{\kappa} = \sqrt{D \cdot h} = \frac{h}{\sin \theta}, \text{ мм.} \quad (15)$$

8. Кинематический угол встречи:

$$\sin \theta = \sqrt{\frac{h}{D}} \Rightarrow \theta = \arcsin \sqrt{\frac{h}{D}}, \text{ град,} \quad (16)$$

где θ – угол между вектором скорости резания V_e и вектором скорости подачи V_s .

9. Шаг зубьев:

$$t_3 = \frac{\pi \cdot D}{z}, \text{ мм,} \quad (17)$$

где z – число ножей инструмента.

10. Сила резания, приходящаяся на один нож (зуб):

$$F_{\text{зуб}} = F_3 + F_{\Pi} = a_{\rho} \cdot p \cdot b + S_z \cdot \sin \theta \cdot k \cdot b, \text{ Н.} \quad (18)$$

11. Коэффициент округления режущей кромки:

$$a_{\rho} = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{\rho_0}, \quad (19)$$

где ρ_0 – начальный радиус округления режущей кромки, мкм.

12. Приращение радиуса округления режущей кромки:

$$\Delta\rho = \frac{\varepsilon \cdot n \cdot T \cdot l_k}{1000}, \text{ мкм}, \quad (20)$$

где ε – приращение износа лезвия на пути резания 1 м, мкм/м (табл. 3);
 T – время работы инструмента, мин.

Таблица 3

Коэффициент ε – приращение радиуса округления лезвия на пути резания 1 м для сталей 9ХФ и ХВГ, мкм/м

Порода древесины	Фрезерование и строгание, ε
Сосна	0,0008
Дуб	0,0014

Примечание. Для углеродистых сталей брать 2ε , для 9ХС – $0,75\varepsilon$, для Х12Ф – $0,6\varepsilon$, для Р18 – $0,5\varepsilon$.

12. Средняя удельная сила резания по задней поверхности лезвия p , Н/мм:

$$p_c = 1,6 + 0,036\varphi_B - \text{сосна}; \quad (21)$$

$$p_{\bar{c}} = 1,9 + 0,04\varphi_B - \text{береза}; \quad (22)$$

$$p_d = 2,1 + 0,046\varphi_B - \text{дуб}, \quad (23)$$

где φ_B – угол перерезания волокон, т. е. угол между вектором скорости резания V_e и направлением волокон. **В случае направления волокон параллельно направлению движения подачи D_s $\varphi_B = \theta$.**

13. Скорость подачи:

$$V_s = \frac{S_z \cdot z \cdot n}{1000}, \text{ м/мин}, \quad (24)$$

откуда получаем подачу на зуб $S_z = \frac{V_s \cdot 1000}{z \cdot n}$, мм.

14. Касательное давление на переднюю поверхность лезвия k , Н/мм², при $e \geq 0,1$ мм:

$$k_c = (0,2 + 0,004\varphi_B) \cdot \delta + (0,07 + 0,0015\varphi_B) \cdot V_e^* - (5,5 + 0,15\varphi_B) - \text{сосна}; \quad (25)$$

$$k_{\bar{c}} = (0,25 + 0,005\varphi_B) \cdot \delta + (0,08 + 0,0018\varphi_B) \cdot V_e^* - (7 + 0,18\varphi_B) - \text{береза}; \quad (26)$$

$$k_d = (0,28 + 0,006\varphi_B) \cdot \delta + (0,09 + 0,002\varphi_B) \cdot V_e^* - (7,6 + 0,2\varphi_B) - \text{дуб}. \quad (27)$$

Значение k_{μ} при $e < 0,1$ мм:

$$k_{c\mu} = (0,2 + 0,004\varphi_B) \cdot \delta + (0,07 + 0,0015\varphi_B) \cdot V_e^* + 7,3 + 0,138\varphi_B - \text{сосна}; \quad (28)$$

$$k_{\bar{c}\mu} = (0,25 + 0,005\varphi_B) \cdot \delta + (0,08 + 0,0018\varphi_B) \cdot V_e^* + 8,2 + 0,14\varphi_B - \text{береза}; \quad (29)$$

$$k_{d\mu} = (0,28 + 0,006\varphi_B) \cdot \delta + (0,09 + 0,002\varphi_B) \cdot V_e^* + 9,2 + 0,17\varphi_B - \text{дуб}. \quad (30)$$

Примечания: 1. При $V_e < 50$ м/с вместо V подставлять $(90 - V)$.

2. При $e_\mu < 0,1$ мм принимать $k_\mu = 8p + k$, Н/мм², и вместо a_p принимать $(a_p - 0,8)$, тогда выражение силы резания примет вид:

$$F_{зуб,\mu} = F_3 + F_\Pi = (a_p - 0,8) \cdot p \cdot b + S_{z\mu} \cdot \sin \theta \cdot (8p + k) \cdot b, \text{ Н}, \quad (31)$$

где e_μ – толщина стружки:

$$e_\mu = S_{z\mu} \cdot \sin \theta, \text{ мм}. \quad (31a)$$

15. Расчетная величина подачи на нож при полном использовании мощности электродвигателя механизма резания выводится из формулы (18):

$$S_{zP} = \frac{F_{зуб} - a_p \cdot p \cdot b}{\sin \theta \cdot k \cdot b}, \text{ мм}.$$

16. Радиальная составляющая силы резания определяется по зависимости:

$$F_R = F_z = F_o - F_c = 0,5 \cdot a_p^2 \cdot F_3 - F_\Pi \cdot \text{tg}(90 - \delta - \varphi_{тр}) = \frac{F_3}{f_{пр}} - F_\Pi \cdot \text{tg}(90 - \delta - \varphi_{тр}), \quad (32)$$

где δ – угол резания; $\varphi_{тр}$ – угол трения (угол между нормальной и результирующей силами на передней поверхности лезвия) (рис. 12); $f_{пр}$ – суммарный (приведенный) коэффициент, учитывающий трение древесины по задней поверхности лезвия и упруго-пластическую деформацию древесины под линией раздела $O - O$ (рис. 12), $f_{пр} \approx \frac{2}{a_p^2}$.

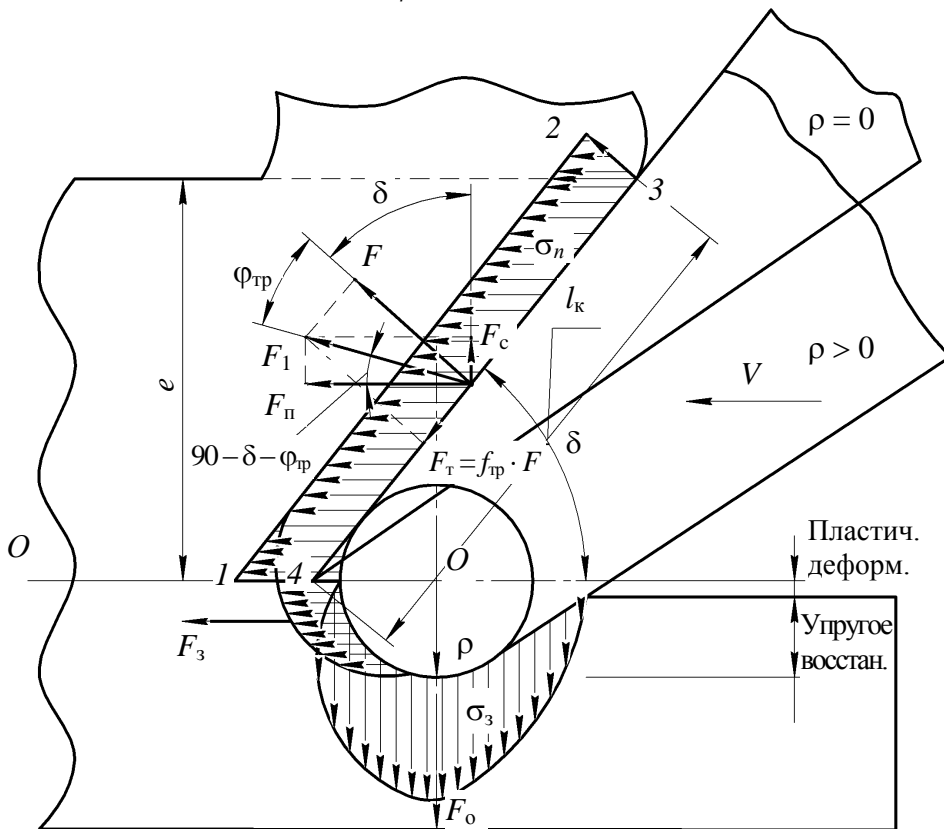


Рис. 12. Схема сил, действующих на лезвие:
1–4 – эпюры напряжений на передней поверхности лезвия

17. Сила сопротивления подаче:

$$F_Q = F_x \cdot \cos \theta \pm F_R \cdot \sin \theta, \text{ Н.} \quad (33)$$

18. Сила, нормальная к вектору скорости подачи:

$$F_s = F_x \cdot \sin \theta \pm F_R \cdot \cos \theta, \text{ Н.} \quad (34)$$

19. Подача на нож по качеству обработанной поверхности:

$$Rm_{\max} = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{S_z}{2}\right)^2}, \text{ мм,} \quad (35)$$

откуда следует

$$S_z = \sqrt{4 \left[R^2 - (R - Rm_{\max})^2 \right]}, \text{ мм.} \quad (36)$$

Пример решения технологической задачи и построение графика скоростей подачи

Дано: станок СР6-9; порода – сосна; ширина фрезерования $b = 100, 200, 300, 400$ мм; припуск на обработку $h = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ мм; инструмент: диаметр резания $D = 128$ мм, угол заточки $\beta = 40^\circ$, $\alpha = 20^\circ$, угол резания $\delta = 60^\circ$, начальный радиус округления режущей кромки $\rho_0 = 5$ мкм; время работы инструмента $T = 0$ мин (нож острый); количество ножей $z = 4$; номинальная мощность двигателя привода на резание $P_{\text{уст}} = 7,5$ кВт; частота оборотов двигателя $n = 2900$ мин⁻¹; диаметр ведущего шкива $D_{\text{ведущ}} = 160$ мм; диаметр ведомого шкива $D_{\text{ведом}} = 100$ мм.

Определить: скорость подачи V_{sP} исходя из 100%-ной загрузки двигателя привода на резание; скорость подачи $V_{sRm_{\max}}$ для получения класса шероховатости $Rm_{\max} = 20$ мкм ($\nabla \delta 7$).

Решение

1. Определим **скорость подачи** $V_{sRm_{\max}}$ **для получения класса шероховатости** $Rm_{\max} = 20$ мкм ($\nabla \delta 7$).

1.1. Подачу на нож найдем из выражения (36):

$$S_z = \sqrt{4 \left[R^2 - (R - Rm_{\max})^2 \right]} = \sqrt{4 \left[64^2 - (64 - 0,02)^2 \right]} = 3,2 \text{ мм.}$$

1.2. Скорость подачи $V_{sRm_{\max}}$ по формуле (24) будет равна ($n_{\text{н.в}}$ определяется в п. 1.3):

$$V_{sRm_{\max}} = \frac{S_z \cdot z \cdot n_{\text{н.в}}}{1000} = \frac{3,2 \cdot 4 \cdot 4640}{1000} = 59,4 \text{ м/мин.}$$

1.3. Частота оборотов ножевого вала:

$$n_{н.в} = 2900 \cdot 1,6 = 4640 \text{ мин}^{-1};$$

$$n = \frac{D_{\text{ведущ}}}{D_{\text{ведом}}} = \frac{160}{100} = 1,6,$$

где n – передаточное отношение.

2. Определим **процент загрузки привода** на резание по рассчитанной скорости подачи на нож S_z для $\nabla\partial 7$.

2.1. Мощность на ножевом валу $P_{\text{рез}}$ равна (8):

$$P_{\text{рез}} = \frac{F_x \cdot V_e}{1000}, \text{ кВт.}$$

2.2. Мощность на резание

$$P_{\text{рез}} = P_{\text{уст}} \cdot \eta_{п.п} \cdot \eta_{р.п} = 7,5 \cdot 0,99 \cdot 0,96 = 7,1 \text{ кВт},$$

где $\eta_{п.п}$ и $\eta_{р.п}$ – к.п.д. передачи соответственно пар подшипников и клиновых ремней.

Отсутствие в настоящее время достоверных данных о зависимости потери мощности в кинематических парах от частоты вращения шпинделя дает завышенные данные при расчетах касательной составляющей силы резания.

2.3. Средняя сила за оборот ножевого вала равна (14):

$$F_x = F_{\text{зуб}} \cdot \frac{l_k}{t_3}, \text{ Н},$$

где $l_k = \sqrt{D \cdot h} = \sqrt{128 \cdot 5} = 25 \text{ мм};$

$$t_3 - \text{ шаг зуба: } t_3 = \frac{\pi \cdot D}{z} = \frac{3,14 \cdot 128}{4} \approx 100 \text{ мм.}$$

2.4. Средняя сила резания, приходящаяся на один нож (зуб) (18):

$$F_{\text{зуб}} = F_3 + F_{\text{п}} = a_p \cdot p \cdot b + S_z \cdot \sin \theta \cdot k \cdot b, \text{ Н.}$$

2.4.1. Коэффициент округления режущей кромки (19):

$$a_p = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{\rho_0}.$$

Приращение радиуса округления равно (20):

$$\Delta\rho = \frac{\varepsilon \cdot n \cdot T \cdot l_k}{1000}, \text{ мкм.}$$

Принимаем начало работы $T = 0$ мин, т. е. работа острым ножом при $\rho_0 = 5$ мкм. Коэффициент округления режущей кромки при этом будет равен $a_p = 1$.

2.4.2. Средняя удельная (единичная) сила резания по задней поверхности лезвия для сосны равна (21):

$$p_c = 1,6 + 0,036\varphi_B = 1,6 + 0,036 \cdot 11,3 = 2,0 \text{ Н/мм},$$

где φ_B – угол между направлением волокон древесины и скоростью резания V_e . Он равен:

$$\varphi_B = \mu - \eta = 11,4^\circ - 0,089^\circ = 11,3^\circ,$$

где $\mu = \frac{\theta_{\text{ВЫХ}}}{2} = \varphi_t = \frac{22,8}{2} = 11,4^\circ$ – угол подачи;

$$\theta_{\text{ВЫХ}} = \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) = \arccos\left(\frac{64-5}{64}\right) = \arccos 0,9219 = 22,8^\circ;$$

$$\eta = \arctg \frac{V_s \cdot \sin \mu}{V + V_s \cdot \cos \mu} = \arctg \frac{14,8 \cdot \sin 11,4}{1860 + 14,85 \cdot \cos 11,4} = \arctg 0,001565 = 0,089^\circ.$$

2.4.3. Скорость главного движения равна (9):

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{н.в}}}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 128 \cdot 4640}{60 \cdot 1000} = 31 \text{ м/с}.$$

2.4.4. Скорость резания определим по формуле (10), с учетом того, что $V_s = 59,4 = 0,99 \text{ м/с}$:

$$\begin{aligned} V_e &= \sqrt{V^2 + V_s^2 + 2V \cdot V_s \cdot \cos \mu} = \\ &= \sqrt{31^2 + 0,99^2 + 2 \cdot 31 \cdot 0,99 \cdot \cos 11,4} = \\ &= \sqrt{31^2 + 0,99^2 + 2 \cdot 31 \cdot 0,99 \cdot 0,98} = \sqrt{976,04} = 31,97 \text{ м/с}, \end{aligned}$$

где μ – угол между векторами \vec{V} и \vec{V}_s – равен:

$$\mu = \frac{\theta_{\text{ВЫХ}}}{2} = \varphi_t = \frac{22,8}{2} = 11,4^\circ \text{ – угол подачи,}$$

где $\theta_{\text{ВЫХ}} = \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) = \arccos\left(\frac{64-5}{64}\right) = \arccos 0,9219 = 22,8^\circ$.

Из приведенных расчетов видно, что скорость главного движения V отличается от скорости резания V_e на $\approx 3\%$. В дальнейших расчетах можно применять вместо V_e скорость главного движения V .

2.4.5. Касательное давление на переднюю поверхность лезвия для сосны равно (25):

$$\begin{aligned} k_c &= \left[(0,2 + 0,004\varphi_B) \cdot \delta + (0,07 + 0,0015\varphi_B) \cdot V_e^* - (5,5 + 0,15\varphi_B) \right] = \\ &= \left[(0,2 + 0,004 \cdot 11,3) \cdot 59,91 + (0,07 + 0,0015 \cdot 11,3) \cdot (90 - 31,97) - \right. \\ &\quad \left. - (5,5 + 0,15 \cdot 11,3) \right] = 12,6 \text{ Н/мм}^2. \end{aligned}$$

2.4.6. Кинематический угол встречи равен:

$$\theta = \mu - \eta = 11,4^\circ - 0,089^\circ = 11,3^\circ.$$

2.4.7. Средняя сила резания, приходящаяся на один нож (зуб), равна (18):
 $F_{\text{зуб}} = a_p \cdot p \cdot b + S_z \cdot \sin \theta \cdot k \cdot b = 1 \cdot 2,0 \cdot 200 + 3,2 \cdot \sin 11,3 \cdot 12,6 \cdot 200 = 1980,0 \text{ Н.}$

2.4.8. Средняя сила за оборот ножевого вала равна:

$$F_x = F_{\text{зуб}} \cdot \frac{l_k}{t_3} = 1980,0 \cdot \frac{25}{100} = 495,0 \text{ Н.}$$

2.4.9. Фактическая потребляемая мощность $P_{\text{рез}}$ при этом будет равна:

$$P_{\text{рез}} = \frac{F_x \cdot V_e}{1000} = \frac{495,0 \cdot 31,97}{1000} \approx 15,8 \text{ кВт,}$$

что составляет 222,5% от максимально возможной (7,1 кВт). Следовательно, получить $\nabla \delta 7$ класс шероховатости при заданных условиях обработки невозможно, так как требуемая мощность превосходит имеющуюся более чем в 2,2 раза.

3. Рассчитаем **скорость подачи при полной (100%) загрузке** привода механизма резания.

3.1. Скорость подачи определяется по формуле

$$V_{sP} = \frac{S_z \cdot z \cdot n_{\text{н.в.}}}{1000}, \text{ м/мин.}$$

3.2. Подачу на нож найдем из зависимости

$$S_z = \frac{F_{\text{зуб}} - a_p \cdot p \cdot b}{\sin \theta \cdot k \cdot b}, \text{ мм.}$$

3.3. Средняя сила, действующая на зуб (нож):

$$F_x = F_{\text{зуб}} \cdot \frac{l_k}{t_3} \Rightarrow F_{\text{зуб}} = F_x \frac{t_3}{l_k}, \text{ Н.}$$

3.4. Средняя касательная сила за оборот инструмента равна:

$$F_x = \frac{P_{\text{рез}} \cdot 1000}{V_e} = \frac{7,1 \cdot 1000}{31,97} = 222,1 \text{ Н.}$$

3.5. Сила $F_{\text{зуб}}$ равна:

$$F_{\text{зуб}} = 222,1 \cdot \frac{100}{25} = 888,4 \text{ Н.}$$

3.6. Средняя удельная сила резания по задней поверхности ножа равна:

$$p_c = 1,6 + 0,036\varphi_B = 1,6 + 0,036 \cdot 11,4 = 2,0 \text{ Н/мм,}$$

где φ_B – угол между направлением волокон древесины и *скоростью главного движения* V , так как, не зная скорости *подачи* (мы ее ищем), допускаем, что $V_e \approx V$. Угол перерезания волокон равен: $\varphi_B = \mu = 11,4^\circ$.

3.7. Касательное давление на переднюю поверхность лезвия равно:

$$\begin{aligned} k_c &= (0,2 + 0,004\varphi_B) \cdot \delta + (0,07 + 0,0015\varphi_B) \cdot V_e^* - (5,5 + 0,15\varphi_B) = \\ &= (0,2 + 0,004 \cdot 11,4) \cdot 60 + (0,07 + 0,0015 \cdot 11,4) \cdot (90 - 31,0) - \\ &\quad - (5,5 + 0,15 \cdot 11,4) = 12,66 \text{ Н/мм}^2. \end{aligned}$$

3.8. Подача на нож при полной загрузке привода ножевого вала равна:

$$S_z = \frac{F_{\text{зуб}} - a_p \cdot p \cdot b}{\sin \theta \cdot k \cdot b} = \frac{888,4 - 1 \cdot 2,0 \cdot 200}{\sin 11,4 \cdot 12,66 \cdot 200} \approx 1,0 \text{ мм.}$$

Здесь $\theta = \varphi_b = 11,4^\circ$, так как $V_e \approx V$; $a_p = 1$ – острый нож.

3.9. Толщина стружки при этом равна:

$$e = S_z \cdot \sin \theta = 1,0 \cdot \sin 11,4^\circ \approx 0,2 \text{ мм} > 0,1 \text{ мм,}$$

значит, расчет проведен верно.

3.10. Скорость подачи при полной загрузке привода ножевого вала равна:

$$V_{sP} = \frac{S_z \cdot z \cdot n_{\text{н.в.}}}{1000} = \frac{1,0 \cdot 4 \cdot 4640}{1000} = 18,6 \text{ м/мин.}$$

Если провести расчет заново с учетом найденной скорости подачи V_{sP} и расчетной величины V_e , то получим разность искомых величин V_e и V около 2%. Отсюда следует, что принятое условие $V_e \approx V$ вполне допустимо.

4. Рассчитав скорости подачи по максимально используемой мощности и качеству обработанной поверхности, получили значения:

$$V_{sP} = 18,6 \text{ м/мин и } V_{sRm_{\text{max}}} = 59,4 \text{ м/мин.}$$

5. Для работы машины принимаем наименьшее значение скорости подачи, которое удовлетворяет ее работоспособности.

6. Определим радиальную составляющую силы резания (32):

$$\begin{aligned} F_y = F_R &= 0,5 \cdot a_p^2 \cdot F_3 - F_{\text{п}} \cdot \text{tg}(90 - \delta - \varphi_{\text{тр}}) = \\ &= 0,5 \cdot 1^2 \cdot 20 - 202,1 \cdot \text{tg}(90 - 60 - 10) = -63,6 \text{ Н.} \end{aligned}$$

Отрицательный знак свидетельствует о том, что заготовка в процессе резания отбрасывается от базовой поверхности.

$$F_3 = (a_p - 0,8) \cdot p \cdot b \cdot \frac{l_k}{t} = (1 - 0,8) \cdot 2,0 \cdot 200 \cdot \frac{25}{100} = 20 \text{ Н;}$$

$$F_x = F_3 + F_{\text{п}} \Rightarrow F_{\text{п}} = F_x - F_3 = 222,1 - 20 = 202,1 \text{ Н.}$$

7. Сила сопротивления подаче будет равна (33):

$$F_Q = F_x \cdot \cos \theta \pm F_R \cdot \sin \theta = 222,1 \cdot \cos 11,3 - 63,6 \cdot \sin 11,3 = 205,2 \text{ Н.}$$

8. Сила, нормальная к вектору скорости подачи (34):

$$F_s = F_x \cdot \sin \theta \pm F_R \cdot \cos \theta = 222,1 \cdot \sin 11,3 + 63,6 \cdot \cos 11,3 = 105,8 \text{ Н.}$$

В данном случае обрабатываемая деталь будет отбрасываться от базовой поверхности силой F_s .

Данные для построения графика скоростей подачи объединены в табл. 4 и 5. График скоростей подачи изображен на рис. 13.

Данные для построения графика скоростной подачи

Номер п/п	Расчетные формулы	Размерность	Припуск h , мм										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	$F_x = \frac{1000 \cdot P_{\text{рез}}}{V_e}$	Н	222,1	222,1	222,1	222,1	222,1	222,1	222,1	222,1	222,1	222,1	
2	$\sin \theta = \sqrt{\frac{h}{D}}$	–	0,088	0,125	0,153	0,177	0,198	0,217	0,234	0,250	0,265	0,280	
3	$\theta = \psi$	град	5,05	7,18	8,8	10,2	11,42	12,53	13,53	14,48	15,37	16,26	
4	$l_k = \frac{h}{\sin \theta}$	мм	11,3	16,0	19,61	22,6	25,25	27,65	29,91	32,0	33,96	35,71	
5	$F_{\text{зуб}} = F_x \cdot \frac{t}{l_k}$	Н	1965	1388	1132	983	888,4	803	742	694	654	622	
6	$\varphi_B = \frac{\arccos \frac{R-h}{R}}{2}$	град	5,07	7,18	8,81	10,18	11,40	12,50	13,52	14,48	15,38	16,23	
7	$p_c = (1,6 + 0,036\varphi_B)$	Н/мм	1,78	1,86	1,92	1,97	2,01	2,05	2,09	2,12	2,15	2,18	
8	$k_c = (0,2 + 0,004\varphi_B) \cdot \delta + (0,07 + 0,0015\varphi_B) \cdot V_t^* - (5,5 + 0,15\varphi_B)$	Н/мм ²	11,5	11,9	12,2	12,4	12,7	12,9	13,0	13,2	13,4	13,5	
9	$\Delta\rho = \frac{\varepsilon \cdot l_k \cdot n \cdot T}{1000}, (T = 0)$	мкм	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	$a_p = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{\rho_0}$	–	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
11	Ширина фрезерования, b	мм	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
			200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
			300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
			400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

Номер п/п	Расчетные формулы	Размерность	Толщина снимаемого слоя h , мм									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	Толщина стружки: а) $e = S_{zP} \cdot \sin \theta = \frac{F_{зуб}}{k_c \cdot b} - \frac{a_p \cdot p}{k_c}$ б) $e_{\mu} = S_{zP} \cdot \sin \theta = \frac{F_{зуб} - (a_p - 0,8) \cdot p \cdot b}{(8p + k_c) \cdot b}$	мм	1,54	1,01	0,77	0,63	0,54	0,46	0,41	0,36	0,33	0,3
			0,7	0,43	0,3	0,24	0,19	0,15	0,12	0,1	0,093	0,086
			0,42	0,23	0,15	0,1	0,089	0,077	0,069	0,063	0,057	0,053
			0,27	0,14	0,088	0,073	0,063	0,055	0,048	0,043	0,039	0,036
13	$S_{zP} = \frac{e}{\sin \theta}$	мм	17,5	8,08	5,03	3,6	2,73	2,1	1,75	1,44	1,25	1,07
			7,95	3,44	1,96	1,36	0,96	0,7	0,51	0,4	0,35	0,31
			4,47	1,84	0,98	0,6	0,45	0,35	0,29	0,25	0,22	0,19
			3,1	1,12	0,58	0,41	0,31	0,25	0,22	0,17	0,15	0,13
14	$V_{sP} = \frac{S_{zP} \cdot z \cdot n}{1000}$	м/мин	324,8	150	93,4	66,8	51,0	39	32,5	26,7	23,2	19,9
			147,5	63,8	36,4	25,2	17,8	13,0	9,5	7,4	6,5	5,9
			82,9	34,1	18,2	11,1	8,4	6,5	5,4	4,6	4,1	3,5
			57,4	20,7	10,8	7,6	5,9	4,6	4,0	3,1	2,8	2,4

Таблица 5

Определение скорости подачи, соответствующей каждому классу шероховатости

Расчетные формулы	Класс шероховатости							
	$\nabla \partial 10$	$\nabla \partial 9$	$\nabla \partial 8$	$\nabla \partial 7$	$\nabla \partial 6$	$\nabla \partial 5$	$\nabla \partial 4$	$\nabla \partial 3$
$l_B = S_{zRm_{\max}}$	1,2	1,6	2,5	4,0	5,5	7,0	10,0	12,2
$V_{sRm_{\max}} = \frac{S_{zRm_{\max}} \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{l_B \cdot n \cdot z}{1000}$, м/мин	22,3	29,7	46,4	74,2	102,1	130,0	185,6	222,7

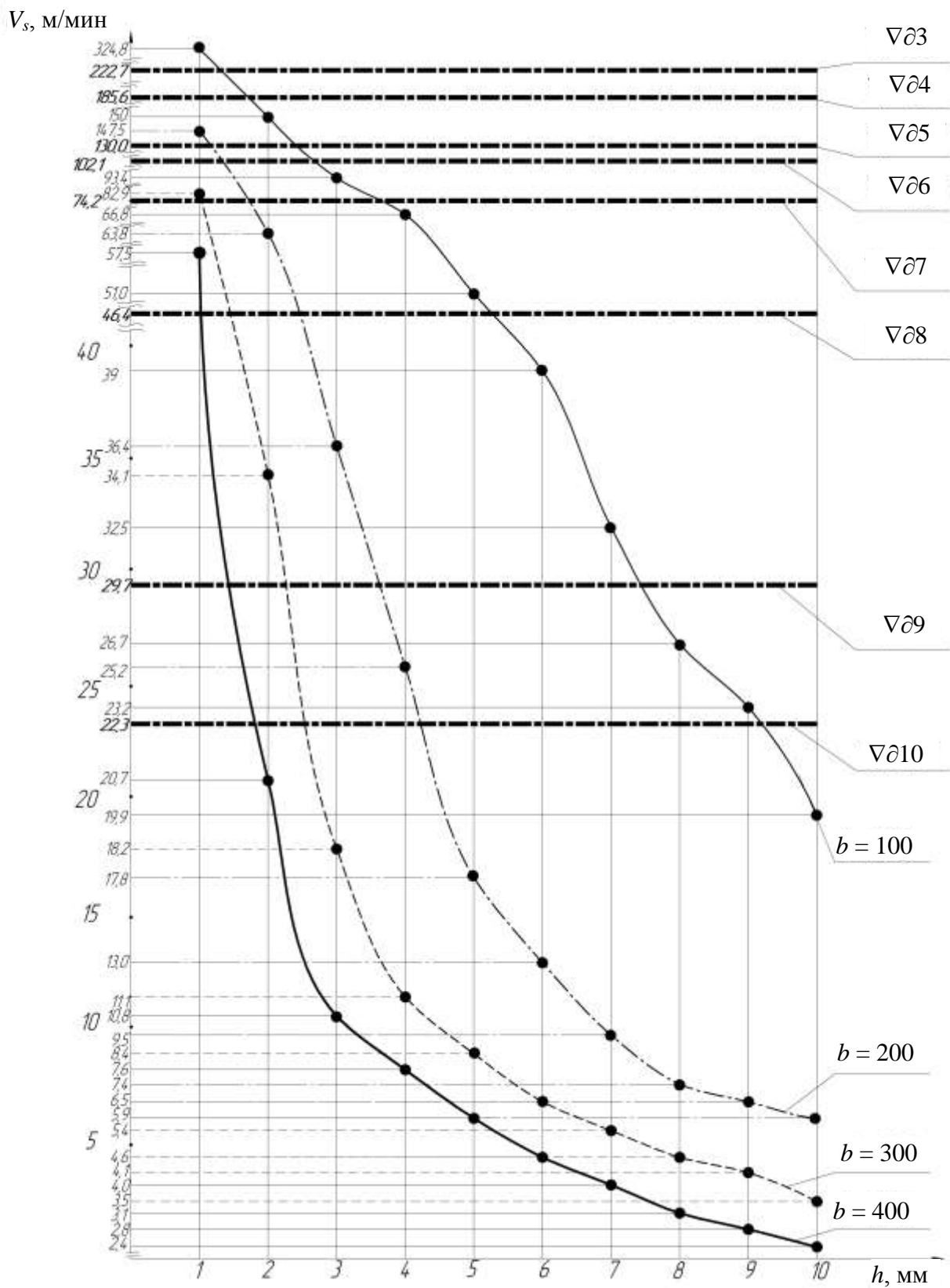


Рис. 13. График скоростей подачи для станка CP6-9

9. Определим влияние скорости подачи (V_s) на угол скорости резания (η).

Угол скорости резания равен (при $\mu = \frac{\theta_{\text{ввх}}}{2} = \varphi_t = \frac{22,8}{2} = 11,4^\circ$) (11):

$$\eta = \arctg \frac{V_s \cdot \sin \mu}{V + V_s \cdot \cos \mu} = \arctg \frac{18,6 \cdot \sin 11,4}{1860 + 18,6 \cdot \cos 11,4} = \arctg 0,001957 \approx 0,1^\circ.$$

При угле подачи $\mu = \theta_{\text{вых}} = 22,8^\circ$

$$\eta = \arctg 0,003869 = 0,22^\circ,$$

где $\theta_{\text{вых}} = \arccos \left(\frac{R-h}{R} \right) = \arccos \left(\frac{64-5}{64} \right) = \arccos 0,9219 = 22,8^\circ;$

при $\mu = 11,4^\circ$

$$\alpha_p = \alpha_{\text{ном}} - \eta = 20 - 0,1 = 19,9^\circ;$$

$$\delta_p = \delta_{\text{ном}} - \eta = 60 - 0,1 = 59,9^\circ;$$

при $\mu = 22,8^\circ$

$$\alpha_p = \alpha_{\text{ном}} - \eta = 20 - 0,22 = 19,78^\circ;$$

$$\delta_p = \delta_{\text{ном}} - \eta = 60 - 0,17 = 59,78^\circ,$$

где α_p – угол задний кинематический (рабочий);

$\alpha_{\text{ном}}$ – угол задний статический (номинальный);

δ_p – угол резания кинематический (рабочий);

$\delta_{\text{ном}}$ – угол резания статический (номинальный).

Определим скорость подачи, при которой $\alpha_p = 19,0; 19,1; 19,2; 19,3; 19,4; 19,5; 19,6; 19,7; 19,8$ и $19,9^\circ$. При этом угол скорости резания η должен быть равен $1; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2$ и $0,1^\circ$ (табл. 6).

Таблица 6

**Результаты определения скорости подачи V_s
при заданных значениях η и α_p**

Значение угла скорости резания η , град	Значение рабочего кинематического заднего угла α_p , град	Значение рабочего кинематического угла резания δ , град	Значение скорости подачи V_s , м/мин
1,0	19,0	59,0	179,2
0,9	19,1	59,1	160,3
0,8	19,2	59,2	141,2
0,7	19,3	59,3	122,5
0,6	19,4	59,4	103,9
0,5	19,5	59,5	85,8
0,4	19,6	59,6	68,1
0,3	19,7	59,7	50,6
0,2	19,8	59,8	33,4
0,1	19,9	59,9	18,6

Выразим из формулы (11) V_s и получим $V_s = \frac{\operatorname{tg} \eta \cdot V}{\sin \mu - \operatorname{tg} \eta \cdot \cos \mu}$.

При $\eta = 1^\circ$

$$\alpha_p = 19^\circ;$$

$$V = 31 \text{ м/с} = 1860 \text{ м/мин};$$

$$V_s = \frac{\operatorname{tg} 1 \cdot 1860}{\sin 11,4 - \operatorname{tg} 1 \cdot \cos 11,4} = \frac{0,0174 \cdot 1860}{0,1976 - 0,0174 \cdot 0,98} = 179,2 \text{ м/мин (рис. 14).}$$

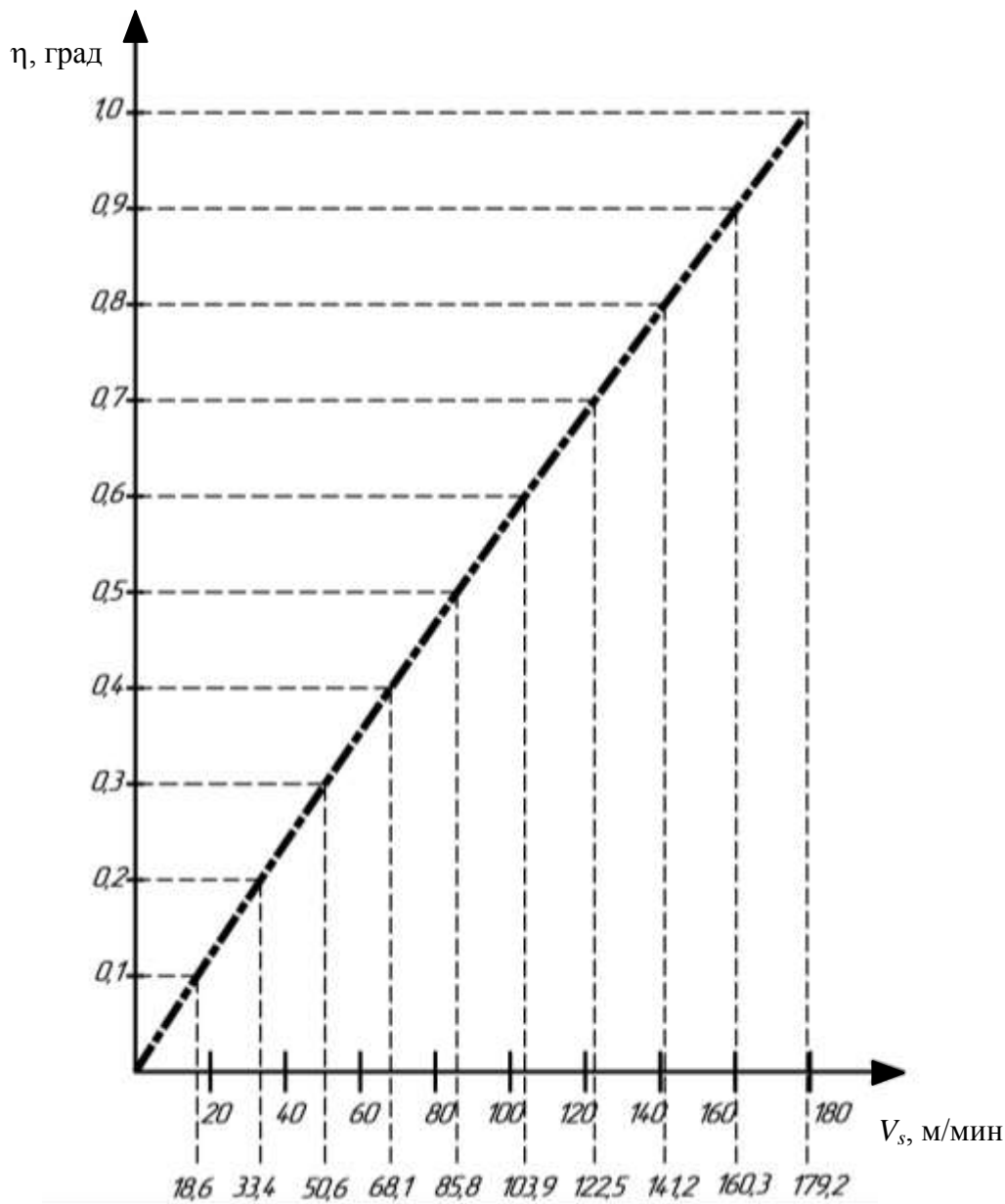


Рис. 14. График зависимости угла скорости резания (η) от скорости подачи (V_s)

Влияние угла скорости резания (η) на среднюю составляющую силы резания на дуге контакта (F_x) и потребляемую мощность на резание ($P_{\text{рез}}$) дано в табл. 7 и на рис. 15.

**Влияние угла скорости резания (η)
на среднюю составляющую силы резания на дуге контакта (F_x)
и потребляемую мощность на резание ($P_{рез}$)**

Расчетная величина	Угол скорости резания, η (град)					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 128 \cdot 4640}{60 \cdot 1000}$, м/с	31					
$V_s = \frac{\text{tg}\eta \cdot V}{\sin\mu - \text{tg}\eta \cdot \cos\mu} = \frac{\text{tg}\eta \cdot 31 \cdot 60}{\sin 11,4 - \text{tg}\eta \cdot \cos 11,4}$, м/мин	18,6	33,4	68,1	103,9	141,2	179,2
$S_z = \frac{V_s \cdot 1000}{z \cdot n_{н.в}} = \frac{V_s \cdot 1000}{4 \cdot 4640}$, мм	1,0	1,8	3,7	5,6	7,6	9,6
μ (угол подачи на 1/2 дуги контакта), град	11,4					
$V_e = \sqrt{V^2 + V_s^2 + 2V \cdot V_s \cdot \cos\mu}$, м/с	31,3	31,6	32,1	32,7	33,3	33,9
$\varphi_B = \theta = \mu - \eta$, град	11,3	11,2	11,0	10,8	10,6	10,4
$k_c = (0,2 + 0,004\varphi_B) \cdot \delta + (0,07 + 0,0015\varphi_B) \cdot V_e^* - (5,5 + 0,15\varphi_B)$, Н/мм ²	12,6	12,5	12,4	12,3	12,1	12,0
$p_c = 1,6 + 0,036\varphi_B$, Н/мм	2,0	2,0	1,99	1,99	1,98	1,97
$a_p = 1$	$T_{заг} = 0$ (мин), острый резец					
$t_3 = \frac{\pi \cdot D}{z} = \frac{3,14 \cdot 128}{4}$, мм	≈ 100					
$l_k = \sqrt{D \cdot h} = \sqrt{128 \cdot 5}$, мм	25					
$F_{зуб} = a_p \cdot p \cdot b + S_z \cdot \sin\theta \cdot k \cdot b$, Н	844,3	1273,9	2148,8	2979,6	3778,3	5752,7
$F_x = F_{зуб} \cdot \frac{l_k}{t_3}$, Н	211,1	318,5	537,2	744,9	944,6	1438,2
$P_{рез} = \frac{F_x \cdot V_e}{1000}$, кВт	6,6	10,1	17,2	24,4	31,5	48,8

Выводы по решению технологической задачи:

1. Получить $\nabla\partial 10$ – $\nabla\partial 8$ классы шероховатости при полном использовании мощности привода механизма резания при ширине фрезерования $b = 400$ мм возможно только при припуске $h = 1$ мм, а $\nabla\partial 7$ – $\nabla\partial 3$ классы получить нельзя.

2. При ширине фрезерования $b = 100$ мм можно получить классы шероховатости, при полном использовании мощности привода механизма резания, во всем диапазоне от $\nabla\partial 3$ до $\nabla\partial 10$ в зависимости от припуска.

3. Угол скорости резания (η) при технических характеристиках станка СР6-9 по скорости подачи является небольшим и в расчетах для данной машины его можно не учитывать.

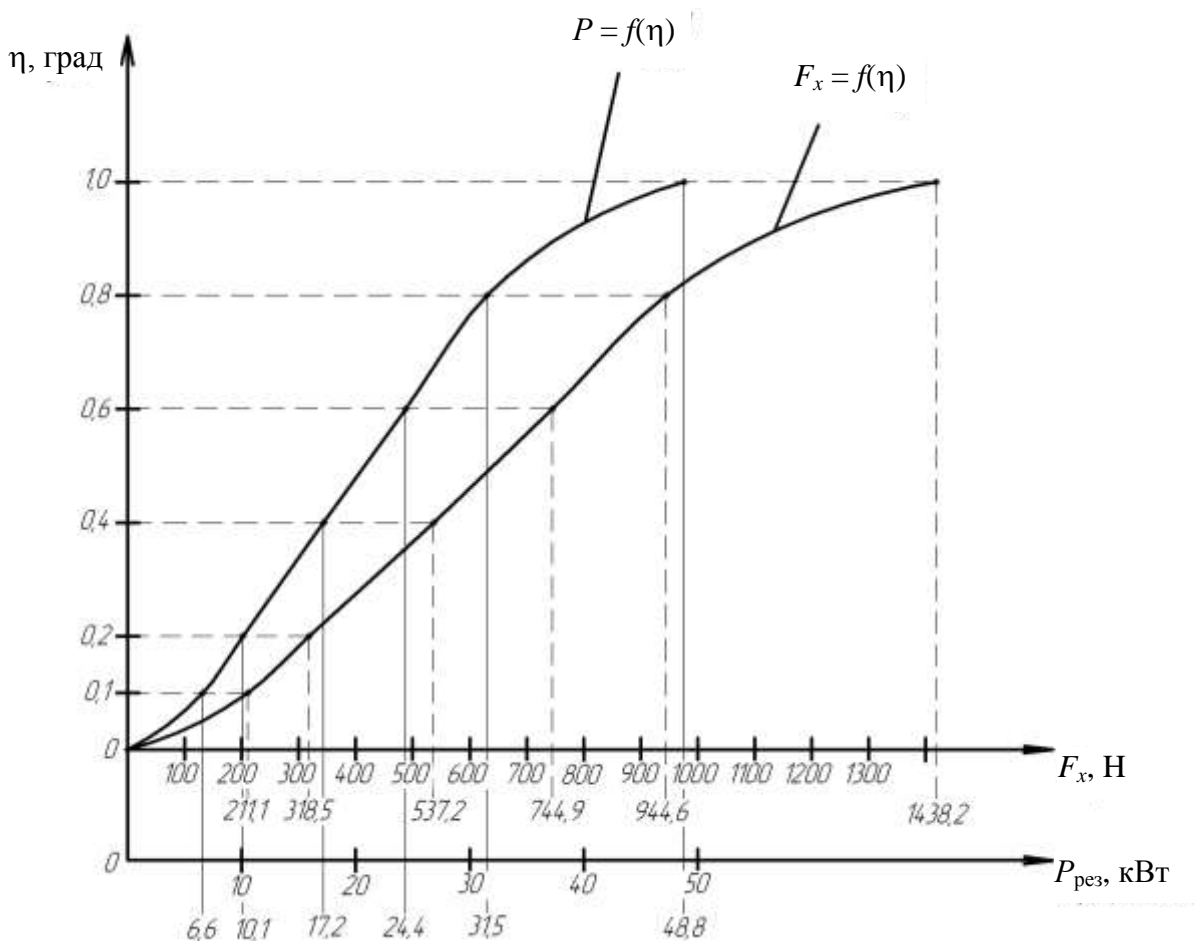


Рис. 15. Графики зависимости средней силы и мощности резания от угла скорости резания

Номер контрольной задачи по табл. 20 приложения соответствует номеру студента в списке журнала группы.

3.2. Процесс пиления рамными пилами

Рекомендуемые формулы для расчетов технологических режимов резания и конструкторских разработок лесопильных рам

Рамная пила – многолезвийный инструмент в виде стальной тонкой полосы, на одной из кромок которой расположены зубья.

Схемы пиления рамными пилами и составляющих силы резания представлены на рис. 16 и 17.

1. Мощность на резание:

$$P_{\text{рез}} = \frac{i \cdot F_x \cdot V_e}{1000}, \text{ кВт}, \quad (37)$$

где $P_{\text{рез}}$ – мощность на резание поставом пил, кВт, также $P_{\text{рез}} = P_{\text{уст}} \cdot \sum \eta_{\text{к.п.д.}}$, кВт;

$P_{\text{уст}}$ – установочная (номинальная) мощность двигателя привода механизма резания, кВт;

$\sum \eta_{\text{к.п.д.}}$ – суммарный к.п.д. механизма резания;

i – количество пил в поставе.

2. При расчетах будем пользоваться **средней** скоростью главного движения:

$$V = \frac{2 \cdot H \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{H \cdot n}{30 \cdot 1000}, \text{ м/с,} \quad (38)$$

где H – ход пильной рамки, мм;

n – частота вращения кривошипа, мин^{-1} .

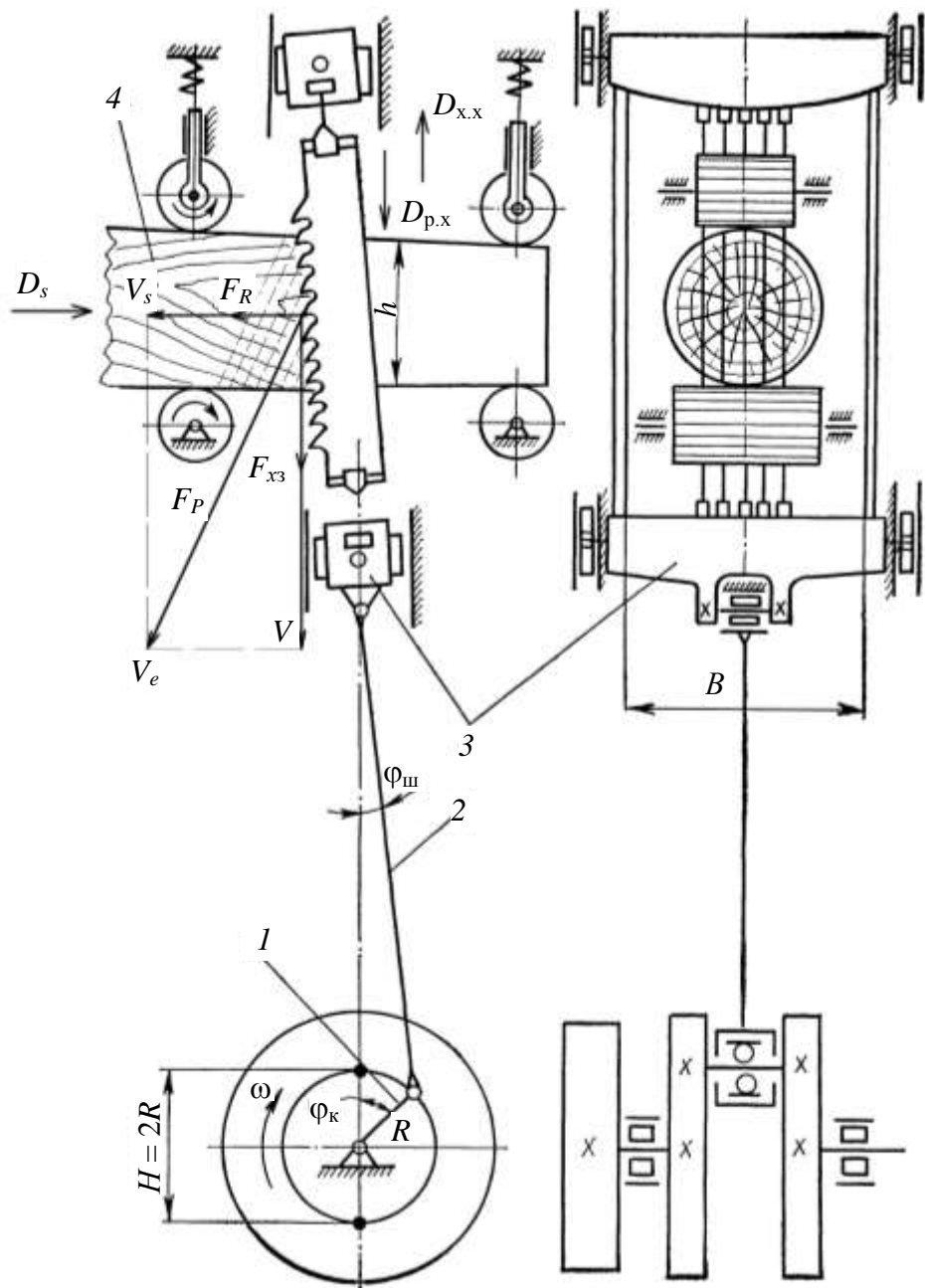


Рис. 16. Схема пиления рамными пилами (за рабочий ход) с центральным кривошипно-шатунным механизмом:

1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – пильная рамка; 4 – бревно

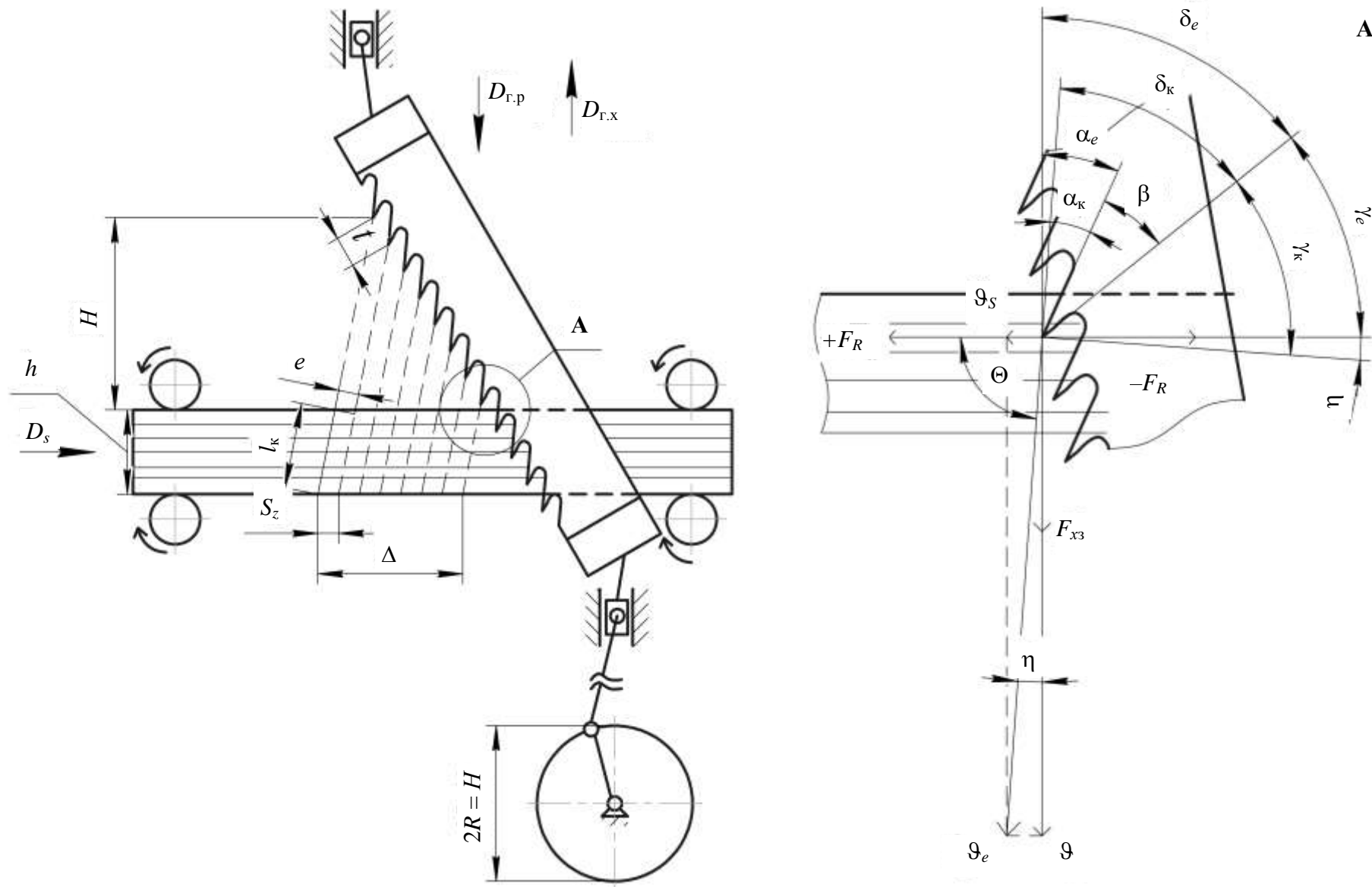


Рис. 17. Схема составляющих силы резания

3. Скорость резания по формуле (10):

$$V_e = \sqrt{V^2 + V_s^2 + 2V \cdot V_s \cdot \cos \mu}, \text{ м/с},$$

где μ – угол между векторами \vec{V} и \vec{V}_s (см. рис. 17).

4. Угол скорости резания (кинематический угол) по формуле (11):

$$\eta = \arctg \frac{V_s \cdot \sin \mu}{V + V_s \cdot \cos \mu}, \text{ град},$$

так как $\mu = 90^\circ$, то $\eta = \arctg \frac{V_s}{V}$.

5. Касательная составляющая силы резания (**средняя за оборот**):

$$F_x = F_{\text{зуб}} \cdot \frac{l_k}{2 \cdot t_3}, \text{ Н}. \quad (39)$$

Из формулы (37):

$$F_x = \frac{P_{\text{рез}} \cdot 1000}{i \cdot V_e}.$$

6. **Длина дуги контакта l_k в рамном пилении** приблизительно равна h – высоте пропила, поскольку кинематический угол встречи $\theta \approx 90^\circ$. Из формулы по определению толщины стружки (31а) $e = S_z \cdot \sin \theta$ следует, что $e \approx S_z$, так как $\sin 90^\circ = 1$.

7. Кинематический угол встречи: $\theta = 90^\circ - \eta$, град.

8. Шаг зубьев:

$$t_3 = \frac{H}{z}, \text{ мм}, \quad (40)$$

где z – количество зубьев на высоте H .

9. Формула для определения длины пилы L :

$$L = H + d_k + 300, \text{ мм}, \quad (41)$$

где H – ход пильной рамки.

10. Максимальная высота распила:

$$D_k = D_{\text{max}} = d_b + C \cdot L_6, \text{ мм}, \quad (42)$$

где D_k – диаметр бревна в комле (максимальный диаметр бревна, максимально возможная высота пропила), мм;

d_b – вершинный диаметр бревна, мм;

C – сбеги бревна (для средних условий распиловки $C = 1$ см/м);

L_6 – длина бревна, мм.

Высота пропила h является величиной переменной при распиловке бревна.

11. Толщину рамной пилы s ориентировочно можно определить по зависимости:

$$s = (0,10-0,12) \cdot \sqrt{D_{\text{max}}}, \text{ мм}. \quad (43)$$

12. Шаг плющеного зуба t ориентировочно можно определить:

$$t = (12-16) \cdot s, \text{ мм.} \quad (44)$$

13. Высоту зуба h_3 можно определить:

$$h_3 = (0,75-1,00) \cdot t, \text{ мм.} \quad (45)$$

14. Радиус закругления r впадины зуба определяется:

$$r = (0,15-0,20) \cdot t, \text{ мм.} \quad (46)$$

15. Сила резания, приходящаяся на один зуб пилы (закрытое резание):
при $e > 0,1$ мм

$$F_{\text{зуб}} = F_3 + F_{\text{п}} = a_p \cdot p \cdot b_{\text{л}} + S_z \cdot \sin \theta (k \cdot b + \alpha_{\Delta\lambda} \cdot l_{\text{к}}), \text{ Н;} \quad (47a)$$

при $e < 0,1$ мм

$$F_{\text{зуб}\mu} = F_3 + F_{\text{п}} = (a_p - 0,8) \cdot p \cdot b_{\text{л}} + S_z \cdot \sin \theta ((8p + k) \cdot b + \alpha_{\Delta\lambda} \cdot l_{\text{к}}), \text{ Н,} \quad (47b)$$

где $\alpha_{\Delta,\lambda}$ – коэффициент интенсивности трения, прессования и перемещения стружки во впадине зуба (табл. 8 приложения), Н/мм²;

Δ – плющенный зуб;

λ – разведенный зуб;

$b_{\text{л}}$ – ширина лезвия, мм,

b – ширина пропила, мм.

При плющеном зубе $b_{\text{л}\Delta} = b$, а при разведенном $b_{\text{л}\lambda} = s + 2s'$, где s – толщина полотна пилы мм (табл. 11 приложения), s' – уширение пропила на сторону (развод зуба), мм (табл. 12 приложения).

16. Коэффициент округления режущей кромки (19):

$$a_p = 1 + \frac{0,2 \cdot \Delta\rho}{\rho_0};$$

$$\Delta\rho = \frac{\varepsilon \cdot n \cdot T \cdot l_{\text{к}}}{1000},$$

где $\Delta\rho$ – приращение радиуса округления режущей кромки, мкм (см. табл. 8);

ρ_0 – начальный радиус округления режущей кромки, мкм,

T – время работы инструмента, мин.

Таблица 8

**Коэффициент ε – приращение радиуса округления лезвия
на пути резания 1 м для сталей 9ХФ и ХВГ, мкм/м**

Порода древесины	Пиление рамными пилами
Сосна	0,002
Дуб	0,0026

Примечание. Для углеродистых сталей брать 2ε , для 9ХС – $0,75\varepsilon$, для Х12Ф – $0,6\varepsilon$, для Р18 – $0,5\varepsilon$.

17. Средняя удельная сила резания по задней поверхности лезвия:

$$p_c = 4 + 0,036\varphi_{\text{в}}, \text{ Н/мм – сосна;} \quad (48)$$

$$p_{\text{б}} = 4,5 + 0,04\varphi_{\text{в}}, \text{ Н/мм} - \text{ береза}; \quad (49)$$

$$p_{\text{д}} = 5 + 0,046\varphi_{\text{в}}, \text{ Н/мм} - \text{ дуб}. \quad (50)$$

18. Скорость подачи:

$$V_s = \frac{S_z \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{\Delta \cdot n}{1000} = \frac{S_z \cdot n \cdot H}{1000 \cdot t}, \text{ м/мин}, \quad (51)$$

где

$$\Delta = S_z \cdot z - \quad (52)$$

посылка, подача на один оборот коренного вала (или количество материала, срезаемого пилой за один рабочий ход в направлении движения подачи D_s), мм.

19. Касательное давление на переднюю поверхность лезвия k при $e \geq 0,1$ мм и k_{μ} при $e < 0,1$ мм, Н/мм², рассчитываются по формулам (25)–(30), как и для процесса фрезерования.

20. Расчетная величина подачи на зуб при полном использовании мощности электродвигателя механизма резания (из формулы 39 и 47): при $e \geq 0,1$ мм

$$S_{zP} = \frac{F_x \cdot \frac{2 \cdot t}{l_k} - a_p \cdot p \cdot b_{\text{л}}}{\sin \theta \cdot (k \cdot b + \alpha_{\Delta\lambda} \cdot l_k)}, \text{ мм},$$

при $e_{\mu} < 0,1$ мм

$$S_{zP_{\mu}} = \frac{F_x \cdot \frac{2t}{l_k} - (a_p - 0,8) \cdot p \cdot b_{\text{л}}}{\sin \theta \cdot ((8p + k) \cdot b + \alpha_{\Delta\lambda} \cdot l_k)}, \text{ мм}.$$

Посылка при полном использовании мощности привода механизма резания равна:

$$\Delta_P = S_{zP} \cdot z = S_{zP} \cdot \frac{H}{t}, \text{ мм}.$$

21. Радиальная составляющая силы резания определяется по зависимости (32).

22. Силу сопротивления подаче по формуле (33) определим из условия, что кинематический угол $\theta \approx 90^\circ$, тогда:

$$F_Q = \pm F_R, \text{ Н}.$$

23. Сила, нормальная к вектору скорости подачи (34):

$$F_s = F_x, \text{ Н}.$$

24. **Посылку по производительности** инструмента (по вместимости впадины зуба) Δ_0 определим по формулам из табл. 9 приложения.

25. **Посылка по качеству полученной поверхности** равна:

$$\Delta_{Rm_{\text{max}}} = S_{zRm_{\text{max}}} \cdot z, \text{ мм}.$$

$S_{zRm_{\text{max}}}$ взять из табл. 5 приложения для установленного качества.

26. В процессе резания на полотно пилы действуют вертикальные, горизонтальные и боковые составляющие силы резания. Полотно пилы находится в устойчивом состоянии под действием этих сил, пока их величина не достигнет критического значения, при котором оно теряет устойчивость плоской формы и отклоняется в сторону. Для того чтобы избежать потери устойчивости, необходимо соблюдать условие (по исследованиям кандидата технических наук Г. Ф. Прокофьева):

$$\Delta_{кр} \leq \frac{H \cdot F_{кр}}{2,1 \cdot K \cdot b \cdot h}, \text{ мм}, \quad (53)$$

где $\Delta_{кр}$ – посылка при условии сохранения жесткости пилы, мм;

H – ход пильной рамки, мм;

$F_{кр}$ – критическая сила, равная

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot F_{нат}}{l_{п}} \left(\frac{B_1}{12} + \frac{C_{кр}}{F_{нат} \cdot B_1} \right), \text{ Н}; \quad (54)$$

где $F_{нат}$ – сила натяжения полотна пилы:

$$F_{нат} = s \cdot B_1 \cdot \sigma, \text{ Н}, \quad (55)$$

σ – средняя величина нормальных напряжений в поперечном сечении пилы от тыльной кромки до линии впадин зубьев, Н/мм², для нормальной жесткости $\sigma = 80\text{--}120$ Н/мм²;

B_1 – ширина пилы от тыльной кромки до линии впадин зубьев, мм;

$l_{п}$ – свободная длина пилы: $l_{п} = h + H + 50$ мм;

$C_{кр}$ – жесткость при кручении:

$$C_{кр} = G \cdot I_{кр}, \text{ Н} \cdot \text{мм}^2; \quad (56)$$

G – модуль упругости при кручении: $G = 8 \cdot 10^4$ Н/мм²;

$I_{кр}$ – момент инерции при кручении: $I_{кр} = \frac{B \cdot s^3}{3}$, мм⁴;

K – удельная работа резания (численно равна среднему условному давлению резания):

при срезании макростружки ($e \geq 0,1$ мм):

$$K_{\Delta} = k + \frac{\alpha_{\Delta} \cdot l_{к}}{b} + \frac{a_p \cdot p}{S_z \cdot \sin \theta}; \quad (57a)$$

$$K_{\lambda} = k + \frac{\alpha_{\lambda} \cdot l_{к}}{b} + \frac{a_p \cdot p \cdot b_{л}}{S_z \cdot \sin \theta \cdot b}, \quad (58a)$$

при срезании микростружки ($e < 0,1$ мм)

$$K_{\Delta} = k_{\mu} + \frac{\alpha_{\Delta} \cdot l_{к}}{b} + \frac{(a_p - 0,8) \cdot p}{S_z \cdot \sin \theta}; \quad (57б)$$

$$K_{\lambda} = k_{\mu} + \frac{\alpha_{\lambda} \cdot l_{к}}{b} + \frac{(a_p - 0,8) \cdot p \cdot b_{л}}{S_z \cdot \sin \theta \cdot b}; \quad (58б)$$

b – ширина пропила, мм;
 h – средняя высота пропила, мм;
 s – толщина пилы, мм.

**Пример решения технологической задачи с определением
рационального режима эксплуатации оборудования
и построение графика скоростей подачи**

Дано: обрабатываемый материал – древесина сосны; брус двухкантный (представлен на рис. 18) длиной $L_{бр} = 4000$ мм, шириной 280 мм; влажность $W = 50\%$ (летом); высота пропила (высота бруса) $h = h_{бр} = 100, 150, 200, 250, 300$ мм.

Получить обрезные доски $35 \times (100-300) \times 4000$ мм, число пил в поставе – $i = 8$ шт. Имеется возможность использования четырех лесопильных рам.

Лесопильная рама № 1. $P_{пр} = 100$ кВт; $H = 600$ мм; $n = 320$ мин⁻¹.

Лесопильная рама № 2. $P_{пр} = 100$ кВт; $H = 700$ мм; $n = 320$ мин⁻¹.

Лесопильная рама № 3. $P_{пр} = 28$ кВт; $H = 360$ мм; $n = 260$ мин⁻¹.

Лесопильная рама № 4. $P_{пр} = 55$ кВт; $H = 410$ мм; $n = 250$ мин⁻¹.

Здесь $P_{пр}$ – мощность привода; H – ход пильной рамки; n – число оборотов коренного вала.

На коэффициент полезного действия (КПД) привода машины № 1 будут влиять: ременная передача, пары подшипников и пары ползун – направляющая:

$$\eta = \eta_{шп} \cdot \eta_{рп} \cdot \eta_{пн} = 0,99 \cdot 0,96 \cdot 0,9 = 0,86.$$

В дальнейших расчетах примем КПД = 0,86 для всех лесопильных рам. Недостающие данные принять самостоятельно.

Определить: рациональный режим эксплуатации каждой из четырех лесопильных рам при условии $Rm_{max} = 800-1600$ мкм ($\nabla \partial 1$).

Решение

1. Рассчитаем и обоснуем **линейные и угловые параметры режущего инструмента.**

Полотно рамной пилы характеризуют длиной L , шириной B и толщиной s .

1.1. Длину полотна рамной пилы L определим по формуле (41):

$$L = H + d_k + 300, \text{ мм};$$

$$L_1 = 600 + 300 + 300 = 1200 \text{ мм, принимаем } 1250 \text{ мм (по ГОСТ 5524-75);}$$

$$L_2 = 700 + 300 + 300 = 1300 \text{ мм, принимаем } 1250 \text{ мм (по ГОСТ 5524-75);}$$

$$L_3 = 360 + 300 + 300 = 960 \text{ мм, принимаем } 1100 \text{ мм (по ГОСТ 5524-75);}$$

$$L_4 = 410 + 300 + 300 = 1010 \text{ мм, принимаем } 1100 \text{ мм (по ГОСТ 5524-75),}$$

где L_1, L_2, L_3, L_4 – это длина полотна пилы для лесопильной рамы № 1, 2, 3, 4 соответственно.

Для условия нашей задачи высота пропила у нас остается постоянной для данного двухкантного бруса, и может изменяться $h = h_{бр} = D_k = D_{max} = 100, 150, 200, 250, 300$ мм. В выборе пилы мы принимаем максимальную высоту бруса $h_{бр} = 300$ мм.

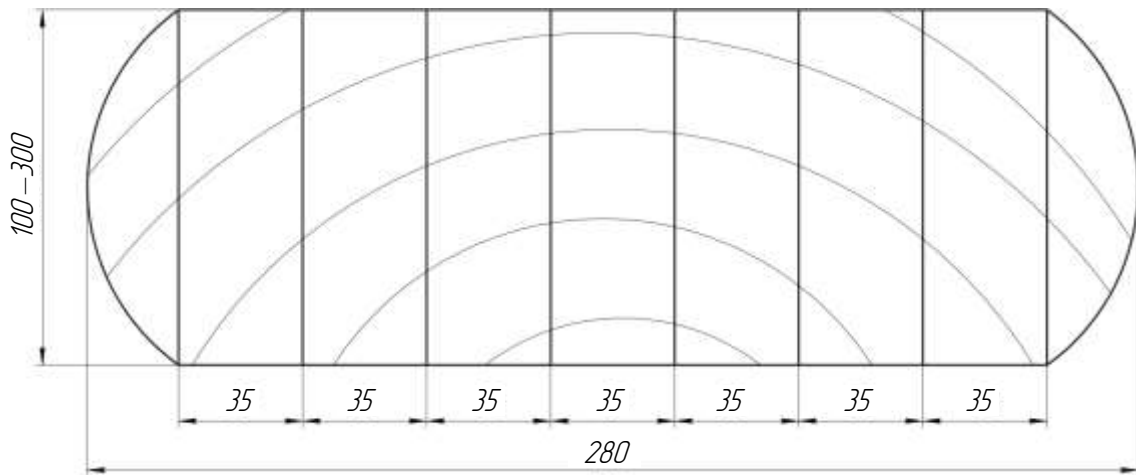


Рис. 18. Схема получения обрезной доски из двухкантного бруса

1.2. Толщину рамной пилы s определим по формуле (43):

$$s = (0,10-0,12) \cdot \sqrt{D_{\text{макс}}} = 0,1 \cdot \sqrt{300} = 1,7 \text{ мм.}$$

Принимаем $s = 2,0$ мм (по ГОСТ 5524-75).

1.3. Шаг зуба t определим по формуле (44):

$$t = (12) \cdot s = 12 \cdot 1,7 = 20,4 \text{ мм.}$$

Принимаем $t = 22$ мм (по ГОСТ 5524-75).

1.4. Высоту зуба h_3 определим по формуле (45):

$$h_3 = (0,75-1,00) \cdot t = 0,75 \cdot 20,4 = 15,3 \text{ мм.}$$

Принимаем $h_3 = 18$ мм (по ГОСТ 5524-75).

1.5. Радиус закругления r впадины зуба определим по формуле (46):

$$r = (0,15-0,20) \cdot t = 0,15 \cdot 20,4 = 3,06 \text{ мм.}$$

Принимаем $r = 5$ мм (по ГОСТ 5524-75).

Таким образом, выбираем типовой инструмент в соответствии с ГОСТ 5524-75 пилу с параметрами, близкими к расчетным. Для заданного технологического процесса пиления будем использовать пилу с параметрами:

1. Длина полотна пилы соответственно – $L_1 = 1250$ мм; $L_2 = 1250$ мм; $L_3 = 1100$ мм; $L_4 = 1100$ мм.

2. Толщина полотна пилы $s = 2,0$ мм (зуб плющенный).

3. Ширина пилы $B = 180$ мм.

4. Шаг зуба $t = 22$ мм.

5. Высота зуба $h_3 = 18$ мм.

6. Радиус закругления впадины зуба $r = 5$ мм.

Угловые параметры по справочнику: $\beta = 40^\circ$, $\gamma = 15^\circ$, $\alpha = 35^\circ$, $\delta = 75^\circ$.

2. Выберем оборудование в зависимости от **высоты распиливаемого материала, качества обработанной поверхности, производительности инструмента и критической силы** (задача оптимизации).

Решаем технологическую (обратную, используя методику профессора А. Л. Бершадского) задачу на примере лесопильной рамы № 3 **при высоте пропила $h = 100$ мм.**

Скорость подачи определяем по формуле (48):

$$V_s = \frac{S_z \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{\Delta \cdot n}{1000} = \frac{S_z \cdot n \cdot H}{1000 \cdot t}, \text{ м/мин.}$$

Определим **скорость подачи при полном использовании мощности электродвигателя:**

$$V_{sP} = \frac{S_{zP} \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{\Delta_P \cdot n}{1000} = \frac{S_{zP} \cdot n \cdot H}{1000 \cdot t}, \text{ м/мин,}$$

где подачу на зуб S_{zP} определяем по формуле (39):

$$S_{zP} = \frac{F_x \cdot \frac{2 \cdot t}{l_k} - a_p \cdot p \cdot b_{\text{л}\Delta}}{\sin \theta \cdot (k \cdot b + \alpha_{\Delta} \cdot l_k)} = \frac{972 \cdot \frac{2 \cdot 22}{100} - 1,25 \cdot 7,2 \cdot 3,6}{1 \cdot (40,4 \cdot 3,6 + 0,2 \cdot 100)} = 2,39 \text{ мм,}$$

при $l_k = 300$ мм $S_{zP} = 0,47$ мм, так же для других высот $h_{\text{бр}} = l_k$, где

$$F_x = \frac{P \cdot 1000}{i \cdot V_e} = \frac{24,1 \cdot 1000}{8 \cdot 3,1} = 972 \text{ Н.}$$

Мощность на резание равна: $P = P_{\text{пр}} \cdot \sum \eta = 28 \cdot 0,86 = 24,1$ кВт.

Скорость резания V_e равна: $V_e \approx V = \frac{H \cdot n}{30\,000} = \frac{360 \cdot 260}{30\,000} = 3,1$ м/с.

Число пил в поставе $i = 8$.

Длина дуги контакта $l_k = h_{\text{бр}} = 100$ мм.

Коэффициент округления режущей кромки определим по формуле (19):

$$a_p = 1 + \frac{0,2 \cdot \Delta \rho}{\rho_0} = 1 + \frac{0,2 \cdot 12,48}{10} = 1,25,$$

при $l_k = 300$ мм $a_p = 1,75$.

Приращение радиуса округления режущей кромки равно:

$$\Delta \rho = \frac{\varepsilon \cdot n \cdot T \cdot l_k}{1000} = \frac{0,002 \cdot 260 \cdot 240 \cdot 100}{1000} = 12,48 \text{ мм,}$$

при $l_k = 300$ мм $\Delta \rho = 37,4$ мкм; T – период работы инструмента (4 часа); $\varepsilon = 0,002$ – из табл. 8 приращение износа лезвия зуба на пути резания 1 пог. м при пилении древесины сосны, мкм/м.

Средняя удельная (единичная) сила резания по задней поверхности лезвия равна (48):

$$p_c = 4 + 0,036 \cdot \varphi_{\text{в}} = 4 + 0,036 \cdot 90 = 7,2 \text{ Н/мм;}$$

$\varphi_{\text{в}} = \theta = 90^\circ$, так как в задаче мы приняли, что направление волокон древесины параллельно движению подачи.

Ширина лезвия плющеного зуба равна ширине пропила:

$$b_{\text{л}\Delta} = b = s + 2s' = 2 + 2 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ мм;}$$

$s' = 0,8$ мм взяли из табл. 12 приложения при распиловке хвойных пород древесины влажностью свыше 25% летом.

Кинематический угол встречи θ при равном пилении равен 90° , поэтому $\sin 90^\circ = 1$.

Касательное давление на переднюю поверхность лезвия k , Н/мм², при $e \geq 0,1$ мм рассчитаем по формуле (25) для сосны:

$$k_c = (0,2 + 0,004\varphi_B) \cdot \delta + (0,07 + 0,0015\varphi_B) \cdot V_e^* - (5,5 + 0,15\varphi_B) = (0,2 + 0,004 \cdot 90) \cdot 75 + \\ + (0,07 + 0,0015 \cdot 90) \cdot (90 - 3,1) - (5,5 + 0,15 \cdot 90) = 40,4 \text{ Н/мм}^2.$$

Коэффициент интенсивности трения, прессования и перемещения стружки во впадине зуба $\alpha_\Delta = 0,2$ Н/мм² для равного пиления принят из табл. 8 приложения.

Посылка при полном использовании мощности привода:

$$\Delta_P = S_{zP} \cdot z = S_{zP} \cdot \frac{H}{t} = 2,39 \cdot \frac{360}{22} = 39,1 \text{ мм},$$

при $l_K = 300$ мм и $S_{zP} = 0,47$ мм $\Delta_P = 7,7$ мм.

Посылка по производительности пилы (по вместимости впадины зуба) рассчитывается по формуле из табл. 9 приложения для II группы качества:

$$\Delta_o = \frac{H \cdot t}{1,8 \cdot h_{\max}} = \frac{360 \cdot 22}{1,8 \cdot 100} = 44 \text{ мм}.$$

Посылка по установленному $\nabla \delta 1$ классу шероховатости равна:

$$\Delta_{Rm_{\max}} = \frac{H}{t} \cdot S_{zRm_{\max}} = \frac{360}{22} \cdot 2 = 32,7 \text{ мм},$$

где подача на плющенный зуб равна $S_{zRm_{\max}} = 2,0$ мм (из табл. 5 приложения).

Из всех рассчитанных посылок выбираем наименьшую, так как она обеспечивает возможность выполнения технологического процесса, и по ней рассчитываем скорость подачи:

$$V_{sRm_{\max}} = \frac{\Delta_{Rm_{\max}} \cdot n}{1000} = \frac{32,7 \cdot 260}{1000} = 8,5 \text{ м/мин}.$$

Для оценки и выбора оборудования сравним полученные результаты для машины № 3 между лесопильными рамами, данными в задаче. Последовательность расчета посылок по мощности, производительности инструмента, установленному классу шероховатости для лесопильных рам № 1, 2, 4 аналогична, как и для рамы № 3.

Рассчитаем разницу посылок (%) лесопильных рам № 1, 2, 4 при $h_{\text{бр}} = 100, 150, 200, 250, 300$ мм в сравнении с № 3 (для графы № 17 табл. 10), взяв за 100% посылку машины № 3, так как она имеет самую малую посылку по мощности привода:

$$C_3 = \frac{\Delta_{\min(\text{для машины})}}{\Delta_{\min}} \cdot 100\% .$$

Например

$$C_{3.1} = \frac{\Delta_{\min \text{ № 1}}}{\Delta_{\min \text{ № 3}}} \cdot 100\% = \frac{54,5}{32,7} \cdot 100\% = 166,7\% ;$$

$$C_{3.2} = \frac{\Delta_{\min \text{ № 2}}}{\Delta_{\min \text{ № 3}}} \cdot 100\% = \frac{63,6}{32,7} \cdot 100\% = 194,5\% ;$$

$$C_{3.3} = \frac{\Delta_{\min \text{ № 3}}}{\Delta_{\min \text{ № 3}}} \cdot 100\% = \frac{32,7}{32,7} \cdot 100\% = 100\%$$

и так далее.

Степень загруженности по мощности привода каждой машины рассчитаем по формуле (для графы № 18 табл. 10):

$$C_3 = \frac{\Delta_{\min}}{\Delta_p} \cdot 100\% ,$$

например

$$C_{3.1} = \frac{\Delta_{\min \text{ № 1}}}{\Delta_{p \text{ № 1}}} = \frac{54,5}{116,2} \cdot 100\% = 46,9\% ;$$

$$C_{3.2} = \frac{\Delta_{\min \text{ № 2}}}{\Delta_{p \text{ № 2}}} = \frac{63,6}{114,9} \cdot 100\% = 55,4\% ;$$

$$C_{3.3} = \frac{\Delta_{\min \text{ № 3}}}{\Delta_{p \text{ № 3}}} = \frac{32,7}{39,1} \cdot 100\% = 83,6\%$$

и так далее.

Рассчитаем критическую посылку и силу по формулам (53)–(58):

$$\Delta_{\text{кр. P65-4}l_k=300} \leq \frac{H \cdot F_{\text{кр}}}{2,1 \cdot K_{l_k=300} \cdot b \cdot h} = \frac{360 \cdot 9034,6}{2,1 \cdot 83,9 \cdot 3,6 \cdot 300} = 17,1 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{кр. P65-4}l_k=100} \leq \frac{360 \cdot 9034,6}{2,1 \cdot 49,8 \cdot 3,6 \cdot 100} = 83,4 \text{ мм};$$

$$F_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 \cdot F_{\text{нат}}}{l_{\text{п}}} \left(\frac{B_1}{12} + \frac{C_{\text{кр}}}{F_{\text{нат}} \cdot B_1} \right) = \frac{3,14^2 \cdot 32\,400}{l_{\text{п}}} \left(\frac{162}{12} + \frac{34,56 \cdot 10^6}{32400 \cdot 162} \right) = \frac{6\,414\,576,1}{l_{\text{п}}}, \text{ Н.}$$

При $h = l_k = 300$ мм $F_{\text{кр}}$ будет равна:

$$F_{\text{кр.1}} = \frac{6\,414\,576,1}{l_{\text{п.1}}} = \frac{6\,414\,576,1}{950} = 6752,2 \text{ Н};$$

$$F_{\text{кр.2}} = \frac{6\,414\,576,1}{l_{\text{п.2}}} = \frac{6\,414\,576,1}{1050} = 6109,1 \text{ Н};$$

$$F_{\text{кр.3}} = \frac{6\,414\,576,1}{l_{\text{п.3}}} = \frac{6\,414\,576,1}{710} = 9034,6 \text{ Н};$$

$$F_{\text{кр.4}} = \frac{6\,414\,576,1}{l_{\text{п.4}}} = \frac{6\,414\,576,1}{760} = 8440,2 \text{ Н.}$$

В случае, если $F_{\text{кр}}$ оказалась меньше, чем F_x , предыдущие расчеты следует повторить заново, рассчитав S_{zP} по $F_{\text{кр}}$.

$$F_{\text{нат}} = s \cdot B_1 \cdot \sigma = 2,0 \cdot 162 \cdot 100 = 32\,400 \text{ Н};$$

$$B_1 = 180 - 18 = 162 \text{ мм};$$

$$l_{п.1} = h_{\text{оп}} + H_1 + 50 = 300 + 600 + 50 = 950 \text{ мм};$$

$$l_{п.2} = h_{\text{оп}} + H_2 + 50 = 300 + 700 + 50 = 1050 \text{ мм};$$

$$l_{п.3} = h_{\text{оп}} + H_3 + 50 = 300 + 360 + 50 = 710 \text{ мм};$$

$$l_{п.4} = h_{\text{оп}} + H_4 + 50 = 300 + 410 + 50 = 760 \text{ мм};$$

$$K_{\Delta.P65-4l_k=300} = k + \frac{\alpha_{\Delta} \cdot l_k}{b} + \frac{a_p \cdot p}{S_z \cdot \sin \theta} = 40,4 + \frac{0,2 \cdot 300}{3,6} + \frac{1,75 \cdot 7,2}{0,47 \cdot \sin 90^{\circ}} = 83,9 \text{ Н/мм}^2;$$

$$a_p = 1 + \frac{0,2 \cdot \Delta \rho}{\rho_0} = 1 + \frac{0,2 \cdot 37,4}{10} = 1,75 \text{ мм};$$

$$\Delta \rho = \frac{\varepsilon \cdot n \cdot T \cdot l_k}{1000} = \frac{0,002 \cdot 260 \cdot 240 \cdot 300}{1000} = 37,4 \text{ мм};$$

$$K_{\Delta.P65-4l_k=100} = k + \frac{\alpha_{\Delta} \cdot l_k}{b} + \frac{a_p \cdot p}{S_z \cdot \sin \theta} = 40,4 + \frac{0,2 \cdot 100}{3,6} + \frac{1,25 \cdot 7,2}{2,4 \cdot \sin 90^{\circ}} = 49,8 \text{ Н/мм}^2$$

при $l_k = 100 \text{ мм}$.

Расчет скорости подачи по критической силе представлен в табл. 9.

Таблица 9

Скорость подачи по критической силе

Номер лесопильной рамы	$l_k = h$	$F_{кр}, \text{ Н}$	$S_{zF_{кр}}, \text{ Н}$	$\Delta_{F_{кр}}, \text{ мм}$	$V_{sF_{кр}}, \text{ м/мин}$
1	100	8552,8	5,22	140,93	45,10
	150	8018,2	2,98	80,36	25,71
	200	7546,6	1,91	51,56	16,50
	250	7127,3	1,30	35,22	11,27
	300	6752,2	0,93	24,99	8,00
2	100	7546,6	4,49	143,89	46,04
	150	7127,3	2,57	82,15	26,29
	200	6752,2	1,64	52,61	16,84
	250	6414,6	1,12	35,83	11,47
	300	6109,1	0,79	25,21	8,07
3	100	12577,6	7,53	120,46	31,32
	150	11454,6	4,08	65,28	16,97
	200	10515,7	2,48	39,75	10,33
	250	9719,1	1,61	25,71	6,68
	300	9034,6	1,07	17,10	4,45
4	100	11454,6	6,81	129,50	32,37
	150	10515,7	3,82	72,63	18,16
	200	9719,1	2,42	46,04	11,51
	250	9034,6	1,64	31,20	7,80
	300	8440,2	1,16	22,05	5,51

Данные для построения графика скоростей подачи

Номер варианта	H , мм	P , кВт	n , мин ⁻¹	$h_{бр}$, мм	t , мм	Δp , мм	a_p	v , м/сек	F_x , Н	S_{zP} , мм	Δ_0 , мм	ΔP , мм	ΔR_{max} , мм	Δ_{min} , мм	V_s , м/мин	Разница посылки, %	Загруженность по мощности привода
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	600	86	320	100	22	15,3	1,31	6,4	1680	4,26	73,3	116,2	54,5	54,5	17,44	166,7	46,9
2	700	86	320	100	22	15,3	1,31	7,5	1433	3,61	85,5	114,9	63,6	63,6	20,35	194,5	55,4
3	360	24,1	260	100	22	12,4	1,25	3,1	972	2,39	44,0	39,1	32,7	32,7	8,50	100,0	83,6
4	410	47,3	250	100	22	12	1,24	3,4	1739	4,43	50,1	82,6	37,3	37,3	9,33	114,1	45,2
5	600	86	320	150	22	23,0	1,46	6,4	1680	2,59	48,9	70,6	54,5	48,9	15,65	210,8	69,2
6	700	86	320	150	22	23,0	1,46	7,5	1433	2,18	57,0	69,4	63,6	57,0	18,24	245,7	82,2
7	360	24,1	260	150	22	18,7	1,37	3,1	972	1,42	29,3	23,2	32,7	23,2	6,03	100,0	100,0
8	410	47,3	250	150	22	18	1,36	3,4	1739	2,71	33,4	50,5	37,3	33,4	8,35	144,0	66,1
9	600	86	320	200	22	30,7	1,61	6,4	1680	1,77	36,7	48,3	54,5	36,7	11,74	238,3	76,0
10	700	86	320	200	22	30,7	1,61	7,5	1433	1,47	42,8	46,8	63,6	42,8	13,70	277,9	91,5
11	360	24,1	260	200	22	24,9	1,50	3,1	972	0,94	22,0	15,4	32,7	15,4	4,00	100,0	100,0
12	410	47,3	250	200	22	24	1,48	3,4	1739	1,86	25,1	34,7	37,3	25,1	6,28	163,0	72,4
13	600	86	320	250	22	38,4	1,77	6,4	1680	1,28	29,3	34,9	54,5	29,3	9,38	271,3	83,9
14	700	86	320	250	22	38,4	1,77	7,5	1433	1,06	34,2	33,7	63,6	33,7	10,78	312,0	100,0
15	360	24,1	260	250	22	31,2	1,62	3,1	972	0,66	17,6	10,8	32,7	10,8	2,81	100,0	100,0
16	410	47,3	250	250	22	30,0	1,6	3,4	1739	1,35	20,0	25,2	37,3	20,0	5,00	185,2	79,5
17	600	86	320	300	22	46,0	1,92	6,4	1680	0,96	24,4	26,2	54,5	24,4	7,81	316,9	93,2
18	700	86	320	300	22	46,0	1,92	7,5	1433	0,78	28,5	24,8	63,6	24,8	7,94	322,1	100,0
19	360	24,1	260	300	22	37,4	1,75	3,1	972	0,47	14,7	7,7	32,7	7,7	2,00	100,0	100,0
20	410	47,3	250	300	22	36,0	1,72	3,4	1739	1,02	16,7	19,0	37,3	16,7	4,18	216,9	87,9

Расчет скорости подачи по классу шероховатости представлен в табл. 11, а графики скоростей подачи – на рис. 19 и 20.

Таблица 11

Скорость подачи по классу шероховатости

Класс шероховатости	$S_{z\Delta}$, мм	Δ , мм	V_s , м/мин
$\nabla\partial 1$	2,0	54	17,28
		64	20,48
		32	8,32
		38	9,5
$\nabla\partial 2$	1,0	27	8,64
		32	10,24
		16	4,16
		19	4,75
$\nabla\partial 3$	0,5	13,5	4,32
		16	5,12
		8	2,08
		9,5	3,37

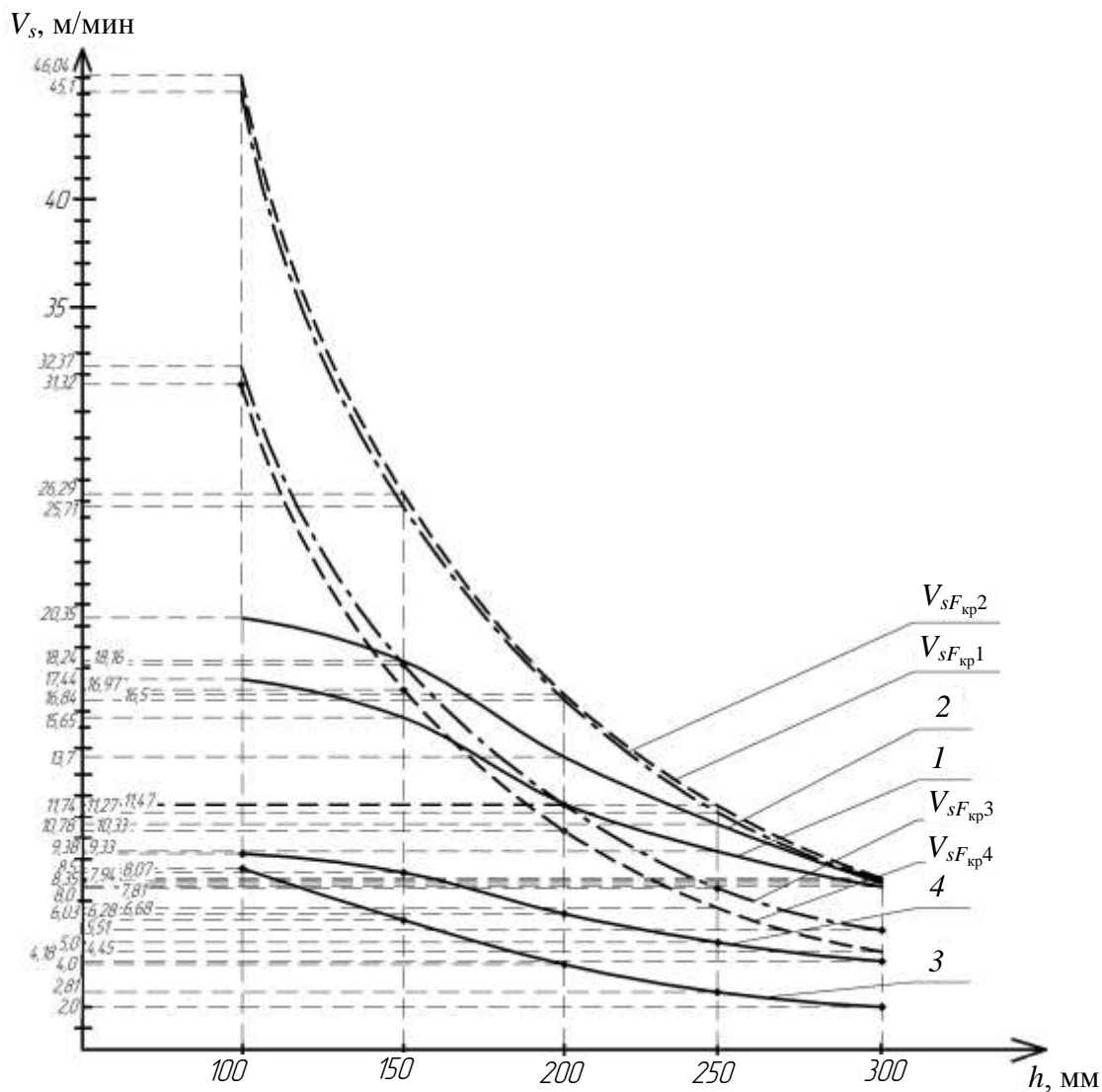


Рис. 19. График скоростей подачи по критерию мощности привода и критической силе

Графики 1, 2, 3, 4 соответствуют скорости подачи по критерию мощности привода на резание соответственно для 1, 2, 3 и 4-й лесопильной рамы, а графики $V_{sF_{кр1}}$, $V_{sF_{кр2}}$, $V_{sF_{кр3}}$, $V_{sF_{кр4}}$ соответствуют скоростям подач по критерию критической силы для 1, 2, 3 и 4-й лесопильной рамы.

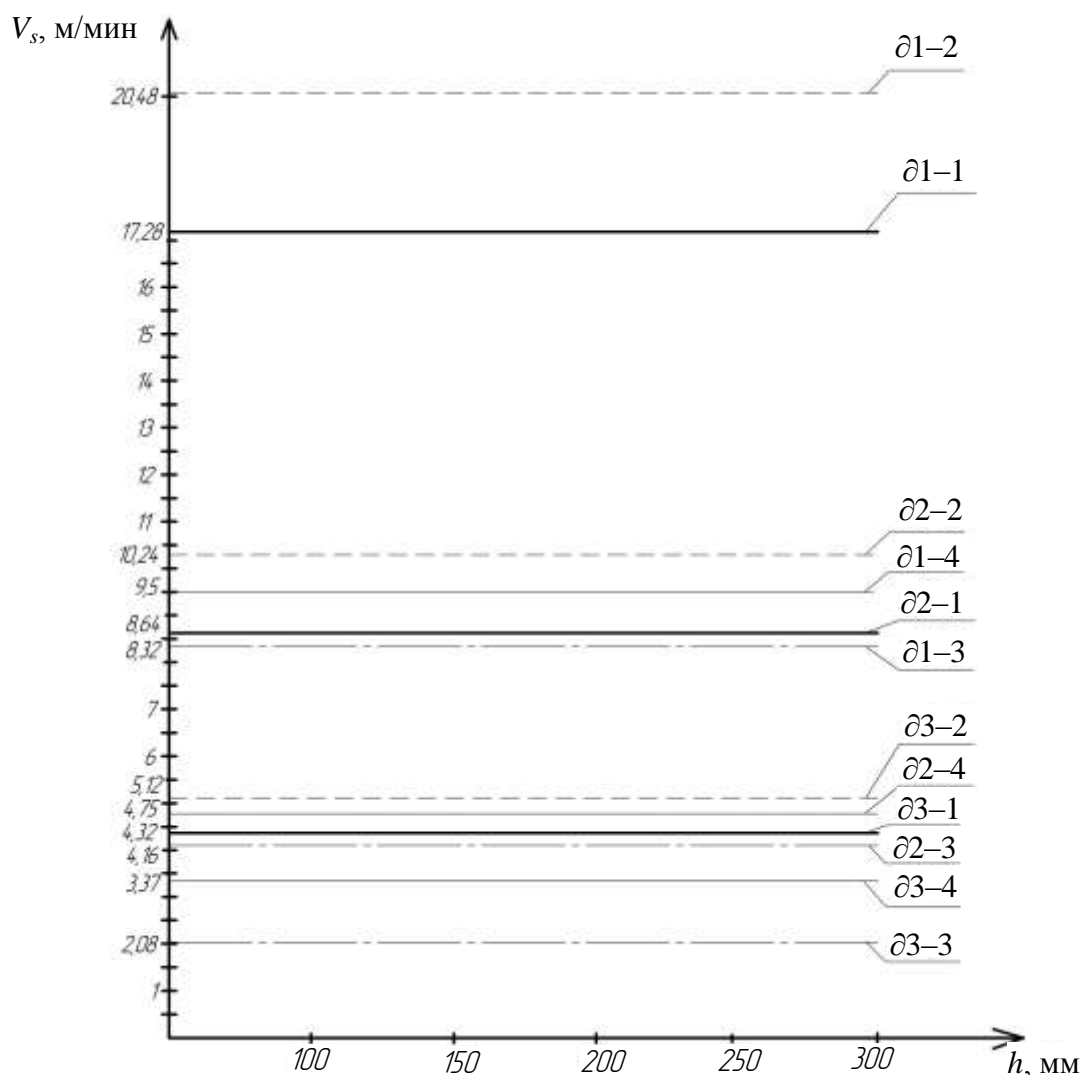


Рис. 20. График скоростей подачи по критерию качества получаемой поверхности

На графике обозначения следует читать: ∂1-2 – 1-й класс шероховатости, обеспечиваемый 2-й лесопильной рамой; ∂1-1 – 1-й класс шероховатости, обеспечиваемый 1-й лесопильной рамой и т. д.

Выводы по решению технологической задачи:

1. При эксплуатации рамной пилы за время $T = 240$ мин в диапазоне высот распиливаемого материала $h = 250-300$ мм для 1, 2 и 4-й лесопильных рам скорость подачи по критической силе примерно равна скорости подачи при полном использовании мощности привода главного движения, а для 3-й машины скорость подачи по критической силе остается больше скорости подачи по мощности привода на резание примерно в 3 раза.

2. Скорость подачи по качеству обработанной поверхности является функцией хода пильной рамки и шага зуба рамной пилы. И, как видно из графика (рис. 20), максимальную скорость подачи по 1-му классу шероховатости поверхности 20,48 м/мин может обеспечить 2-я лесопильная рама, а минимальную 8,32 м/мин – 3-я лесопильная рама.

Номер контрольной задачи по табл. 21 приложения соответствует номеру студента в списке журнала группы.

3.3. Процесс пиления ленточными пилами

Рекомендуемые формулы для расчетов технологических режимов резания и конструкторских разработок ленточнопильного оборудования

Ленточная пила – многолезвийный инструмент в виде стальной тонкой полосы с замкнутым контуром (бесконечная лента), на одной или двух кромках которой расположены зубья.

Схема ленточного пиления представлена на рис. 21.

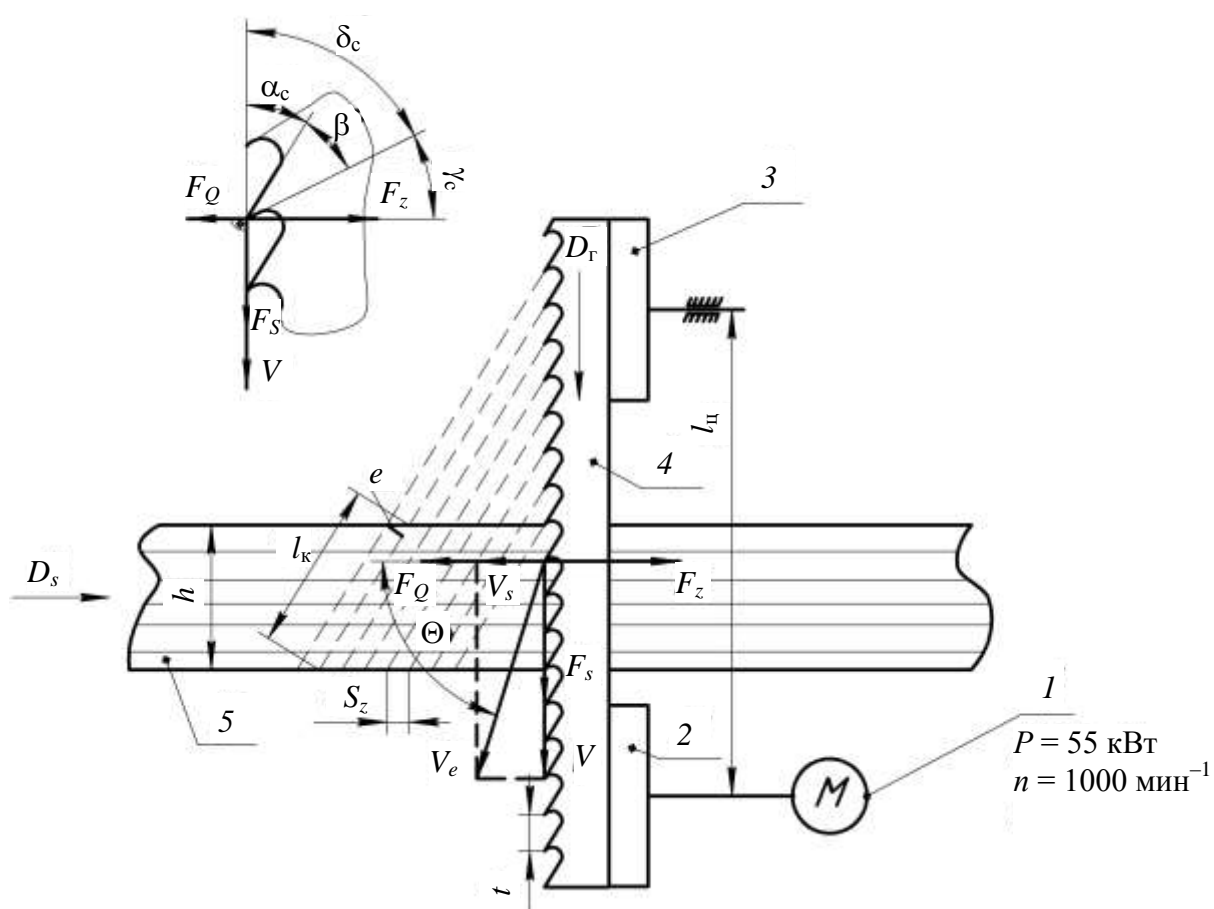


Рис. 21. Схема пиления ленточными пилами:
 1 – двигатель; 2 – ведущий шкив; 3 – ведомый шкив;
 4 – ленточная пила; 5 – распиливаемый материал

Нормальная работа ленточной пилы в случае криволинейного пропила может быть обеспечена при условии свободного размещения пилы по всей своей ширине в пропиле. Радиус кривизны линии пропила r зависит от величины развода s' и ширины пилы B . Зависимость подчиняется следующему приближенному выражению:

$$r \approx \frac{0,12 \cdot B^2}{s'}$$

1. Мощность на резание определим по формуле (8).
2. Скорость главного движения (9):

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 2R \cdot n}{60 \cdot 1000}, \text{ м/с,}$$

где D – диаметр шкива, мм;
 n – частота вращения шкива, мин^{-1} .

3. Скорость резания по формуле (10):

$$V_e = \sqrt{V^2 + V_s^2 + 2V \cdot V_s \cdot \cos \mu}, \text{ м/с,}$$

где $\mu = \eta + \theta$ – угол между векторами \vec{V} и \vec{V}_s (см. рис. 21).

4. Угол скорости резания (кинематический угол) по формуле (11):

$$\eta = \arctg \frac{V_s \cdot \sin \mu}{V + V_s \cdot \cos \mu}, \text{ град,}$$

так как $\mu = 90^\circ$, то $\eta = \arctg \frac{V_s}{V}$.

5. Касательная составляющая силы резания:

$$F_x = F_{\text{зуб}} \cdot \frac{l_k}{t_3},$$

и из формулы (8)

$$F_x = \frac{P_{\text{рез}} \cdot 1000}{V_e}, \text{ Н.}$$

6. **Длина дуги контакта l_k в ленточном пилении** приблизительно равна h – высоте пропила, поскольку кинематический угол встречи $\theta \approx 90^\circ$. Из формулы по определению толщины стружки (31а) $e = S_z \cdot \sin \theta$ следует, что $e \approx S_z$, так как $\sin 90^\circ = 1$.

7. Кинематический угол встречи: $\theta = 90^\circ - \eta$, град.

8. Шаг зубьев:

$$t_3 = \frac{\pi \cdot D}{z}, \text{ мм,} \tag{59}$$

где z – количество зубьев на длине окружности шкива D .

9. Формула для определения длины пилы L :

$$L = 2l_{ц} + \pi \cdot D, \text{ мм}, \quad (60)$$

где $l_{ц}$ – расстояние между осями шкивов.

10. Максимальная высота распила определяется по формуле (42).

11. Толщину ленточной пилы s ориентировочно можно определить по зависимости

$$s \leq (0,0007 - 0,0010) \cdot D, \text{ мм}, \quad (61)$$

и сравнить с данными линейных и угловых параметров по ГОСТ 6532-77 и ГОСТ 10670-77 (табл. 13 приложения).

12. Сила резания, приходящаяся на один зуб пилы (закрытое резание) определяется по формуле (47), s' – уширение пропила на сторону (развод зуба) – дано в табл. 12 приложения.

13. Коэффициент округления режущей кромки определяется по формуле (19). Приращение радиуса округления режущей кромки определяется по зависимости (с использованием табл. 12):

$$\Delta\rho = \frac{\varepsilon \cdot n \cdot T \cdot l_{к}}{\left(1 + 2 \cdot \frac{l_{ц}}{\pi \cdot D}\right) \cdot 1000}, \text{ мкм}. \quad (62)$$

Выражение в знаменателе $1 + 2 \cdot \frac{l_{ц}}{\pi \cdot D}$ показывает, какое число полных оборотов должен совершить шкив, чтобы зуб пилы совершил повторное резание.

Таблица 12

Коэффициент ε – приращение радиуса округления лезвия на пути резания 1 м для сталей 9ХФ и ХВГ, мкм/м

Порода древесины	Пиление ленточными пилами
Сосна	0,001
Дуб	0,0013

Примечание. Для углеродистых сталей брать 2ε , для 9ХС – $0,75\varepsilon$, для Х12Ф – $0,6\varepsilon$, для Р18 – $0,5\varepsilon$.

13. Средняя удельная (единичная) сила резания по задней поверхности лезвия определяется согласно зависимостям (48)–(50).

14. Скорость подачи:

$$V_s = \frac{S_z \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{\Delta \cdot n}{1000}, \text{ м/мин},$$

где $\Delta = S_z \cdot z$ – посылка, подача на один оборот шкива (или количество материала, срезаемого пилой за один оборот шкива в направлении движения подачи D_s), мм;

z – число зубьев:

$$z = \frac{\pi \cdot D}{t}, \text{ шт.} \quad (63)$$

15. Касательное давление на переднюю поверхность лезвия k при $e \geq 0,1$ мм и k_μ при $e < 0,1$ мм, Н/мм², рассчитываются по формулам (25)–(30), как и для процесса фрезерования.

16. Расчетная величина подачи на зуб при полном использовании мощности электродвигателя механизма резания определим:
при $e \geq 0,1$ мм

$$S_{zP} = \frac{F_x \cdot \frac{t}{l_k} - a_p \cdot p \cdot b_\lambda}{\sin \theta \cdot (k \cdot b + \alpha_{\Delta\lambda} \cdot l_k)}, \text{ мм}, \quad (64)$$

при $e_\mu < 0,1$ мм

$$S_{zP\mu} = \frac{F_x \cdot \frac{t}{l_k} - (a_p - 0,8) \cdot p \cdot b_\lambda}{\sin \theta \cdot ((8p + k) \cdot b + \alpha_{\Delta\lambda} \cdot l_k)}, \text{ мм}. \quad (65)$$

Посылка при полном использовании мощности привода механизма резания равна:

$$\Delta_P = S_{zP} \cdot z = S_{zP} \cdot \frac{\pi \cdot D}{t}, \text{ мм}.$$

17. Радиальная составляющая силы резания определяется по зависимости (32).

18. Силу сопротивления подаче $F_Q = \pm F_R$ и силу нормальную к подаче $F_s = F_x$ определим так же, как и для рамного пиления из условия, что кинематический угол $\theta \approx 90^\circ$.

19. **Посылку по производительности** инструмента (по вместимости впадины зуба) Δ_0 определим по формулам из табл. 15 приложения.

20. **Посылка по качеству поверхности** равна:

$$\Delta_{Rm_{\max}} = S_{zRm_{\max}} \cdot z, \text{ мм},$$

$S_{zRm_{\max}}$ взять из табл. 6 приложения для установленного качества.

21. В процессе резания на полотно пилы действуют вертикальные, горизонтальные и боковые составляющие силы резания. Полотно пилы находится в устойчивом состоянии под действием этих сил, пока их величина не достигнет критического значения, при котором оно теряет устойчивость плоской формы и отклоняется в сторону. При первом приближении соотношение между составляющей силы резания F_x и критической силой $F_{кр}$, при которой колебания пилы нарушают прямолинейность пропила (опыты А. Е. Феоктистова), принимают:

$$F_x = \frac{1000 \cdot P_{\text{рез}}}{V_e} \leq F_{\text{кр}} = \frac{10^5 \cdot s^3 (0,82 + 0,002 \cdot B_1)(0,95 + 0,01 \cdot \sigma)}{l_{\text{ц}}}, \text{ мм}, \quad (66)$$

где s – толщина пилы, мм;

B_1 – ширина пилы до линии впадин зубьев, мм:

$$B_1 = B - h_3, \text{ мм},$$

B – ширины пилы от тыльной стороны полотна до линии вершин зубьев, мм;

h_3 – высота зуба, мм;

σ – среднее напряжение нормально натянутой пилы, Н/мм²:

для бревнопильных $\sigma = 70\text{--}100$;

для делительных $\sigma = 50\text{--}60$;

для столярных $\sigma = 30\text{--}40$.

22. $\Delta_{\text{кр}}$ – посылка при условии сохранения жесткости пилы:

$$\Delta_{\text{кр}} = S_{zF_{\text{кр}}} \cdot z, \text{ мм},$$

где $S_{zF_{\text{кр}}}$ – подача на зуб по критической силе, определяется из уравнений (64) или (65), где вместо F_x следует поставить найденную силу $F_{\text{кр}}$.

**Пример решения технологической задачи
с определением рационального режима
эксплуатации оборудования и построение
графика скоростей подачи**

Дано: обрабатываемый материал – древесина березы; влажность $W = 60\%$; высота пропила $h = 500$ мм; мощность привода на резание $P_{\text{дв}} = 55$ кВт; диаметр шкива $D_{\text{ш}} = 1500$ мм; частота вращения шкива $n_{\text{ш}} = 570$ мин⁻¹; параметры инструмента: угол резания $\delta = 65^\circ$, угол заточки $\beta = 53^\circ$, шаг зуба $t = 60$ мм, начальный радиус округления режущей кромки $\rho_0 = 4$ мкм; время работы инструмента $T = 45$ мин; напряжение натянутой пилы $\sigma = 90$ Н/мм²; форма зуба – плющенный (Δ); КПД привода $\sum \eta_{\text{к.п.д}} = 0,85$; коэффициент использования станка – 0,5; расстояние между центрами шкивов $L_{\text{ц}} = 3000$ мм; ширина пилы $B = 230$ мм.

Недостающие данные принять самостоятельно.

Определить: 1) силы F_x , $F_{\text{кр}}$, F_R , F_S , F_Q ; 2) построить график скоростей подачи при $l_{\text{к}} = (h \pm 100)$ мм, по производительности инструмента (V_{sO}), по мощности привода (V_{sP}), по критической силе ($V_{sF_{\text{кр}}}$); определить возможный получаемый класс шероховатости Rm_{max} ($V_{sRm_{\text{max}}}$); 3) **составить расчетные схемы с указанием линейных и угловых размеров и действующих сил**; 4) определить рациональную скорость подачи и сделать **выводы**.

Решение

Согласно исходным данным, будем решать технологическую задачу, так как известна установленная мощность двигателя на резание $P_{\text{дв}}$.

1. Скорость подачи при полной используемой мощности привода пилы равна (S_{zP} находим в п. 2):

$$V_{sP} = \frac{S_{zP} \cdot z \cdot n_{ш}}{1000} = \frac{60 \cdot V \cdot S_{zP}}{t} = \frac{60 \cdot 44,75 \cdot 0,56}{60} = 25,1 \text{ м/мин},$$

где z – число зубьев, участвующих в резании за один оборот шкива:

$$z = \frac{\pi \cdot D}{t} = \frac{3,14 \cdot 1500}{60} = 78,5 \text{ шт.};$$

$n_{ш}$ – частота вращения шкива, $n_{ш} = 570 \text{ мин}^{-1}$.

2. Величину подачи на зуб при полном использовании мощности электродвигателя механизма резания определим по (64):

$$S_{zP} = \frac{F_x \cdot \frac{t}{l_k} - a_p \cdot p \cdot b_{пл}}{\sin \theta \cdot (k \cdot b + \alpha_{\Delta\lambda} \cdot l_k)} = \frac{1044,69 \cdot \frac{60}{500} - 1,14 \cdot 8,1 \cdot 2,5}{\sin 90 \cdot (33,3 \cdot 2,5 + 0,2 \cdot 500)} = 0,56 \text{ мм}.$$

Длина дуги контакта l_k в ленточном пилении приблизительно равна h – высоте пропила, т. е. 500 мм, шаг зуба $t = 60$ мм.

Средняя касательная составляющая силы резания равна:

$$F_x = \frac{P_{рез} \cdot 1000}{V_e} = \frac{46,75 \cdot 1000}{44,75} = 1044,69 \text{ Н}.$$

Полезная мощность на резание равна:

$$P_{рез} = P_{дв} \cdot \sum \eta_{к.п.д} = 55 \cdot 0,85 = 46,75 \text{ кВт}.$$

3. Скорость резания определяется по формуле (10):

$$V_e = \sqrt{V^2 + V_s^2 + 2V \cdot V_s \cdot \cos \mu}, \text{ м/с}.$$

Поскольку технологический угол $\mu = 90^\circ$ и скорость подачи V_s гораздо меньше скорости главного движения V , можно с большой точностью расчетов допустить, что $V_e \approx V$, как и в расчетах по фрезерованию (*данное допущение следует проверить при выполнении контрольной задачи*).

4. Скорость главного движения определим по (9):

$$V = \frac{\pi \cdot D_{ш} \cdot n_{ш}}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 1500 \cdot 570}{60 \cdot 1000} = 44,75 \text{ м/с},$$

где $D_{ш}$ – диаметр шкива, $D_{ш} = 1500$ мм;

$n_{ш}$ – частота вращения шкива, $n_{ш} = 570 \text{ мин}^{-1}$.

5. Коэффициент округления режущей кромки (19):

$$a_p = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{\rho_0} = 1 + \frac{0,2 \cdot 2,83}{4} = 1,14.$$

Приращение радиуса округления режущей кромки определяется по формуле (62):

$$\Delta\rho = \frac{\varepsilon \cdot n \cdot T \cdot l_k}{\left(1 + 2 \cdot \frac{l_{\text{ц}}}{\pi \cdot D}\right) \cdot 1000} \cdot 0,5 = \frac{0,001 \cdot 570 \cdot 45 \cdot 500}{\left(1 + 2 \cdot \frac{3000}{3,14 \cdot 1500}\right) \cdot 1000} \cdot 0,5 = 2,83 \text{ мкм.}$$

Коэффициент $\varepsilon = 0,001$ – приращение радиуса округления лезвия на пути резания – возьмем из табл. 12, $l_{\text{ц}} = 3000$ мм – расстояние между осями шкивов – примем из табл. 14 приложения.

6. Средняя удельная (единичная) сила резания по задней поверхности лезвия равна (49):

$$p_c = 4,5 + 0,04\varphi_B = 4,5 + 0,04 \cdot 90 = 8,1 \text{ Н/мм;}$$

$\varphi_B = \theta = 90^\circ$, так как в задаче мы приняли, что направление волокон древесины параллельно движению подачи.

Ширина лезвия плющеного зуба равна ширине пропила:

$$b_{\text{л}\Delta} = b = 1,5 + 2s' = 1,5 + 2 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ мм;}$$

$s' = 0,5$ мм взяли из табл. 12 приложения при распиловке твердых пород древесины влажностью свыше 25% летом.

Кинематический угол встречи θ при ленточном пилении равен 90° , поэтому $\sin 90^\circ = 1$.

Касательное давление на переднюю поверхность лезвия k , Н/мм², при $e > 0,1$ мм рассчитаем по формуле (26) для березы:

$$\begin{aligned} k_6 &= (0,25 + 0,005\varphi_B) \cdot \delta + (0,08 + 0,0018\varphi_B) \cdot V_e^* - (7 + 0,18\varphi_B) = \\ &= (0,25 + 0,005 \cdot 90) \cdot 65 + (0,08 + 0,0018 \cdot 90) \cdot 44,75 - (7 + 0,18 \cdot 90) = 33,3 \text{ Н/мм}^2. \end{aligned}$$

Коэффициент интенсивности трения, прессования и перемещения стружки во впадине зуба $\alpha_{\Delta} = 0,2$ Н/мм² для ленточного пиления принят из табл. 8 приложения.

По известной формуле определим радиальную составляющую силы резания (32):

$$\begin{aligned} F_R = F_z = F_o - F_c &= 0,5 \cdot a_p^2 \cdot F_3 - F_{\text{п}} \cdot \text{tg}(90 - \delta - \varphi_{\text{тр}}) = \\ &= 0,5 \cdot 1,14^2 \cdot 57,38 - 987,31 \cdot \text{tg}(90 - 65 - 15) = -136,5 \text{ Н,} \end{aligned}$$

где $\varphi_{\text{тр}}$ – угол трения, находится в интервале $\varphi_{\text{тр}} = 10\text{--}30^\circ$. Принимаем $\varphi_{\text{тр}} = 15^\circ$.

Составляющую силы резания по задней поверхности определим по формуле

$$F_3 = (a_p - 0,8) \cdot p \cdot b_{\Delta} \cdot \frac{h}{t} = (1,14 - 0,8) \cdot 8,1 \cdot 2,5 \cdot \frac{500}{60} = 57,38 \text{ Н.}$$

Составляющую силы резания по передней поверхности определим по формуле

$$F_{\text{п}} = F_x - F_3 = 1044,69 - 57,38 = 987,31 \text{ Н.}$$

Сила сопротивления подаче:

$$F_Q = F_R = -136,5 \text{ Н.}$$

Сила, нормальная к подаче:

$$F_S = F_x = 1044,69 \text{ Н.}$$

Сопоставим касательную составляющую силы резания F_x с допустимой критической силой $F_{кр}$ по формуле:

$$F_x = \frac{1000P}{v} \leq F_{кр} = \frac{10^5 s^3 (0,82 + 0,002B_1)(0,95 + 0,01\sigma)}{L} =$$

$$= \frac{10^5 \cdot 1,5^3 \cdot (0,82 + 0,002 \cdot (230 - 12))(0,95 + 0,01 \cdot 90)}{3000} = 2601,6 \text{ Н,}$$

где $B_1 = B - h_3 = 230 - 12 = 218 \text{ мм.}$

Подача на зуб по критической силе будет равна (при $h = 500 \text{ мм}$):

$$S_{zF_{кр}} = \frac{F_{кр} \cdot \frac{t}{l_k} - a_p \cdot p \cdot b_{пл}}{\sin \theta \cdot (k \cdot b + \alpha_{\Delta\lambda} \cdot l_k)} = \frac{2601,6 \cdot \frac{60}{500} - 1,14 \cdot 8,1 \cdot 2,5}{\sin 90 \cdot (33,3 \cdot 2,5 + 0,2 \cdot 500)} = 1,58 \text{ мм.}$$

Скорость подачи по критической силе (при $h = 500 \text{ мм}$):

$$V_{sF_{кр}} = \frac{S_{zF_{кр}} \cdot z \cdot n_{шт}}{1000} = \frac{60 \cdot V \cdot S_{zF_{кр}}}{t} = \frac{60 \cdot 44,75 \cdot 1,58}{60} = 70,7 \text{ м/мин.}$$

Рассчитываем необходимые данные для построения графика скорости подачи при высотах пропила: $h = 400; 500; 600 \text{ мм}$ и оформляем в виде табл. 13. Данные из табл. 13 и 14 используем для построения графика скоростей подачи (рис. 22).

Таблица 13

Данные для построения графика скорости подачи

Расчетная величина	Размерность	Высота пропила $h = l_k$, мм		
		400	500	600
$F_{зуб} = F_x \frac{t}{l_k} = \frac{1044,69 \cdot 60}{l_k} = \frac{62681,4}{l_k}$	Н	156,7	125,4	104,5
$k_{\phi} = (0,25 + 0,005\phi_B) \cdot \delta + (0,08 + 0,0018\phi_B) \cdot V_e^* - (7 + 0,18\phi_B)$	Н/мм ²	33,3	33,3	33,3
$p = (4,5 + 0,04\phi_B)$	Н/мм	8,1	8,1	8,1
$\Delta\rho = 0,001 \frac{l_k \cdot n}{\left(1 + 2 \frac{L}{\pi D}\right) \cdot 1000} \cdot T \cdot 0,5 = \frac{5,65l_k}{1000}$	мкм	2,26	2,83	3,39
$a_p = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{\rho_0} = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{4}$	—	1,11	1,14	1,17

Расчетная величина	Размерность	Высота пропила $h = l_k$, мм		
		400	500	600
$V_{sP} = \frac{60 \cdot V \cdot S_{z\Delta N}}{t} = \frac{60 \cdot 44,75 S_{zP}}{60} = 44,75 S_{zP}$	м/мин	36,7	25,1	17,9
$S_{zO} = \frac{t^2}{6h} = \frac{60^2}{6h} = \frac{600}{h}$	мм	1,5	1,2	1,0
$V_{sO} = \frac{S_{zO} \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{S_{zO} \cdot \pi \cdot D \cdot n}{1000 \cdot t} = S_{zO} \cdot 44,745$	м/мин	67,1	53,7	44,7

Таблица 14

**Определение скорости подачи по классу шероховатости
для плющеного зуба ($S_{z\Delta}$ принять из табл. 6 приложения)**

Класс шероховатости $\nabla \partial$	$S_{z\Delta}$, мм	$V_{s\Delta Rm_{max}} = \frac{S_{z\Delta} \cdot z \cdot n_{ш}}{1000} = \frac{S_{z\Delta} \cdot 78,5 \cdot 570}{1000} = S_{z\Delta} \cdot 44,7$, м/мин
1	2,2	98,3
2	1,7	76,0
3	1,1	49,2
4-5	0,5	22,4

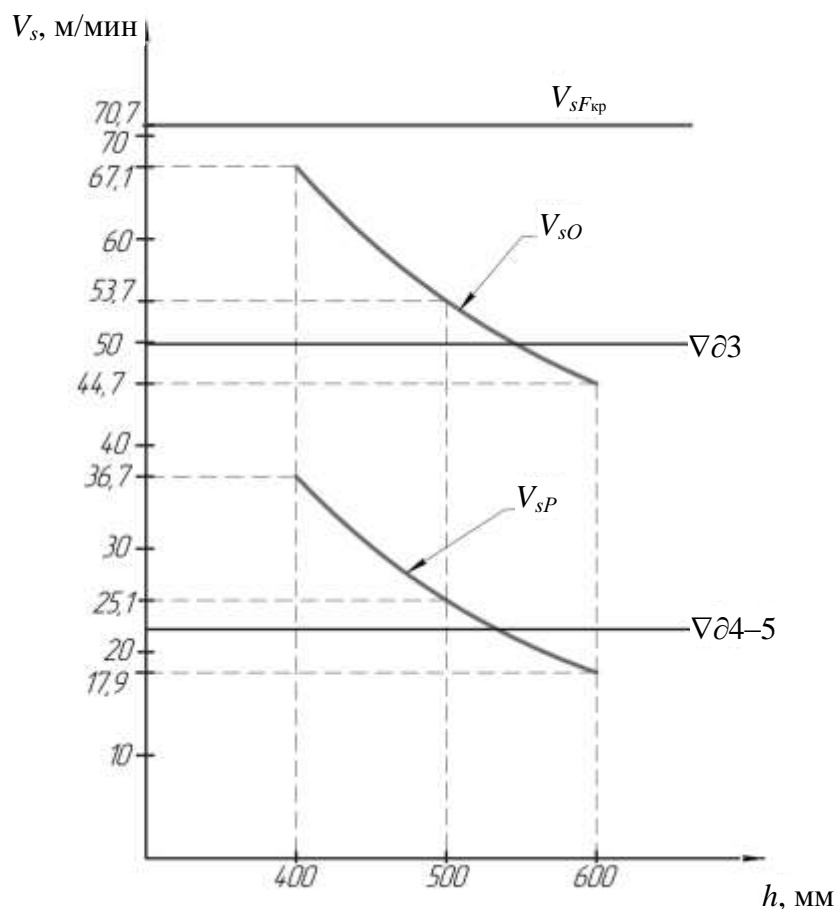


Рис. 22. График скоростей подачи по критериям качества получаемой поверхности, мощности привода пилы, производительности инструмента и потери устойчивости пилы по критической силе

Выводы по решению технологической задачи:

1. Согласно данным условиям задачи, возможно получить $\nabla\partial 4$ – $\nabla\partial 5$ классы шероховатости и выше. $\nabla\partial 3$ класс получить нельзя, так как скорость подачи ограничена мощностью привода.

2. Скорость подачи по производительности инструмента почти в 2 раза превышает скорость подачи по мощности привода. Следовательно, можно применить инструмент с меньшим шагом зуба, что улучшит качество обработанной поверхности.

3. Запас производительности машины по критической силе (70,7 м/мин) позволяет сделать вывод, что можно применить пилу с меньшим сечением полотна по ширине и толщине, что положительно будет влиять на потребляемую мощность при резании.

Номер контрольной задачи по табл. 22 приложения соответствует номеру студента в списке журнала группы.

3.4. Процесс пиления дисковыми пилами

Рекомендуемые формулы для расчетов технологических режимов резания и конструкторских разработок круглопильных станков

Дисковая пила – дисковый режущий многолезвийный инструмент, на периферийной стороне которого расположены зубья.

Схема пиления дисковыми пилами с нижним расположением шпинделя относительно стола (базирующих механизмов заготовки) представлена на рис. 23.

1. Скорость подачи $V_{sRm_{\max}}$ для получения установленного класса шероховатости Rm_{\max} , мкм, определяется по формуле

$$V_{sRm_{\max}} = \frac{S_{zRm_{\max}} \cdot z \cdot n_{п.в.}}{1000}, \text{ м/мин.}$$

Частота оборотов пильного вала, $n_{п.в.}$, мин^{-1} , определяется по кинематической схеме.

Число зубьев пилы z и форма зуба (λ , Δ) первоначально выбирается, а в дальнейшем может корректироваться. При известном шаге зуба t и диаметре резания D число зубьев z равно:

$$z = \frac{\pi \cdot D}{t}, \text{ шт.}$$

Чтобы установить подачу на зуб $S_{zRm_{\max}}$ по качеству обработанной поверхности, необходимо рассчитать угол выхода $\theta_{\text{вых}}$, град, а затем по табл. 7 приложения установить $S_{zRm_{\max}}$. Угол $\theta_{\text{вых}}$ определяется из расчетной схемы, или можно воспользоваться книгой В. И. Любченко «Резание древесины и древесных материалов», с. 159.

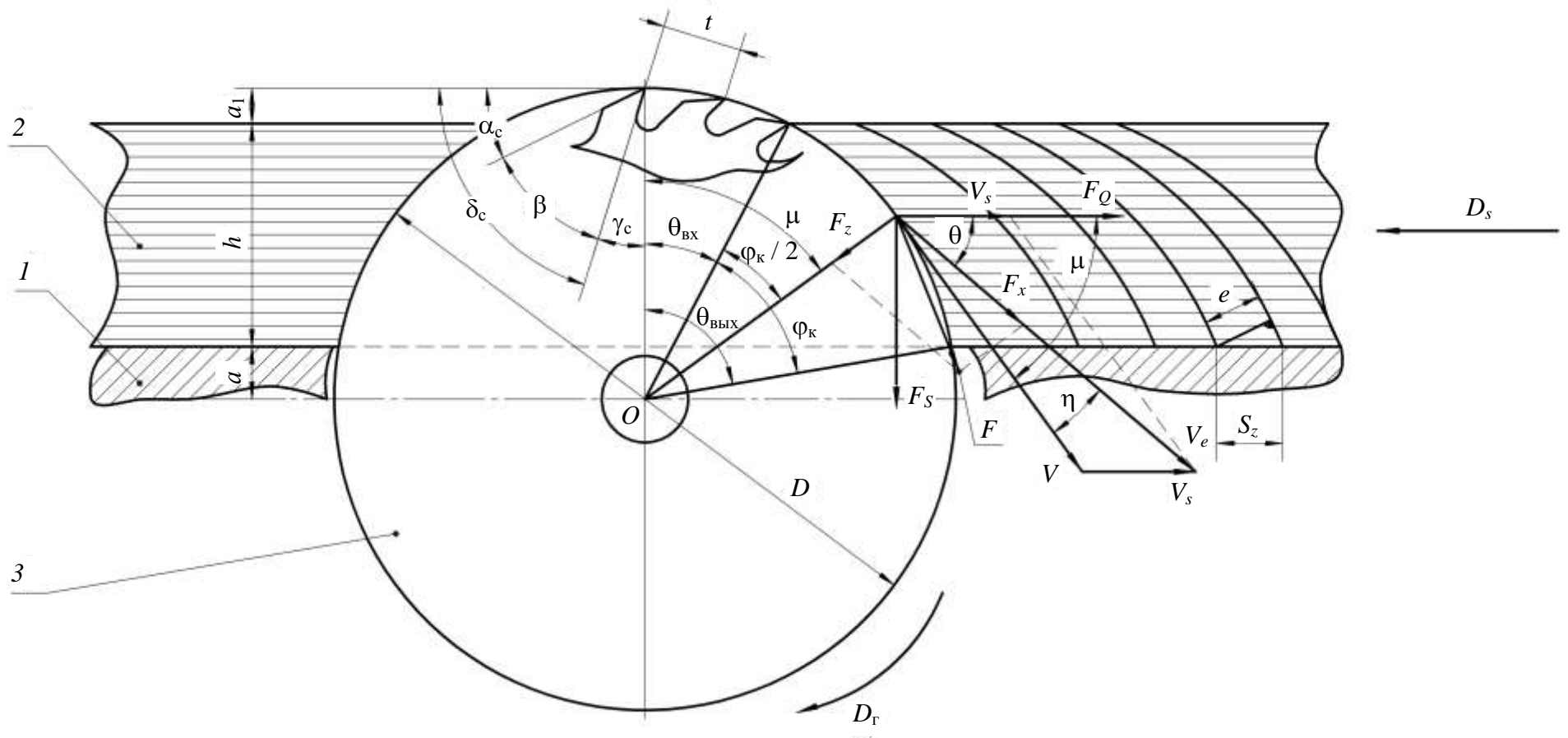


Рис. 23. Схема пиления дисковыми пилами:
 1 – стол; 2 – распиливаемый материал; 3 – пила

Можно также $S_{zRm_{\max}}$ по качеству получить из выражения:

$$y = Rm_{\max} = 2S_{zRm_{\max}} \cdot \theta_{\text{вых}} \cdot \operatorname{tg} \lambda_p, \quad (67)$$

где λ_p – угол развода, $\operatorname{tg} \lambda_p = \frac{b_1}{h_p}$ (b_1 – величина развода на сторону, h_p – высота развода (обычно 1/2–1/3 высоты зуба h_3)).

2. Скорость подачи V_{sP} при полной загрузке привода резания (использование мощности двигателя) определяется по формуле (24):

$$V_{sP} = \frac{S_{zP} \cdot z \cdot n_{\text{н.в.}}}{1000}, \text{ м/мин.}$$

Скорость резания и скорость главного движения, полезная мощность, касательное давление на переднюю поверхность лезвия, коэффициент округления режущей кромки (коэффициент затупления), радиальная составляющая силы резания, сила сопротивления подаче, сила нормальная к вектору скорости подачи **определяются так же, как и для процесса фрезерования**, а средняя удельная (единичная) сила резания по задней поверхности лезвия, сила на зуб, средняя касательная составляющая силы резания **определяются так же, как и для процесса пиления ленточными пилами**.

Длина дуги контакта рассчитывается по формуле (15):

$$l_k = \sqrt{D \cdot h} = \frac{h}{\sin \theta}, \text{ мм,}$$

где h – высота пропила, мм (см. схему пиления дисковыми пилами, рис. 23).

Кинематический угол встречи рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{57 \cdot h}{R \left(\arcsin \frac{a+h}{R} - \arcsin \frac{a}{R} \right)} \Rightarrow \\ \Rightarrow \theta &= \arcsin \frac{57 \cdot h}{R \left(\arcsin \frac{a+h}{R} - \arcsin \frac{a}{R} \right)}, \end{aligned} \quad (68)$$

где a – расстояние от оси шпинделя до базовой поверхности машины.

3. Скорость подачи по производительности инструмента рассчитывается:

$$S_{zO} = \frac{t^2}{4 \cdot h}, \text{ мм при } \delta = 55^\circ; \quad (69)$$

$$S_{zO} = \frac{t^2}{5 \cdot h}, \text{ мм при } \delta = 60^\circ, \quad (70)$$

где t – шаг зуба, мм.

4. Коэффициент приращения округления режущей кромки при определении приращения радиуса округления режущей кромки Δr определяется из табл. 15.

**Коэффициент ε – приращение округления режущей кромки
на пути резания 1 м для сталей 9ХФ и ХВГ, мкм/м**

Порода древесины	Пиление дисковыми пилами
Сосна	0,001
Дуб	0,0013

Примечание. Для углеродистых сталей брать 2ε , для 9ХС – $0,75\varepsilon$, для Х12Ф – $0,6\varepsilon$, для Р18 – $0,5\varepsilon$.

**Пример решения технологической задачи
и построение графика скоростей подачи**

Дано: обрабатываемый материал – древесина сосны; мощность привода универсального круглопильного станка $P = 5,5$ кВт; частота вращения шпинделя $n = 4000$ мин⁻¹; диаметр пильного диска $D = 360$ мм; зуб – плющенный (Δ); количество зубьев $z = 60$; высота заготовки $h = 30$ мм; влажность древесины $W = 26\%$; угол резания $\delta = 55^\circ$; начальный радиус округления режущей кромки $\rho_0 = 3$ мкм; толщина полотна пилы $s = 2,1$ мм; для универсальных станков уширение на сторону зуба $s' = 0,6$ мм; время работы до заточки $T = 30$ мин; коэффициент использования станка $a_m = 0,8$; подъем стола над осью вала $a = 70$ мм; КПД привода $\eta_{пр} = 0,95$; установленный класс шероховатости $\nabla\partial 5$.

Определить: 1) силы F_x, F_S, F_R, F_Q ; 2) скорости подачи и построить графики по классам шероховатости обработанной поверхности ($\nabla\partial 2 - \nabla\partial 5$); 3) построить график скоростей подачи при ($h \pm 10$) мм по производительности инструмента V_{sO} , мощности привода V_{sP} ; 4) составить расчетную схему с указанием линейных и угловых размеров и действующих сил на лезвии; 5) определить рациональную скорость подачи.

Решение

1. Для универсальных станков $s' = 0,6$ мм. Тогда ширина пропила будет равна:

$$b = 2,1 + 2 \cdot 0,6 = 3,3 \text{ мм.}$$

2. Скорость подачи при полной загрузке привода инструмента:

$$V_{sP} = \frac{S_{zP} \cdot z \cdot n}{60 \cdot 1000},$$

где z – количество зубьев пилы;

n – частота вращения пилы;

S_{zP} – подача на зуб.

3. Определяем скорость резания:

$$V_e \approx V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 360 \cdot 4000}{60 \cdot 1000} = 75,4 \text{ м/с.}$$

4. Средняя составляющая силы резания за оборот пилы равна:

$$F_x = \frac{1000 \cdot P \cdot \eta_{\text{пр}}}{V_e} = \frac{1000 \cdot 5,5 \cdot 0,95}{75,4} = 69,3 \text{ Н.}$$

Сила резания на один зуб:

$$F_{\text{зуб}} = a_p \cdot p \cdot b_{\text{л}} + S_z \cdot \sin \theta \cdot (k \cdot b + a_{\Delta} \cdot l_{\text{к}});$$

$$F_{\text{зуб}} = F_x \cdot \frac{t}{l_{\text{к}}} = 69,3 \cdot \frac{18,84}{33,08} = 39,47 \text{ Н.}$$

5. Шаг зубьев:

$$t = \frac{\pi \cdot D}{z} = \frac{3,14 \cdot 360}{60} = 18,84 \text{ мм.}$$

6. Длина дуги контакта:

$$l_{\text{к}} = \frac{h}{\sin \theta} = \frac{30}{0,907} = 33,08 \text{ мм.}$$

7. Определим кинематической угол встречи и углы входа и выхода:

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{57h}{R \left(\arcsin \frac{a+h}{R} - \arcsin \frac{a}{R} \right)} = \frac{57 \cdot 30}{180 \left(\arcsin \frac{70+30}{180} - \arcsin \frac{70}{180} \right)} = \\ &= \frac{1710}{180 \left(\arcsin 0,55 - \arcsin 0,389 \right)} = \frac{1710}{180(33,36^\circ - 22,89^\circ)} = \\ &= \frac{1710}{180 \cdot 10,47} = \frac{1710}{1884,6} = 0,907; \end{aligned}$$

$$\theta = \arcsin 0,907 = 65,09^\circ \approx 65,1^\circ, \quad \theta = \varphi_{\text{в}} = 65,1^\circ;$$

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,907^2} = 0,421;$$

$$\theta_{\text{вх}} = \cos^{-1} \frac{a+h}{R} = \cos^{-1} \frac{70+30}{180} = 56,25^\circ;$$

$$\theta_{\text{вых}} = \cos^{-1} \frac{a}{R} = \cos^{-1} \frac{70}{180} = 67,1^\circ;$$

$$\varphi_{\text{к}} = \theta_{\text{вых}} - \theta_{\text{вх}} = 67,1^\circ - 56,25^\circ = 10,85^\circ.$$

8. Коэффициент, учитывающий округление режущей кромки:

$$a_p = 1 + \frac{0,2 \cdot \Delta \rho}{\rho_0}.$$

9. Прирост радиуса округления лезвия за время работы $T = 30$ мин:

$$\Delta\rho = \frac{\varepsilon \cdot l_k \cdot n \cdot T \cdot a_m}{1000} = \frac{0,001 \cdot 33,08 \cdot 4000 \cdot 30 \cdot 0,8}{1000} = 3,17 \text{ мкм},$$

где ε – коэффициент приращения округления режущей кромки (табл. 15);

$$a_\rho = 1 + \frac{0,2 \cdot 3,17}{3} = 1,21.$$

10. Фиктивное среднее давление по передней поверхности лезвия:

$$\begin{aligned} k_c &= (0,2 + 0,004\varphi_B) \cdot \delta + (0,07 + 0,0015\varphi_B) \cdot V_e^* - (5,5 + 0,15\varphi_B) = \\ &= (0,2 + 0,004 \cdot 65,1) \cdot 55^\circ + (0,07 + 0,0015 \cdot 65,1) \cdot 75,4 - (5,5 + 0,15 \cdot 65,1) = \\ &= 22,7 \text{ Н/мм}^2. \end{aligned}$$

11. Фиктивная средняя сила резания по задней поверхности лезвия:

$$p_c = 4 + 0,036\varphi_B = 4 + 0,036 \cdot 65,1 = 6,34 \text{ Н/мм}.$$

12. Подставляем все рассчитанные данные в формулу (47а) и находим подачу на один зуб:

$$\begin{aligned} F_{зуб} &= a_\rho \cdot p \cdot b_l + S_z \cdot \sin\theta \cdot (k \cdot b + a_\Delta \cdot l_k) = \\ &= 1,21 \cdot 6,34 \cdot 3,3 + S_z \cdot 0,907 \cdot (22,7 \cdot 3,3 + 0,59 \cdot 33,08); \end{aligned}$$

Из табл. 8 приложения выбираем коэффициент интенсивности трения прессования стружки во впадине зуба для плющенных зубьев $\alpha_\Delta = 0,59 \text{ Н/мм}^2$:

$$39,47 = 25,3 + S_z \cdot 85,6,$$

следовательно

$$S_z \cdot 85,6 = 39,47 - 25,3;$$

$$S_{zP} = \frac{14,17}{85,6} = 0,165 \text{ мм}.$$

13. Проверим правильность выбора формулы для определения S_z . Если $S_z \cdot \sin\theta > 0,1$ мм, то формула выбрана правильно, если $S_z \cdot \sin\theta < 0,1$, то подачу на зуб надо определить по формуле (47б):

$$F_{зуб} = (a_\rho - 0,8) \cdot p \cdot b_l + S_z \cdot \sin\theta \cdot [(8p + k) \cdot b + a_\Delta \cdot l_k].$$

В нашем примере $S_z \cdot \sin\theta = 0,165 \cdot 0,907 = 0,15 > 0,1$, т. е. формула (47а) выбрана сразу правильно.

По табл. 7 приложения это соответствует $\partial\nabla 4$ классу шероховатости.

14. По формуле (24) определяем скорость подачи:

$$V_s = \frac{S_z \cdot z \cdot n}{1000},$$

где S_z – подача на зуб, мм;

z – количество зубьев пилы, шт.;
 n – частота вращения пилы, мин⁻¹.

$$V_{sP} = \frac{S_{zP} \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{0,165 \cdot 60 \cdot 4000}{1000} = 39,6 \text{ м/мин.}$$

15. Сила резания по задней поверхности лезвия (при $e > 0,1$):

$$F_3 = a_p \cdot p \cdot b_{л} = 1,21 \cdot 6,34 \cdot 3,3 = 25,3 \text{ Н.}$$

16. Сила резания по передней поверхности лезвия:

$$F_{п} = S_z \cdot \sin \theta \cdot (k \cdot b + a_{\Delta} \cdot l_{к}) = \\ = 0,165 \cdot 0,907 \cdot (22,7 \cdot 3,3 + 0,59 \cdot 33,08) = 14,17 \text{ Н.}$$

17. Радиальная составляющая силы резания:

$$F_R = 0,5 \cdot F_3 \cdot a_p^2 - F_{п} \cdot \text{tg}(90^{\circ} - \delta - \varphi_{тp}) = \\ = 0,5 \cdot 25,3 \cdot 1,21^2 - 14,17 \cdot \text{tg}(90^{\circ} - 55^{\circ} - 10^{\circ}) = 11,92 \text{ Н.}$$

18. Сила сопротивления подаче:

$$F_Q = F_x \cdot \cos \theta + F_R \cdot \sin \theta = 69,3 \cdot \cos 65,1 + 11,92 \cdot \sin 65,1 = 39,99 \text{ Н.}$$

19. Сила прижима заготовки:

$$F_S = F_x \cdot \sin \theta - F_R \cdot \cos \theta = 69,3 \cdot \sin 65,1 - 11,92 \cdot \cos 65,1 = 57,86 \text{ Н.}$$

Строим графики скоростей подачи при ($h \pm 10$) мм по производительности инструмента (V_{sO}), мощности привода (V_{sP}), качества обработанной поверхности $V_{SRm_{max}}$.

Рассчитаем скорость подачи с учетом производительности инструмента

$$(V_{sO}): S_{zO} = \frac{t^2}{4h}; V_{sO} = \frac{S_{zO} \cdot n \cdot z}{1000} \text{ (табл. 16).}$$

Таблица 16

Расчет скорости подачи по производительности инструмента

S_{zO} , мм	V_{sO} , м/мин
$S_{zO} = \frac{18,84^2}{4 \cdot 20} = 4,44$	$V_{sO} = \frac{4,44 \cdot 4000 \cdot 60}{1000} = 1065,6$
$S_{zO} = \frac{18,84^2}{4 \cdot 30} = 2,95$	$V_{sO} = \frac{2,95 \cdot 4000 \cdot 60}{1000} = 708,0$
$S_{zO} = \frac{18,84^2}{4 \cdot 40} = 2,22$	$V_{sO} = \frac{2,22 \cdot 4000 \cdot 60}{1000} = 532,8$

Рассчитаем скорость подачи по мощности привода (V_{sP}) (табл. 17):

$$1) g_{sP} = \frac{S_{zP} \cdot n \cdot z}{1000}; F_{зуб} = a_p \cdot p \cdot b_{л} + S_{zP} \cdot \sin \theta \cdot (k \cdot b + a_{\Delta} \cdot l_{к}).$$

Расчет скорости подачи по мощности привода

S_{zP} , мм	V_{sP} , м/мин
$h = 20$ мм	
$S_{zP} = \frac{F_x \cdot \frac{t}{l_k} - a_p p b_{\text{п}}}{\sin \theta (kb + a_{\Delta} l_k)} = \frac{69,3 \cdot \frac{18,84}{22,42} - 1,14 \cdot 6,272 \cdot 3,3}{0,892 \cdot (22,0 \cdot 3,3 + 0,59 \cdot 22,42)} =$ $= 0,447 \text{ мм}$ $a_p = 1 + 0,2 \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_0} = 1 + 0,2 \cdot \frac{2,15}{3} = 1,14$ $\Delta \rho = \frac{\varepsilon \cdot l_k \cdot T \cdot n \cdot a_M}{1000} = \frac{0,001 \cdot 22,42 \cdot 30 \cdot 4000 \cdot 0,8}{1000} = 2,15 \text{ мкм}$ $\sin \theta = 0,892, \theta = 63,1^\circ$ $l_k = \frac{h}{\sin \theta} = \frac{20}{\sin 63,1} = \frac{20}{0,892} = 22,42 \text{ мм}$	$V_{sP} = \frac{0,447 \cdot 4000 \cdot 60}{1000} = 107,28$
$h = 30$ мм	
$S_{zP} = \frac{F_x \cdot \frac{t}{l_k} - a_p p b_{\text{п}}}{\sin \theta (kb + a_{\Delta} l_k)} = \frac{69,3 \cdot \frac{18,84}{33,08} - 1,21 \cdot 6,34 \cdot 3,3}{0,907 \cdot (22,7 \cdot 3,3 + 0,59 \cdot 33,08)} = 0,165 \text{ мм}$ $a_p = 1 + 0,2 \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_0} = 1 + 0,2 \cdot \frac{3,17}{3} = 1,21$ $\Delta \rho = \frac{\varepsilon \cdot l_k \cdot n \cdot T \cdot a_M}{1000} = \frac{0,001 \cdot 33,08 \cdot 4000 \cdot 30 \cdot 0,8}{1000} = 3,17 \text{ мкм}$ $l_k = \frac{h}{\sin \theta} = \frac{30}{\sin 65,1} = \frac{30}{0,907} = 33,08 \text{ мм}$	$V_{sP} = \frac{0,165 \cdot 4000 \cdot 60}{1000} = 39,6$
$h = 40$ мм	
$S_{zP} = \frac{F_x \cdot \frac{t}{l_k} - a_p p b_{\text{п}}}{\sin \theta (kb + a_{\Delta} l_k)} = \frac{69,3 \cdot \frac{18,84}{46,64} - 1,29 \cdot 6,34 \cdot 3,3}{0,8576 \cdot (21,58 \cdot 3,3 + 0,59 \cdot 46,64)} =$ $= 0,012 \text{ мм}$ $a_p = 1 + 0,2 \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_0} = 1 + 0,2 \cdot \frac{4,48}{3} = 1,29$ $\Delta \rho = \frac{\varepsilon \cdot l_k \cdot T \cdot n \cdot a_M}{1000} = \frac{0,001 \cdot 46,64 \cdot 30 \cdot 4000 \cdot 0,8}{1000} = 4,48 \text{ мкм}$ $\sin \theta = 0,8576, \theta = 59,0^\circ$ $l_k = \frac{h}{\sin \theta} = \frac{40}{\sin 59,0} = \frac{40}{0,8576} = 46,64 \text{ мм}$	$V_{sP} = \frac{0,012 \cdot 4000 \cdot 60}{1000} = 2,88$

Рассчитаем скорости подачи с учетом классов шероховатости при $\theta_{\text{ВЫХ}} = 67,1^\circ$ (табл. 18):

$$V_{sRm_{\max}} = \frac{S_{zRm_{\max}} \cdot z \cdot n}{1000}.$$

Скорость подачи с учетом классов шероховатости

$\nabla\partial$	$S_{zRm_{\max}}$, мм	$V_{sRm_{\max}}$, м/мин
$\nabla\partial 2$	1,0	$V_{sRm_{\max}} = \frac{1,0 \cdot 60 \cdot 4000}{1000} = 240$
$\nabla\partial 3$	0,5	$V_{sRm_{\max}} = \frac{0,5 \cdot 60 \cdot 4000}{1000} = 120$
$\nabla\partial 4$	0,12	$V_{sRm_{\max}} = \frac{0,12 \cdot 60 \cdot 4000}{1000} = 28,8$
$\nabla\partial 5$	0,09	$V_{sRm_{\max}} = \frac{0,09 \cdot 60 \cdot 4000}{1000} = 21,6$

Аналогично проведем расчеты для частот вращения шпинделя $n = 2000$, 3000 и 5000 мин^{-1} и построим графики скоростей подачи (рис. 24–26).

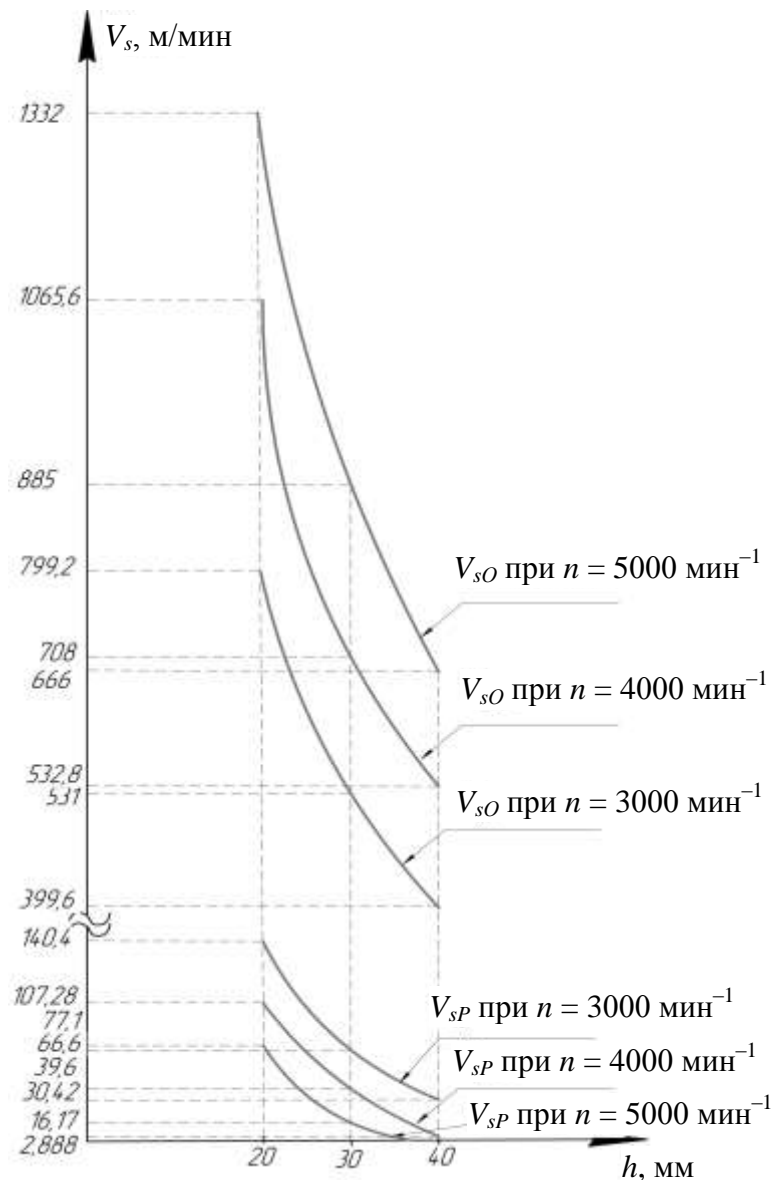


Рис. 24. График скоростей подачи по критериям мощности привода пилы, производительности инструмента при $n = 3000$, 4000 и 5000 мин^{-1}

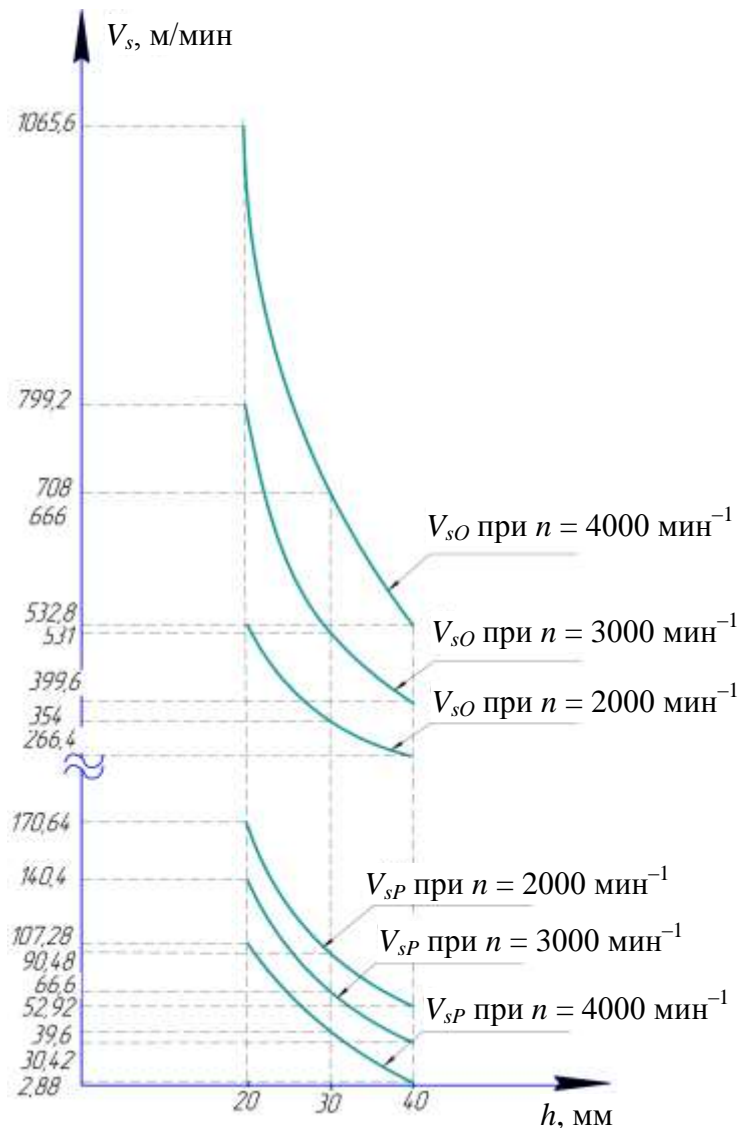


Рис. 25. График скоростей подачи по критериям мощности привода пилы, производительности инструмента при $n = 2000, 3000$ и 4000 мин⁻¹

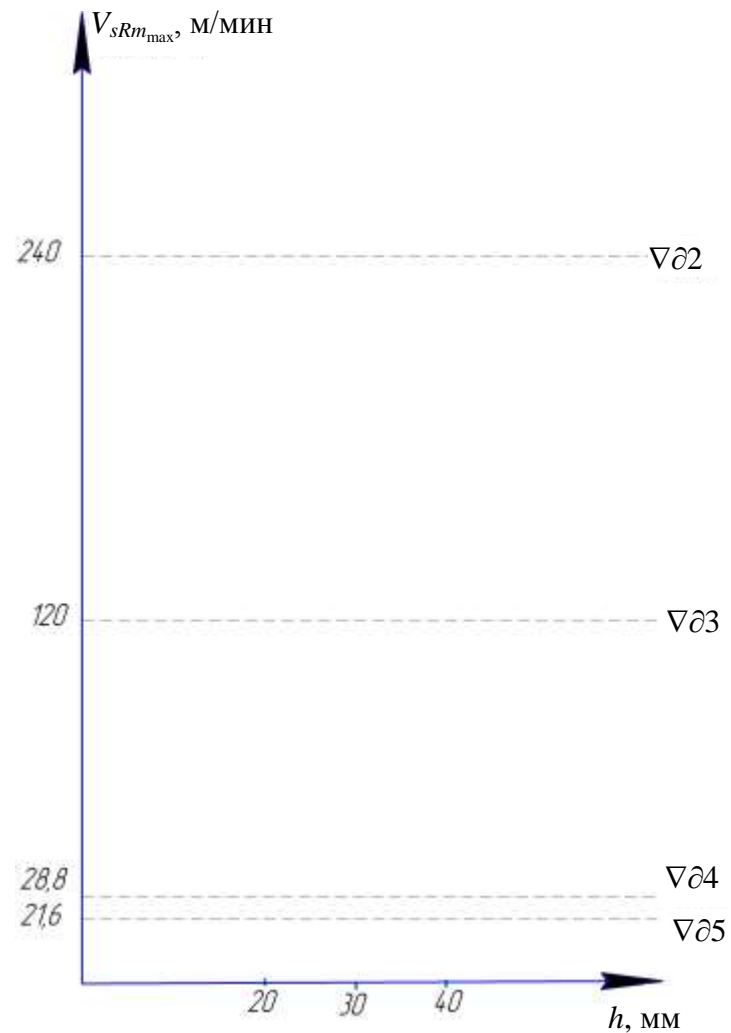


Рис. 26. График скоростей подачи по критерию качества получаемой поверхности

Выводы по решению конструкторско-технологической задачи:

1. Рациональной скоростью подачи по данным условия задачи следует считать скорость, ограничиваемую установленным классом шероховатости – $\nabla\partial 5$, т. е. $V_{sRm_{\max}} = 21,6$ м/мин, поскольку она является и условием работоспособности инструмента по его производительности и мощности привода.

2. Большие по величине скорости подачи по производительности инструмента и классам шероховатости поверхности свидетельствуют о целесообразности увеличения числа зубьев у дисковой пилы.

Номер контрольной задачи по табл. 23 приложения соответствует номеру студента в списке журнала группы.

Расчет дисковых пил на жесткость и виброустойчивость

Формы колебаний дисковых пил

Собственные, или **свободные**, колебания – это колебания, происходящие под действием восстанавливающих сил после прекращения внешнего возбуждения.

Диск круглой пилы – система с бесконечным числом степеней свободы. Он имеет бесконечное число форм продольных и изгибных (поперечных) колебаний. Расчеты показывают, что для пил частоты продольных колебаний в десятки раз выше частот изгибных колебаний. Поэтому изгибные колебания более опасны. Взаимодействие продольных и изгибных колебаний может не учитываться. Это позволяет рассматривать только изгибные колебания.

Различают следующие формы изгибных колебаний диска (рис. 27): без узловых диаметров и окружностей; с узловыми диаметрами; с узловыми окружностями; комбинационные – с узловыми диаметрами и окружностями.

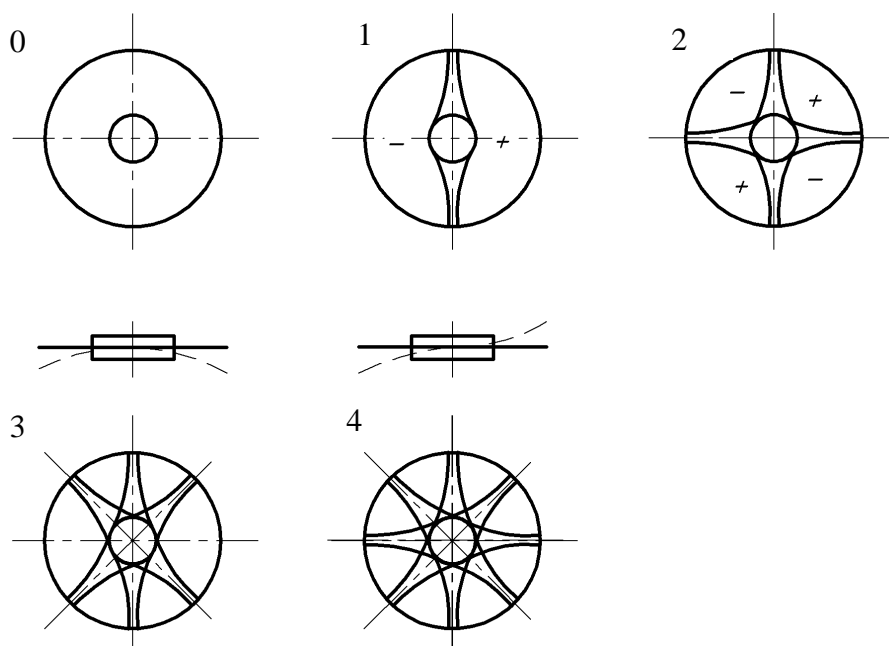


Рис. 27. Формы колебаний круглых пил:
0, 1, 2, 3, 4 – число узловых диаметров

Если диск пилы закрепить горизонтально во фланцах и на поверхность диска насыпать мелких сухих опилок, а затем электромагнитом возбудить в нем поперечные резонансные колебания, то можно наблюдать различные опилочные фигуры. Опилки смещаются с колеблющихся частей диска и концентрируются на неподвижных, фиксируя их форму и положение (рис. 27).

Каждой форме колебаний условно присвоен номер. Например, колебаниям без узловых линий ($\lambda = 0$) – форма 0, колебаниям с одним узловым диаметром ($\lambda = 1$) – форма 1, с двумя узловыми диаметрами ($\lambda = 2$) – форма 2 и т. д.

На рис. 28 знаками «+» и «-» отмечены перемещения срединной поверхности диска вдоль его оси в разные стороны. Эти зоны называют пучностями, а границы между пучностями с разными знаками – узлами. Прогибы по окружности диска распределяются так, что если бы ее развернуть в прямую линию, то кривая прогибов, например для колебаний с узловыми диаметрами, представляла бы синусоиду с числом волн, равным числу узловых диаметров.

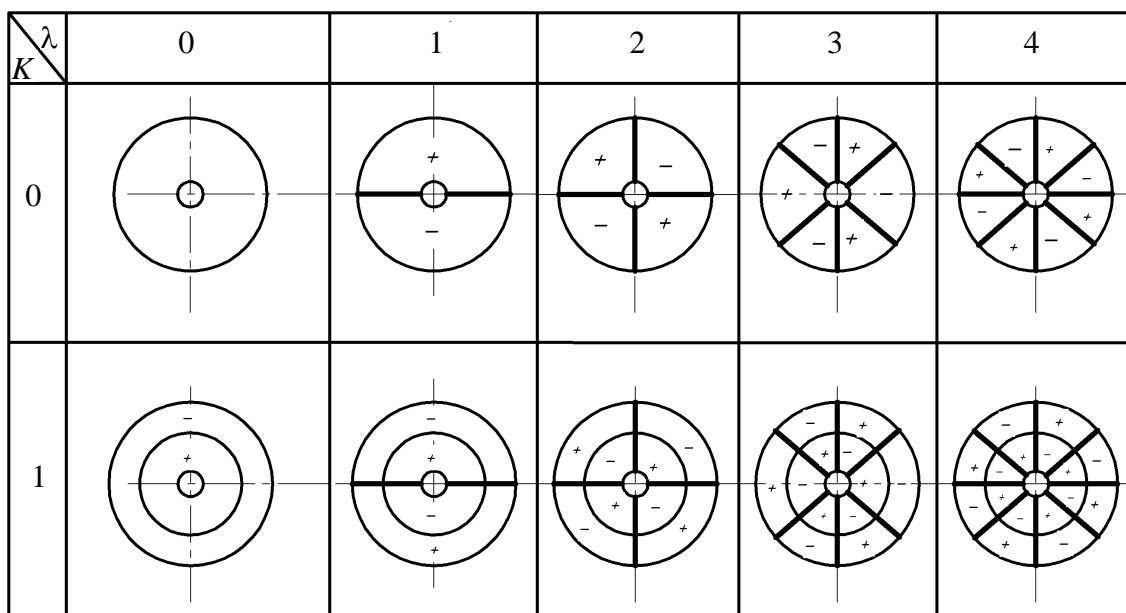


Рис. 28. Формы изгибных колебаний диска:

$\lambda = 0, K = 0$ – без узловых диаметров и окружностей;

$\lambda > 0, K = 0$ – с узловыми диаметрами;

$\lambda = 0, K > 0$ – с узловыми окружностями; $\lambda > 0, K > 0$ – комбинационные

С увеличением числа узловых диаметров λ и окружностей K увеличиваются частоты собственных колебаний и уменьшается площадь зоны пучностей (рис. 28).

Разложение собственных колебаний диска на две цепи волн

Колебания не вращающегося диска при $\lambda \neq 0, K = 0$ условно могут быть представлены как сумма двух цепей волн, бегущих по диску вокруг его оси в разные стороны с одинаковой угловой скоростью. Амплитуды бегущих цепей волн равны половине амплитуды колебаний диска.

Характер колебаний вращающегося и не вращающегося дисков одинаков. Каждая из цепей волн относительно вращающегося диска совершает $v_{вр} / \lambda$ оборотов в секунду. Неподвижный в пространстве наблюдатель различает «вперед бегущую цепь волн», перемещающуюся в направлении вращения диска, и «назад бегущую цепь волн», перемещающуюся в обратном направлении.

Критическая частота вращения пилы

Колебания, происходящие под влиянием сил упругости, называются **собственными**. Собственные колебания дисков пил могут быть *статическими* и *динамическими*. Первые относятся к неподвижным, вторые – к вращающимся дискам.

Статическую собственную частоту пильного диска можно определить по формуле

$$v_{ст} = \frac{X^2 \cdot S}{4\pi \cdot R^2} \sqrt{\frac{g \cdot E}{30\gamma \cdot (1 - \mu^2)}}, \text{ Гц}, \quad (71)$$

где X – параметр, зависящий от числа узловых диаметров m и отношения радиуса зажимной шайбы $R_{ш}$ к радиусу пилы R ;

S – толщина пилы, см;

R – радиус пилы, см;

g – ускорение свободного падения (981 см/с^2);

E – модуль упругости, Н/см^2 ($22\,000\,000 \text{ Н/см}^2$);

γ – плотность стали, кг/см^3 ($0,0078 \text{ кг/см}^3$);

μ – коэффициент Пуансона (0,3).

Параметр X имеет следующие значения (в числителе для $\lambda = 2$, в знаменателе для $\lambda = 3$):

$R_{ш}/R$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
X	2,4/3,3	2,6/3,5	2,8/3,5	3,2/3,9	3,9/4,4

Центробежные силы вращающейся пилы стремятся выправить диск и повышают собственную **динамическую частоту**:

$$v_{дин} = \sqrt{v_{ст}^2 + B \cdot n^2}, \text{ Гц}, \quad (72)$$

где B – коэффициент скорости, величина которого тем меньше, чем меньше число узловых диаметров, $B = 2-5$;

n – частота вращения пилы, с^{-1} .

При возбуждении поперечных колебаний пильного диска могут возникнуть три типа волн: вперед бегущие, стоячие и обратно бегущие волны. Скорость вперед бегущих волн больше скорости вращения диска, стоячих – равна, и обратно бегущих волн – меньше скорости вращения диска.

Резонансные частоты колебания пильного диска определяют по следующим формулам:

для вперед бегущих волн

$$v_{рез} = v_{дин} + \lambda \cdot n_{рез}; \quad (73)$$

для обратно бегущих волн

$$v_{\text{рез}} = v_{\text{дин}} - \lambda \cdot n_{\text{рез}}, \quad (74)$$

где λ – число узловых диаметров;

$n_{\text{рез}}$ – рабочее резонансное число оборотов пильного диска, с^{-1} .

Для работы диска опасны обратно бегущие и стоячие волны. Более опасны стоячие волны, так как они легко возникают при небольшом боковом давлении.

Частота вращения пильного диска, равная частоте вращения обратно бегущих волн, называется **критической**.

Из формулы (74) при $v_{\text{рез}} = 0$ следует

$$v_{\text{дин}} = \lambda \cdot n_{\text{кр}}. \quad (75)$$

Решая совместно (72) и (75), получим критическую частоту вращения пилы $n_{\text{кр}}$:

$$n_{\text{кр}} = \frac{v_{\text{ст}}}{\sqrt{\lambda^2 - B}}, \text{ с}^{-1}.$$

Выводы: дисковая пила закреплена на пильном валу ближе к оси вращения, в результате чего зубчатый венец остается свободным. При работе на пилу действуют силы резания, центробежная сила и неравномерный нагрев. В пиле возникают поперечные колебания, и она теряет устойчивость. Поэтому рабочая частота вращения пилы должна быть меньше допустимой.

Номер контрольной задачи по табл. 24 приложения соответствует номеру студента в списке журнала группы.

Пример решения задачи

Дано: диаметр пилы $D = 250$ мм; толщина пилы $s = 1,2$ мм; диаметр зажимных шайб $d_{\text{ш}} = 50$ мм; число узловых диаметров $\lambda = 2$; частота вращения пилы $n = 6000 \text{ мин}^{-1} = 100 \text{ с}^{-1}$.

Найти: 1) статическую собственную частоту пильного диска $v_{\text{ст}}$, Гц; 2) собственную динамическую частоту $v_{\text{дин}}$, Гц; 3) критическую частоту вращения пилы $n_{\text{кр}}$, Гц (с^{-1}); 4) диаметр зажимных шайб в зависимости от критической частоты вращения пилы $d_{\text{ш}}$, мм.

Решение

1. Статическая собственная частота пильного диска равна:

$$v_{\text{ст}} = \frac{X^2 \cdot S}{4\pi \cdot R^2} \sqrt{\frac{g \cdot E}{30\gamma \cdot (1 - \mu^2)}} = \frac{2,6^2 \cdot 0,12}{4 \cdot 3,14 \cdot 12,5^2} \cdot \sqrt{\frac{981 \cdot 22000000}{30 \cdot 0,0078 \cdot (1 - 0,3^2)}} = 131,6 \text{ Гц}.$$

2. Собственная динамическая частота:

$$v_{\text{дин}} = \sqrt{v_{\text{ст}}^2 + B \cdot n^2} = \sqrt{131,6^2 + 2 \cdot 100^2} = 193 \text{ Гц}.$$

3. Критическая частота вращения пилы:

$$n_{кр} = \frac{v_{ст}}{\sqrt{\lambda^2 - B}} = \frac{131,6}{\sqrt{2^2 - 2}} = 96 = 5760 \text{ мин}^{-1}.$$

4. Рассмотрим, в какой степени нужно увеличить диаметр шайбы, чтобы повысить $n_{кр}$ до 6500 мин^{-1} или $108,3(3) \text{ с}^{-1}$.

$$108,3 = \frac{v_{ст}}{\sqrt{2^2 - 2}} = \frac{v_{ст}}{1,414} \Rightarrow v_{ст} = 108,3 \cdot 1,414 = 153,2 \text{ Гц}.$$

$$153,2 = \frac{X^2 \cdot 0,12}{4 \cdot 3,14 \cdot 12,5^2} \sqrt{\frac{981 \cdot 22\,000\,000}{30 \cdot 0,0078 \cdot (1 - 0,3^2)}} \Rightarrow 153,2 = \frac{X^2 \cdot 0,12}{1962,5} \cdot \sqrt{\frac{21\,582\,000\,000}{0,21294}} =$$

$$= X^2 \cdot 0,000061 \cdot 318\,359,06 \Rightarrow X^2 = \frac{153,2}{19,4} \Rightarrow X = \sqrt{\frac{153,2}{19,4}} = 2,8.$$

Из этого следует, что $R_{ш} / R = 0,3$.

Получим: $R_{ш} = 0,3 \cdot 12,5 = 3,75 \text{ см}$, или $d_{ш} = 75 \text{ мм}$, что и требовалось найти.

Аналогично найдем $n_{кр}$ для случая, когда $d_{ш} = 25 \text{ мм}$, т. е. $R_{ш} / R = 0,1 \rightarrow R_{ш} = 0,1 \cdot 125 \text{ мм}$.

$$v_{ст} = \frac{2,4^2 \cdot 0,12}{4 \cdot 3,14 \cdot 12,5^2} \cdot \sqrt{\frac{981 \cdot 22\,000\,000}{30 \cdot 0,0078 \cdot (1 - 0,3^2)}} = 112 \text{ Гц};$$

$$n_{кр} = \frac{v_{ст}}{\sqrt{\lambda^2 - B}} = \frac{112}{\sqrt{2^2 - 2}} = 79,2 \text{ Гц} = 4752 \text{ мин}^{-1}.$$

5. Строим график зависимости $n_{кр} = f(d_{ш})$ (рис. 29).

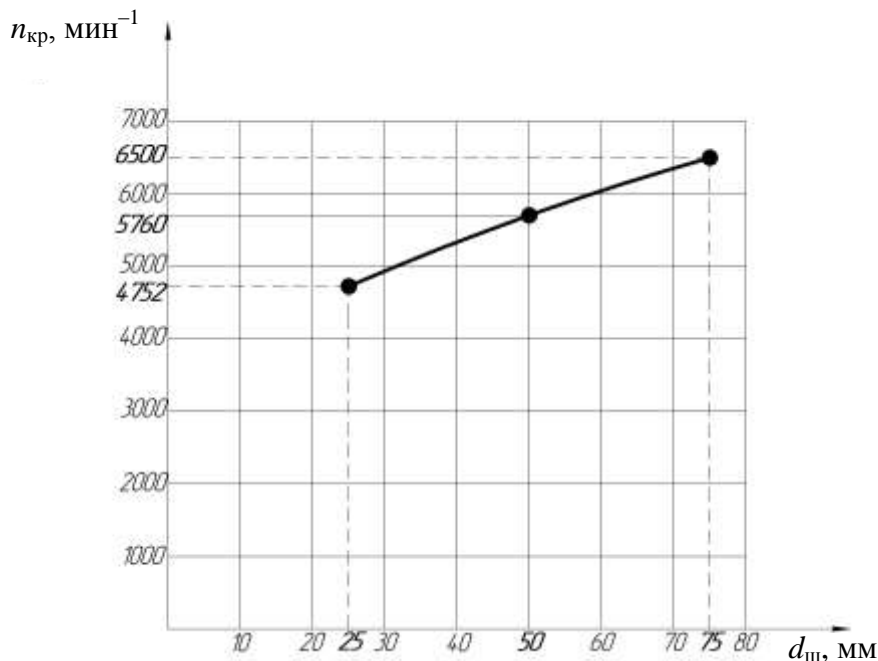


Рис. 29. График зависимости критической частоты вращения пилы $n_{кр}$ от диаметра зажимных шайб $d_{ш}$

Выводы:

1. Увеличение диаметра зажимных шайб ведет к увеличению статической собственной частоты пильного диска: с 4752 до 5760 мин^{-1} – на 21%, и с 5760 до 6500 мин^{-1} – на 12%.
2. Центробежные силы вращающейся пилы повышают собственную динамическую частоту примерно на 47% (46,6%).
3. Диаметр зажимных шайб $d_{\text{ш}} = 75$ мм для принятых условий задачи.

3.5. Процесс сверления

Рекомендуемые формулы для расчетов технологических режимов резания и конструкторских разработок сверлильного оборудования

Сверло – осевой режущий инструмент для образования отверстий в сплошном материале и (или) увеличения диаметра имеющегося отверстия.

Элементы сверла и схемы сверления представлены на рис. 30 и 31.

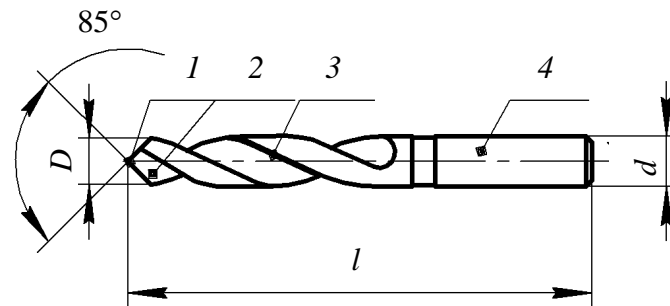


Рис. 30. Элементы сверла:

1 – лезвия; 2 – направляющая канавка; 3 – ленточка; 4 – хвостовик

Составляющие силы резания, статические и кинематические углы сверла, направления движений сверла винтового с конической заточкой с углом при вершине 2ϕ представлены на рис. 32 и 33.

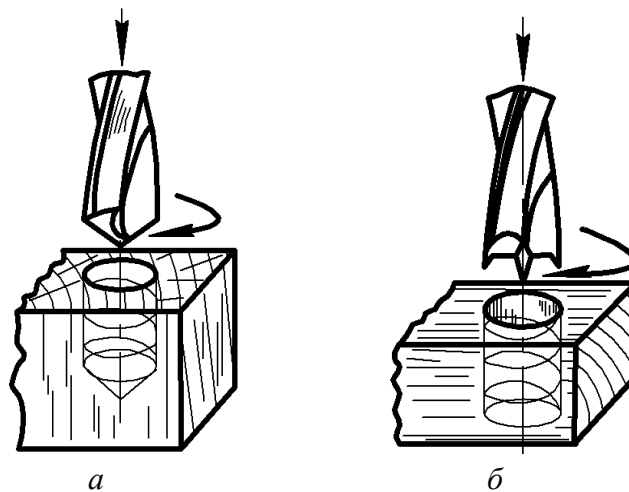


Рис. 31. Схемы сверления:

а – вдоль волокон; б – поперек волокон

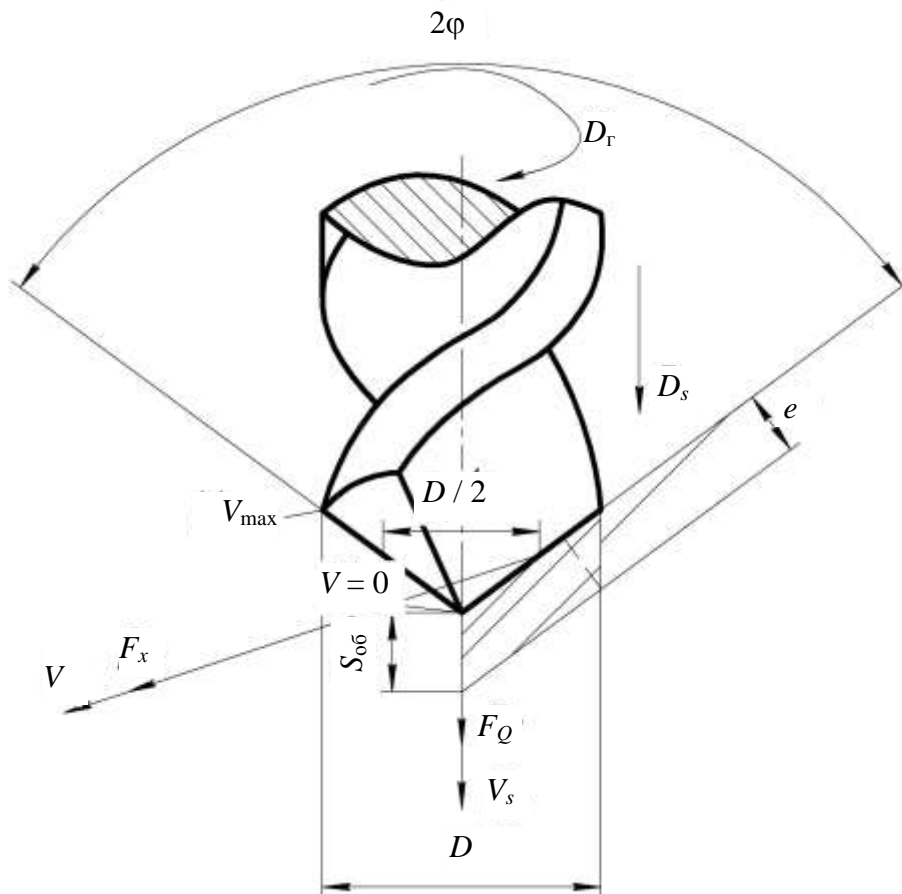


Рис. 32. Схема сил и направления движений сверла винтового с конической заточкой с углом при вершине 2φ

Кинематические углы будут изменяться от оси вращения до максимального диаметра от максимальных до минимальных значений.

Основные кинематические соотношения при сверлении для винтовых сверл с конической заточкой с углом при вершине 2φ следующие.

1. Скорость главного движения у периферии:

$$V_{\max} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000}, \text{ м/с}, \quad (76)$$

где D – диаметр сверла, мм;

n – частота вращения шпинделя, мин^{-1} .

2. Скорость главного движения на оси сверла $V_o = 0$.

3. Средняя скорость главного движения:

$$V_{\text{cp}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{2 \cdot 60 \cdot 1000}, \text{ м/с}. \quad (77)$$

4. Подача на один оборот сверла:

$$\Delta = \frac{1000 \cdot V_s}{n}, \text{ мм}, \quad (78)$$

где $V_s = \frac{\Delta \cdot n}{1000} = \frac{S_z \cdot z \cdot n}{1000}$, м/мин; $S_z = S_{об}$ при однолезвийном сверле.

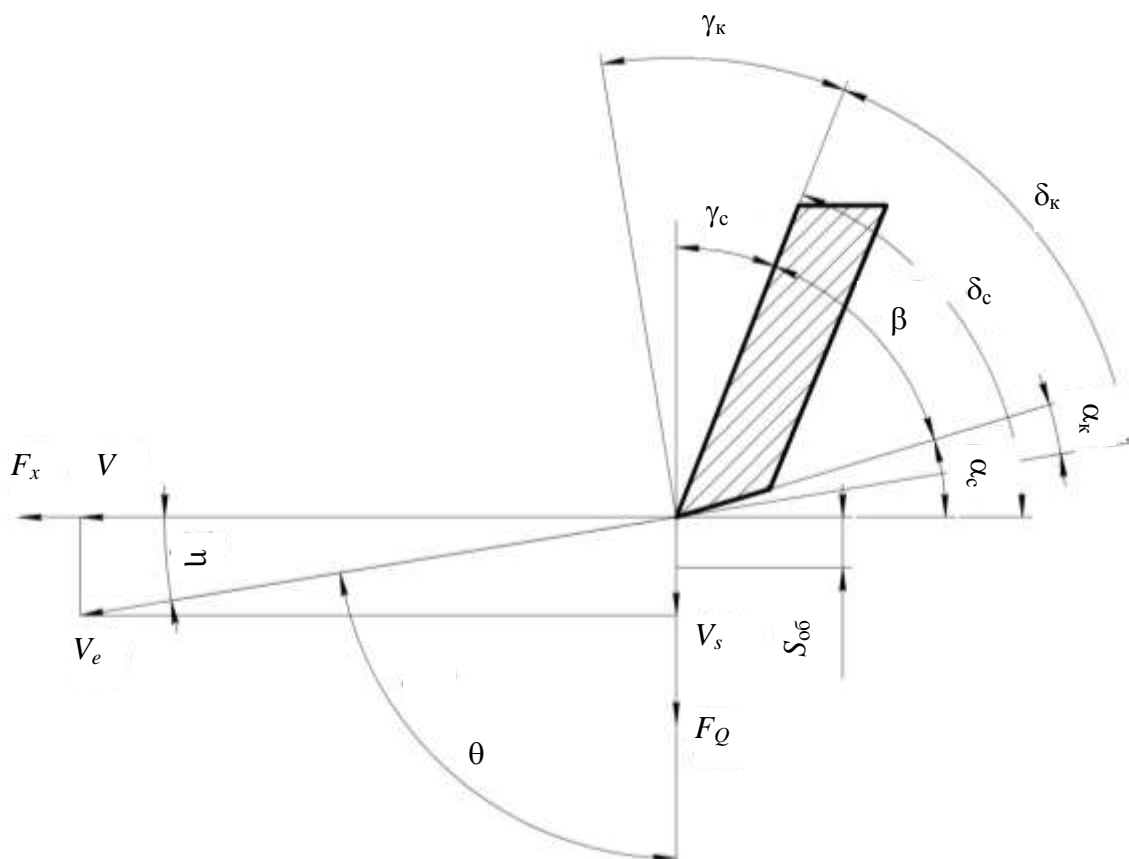


Рис. 33. Статические и кинематические углы сверла с конической заточкой на диаметре $D/2$

5. Толщина стружки:

$$e = S_z \cdot \frac{2\varphi}{2} = S_z \sin \varphi, \text{ мм.} \quad (79)$$

6. Мощность резания:

$$P = \frac{K \cdot \Delta \cdot D \cdot V_{cp}}{12 \cdot 10^7} = \frac{K \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S_z \cdot z \cdot n}{24 \cdot 10^7}, \text{ кВт,} \quad (80)$$

где K – среднее условное давление резания (табл. 19), Н/мм².

7. Касательная составляющая силы резания:

$$F_x = K \cdot S_z \cdot \frac{D}{2}, \text{ Н.} \quad (81)$$

8. Для технологических (обратных) задач при заданных P , z , n определяют:

$$S_z \cdot K = \frac{24 \cdot 10^7 \cdot P}{\pi \cdot D^2 \cdot z \cdot n}. \quad (82)$$

9. Сила сопротивления подаче:

$$F_Q = (0,25 + 0,07D) \cdot F_x, \text{ Н.} \quad (83)$$

Среднее условное давление резания для центровых сверл

$D, \text{ мм}$	$K, \text{ Н/мм}^2$			Примечание
	для сосны	для березы	для дуба	
5	$156 + \frac{62,4}{S_z}$	$270 + \frac{106}{S_z}$	$375 + \frac{15}{S_z}$	Для винтовых сверл $K_{\text{винт}} = 1,5K$
10	$42 + \frac{16,8}{S_z}$	$71 + \frac{28,5}{S_z}$	$100 + \frac{40}{S_z}$	
15	$20 + \frac{8}{S_z}$	$34 + \frac{13,8}{S_z}$	$48 + \frac{17,2}{S_z}$	
20	$14 + \frac{5,6}{S_z}$	$23,3 + \frac{9,5}{S_z}$	$34 + \frac{13}{S_z}$	
25	$10 + \frac{4}{S_z}$	$17 + \frac{6,8}{S_z}$	$24 + \frac{9,6}{S_z}$	

10. Крутящий момент:

$$M_{\text{кр}} = 9750 \cdot \frac{P}{n}, \text{ Н} \cdot \text{ м}. \quad (84)$$

11. Зависимость среднего условного давления от толщины стружки:

$$K = k + \frac{a_p \cdot p}{S_z}, \text{ Н/мм}^2. \quad (85)$$

Пример решения конструкторско-технологической задачи и построение графика скоростей подачи

Дано: сверло винтовое; обрабатываемый материал – древесина березы; частота вращения шпинделя $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$; диаметр сверла $D = 15 \text{ мм}$; скорость подачи инструмента $V_s = 2,8 \text{ м/мин}$; число зубьев $z = 3$.

Определить: 1) касательную составляющую силы резания F_x , осевую силу F_Q (усилие подачи); 2) мощность на резание P ; 3) построить график скоростей подачи для **найденной** мощности на резание, приняв ближайшие два диаметра сверла из следующих размеров: $D = 5, 10, 15, 20, 25 \text{ мм}$; 4) **составить расчетные схемы с указанием линейных и угловых размеров и действующих сил**; 5) сделать **выводы**.

Решение

I. Решаем *конструкторскую* задачу для диаметра сверла $D = 15 \text{ мм}$.

1. Определяем скорость главного движения у периферии инструмента:

$$V_e = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 15 \cdot 2150}{60 \cdot 1000} = 1,688 \text{ м/с}.$$

2. Определяем подачу на зуб:

$$S_z = \frac{1000 \cdot V_s}{z \cdot n} = \frac{1000 \cdot 2,8}{3 \cdot 2150} = 0,434 \text{ мм.}$$

3. Определяем среднее удельное давление для винтового сверла (табл. 19):

$$K_{\text{винт}} = 1,5 \cdot K = 1,5 \cdot \left(34 + \frac{13,8}{S_z} \right) = 1,5 \cdot \left(34 + \frac{13,8}{0,434} \right) = 98,695 \text{ Н/мм}^2.$$

4. Определяем касательную составляющую силы резания:

$$F_x = K_{\text{винт}} \cdot S_z \cdot \frac{D}{2} = 98,695 \cdot 0,434 \cdot \frac{15}{2} = 321,252 \text{ Н.}$$

5. Определяем мощность резания:

$$P = \frac{3 \cdot F_x \cdot V_e}{2 \cdot 1000} = \frac{3 \cdot 321,252 \cdot 1,688}{2 \cdot 1000} = 0,813 \text{ кВт.}$$

6. Определяем усилие подачи:

$$F_Q = (0,25 + 0,07 \cdot D) \cdot F_x \cdot 3 = (0,25 + 0,07 \cdot 15) \cdot 321,252 \cdot 3 = 1252,88 \text{ Н.}$$

II. Решаем *технологическую* задачу.

1. Определяем произведение $K_{\text{винт}} \cdot S_z$ для диаметра сверла $D = 5$ мм:

$$K_{\text{винт}} \cdot S_z = \frac{24 \cdot 10^7 \cdot P}{\pi \cdot D^2 \cdot n \cdot z} = \frac{24 \cdot 10^7 \cdot 0,813}{3,14 \cdot 5^2 \cdot 2150 \cdot 3} = 385,169 \text{ Н.}$$

С другой стороны, для винтового сверла диаметром $D = 5$ мм:

$$K_{\text{винт}} \cdot S_z = 1,5 \cdot \left(270 + \frac{160}{S_z} \right) \cdot S_z = 405 \cdot S_z + 159;$$
$$405 \cdot S_z + 159 = 385,169.$$

Откуда определяют S_z :

$$S_z = \frac{385,169 - 159}{405} = 0,558 \text{ мм.}$$

2. Определяем произведение $K_{\text{винт}} \cdot S_z$ для диаметра сверла $D = 10$ мм:

$$K_{\text{винт}} \cdot S_z = \frac{24 \cdot 10^7 \cdot P}{\pi \cdot D^2 \cdot n \cdot z} = \frac{24 \cdot 10^7 \cdot 0,813}{3,14 \cdot 10^2 \cdot 2150 \cdot 3} = 96,292 \text{ Н/мм.}$$

С другой стороны, для винтового сверла диаметром $D = 10$ мм:

$$K_{\text{винт}} \cdot S_z = 1,5 \cdot \left(71 + \frac{28,5}{S_z} \right) \cdot S_z = 106,5 \cdot S_z + 42,75;$$
$$106,5 \cdot S_z + 42,75 = 96,292.$$

Откуда S_z определяют:

$$S_z = \frac{96,292 - 42,75}{106,5} = 0,502 \text{ мм.}$$

3. Определяем произведение $K_{\text{винт}} \cdot S_z$ для диаметра сверла $D = 20$ мм:

$$K_{\text{винт}} \cdot S_z = \frac{24 \cdot 10^7 \cdot P}{\pi \cdot D^2 \cdot n \cdot z} = \frac{24 \cdot 10^7 \cdot 0,813}{3,14 \cdot 20^2 \cdot 2150 \cdot 3} = 24,073 \text{ Н/мм.}$$

С другой стороны, для винтового сверла диаметром $D = 20$ мм:

$$K_{\text{винт}} \cdot S_z = 1,5 \cdot \left(23,3 + \frac{9,5}{S_z} \right) \cdot S_z = 34,95 \cdot S_z + 14,25;$$
$$34,95 \cdot S_z + 14,25 = 24,073.$$

Откуда S_z определяют:

$$S_z = \frac{24,073 - 14,25}{34,95} = 0,281 \text{ мм.}$$

4. Определяем произведение $K_{\text{винт}} \cdot S_z$ для диаметра сверла $D = 25$ мм:

$$K_{\text{винт}} \cdot S_z = \frac{24 \cdot 10^7 \cdot P}{\pi \cdot D^2 \cdot n \cdot z} = \frac{24 \cdot 10^7 \cdot 0,813}{3,14 \cdot 25^2 \cdot 2150 \cdot 3} = 15,406 \text{ Н/мм.}$$

С другой стороны, для винтового сверла диаметром $D = 25$ мм:

$$K_{\text{винт}} \cdot S_z = 1,5 \cdot \left(17 + \frac{6,8}{S_z} \right) \cdot S_z = 25,5 \cdot S_z + 10,2;$$
$$25,5 \cdot S_z + 10,2 = 15,406.$$

Откуда S_z определяют:

$$S_z = \frac{15,406 - 10,2}{25,5} = 0,204 \text{ мм.}$$

5. Определяем скорость подачи.

Для диаметра сверла $D = 5$ мм:

$$V_s = \frac{S_z \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{0,558 \cdot 3 \cdot 2150}{1000} = 3,599 \text{ м/мин.}$$

Для диаметра сверла $D = 10$ мм:

$$V_s = \frac{S_z \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{0,502 \cdot 3 \cdot 2150}{1000} = 3,237 \text{ м/мин.}$$

Для диаметра сверла $D = 20$ мм:

$$V_s = \frac{S_z \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{0,281 \cdot 3 \cdot 2150}{1000} = 1,812 \text{ м/мин.}$$

Для диаметра сверла $D = 25$ мм:

$$V_s = \frac{S_z \cdot z \cdot n}{1000} = \frac{0,204 \cdot 3 \cdot 2150}{1000} = 1,315 \text{ м/мин.}$$

По полученным результатам расчетов строим график зависимости скорости подачи от диаметра сверла (рис. 34).

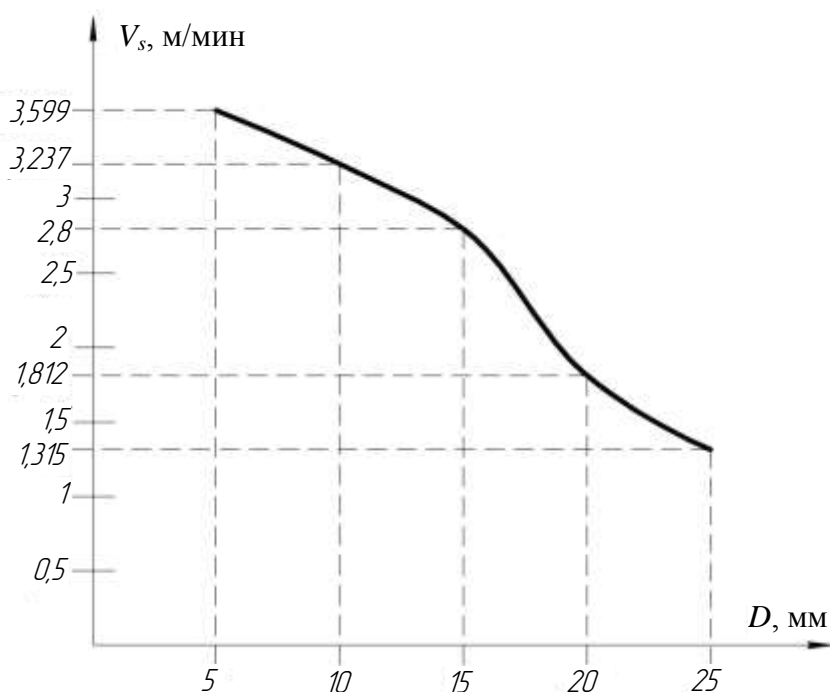


Рис. 34. График зависимости скорости подачи от диаметра сверла

Выводы: при увеличении диаметра сверла с конической заточкой с 5 до 25 мм при расчетной мощности на резание $P = 0,813$ кВт и полной загрузке двигателя скорость подачи уменьшается по криволинейной зависимости.

Номер контрольной задачи по табл. 25 приложения соответствует номеру студента в списке журнала группы.

3.6. Процесс шлифования

Рекомендуемые формулы для расчетов технологических режимов резания и конструкторских разработок шлифовального оборудования

Шлифовальная шкурка – абразивный инструмент на гибкой основе с нанесенным на нее слоем или несколькими слоями шлифовального материала, закрепленного связкой.

Шлифовальный лист – шлифовальная шкурка прямоугольной формы.

Шлифовальная лента – шлифовальный лист, длина которого превышает ширину более чем в 2,5 раза.

Схема резания абразивным зерном и функциональная схема фрезерно-шлифовального станка представлены на рис. 35 и 36.

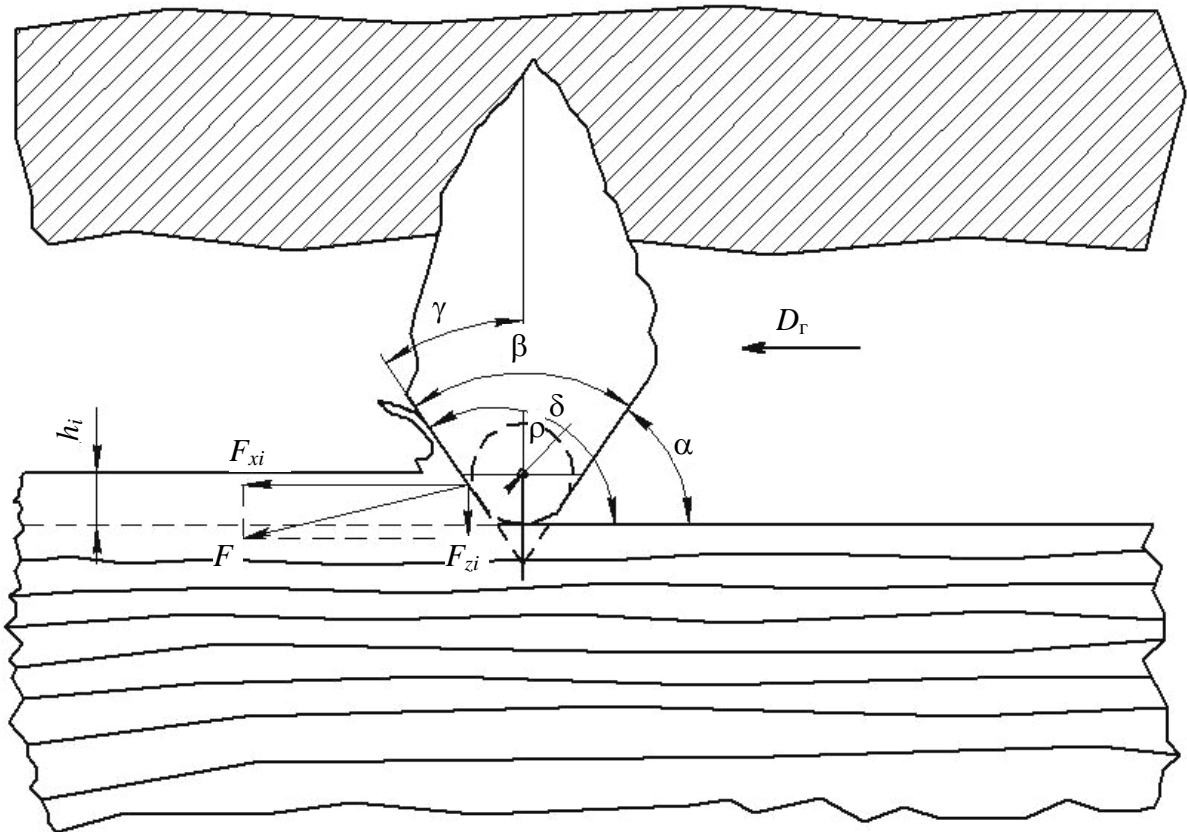


Рис. 35. Схема резания абразивным зерном

Шлифование – процесс обработки деталей абразивными инструментами с целью: получения поверхности установленного качества (гладкости обрабатываемой поверхности); требуемых линейных величин по толщине детали (калибрование); одновременного получения и требуемого качества шлифуемой поверхности, и толщины (калибрование – шлифование).

Припуск на шлифование определяется:

$$H = H_{\nabla\partial'} - H_{\nabla\partial''}, \quad (86)$$

где $H_{\nabla\partial'}$ – высота неровностей при $\nabla\partial$ до шлифования (табл. 20);

$H_{\nabla\partial''}$ – высота неровностей при $\nabla\partial$ после шлифования (табл. 21)

Таблица 20

Рекомендуемые номера зернистости шлифовальных шкурочек для предварительного шлифования

Шероховатость поверхности, поступающей на шлифование		Рекомендуемый номер зернистости шлифовальной шкурочки
Класс шероховатости (по табл. 1 приложения)	Rm_{\max} , мкм	
$\nabla\partial 2$	400–800	80
$\nabla\partial 3$	200–400	80 или 63
$\nabla\partial 4$	100–200	63 или 50
$\nabla\partial 5$	50–100	50 или 40
$\nabla\partial 6$	25–50	40, 32 или 25

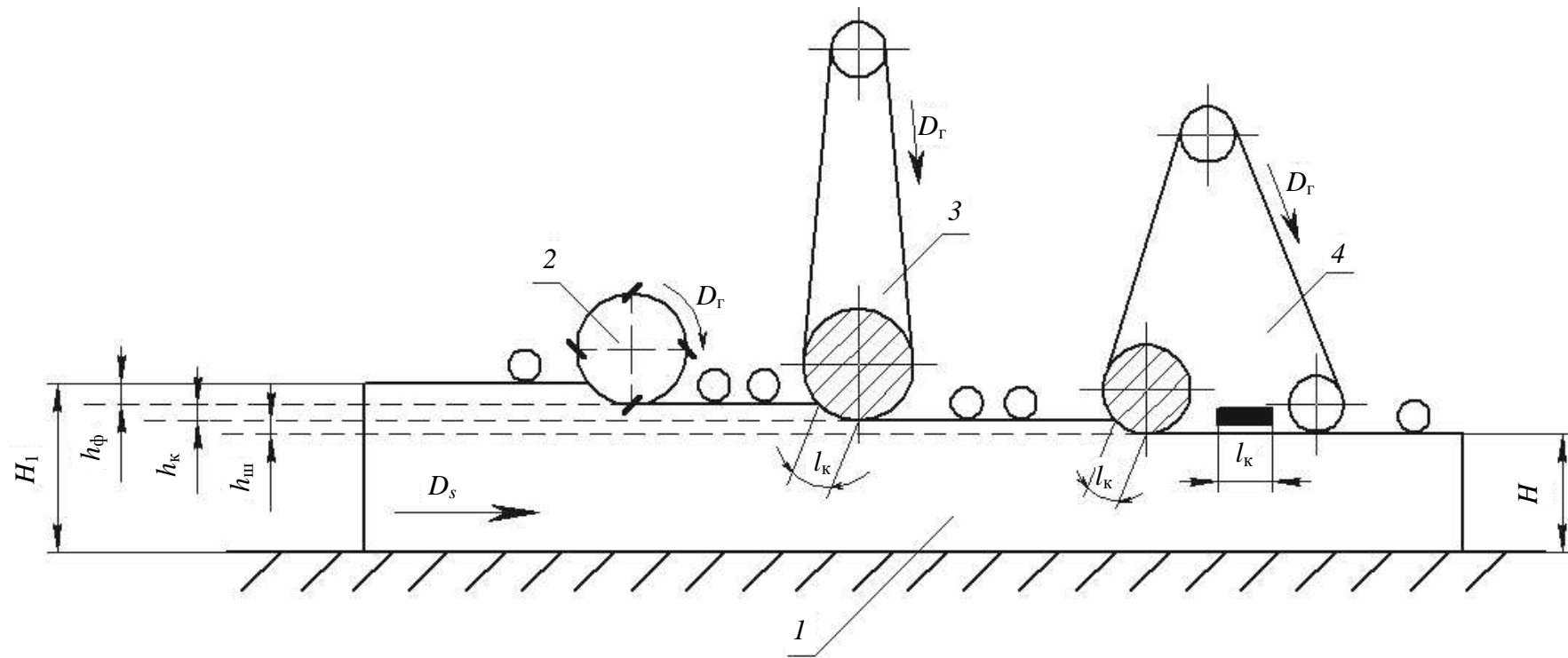


Рис. 36. Функциональная схема фрезерно-шлифовального станка фирмы Houfek (модель Bulldog Brick FRC 910):
 1 – обрабатываемый материал; 2 – фрезерный вал; 3 – калибровальный узел; 4 – калибровально-шлифовальный узел;
 H_1 – начальный размер материала; H – конечный размер материала; h_ϕ – припуск на фрезерование; h_κ – припуск на калибрование;
 $h_\text{ш}$ – припуск на шлифование; D_r – движение главное; D_s – движение подачи; l_κ – длина контакта шлифовальной ленты
 с обрабатываемым материалом

**Рекомендуемые номера зернистости шлифовальных шкур
для получения требуемого класса шероховатости поверхности**

Требуемый класс шероховатости поверхности (по табл. 1 приложения)	Rm_{max} , мкм	Номер зернистости шлифовальной шкурки
∇∂5	50–100	80, 50
∇∂6	25–50	40, 32
∇∂7	12,5–25	25, 20
∇∂8	6,3–12,5	16, 12
∇∂9	3,2–6,3	10, 8
∇∂10	1,6–3,2	6, 5, 4

Соотношение стандартов различных фирм-производителей шлифовальных материалов (зерно – оксид кремния черного)

Стандарт FEPA	ГОСТ 3647-1980	Размер зерна, мкм	Стандарт FEPA	ГОСТ 3647-1980	Размер зерна, мкм
P12	№ 160	1815	P220	№ 6	68
P16	№ 125	1324	P240	№ 5 и 4	58,5
P20	№ 100	1000	P260	№ M63	52,2
P22	№ 80	800	P280	№ M50	46,2
P24	№ 63	764	P320	№ M40	40,5
P30	–	642	P360	№ M28	35,0
P36	№ 50	538	P400	№ M20	18,3
P40	№ 40	425	P500	№ M14	15,3
P50	№ 32	336	P600	№ M10	12,6
P60	№ 25	269	P800	№ M7	8,4
P80	№ 20	201	P1200	№ M5	–
P100	№ 16	162	P1500	№ M3	–
P120	№ 12	125	P2000	№ M2	–
P150	№ 10	100	P2500	№ M1	–
P180	№ 8	82	–	–	–

Средняя удельная производительность шлифовальной шкурки:

$$A_{ш} = a_z \cdot a_o \cdot a_p \frac{14,55q}{10^6 \cdot \gamma \sqrt{z}}, \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{см}, \quad (87)$$

где a_z – коэффициент, учитывающий материал абразивных зерен (электрокорунд – 1, кремень – 1,33, стекло – 0,4);

a_o – коэффициент, учитывающий метод насыпки (гравитационный – 1, электростатический – 1,2);

a_p – коэффициент, учитывающий округление режущей кромки (затупление) шлифовальной шкурки (острая – 1,33, средnezатупленная – 1, тупая – 0,7);

- q – удельное давление, Н/см² (табл. 23);
 γ – удельный вес древесины, г/см³ (сосна – 0,5, береза – 0,6, дуб – 0,725, бук – 0,7);
 z – номер зернистости по табл. 1 приложения.

Таблица 23

Удельное давление q

Вид прижима	q , Н/см ²	
	$z = 80-50$	$z = 25-10$
Для лент с неподвижным столом (большая поверхность контакта)	0,15–0,4	0,1–0,25
Для утюжков с малой поверхностью контакта	0,5–2,0	0,2–0,5
Для дисковых станков	0,5–5,7	–
Для вальцового шлифования	5,0–20,0	2,0–5,0

Удельная производительность процесса:

$$A_n = A_{ш} \cdot V_e, \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{с}, \quad (88)$$

где $A_{ш}$ – средняя удельная производительность шлифовальной шкурки, см³/см² · см;

V_e – скорость резания, см/с.

Касательная составляющая силы резания:

$$F_x = C \cdot q \cdot S, \text{ Н}, \quad (89)$$

где C – коэффициент сцепления с древесиной:

$$\left. \begin{array}{l} \text{для березы} \quad C_b = \frac{23\,000 \cdot A_{ш.б}}{q} + 0,4; \\ \text{для сосны} \quad C_c = \frac{18\,000 \cdot A_{ш.с}}{q} + 0,4; \\ \text{для дуба и бука} \quad C_{д.б} = \frac{24\,500 \cdot A_{ш.д.б}}{q} + 0,27, \end{array} \right\} \quad (90)$$

q – удельное давление, Н/см²;

S – площадь контакта: $S = b \cdot l_k$, см²;

l_k – длина контакта шлифовальной шкурки шириной b .

Мощность шлифования:

$$P = q \cdot S \cdot (C + f) \frac{V_e}{1000}, \text{ кВт},$$

где f – коэффициент трения обратной стороны шлифовальной ленты о рабочую поверхность утюжка, $f \approx 0,36$ (по экспериментальным данным).

Скорость подачи:

$$V_s = \frac{l_k}{t_{ш}} = \frac{l_k}{\frac{H}{A_n}}, \text{ см/с}, \quad (91)$$

где $t_{ш}$ – время шлифования:

$$t_{ш} = \frac{H}{A_n}, \text{ с}. \quad (92)$$

Пример решения конструкторско-технологической задачи и построение графика скоростей подачи

Дано: обрабатываемый материал – древесина дуба; класс шероховатости до шлифования $\nabla\partial 3$; класс шероховатости после шлифования $\nabla\partial 8$; ширина шлифования $b = 220$ мм; скорость главного движения (ленты) $V = 14$ м/с; состояние шлифовальной шкурки – теряющая режущую способность; вид прижима – утюжок; материал абразива – кремний; длина контакта $l_k = 75$ мм.

Размер шероховатости для $\nabla\partial 8$ после шлифования принимаем по средней величине интервала допуска по табл. 1 приложения.

Определить: 1) припуск на обработку H , мм; удельную производительность инструмента $A_{ш}$ (шлифовальной шкурки), касательную составляющую силы резания F_x ; мощность шлифования P ; 2) рациональную скорость подачи; 3) построить график скоростей подачи V_s в зависимости от средней удельной производительности шлифовальной шкурки $A_{ш}$ с учетом 8, 9 и 10-го классов шероховатости.

Решение

Класс шероховатости после шлифования $\nabla\partial 8$ (принимаем по среднему интервалу допуска 6,3–12,5, табл. 1 приложения):

$$\begin{aligned} Rm_{\max} &= \frac{(12,5 - 6,3)}{2} + 6,3 = 9,4 \text{ мкм} = 9,4 \cdot 10^{-6} \text{ м} = \\ &= 9,4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 \text{ мм} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 0,0094 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Класс шероховатости до шлифования $\nabla\partial 3$ (принимаем по среднему интервалу допуска 200–400, табл. 1 приложения):

$$\begin{aligned} Rm_{\max} &= \frac{(400 - 200)}{2} + 200 = 300 \text{ мкм} = 300 \cdot 10^{-6} \text{ м} = \\ &= 300 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 \text{ мм} = 300 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 0,3 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Определяем припуск на обработку по формуле

$$H = H_{\nabla\partial 3} - H_{\nabla\partial 8} = 0,3 - 0,0094 = 0,2906 \text{ мм} = 0,02906 \text{ см}.$$

По табл. 21 принимаем номер зернистости № 16, 12, $q = 0,5$ и $0,2$ Н/см² соответственно, $a_z = 1,33$ – кремень (материал абразивных зерен), $a_o = 1,2$ – метод насыпки (электростатический), $a_p = 0,7$ – шлифовальная шкурка (тупая), $\gamma = 0,725$ г/см³ – удельный вес древесины (порода дуб).

Средняя удельная производительность шлифовальной шкурки равна:
при $q = 0,5$ Н/см²

$$A_{ш} = a_z \cdot a_o \cdot a_p \frac{14,55 \cdot q}{10^6 \cdot \gamma \sqrt{z}} = 1,33 \cdot 1,2 \cdot 0,7 \frac{14,55 \cdot 0,5}{10^6 \cdot 0,725 \sqrt{16}} = \frac{2,8}{10^6} \text{ см}^3 / \text{см}^2 \cdot \text{см};$$

при $q = 0,2$ Н/см²

$$A_{ш} = a_z \cdot a_o \cdot a_p \frac{14,55 \cdot q}{10^6 \cdot \gamma \sqrt{z}} = 1,33 \cdot 1,2 \cdot 0,7 \frac{14,55 \cdot 0,2}{10^6 \cdot 0,725 \sqrt{12}} = \frac{1,295}{10^6} \text{ см}^3 / \text{см}^2 \cdot \text{см}.$$

Вычисляем коэффициент сцепления с древесиной по формуле (90):
при $q = 0,5$ Н/см²

$$C_d = \frac{24\,500 \cdot A_{ш.д}}{q} + 0,27 = \frac{24\,500 \cdot 2,8}{0,5 \cdot 10^6} + 0,27 = 0,4072;$$

при $q = 0,2$ Н/см²

$$C_d = \frac{24\,500 \cdot A_{ш.д}}{q} + 0,27 = \frac{24\,500 \cdot 1,295}{0,2 \cdot 10^6} + 0,27 = 0,4286.$$

Вычисляем площадь контакта:

$$S = b \cdot l_k = 220 \cdot 10^{-1} \cdot 75 \cdot 10^{-1} = 165 \text{ см}^2.$$

Определим касательную составляющую силы резания при $q = 0,5$ Н/см²:

$$F_{x\,q=0,5} = C_d \cdot q \cdot S = 0,4072 \cdot 0,5 \cdot 165 = 33,594 \text{ Н}.$$

Касательная составляющая силы резания при $q = 0,2$ Н/см²:

$$F_{x\,q=0,2} = C_d \cdot q \cdot S = 0,4286 \cdot 0,2 \cdot 165 = 14,1438 \text{ Н}.$$

Мощность шлифования:

при $q = 0,5$ Н/см²

$$P_{q=0,5} = q \cdot S (C + f) \frac{V_e}{1000} = 0,5 \cdot 165 (0,4072 + 0,36) \cdot \frac{14}{1000} = 0,8861 \text{ кВт};$$

при $q = 0,2$ Н/см²

$$P_{q=0,2} = q \cdot S (C + f) \frac{V_e}{1000} = 0,2 \cdot 165 (0,4286 + 0,36) \cdot \frac{14}{1000} = 0,3640 \text{ кВт}.$$

Удельная производительность процесса:

при $q = 0,5$ Н/см²

$$A_n = A_{ш} \cdot V_e = \frac{2,8}{10^6} \cdot 1400 = 0,00392 \text{ см}^3 / \text{см}^2 \cdot \text{с},$$

где $V_e = 14 \text{ м/с} = 1400 \text{ см/с}$ – скорость резания;
при $q = 0,2 \text{ Н/см}^2$

$$A_n = A_{\text{ш}} \cdot V_e = \frac{1,295}{10^6} \cdot 1400 = 0,001813 \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{с}.$$

Определяем скорость подачи:
при $q = 0,5 \text{ Н/см}^2$

$$V_s = \frac{l_k}{\frac{H}{A_n}} = \frac{7,5}{\frac{0,02906}{0,00392}} = 1,012 \text{ см/с} = 0,6072 \text{ м/мин};$$

при $q = 0,2 \text{ Н/см}^2$

$$V_s = \frac{l_k}{\frac{H}{A_n}} = \frac{7,5}{\frac{0,02906}{0,001813}} = 0,47 \text{ см/с} = 0,2807 \text{ м/мин}.$$

Класс шероховатости после шлифования $\nabla\partial 9$ (принимаем по среднему интервалу допуска 6,3–3,2, табл. 1 приложения):

$$\begin{aligned} Rm_{\text{max}} &= \frac{(6,3 - 3,2)}{2} + 3,2 = 4,75 \text{ мкм} = 4,75 \cdot 10^{-6} \text{ м} = \\ &= 4,75 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 \text{ мм} = 4,75 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 0,00475 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Класс шероховатости после шлифования $\nabla\partial 10$ (принимаем по среднему интервалу допуска 3,2–1,6, табл. 1 приложения):

$$\begin{aligned} Rm_{\text{max}} &= \frac{(3,2 - 1,6)}{2} + 1,6 = 2,4 \text{ мкм} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ м} = \\ &= 2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 \text{ мм} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 0,0024 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Определяем припуск на обработку:

$$H = H_{\nabla\partial 3} - H_{\nabla\partial 9} = 0,3 - 0,00475 = 0,29525 \text{ мм} = 0,029525 \text{ см};$$

$$H = H_{\nabla\partial 3} - H_{\nabla\partial 10} = 0,3 - 0,0024 = 0,2976 \text{ мм} = 0,02976 \text{ см}.$$

Принимаем шлифовальную шкурку № 10 для получения $\nabla\partial 9$ класса шероховатости; шлифовальную шкурку № 6 для получения $\nabla\partial 10$ класса шероховатости, $q = 0,2 \text{ Н/см}^2$, $a_z = 1,33$ – кремень (материал абразивных зерен), $a_o = 1,2$ – метод насыпки (электростатический), $a_p = 0,7$ – шлифовальная шкурка (тупая), $\gamma = 0,725 \text{ г/см}^3$ – удельный вес древесины (порода дуб).

Тогда средняя удельная производительность шлифовальной шкурки:
для $\nabla\partial 9$ класса шероховатости

$$A_{\text{ш}} = a_z \cdot a_o \cdot a_p \frac{14,55 \cdot q}{10^6 \cdot \gamma \sqrt{z}} = 1,33 \cdot 1,2 \cdot 0,7 \frac{14,55 \cdot 0,2}{10^6 \cdot 0,725 \sqrt{10}} = \frac{1,418}{10^6} \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{см};$$

для $\nabla\partial 10$ класса шероховатости

$$A_{ш} = a_z \cdot a_o \cdot a_p \frac{14,55 \cdot q}{10^6 \cdot \gamma \sqrt{z}} = \\ = 1,33 \cdot 1,2 \cdot 0,7 \frac{14,55 \cdot 0,2}{10^6 \cdot 0,725 \sqrt{6}} = \frac{1,83}{10^6} \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{с}.$$

Удельная производительность процесса:

для получения $\nabla\partial 9$ класса шероховатости

$$A_n = A_{ш} \cdot V_e = \frac{1,418}{10^6} \cdot 1400 = 0,0019852 \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{с};$$

для получения $\nabla\partial 10$ класса шероховатости

$$A_n = A_{ш} \cdot V_e = \frac{1,83}{10^6} \cdot 1400 = 0,002562 \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{с}.$$

Определяем скорость подачи:

получение $\nabla\partial 9$ класса шероховатости

$$V_s = \frac{l_k}{H} = \frac{7,5}{\frac{0,029525}{A_n}} = 0,5 \text{ см/с} = 0,303 \text{ м/мин};$$

получение $\nabla\partial 10$ класса шероховатости

$$V_s = \frac{l_k}{H} = \frac{7,5}{\frac{0,02976}{A_n}} = 0,64 \text{ см/с} = 0,387 \text{ м/мин}.$$

Расчетные данные для построения графика скоростей:

получение $\nabla\partial 8$ класса шероховатости

$$H = 0,29060 \text{ мм};$$

$$V_s = 0,281 \text{ м/мин}, A_{ш} = \frac{1,295}{10^6} \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{с};$$

получение $\nabla\partial 9$ класса шероховатости

$$H = 0,29525 \text{ мм};$$

$$V_s = 0,303 \text{ м/мин}, A_{ш} = \frac{1,418}{10^6} \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{с};$$

получение $\nabla\partial 10$ класса шероховатости

$$H = 0,29760 \text{ мм};$$

$$V_s = 0,387 \text{ м/мин}, A_{ш} = \frac{1,831}{10^6} \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{с}.$$

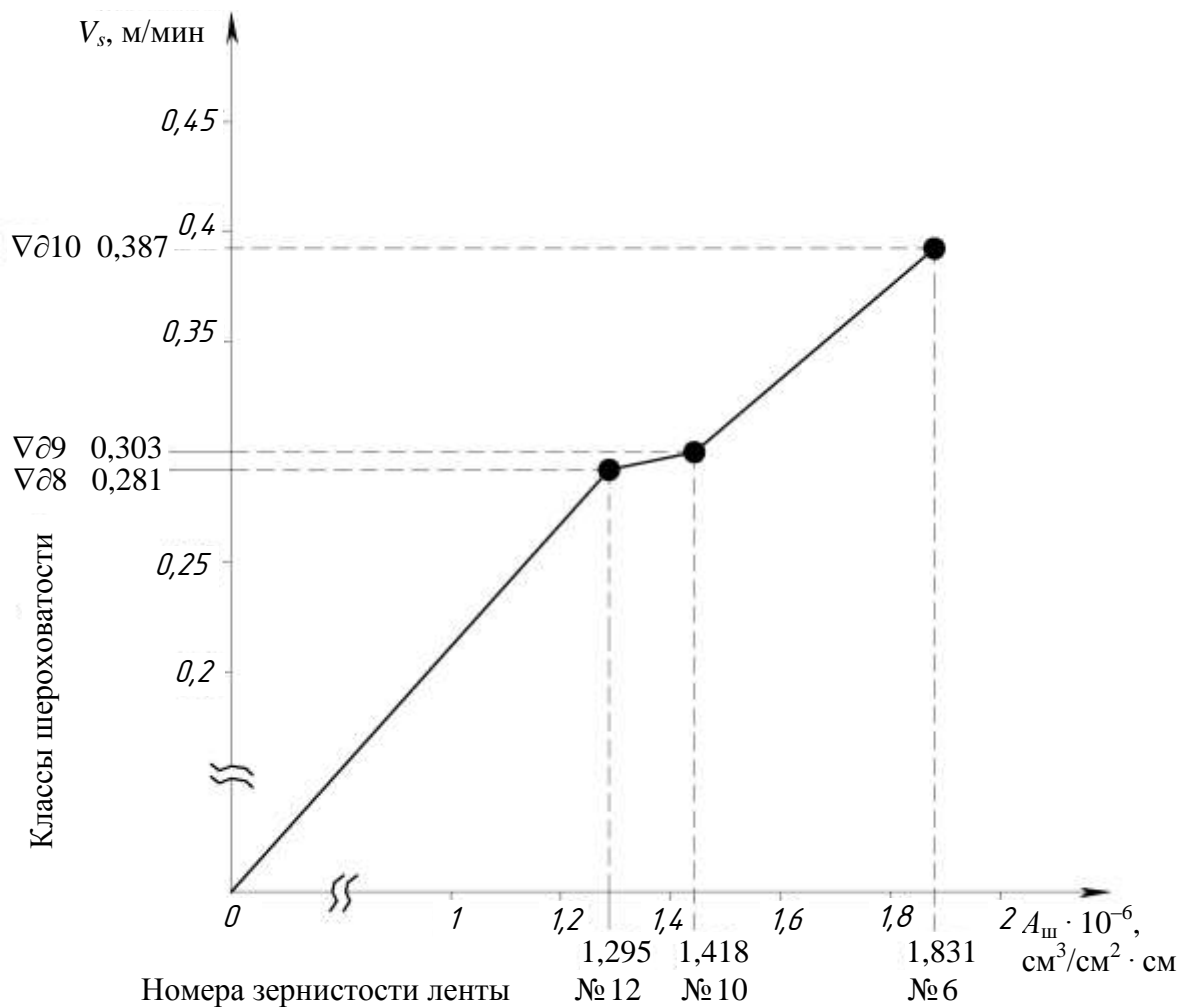


Рис. 37. График зависимости скорости подачи от удельной производительности шлифовальной шкурки

Номер контрольной задачи по табл. 26 приложения соответствует номеру студента в списке журнала группы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение следующим дереворежущим инструментам: фреза, пила рамная, ленточная, дисковая, сверло, шлифовальная шкурка.
2. Основные расчетные формулы процессов фрезерования, пиления, сверления, шлифования для определения кинематических и динамических характеристик процесса.
3. График скоростей подачи: его назначение и последовательность его построения.
4. Изобразите фигуры форм колебаний круглых пил.
5. Какие колебания пил называются собственными?
6. Какие волны колебаний называют вперед бегущими, стоячими, назад бегущими?
7. Какая частота вращения диска называется критической?

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Классы шероховатости поверхности при резании древесины (принимая условно для удобства решения задач)

Rm_{max} , мкм	Классы	Rm_{max} , мкм	Классы
800–1600	∇∂1	12,5–25	∇∂7
400–800	∇∂2	6,3–12,5	∇∂8
200–400	∇∂3	3,2–6,3	∇∂9
100–200	∇∂4	1,6–3,2	∇∂10
50–100	∇∂5	0,8–1,6	∇∂11
25–50	∇∂6	≤0,8	∇∂12

2. Предельные значения параметров шероховатости (рекомендуемые) (ГОСТ 7016-82)

Материал, изделие и способ обработки	Значения параметров				
	Параметр Rm_{max} , мкм	Параметры профиля			
		Rm , мкм	Rz , мкм	Ra , мкм	S_z , мм
Пиломатериалы хвойных пород после рамного распила	500–1600	–	–	–	–
Пиломатериалы лиственных пород после рамного распила	320–1000	–	–	–	–
Пиломатериалы после пиления дисковыми пилами	40–800	–	–	–	–
Древесина массивная, продольное фрезерование	–	16–250	16–250	–	2,5–12,5
Древесина и шпон шлифованные	–	250,0–12,5	10–160	2,5–16,0	–
ДСтП шлифованные	–	12,5–500,0	10–400	2,5–12,5	–
ДСтП нешлифованные	–	12,5–630,0	10–400	2,5–16,0	0,1–2,5
ДВП шлифованные	–	8,0–32,0	6,3–16,0	0,5–1,6	–
ДВП нешлифованные	–	10–40	8–20	0,6–3,2	0,125–3,200

3. Классы шероховатости в зависимости от волнообразования поверхности при фрезеровании (по данным профессора Б. М. Буглая)

Диаметр фрезы D , мм	Класс шероховатости по длине волны, l_b , мм							
	∇∂10	∇∂9	∇∂8	∇∂7	∇∂6	∇∂5	∇∂4	∇∂3
100	1,1	1,5	2,3	3,5	5,0	5,5	9,0	11,0
120	1,2	1,6	2,5	4,0	5,5	7,0	10,0	12,0
140	1,3	1,8	2,7	4,2	6,0	7,5	10,5	13,0
160	1,4	2,0	2,9	4,5	6,5	8,0	11,0	14,0
180	1,4	2,1	3,0	4,8	7,0	8,5	12,0	15,0

Примечание. Допустимая подача на нож определяется как $S_z = l_b$.

**4. Классы шероховатости поверхности
в зависимости от радиуса округления режущей кромки лезвия
(по данным Н. А. Кряжева и др.)**

Радиус округления режущей кромки ρ , мкм	Продольное фрезерование		Поперечное фрезерование	
	Хвойные породы	Лиственные породы	Хвойные породы	Лиственные породы
$\rho < 10$	$\nabla\partial 7$	$\nabla\partial 8$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$
$\rho < 20$	$\nabla\partial 6$	$\nabla\partial 7$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$
$\rho < 30$	$\nabla\partial 5$	$\nabla\partial 6$	$\nabla\partial 2$	$\nabla\partial 3$
$\rho < 35$	$\nabla\partial 4$	$\nabla\partial 5$	$\nabla\partial 2$	$\nabla\partial 3$
$\rho < 40$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 4$	–	–

**5. Классы шероховатости обработанной поверхности
при пилении рамными пилами**

Классы шероховатости	$S_{z\lambda}$, мм	$S_{z\Delta}$, мм
$\nabla\partial 1$	0,8–1,4	1,2–2,2
$\nabla\partial 2$	0,6–0,8	0,9–1,2
$\nabla\partial 3$	0,25–0,40	0,4–0,6

Примечание. Большие значения подачи на зуб S_z применять для твердых лиственных пород.

**6. Классы шероховатости обработанной поверхности
при пилении ленточными пилами**

Классы шероховатости	$S_{z\lambda}$, мм	$S_{z\Delta}$, мм
$\nabla\partial 1$	1,4–1,8	2,0–2,5
$\nabla\partial 2$	1,0–1,2	1,5–2,0
$\nabla\partial 3$	0,65–0,68	1,0–1,2
$\nabla\partial 4$ – $\nabla\partial 5$	0,40–0,25	0,6–0,4
$\nabla\partial 6$ – $\nabla\partial 7$	0,15–0,20	0,10–0,15

Примечание. Большие значения подачи на зуб S_z применять для твердых лиственных пород.

**7. Классы шероховатости обработанной поверхности при продольной распиловке
дисковыми пилами в зависимости от S_z (мм) и $\theta_{\text{вых}}$ (град)**

Подача на зуб S_z , мм	Угол $\theta_{\text{вых}}$, град					
	20	30	40	50	60	70
$1,8 \geq S_z \geq 1,2$	$\nabla\partial 1$	$\nabla\partial 1$	$\nabla\partial 1$	$\nabla\partial 1$	$\nabla\partial 1$	$\nabla\partial 1$
$1,5 \geq S_z \geq 1,0$	$\nabla\partial 2$	$\nabla\partial 2$	$\nabla\partial 2$	$\nabla\partial 2$	$\nabla\partial 1$	$\nabla\partial 1$
$1,2 \geq S_z \geq 0,8$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 2$	$\nabla\partial 2$
$0,75 \geq S_z \geq 0,5$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$
$0,45 \geq S_z \geq 0,3$	$\nabla\partial 4$	$\nabla\partial 4$	$\nabla\partial 4$	$\nabla\partial 4$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$
$0,3 \geq S_z \geq 0,2$	$\nabla\partial 4$	$\nabla\partial 4$	$\nabla\partial 4$	$\nabla\partial 4$	$\nabla\partial 3$	$\nabla\partial 3$
$0,15 \geq S_z \geq 0,1$	$\nabla\partial 5$	$\nabla\partial 5$	$\nabla\partial 5$	$\nabla\partial 5$	$\nabla\partial 5$	$\nabla\partial 4$
$0,1 \geq S_z \geq 0,08$	$\nabla\partial 6$	$\nabla\partial 6$	$\nabla\partial 6$	$\nabla\partial 6$	$\nabla\partial 5$	$\nabla\partial 5$

8а. Коэффициенты α_λ и α_Δ , Н/мм²

Коэффициент	Рамные пилы при $h < H - 50$ мм	Ленточные пилы	Дисковые пилы	При открытом резании
α_λ	0,25	0,25	0,72–0,75	0
α_Δ	0,20	0,20	0,58–0,60	0

8б. Коэффициент α_Δ (рамное пиление), Н/мм²

H , мм	α_Δ при высоте пропила h_{\max} , мм								Примечание
	$h_{\max} < H - 50$	500	550	600	650	700	800	900	
500	0,2	0,28	0,35	0,4	–	–	–	–	$\alpha_\lambda = 1,25\alpha_\Delta$
600	0,2	0,2	0,2	0,25	0,32	0,45	0,5	0,63	
700	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,3	0,5	

Примечание. H – ход пильной рамки.

9. Формулы для определения посылки по производительности рамной пилы (по вместимости впадины зуба) Δ_0

Группа качества	$h_{\max} < H - 50$	$h_{\max} \geq H - 50$
I	$\Delta_0 = \frac{H \cdot t}{2h_{\max}}$	$\Delta_0 = \frac{H \cdot t}{3,6h_{\max}}$
II	$\Delta_0 = \frac{H \cdot t}{1,8h_{\max}}$	–

10. Значения $h_{\text{ср}}$ и h_{max} в зависимости от вида распиловки и вершинного диаметра d_B

Вид распиловки	$h_{\text{ср}}$, мм	h_{max} , мм
Развал бревна	$0,8(d_B + 1/2L_{\text{бр}} \cdot c_6)$	$(d_B + L_{\text{бр}} \cdot c_6)$
Развал бруса	h	h
Брусковка на два бруса при толщине бруса $h \geq 0,75d_B$	$0,8(d_B + 1/2L_{\text{бр}} \cdot c_6)$	$0,8(d_B + L_{\text{бр}} \cdot c_6)$
Брусковка на один брус при толщине бруса $h < 0,5d_B$ $h > 0,5d_B$ $h = 0,7d_B$	$0,8(d_B + 1/2L_{\text{бр}} \cdot c_6)$ $0,65(d_B + 1/2L_{\text{бр}} \cdot c_6)$ $0,55(d_B + 1/2L_{\text{бр}} \cdot c_6)$	$\sqrt{(d_B + L_{\text{бр}} \cdot c_6)^2 - h^2}$

Примечание. Сбег бревна c_6 принять ≈ 10 мм на 1 пог. м.

11. Зависимость шага зуба рамной пилы t , толщины полотна пилы s от диаметра бревна в его вершине d_B , толщины бруса h , а также вида распиловки

t_λ , мм	$t_\Delta = 1,5 t_\lambda$, мм	s , мм	Развал бревна и выпиловка двух брусьев, d_B , см	Выпиловка одного бруса, d_B , см	Развал бруса толщиной h , см
18	22	0,8; 2,2	≤ 14	≤ 16	≤ 14
18	26	2,0; 2,2	≤ 20	≤ 30	≤ 22
22	32	2,0; 2,5	≤ 32	≤ 42	≤ 36
26	40	2,0; 2,5	≥ 34	≥ 44	≥ 38

12. Уширение пропила s' (на одну сторону)

Вид пил	Распиловка хвойных пород древесины			Распиловка твердых пород древесины	
	влажностью до 25% в любое время года	влажностью свыше 25% зимой	влажностью свыше 25% летом	влажностью до 25%	влажностью свыше 25%
Рамные	0,6–0,7	0,6–0,7	0,7–0,8	0,45–0,50	0,55–0,60
Ленточные: – столярные; – делительные	0,25–0,30 0,4–0,5	– 0,4–0,5	– 0,5–0,6	0,20–0,25 0,40–0,45	– 0,45–0,55
Дисковые: – для обрезных станков; – для ребровых станков – для реечных станков; – для универсальных станков	0,55–0,65 0,6–0,7 0,5–0,6 0,5–0,6	0,55–0,65 0,6–0,7 0,5–0,6 0,5–0,6	0,65–0,75 0,7–0,8 0,6–0,7 0,6–0,7	0,40–0,45 0,45–0,5 0,4–0,45 0,4–0,45	0,55–0,60 0,55–0,60 0,50–0,55 0,50–0,55
Конические*	0,4–0,5	0,4–0,5	0,5–0,6	–	–

* У конических пил величина развода с конической стороны должна быть на 0,1 мм больше, чем с плоской.

13. Параметры ленточных пил по ГОСТ 6532-77 (столярные и делительные), ГОСТ 10670-77 (для бревен и брусьев)

Тип пил	Ширина полотна B , мм	Толщина полотна s , мм	Шаг зубьев t , мм	Высота зуба h , мм	Передний угол γ , град	Угол заточки β , град
Столярные	10; 15	0,6	6	2,0–3,0	5	50
	20	0,7	8	4,2–4,4	5	50
	30; 40	0,8	10	4,8–5,0	5	50
	50; 60	0,9	12	6,3–6,5	5	50
Делительные	85; 100	1,0	30	10	20	50
	125	1,0; 1,2	50	13	30	45
	150; 175	1,2; 1,4	30; 50	10; 13	20; 30	45; 50
Бревнопильные	230	1,4; 1,6	50; 60	16,7; 20,0	25	53

Примечание. Толщина полотна пилы $s \leq (0,0007–0,0010) \cdot D$.

14. Примерные данные о диаметрах шкивов D , максимальной высоте пропила h и расстоянии между центрами шкивов $l_{ц}$

Виды пил	D , мм	h , мм	$l_{ц}$, мм
Столярные	400–1000	100–500	1400
Делительные	1250–1900	400–900	1800–2000
Пилы для бревен и брусьев	1525–2400	300–1500	2730–3450

15. Формулы для определения посылки по производительности ленточной пилы (по вместимости впадины зуба) Δ_0

Значения углов δ и α	Подача на зуб S_{zO}
$\delta = 60^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$	$S_{zO} = \frac{t^2}{6h_{\max}}$
$\delta = 60^\circ$ и $\alpha = 20^\circ$	$S_{zO} = \frac{t^2}{5h_{\max}}$

16. Угловые параметры зубьев круглых пил (продольной распиловки) (по ГОСТ 980-80)

Пилы исполнения	Распиловка хвойных пород			Распиловка твердых лиственных пород		
	γ , град	α , град	δ , град	γ , град	α , град	δ , град
Исполнение № 1	35	15	55	25	15	65
Исполнение № 2	20	30	70	10	30	80

Примечание. Пилы исполнения № 1 – с ломаной задней гранью, исполнения № 2 – с прямой задней гранью. Материал пил – сталь марки 9ХФ по ГОСТ 5950-73. Окружной шаг зубьев определяется диаметром пилы D и числом зубьев z :

$$t_3 = D \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{z}\right) \approx \frac{\pi \cdot D}{z}.$$

17. Размеры круглых плоских пил для продольной распиловки древесины (исполнение 1 по ГОСТ 980-80)

D , мм	d , мм	S , мм	Число зубьев z	D , мм	d , мм	S , мм	Число зубьев z
250	32	1,4–1,8	48; 60	630	50	2,5–3,0	48; 60
315	50	2,0–2,2	48; 60	710	50	2,8–3,2	48; 60
360	50	2,0–2,5	48; 60	800	50	3,2–3,6	48; 60
400	50	2,0–2,5	48; 60	900	50	3,2–4,0	48; 72
450	50	2,5–2,8	48; 60	1000	50	3,6–4,0	48; 72
500	50	2,5–2,8	48; 60	1250	50	4,5–5,0	48; 72
560	80	2,5–2,8	48; 60	1500	50	5,0–5,5	72

18. Диаметр зажимных фланцев (выбирают по диаметру пилы)

Диаметр пилы, мм	160–360	400–500	560–800	900–1000	1250	1500
Диаметр фланцев, мм	100	125	160	200	240	300

19. Максимально допустимые частоты вращения дисковых пил (ГОСТ 980-80) с плоским диском

Диаметр пилы, мм	Толщина пилы, мм	Максимально допустимая частота вращения, мин^{-1} , при перепаде температуры ΔT , °C							A , °C/кВт
		0	5	10	15	20	30	50	
160	(2,0)	14 000	–	–	–	–	–	12 000	–
200	(2,0)	12 000	–	–	–	–	–	10 000	–
250	1,2	8 050	7 850	7 650	7 400	7 200	6 700	5 600	9,5

Диаметр пилы, мм	Толщина пилы, мм	Максимально допустимая частота вращения, мин ⁻¹ , при перепаде температуры ΔT , °С							A, °С/кВт
		0	5	10	15	20	30	50	
250	1,4	9 400	9 250	9 050	8 850	8 650	8 250	7 400	8,8
	1,6	10 750	10 600	10 450	10 250	10 100	9 750	9 050	8,2
	(1,8)	10 000	–	–	–	–	–	8 000	–
	(2,4)	12 000	–	–	–	–	–	10 000	–
315	1,6	5 950	5 700	5 500	5 300	5 050	4 450	3 350	6,7
	1,8	6 650	6 500	6 300	6 100	5 900	5 500	4 550	6,3
	2,0	7 400	7 250	7 100	6 900	6 750	6 350	5 550	6,0
	2,2	8 150	8 000	7 850	7 700	7 550	7 200	6 500	5,7
320	(2,0)	6 300	–	–	–	–	–	4 200	–
	(2,2)	7 000	–	–	–	–	–	5 100	–
	(2,4)	7 600	–	–	–	–	–	5 950	–
	(2,8)	8 850	–	–	–	–	–	7 550	–
360	1,8	4 900	4 720	4 500	4 300	4 100	3 600	2 300	5,6
	2,0	5 450	5 300	5 100	4 900	4 700	4 300	3 300	5,3
	2,2	6 000	5 850	5 700	5 500	5 350	5 000	4 150	5,1
	2,5	6 800	6 700	6 600	6 400	6 250	5 950	5 250	4,7
	(2,2)	5 400	–	–	–	–	–	3 450	–
	(2,4)	5 850	–	–	–	–	–	4 150	–
	(2,6)	6 400	–	–	–	–	–	4 850	–
400	(3,2)	7 850	–	–	–	–	–	6 700	–
	1,8	4 100	3 950	3 750	3 550	3 300	2 850	1 400	5,1
	2,0	4 550	4 400	4 250	4 050	3 850	3 450	2 400	4,8
	2,2	5 050	4 900	4 750	4 550	4 400	4 050	3 200	4,6
	2,5	5 700	5 600	5 450	5 300	5 150	4 850	4 200	4,3
	(2,4)	4 750	–	–	–	–	–	2 900	–
	(2,6)	5 150	–	–	–	–	–	3 550	–
450	(2,8)	5 500	–	–	–	–	–	4 100	–
	(3,2)	6 400	–	–	–	–	–	5 100	–
	2,0	3 500	3 300	3 150	2 950	2 700	2 250	1 450	4,3
	2,2	3 850	3 700	3 500	3 350	3 150	2 750	1 650	4,1
	2,5	4 350	4 250	4 100	3 950	3 800	3 450	2 650	3,9
	2,8	4 900	4 750	4 650	4 500	4 350	4 100	3 450	3,7
	(3,0)	4 600	–	–	–	–	–	3 250	–
500	2,2	3 050	2 900	2 700	2 250	2 350	1 900	–	3,8
	2,5	3 450	3 300	3 200	3 000	2 850	2 500	1 600	3,5
	2,8	3 850	3 750	3 600	3 500	3 350	3 050	2 400	3,3

Примечание. В скобках указана толщина пил с пластинками твердого сплава.

Прочерки в таблице означают, что пила данных размеров при указанном перепаде температуры неработоспособна.

ΔT – разность температур (температурный перепад) между периферийной зоной и центральной частью диска. Ориентировочно его можно найти по формуле $\Delta T = \frac{A \cdot P \cdot \eta}{i}$,

где A – коэффициент, зависящий от размеров пилы и скорости главного движения резания (численное значение этого коэффициента для стальных плоских пил при скорости резания 50 м/с приведено в таблице); P – мощность электродвигателя привода пильного вала, кВт; η – КПД привода (в расчетах значений A принято $\eta = 0,9$); i – количество пил на валу.

20. Фрезерование древесины

Номер варианта	Материал	V_s , м/мин	n , мин ⁻¹	D , мм	z , шт.	δ , град	h , мм	b , мм
1	Сосна	20	6 000	120	4	60	2	70
2	Береза	15	7 000	100	3	60	3	80
3	Сосна	22	8 000	120	2	60	2	60
4	Дуб	10	8 000	120	4	55	1	50
5	Береза	14	9 000	140	4	60	3	100
6	Сосна	17	8 000	120	3	65	4	90
7	Сосна	21	9 000	100	2	60	3	60
8	Береза	19	7 000	120	3	65	2	50
9	Дуб	16	8 000	120	4	55	2	40
10	Береза	11	7 000	140	4	60	3	60
11	Сосна	13	6 000	120	4	60	4	80
12	Береза	23	6 000	140	3	65	3	70
13	Дуб	12	7 000	120	2	60	2	60
14	Сосна	28	9 000	100	2	55	3	50
15	Сосна	27	8 000	100	3	60	2	40
16	Дуб	6	8 000	120	4	60	2	60
17	Береза	14	9 000	140	3	65	3	90
18	Береза	18	6 000	160	4	55	2	80
19	Дуб	10	8 000	120	3	60	2	60
20	Сосна	25	9 000	120	2	60	3	80
21	Береза	21	10 000	100	3	65	2	90
22	Дуб	14	9 000	110	4	65	2	150
23	Сосна	40	11 000	120	4	55	2	100
24	Береза	24	9 000	110	3	60	2	80
25	Дуб	18	8 000	130	3	65	2	90
25	Сосна	32	7 000	140	4	55	2	120
26	Дуб	23	9 000	120	3	65	1	110
27	Сосна	36	8 000	125	4	55	2	75
28	Береза	21	10 000	100	3	60	2	100
29	Береза	17	8 000	130	2	55	3	140
30	Сосна	24	9 000	120	3	60	2	110

Примечание. КПД привода – $\eta_{пр} = 0,95$; $\rho_0 = 3$ мкм, время работы инструмента $T = 20$ мин. **Недостающие данные к расчетам принять самостоятельно.**

Определить: 1) силы F_x, F_R, F_S, F_Q ; 2) мощность привода на резание P ; 3) построить график скоростей подачи для **найденной** мощности привода при ($h \pm 0,5$) мм и ($b \pm 10$) мм с учетом 5, 6, 7, 8, 9-го классов шероховатости ($V_{sRm_{max}}$), мощности привода (V_{sP}); 4) составить расчетные схемы с указанием линейных и угловых размеров и действующих сил.

21. Пиление древесины рамными пилами

Номер варианта	Материал	d_b , мм	Получаемая продукция	V_s , м/мин	W , %	H_p , мм	n , мин ⁻¹	δ , град	T , мин
1	Сосна	300	$t_{доски} = 40$ мм в развал	10	40	600	300	85	20
2	Береза	400	2 бруса $t = 150$ мм + + 2 доски $t = 22$ мм	12	20	700	360	80	30

Номер варианта	Материал	$d_{в}$, мм	Получаемая продукция	V_s , м/мин	W , %	H_p , мм	n , мин ⁻¹	δ , град	T , мин
3	Сосна	350	1 брус $t = 100$ мм + + 4 доски $t = 30$ мм	16	25	600	320	75	20
4	Дуб	250	1 брус $t = 100$ мм + + 2 доски $t = 25$ мм	9	40	600	300	85	40
5	Береза	300	$t_{доски} = 32$ мм в развал	11	60	700	360	70	60
6	Сосна	400	2 бруса $t = 150$ мм + + 2 доски $t = 22$ мм	14	50	600	360	80	30
7	Сосна	350	1 брус $t = 100$ мм + + 4 доски $t = 30$ мм	13	30	700	320	75	40
8	Береза	250	1 брус $t = 100$ мм + + 2 доски $t = 30$ мм	8	25	600	300	80	40
9	Дуб	300	2 бруса $t = 100$ мм + + 2 доски $t = 25$ мм	16	40	700	360	85	20
10	Береза	350	1 брус $t = 100$ мм + + 4 доски $t = 30$ мм	12	60	600	300	75	25
11	Сосна	350	2 бруса $t = 100$ мм + + 4 доски $t = 30$ мм	14	30	600	320	80	10
12	Береза	300	1 брус $t = 100$ мм + + 2 доски $t = 50$ мм + + 2 доски $t = 30$ мм	9	70	600	300	85	35
13	Дуб	200	$t_{доски} = 30$ мм в развал	8	55	600	300	70	50
14	Сосна	400	2 бруса $t = 150$ мм + + 2 доски $t = 30$ мм	12	60	700	360	75	45
15	Сосна	350	$t_{доски} = 45$ мм в развал	16	45	700	320	80	30
16	Дуб	300	2 бруса $t = 100$ мм + + 2 доски $t = 20$ мм	9	30	600	300	85	30
17	Береза	350	$t_{доски} = 50$ мм в развал	10	50	700	360	80	20
18	Береза	200	1 брус $t = 150$ мм	8	45	600	300	75	10
19	Дуб	350	2 бруса $t = 100$ мм + + 2 доски $t = 30$ мм	7	60	700	360	85	30
20	Сосна	380	$t_{доски} = 35$ мм в развал	15	50	700	360	75	20
21	Береза	249	1 брус $t = 100$ мм + + 2 доски $t = 22$ мм	9	40	600	300	75	30
22	Сосна	350	2 бруса $t = 100$ мм + + 4 доски $t = 20$ мм	12	45	600	360	70	40
23	Дуб	300	$t_{доски} = 30$ мм в развал	8	45	700	300	80	30
24	Сосна	250	$t_{доски} = 25$ мм в развал	15	55	500	360	65	60
25	Береза	280	1 брус $t = 110$ мм + + 4 доски $t = 22$ мм	12	40	600	320	70	90

Номер варианта	Материал	d_b , мм	Получаемая продукция	V_s , м/мин	W , %	H_p , мм	n , мин ⁻¹	δ , град	T , мин
26	Сосна	310	2 бруса $t = 140$ мм	18	50	700	235	70	30
27	Дуб	290	1 брус $t = 120$ мм + + 2 доски $t = 40$ мм	16	45	600	320	75	50
28	Сосна	240	$t_{\text{доски}} = 35$ мм в развал	20	38	500	360	65	80
29	Береза	260	1 брус $t = 100$ мм + + 2 доски $t = 45$ мм	15	42	600	320	70	70
30	Дуб	320	2 бруса $t = 110$ мм + + 4 доски $t = 25$ мм	10	55	700	310	75	40

Примечание. КПД привода – $\eta_{пр} = 0,75$; $\rho_0 = 4$ мкм; длину бревна принять $L_{бр} = 5$ м; сбеж бревна s_b принять равным 10 мм на 1 пог. м; форму уширения пропила (плющенный или разведенный зуб) принять самостоятельно; шаг зуба пилы t , толщину полотна пилы s в зависимости от диаметра бревна в его вершине d_b , толщины бруса h , а также вида распиловки принять из табл. 11 приложения; класс шероховатости $Rm_{\max} - \nabla \delta 1$.

Недостающие данные к расчетам принять самостоятельно.

Определить: 1) силы $F_x, F_{кр}, F_R, F_S, F_Q$; 2) мощность привода на резание P ; 3) построить график скоростей подачи для **найденной** мощности привода при $l_k = (h \pm 15)$ мм с учетом 1, 2, 3, 4-го классов шероховатости ($V_{sRm_{\max}}$), производительности инструмента (V_{sO}), мощности привода (V_{sP}), критической силы ($V_{sF_{кр}}$); 4) **составить расчетные схемы с указанием линейных и угловых размеров пилы и действующих сил**; 5) определить рациональную скорость подачи и сделать **выводы**.

22. Пиление древесины ленточными пилами

Номер варианта	Материал	h , мм	$D_{ш}$, мм	n , мин ⁻¹	δ , град	W , %	β , град	t , мм	ρ_0 , мкм	T , мин	V_s , м/мин	σ , Н/мм ²	Зуб
1	Сосна	60	800	1000	80	40	40	30	3	20	15	50	Δ
2	Береза	20	400	1430	85	20	50	12	2	30	10	30	λ
3	Сосна	50	800	970	80	25	40	35	5	20	12	35	λ
4	Дуб	40	800	720	85	40	50	40	3	40	15	40	λ
5	Береза	120	1000	720	85	60	50	45	4	60	25	70	Δ
6	Сосна	20	400	1430	80	50	40	12	2	30	8	30	λ
7	Сосна	48	800	970	80	30	40	45	3	40	14	40	Δ
8	Береза	45	800	720	80	25	50	30	4	40	15	45	λ
9	Дуб	150	1200	720	85	40	50	50	3	20	20	60	Δ
10	Береза	30	800	950	85	60	50	12	5	25	10	45	λ
11	Сосна	25	400	1430	80	30	40	10	3	10	5	35	λ
12	Береза	50	800	970	85	70	50	40	2	35	18	50	λ
13	Дуб	160	1000	900	85	55	50	30	5	50	30	70	Δ
14	Сосна	75	800	720	80	60	40	30	3	45	17	55	Δ
15	Сосна	200	1200	800	80	45	40	50	3	30	28	60	Δ
16	Дуб	35	800	970	85	30	50	40	4	30	35	65	λ
17	Береза	20	400	1430	85	50	50	12	5	20	13	30	λ
18	Береза	60	1000	900	85	45	50	30	2	10	35	45	Δ

Номер варианта	Материал	h , мм	$D_{ш}$, мм	n , мин ⁻¹	δ , град	W , %	β , град	t , мм	ρ_0 , мкм	T , мин	V_s , м/мин	σ , Н/мм ²	Зуб
19	Дуб	40	800	970	80	60	50	40	3	30	16	40	λ
20	Сосна	55	800	950	85	50	40	35	4	20	27	50	Δ
21	Береза	45	800	900	80	55	40	30	5	30	19	45	Δ
22	Сосна	25	400	1200	75	40	45	15	4	40	14	30	λ
23	Сосна	65	800	900	75	60	50	20	5	30	25	40	Δ
24	Береза	70	600	850	80	40	45	40	4	35	20	50	λ
25	Дуб	100	900	950	85	45	50	35	5	20	30	55	Δ
26	Береза	30	400	1300	80	55	45	30	3	30	15	35	Δ
27	Сосна	55	600	700	80	40	40	20	4	40	20	45	λ
28	Дуб	75	800	750	85	60	50	30	5	30	25	50	Δ
29	Береза	450	1250	600	70	55	45	50	3	60	20	55	Δ
30	Береза	500	1500	570	65	60	53	60	4	45	35	90	Δ

Примечание. КПД привода – $\eta_{пр} = 0,85$; коэффициент использования станка – $0,7$; рассчитать толщину полотна пилы s ; расстояние между центрами шкивов $l_{ц}$ принять по рекомендациям из табл. 14 приложения; класс шероховатости $Rm_{max} - \nabla \partial 1$.

Недостающие данные к расчетам принять самостоятельно.

Определить: 1) силы $F_x, F_{кр}, F_R, F_S, F_Q$; 2) мощность привода на резание P ; 3) построить график скоростей подачи для **найденной** мощности привода при $l_k = (h \pm 15)$ мм с учетом 1, 2, 3, 4, 5-го классов шероховатости ($V_{sRm_{max}}$), производительности инструмента (V_{sO}), мощности привода (V_{sP}), критической силы ($V_{sF_{кр}}$); 4) **составить расчетные схемы с указанием линейных и угловых размеров и действующих сил**; 5) определить рациональную скорость подачи и сделать **выводы**.

23. Продольное пиление древесины дисковыми пилами

Номер варианта	Материал	V_s , м/мин	n , мин ⁻¹	D , мм	z , шт.	h , мм	Зуб	s , мм	s' , мм
1	Сосна	10	3000	315	48	30	λ	2,0	Для универсальных станков
2	Береза	20	3200	360	60	30	Δ	2,0	
3	Сосна	15	2800	360	48	35	λ	2,2	
4	Дуб	18	3600	315	60	40	Δ	2,2	
5	Береза	22	2800	400	60	50	Δ	2,1	
6	Сосна	8	2900	450	48	20	λ	2,2	
7	Сосна	12	2900	315	60	15	λ	2,0	
8	Береза	25	3600	400	48	35	Δ	2,5	
9	Дуб	16	3600	360	60	55	Δ	2,3	
10	Береза	18	2900	400	60	40	λ	2,2	
11	Сосна	21	2900	315	48	35	Δ	2,0	
12	Береза	19	3000	360	48	50	λ	2,2	
13	Дуб	17	3600	315	60	60	λ	2,2	
14	Сосна	23	3000	315	48	20	Δ	2,1	
15	Сосна	17	2800	360	60	25	λ	2,2	
16	Дуб	28	2900	400	48	30	Δ	2,5	

Номер варианта	Материал	V_s , м/мин	n , мин ⁻¹	D , мм	z , шт.	h , мм	Зуб	s , мм	s' , мм
17	Береза	24	2900	450	60	35	Δ	2,8	Для универсальных станков
18	Береза	19	3000	400	60	40	λ	2,2	
19	Дуб	23	2800	360	48	30	Δ	2,0	
20	Сосна	15	2900	450	60	35	λ	2,8	
21	Сосна	10	2800	315	48	30	Δ	2,0	
22	Дуб	14	3000	360	60	50	λ	2,2	
23	Береза	19	3200	400	48	60	Δ	2,3	
24	Сосна	26	2600	450	60	45	Δ	2,8	
25	Береза	16	2800	315	48	50	λ	2,0	
26	Дуб	22	2500	400	60	55	Δ	2,1	
27	Сосна	20	2400	450	60	65	Δ	2,4	
28	Береза	18	2800	400	48	40	λ	2,2	
29	Береза	28	2600	315	60	35	λ	2,0	
30	Сосна	30	2400	315	48	30	Δ	2,1	

Примечание. КПД привода – $\eta_{пр} = 0,95$; коэффициент использования станка $a_m = 0,8$; подъем стола над осью вала $a = 70$ мм, влажность материала – 26%, радиус округления режущей кромки $\rho_0 = 3$ мкм, время работы станка $T = 30$ мин, выбрать исполнение пилы и угловые параметры по рекомендациям из табл. 16 приложения; получить класс шероховатости $Rm_{max} - \nabla\delta 5$.

Недостающие данные к расчетам принять самостоятельно.

Определить: 1) силы F_x, F_R, F_S, F_Q ; 2) мощность привода на резание P ; 3) построить график скоростей подачи для **найденной** мощности привода при $(h \pm 10)$ мм с учетом 1, 2, 3, 4, 5-го классов шероховатости ($V_{sRm_{max}}$), производительности инструмента (V_{sO}), мощности привода (V_{sP}); 4) **составить расчетные схемы с указанием линейных и угловых размеров и действующих сил**; 5) определить рациональную скорость подачи и сделать **выводы**.

24. Расчет круглых пил на жесткость и виброустойчивость

Номер варианта	Диаметр пилы D , мм	Толщина пилы S , мм	Диаметр зажимных шайб $d_{ш}$, мм	Число узловых диаметров λ	Частота вращения пилы, мин ⁻¹
1	250	1,2	100	2	6000
2	250	1,4	100	2	5000
3	250	1,6	100	2	6000
4	315	1,6	100	2	5900
5	315	1,8	100	2	5000
6	315	2,0	100	2	6000
7	315	2,2	100	2	6500
8	360	1,8	100	2	4200
9	360	2,0	100	2	4500
10	360	2,2	100	2	5000
11	360	2,5	100	2	5500
12	400	1,8	125	3	4000
13	400	2,0	125	3	4200
14	400	2,2	125	2	4500

Номер варианта	Диаметр пилы D , мм	Толщина пилы S , мм	Диаметр зажимных шайб $d_{ш}$, мм	Число узловых диаметров λ	Частота вращения пилы, мин^{-1}
15	400	2,5	125	2	5000
16	450	2,0	125	3	3000
17	450	2,2	125	3	3200
18	450	2,5	125	2	3500
19	450	2,8	125	2	4000
20	500	2,5	125	3	2000
21	500	2,8	125	2	2500
22	560	2,2	160	2	3000
23	560	2,5	160	3	2400
24	560	2,8	160	2	2500
25	630	2,2	160	2	2000
26	630	2,5	160	3	2350
27	630	2,8	160	2	2200
28	630	3,0	160	2	2000
29	710	2,8	160	2	1900
30	710	3,0	160	2	1850

Определить: 1) статическую собственную частоту пильного диска $\nu_{ст}$ (Гц), собственную динамическую частоту $\nu_{дин}$ (Гц), критическую частоту вращения пилы $n_{кр}$ (Гц); 2) **составить расчетные схемы с указанием линейных и угловых размеров и действующих сил**; 3) построить график зависимости $n_{кр} = f(d_{ш})$ ($d_{ш}$ принять ± 20 мм); 4) по полученным данным расчетов сделать **выводы**.

Примечание: в расчетах принять:

g – ускорение свободного падения (981 см/с^2);

E – модуль упругости, Н/см^2 ; $E = 2,2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2 = 22\,000\,000,0 \text{ Н/см}^2 = 2,2 \cdot 10^7 \text{ Н/см}^2$;

γ – плотность стали, кг/см^3 ; $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3 = 0,0078 \text{ кг/см}^3$;

μ – коэффициент Пуансона, $\mu = 0,3$.

Построить график зависимости $n_{кр} = f(d_{ш})$.

Недостающие данные к расчетам принять самостоятельно.

25. Сверление

Номер варианта	Диаметр сверла D , мм	Частота вращения сверла, мин^{-1}	Обрабатываемый материал	Конструкция сверла	Число лезвий z , шт.	Скорость подачи V_s , м/мин
1	5	1500	Береза	Центровое	2	1,0
2	10	1000	Сосна	Винтовое	3	1,5
3	15	1800	Дуб	Центровое	2	1,9
4	20	2000	Сосна	Винтовое	2	2,5
5	10	2500	Береза	Центровое	1	1,8
6	25	1400	Дуб	Винтовое	2	2,1
7	5	2200	Сосна	Центровое	1	1,6
8	25	1300	Береза	Винтовое	3	2,2
9	10	2400	Сосна	Центровое	2	3,0
10	20	1900	Дуб	Винтовое	1	1,7
11	10	2300	Сосна	Центровое	1	2,6

Номер варианта	Диаметр сверла D , мм	Частота вращения сверла, мин^{-1}	Обрабатываемый материал	Конструкция сверла	Число лезвий z , шт.	Скорость подачи V_s , м/мин
12	5	2800	Береза	Винтовое	3	2,4
13	5	2700	Дуб	Центровое	2	1,9
14	15	2100	Береза	Винтовое	1	3,3
15	25	1600	Сосна	Центровое	3	1,0
16	20	1800	Дуб	Винтовое	1	1,9
17	10	2400	Сосна	Центровое	3	3,5
18	5	3000	Береза	Винтовое	2	3,8
19	10	2600	Сосна	Центровое	3	2,6
20	15	2300	Дуб	Винтовое	1	2,0
21	20	2100	Сосна	Центровое	2	2,4
22	25	2000	Береза	Винтовое	1	1,7
23	5	2800	Дуб	Центровое	3	3,1
24	10	2300	Береза	Винтовое	2	2,6
25	15	2000	Дуб	Центровое	2	3,4
26	20	1400	Сосна	Винтовое	1	2,3
27	25	1250	Береза	Центровое	3	1,0
28	5	1680	Сосна	Винтовое	1	2,7
29	10	2340	Дуб	Центровое	2	1,9
30	15	2150	Береза	Винтовое	3	2,8

Определить: 1) касательную составляющую силы резания F_x , осевую силу F_Q (усилие подачи); 2) мощность на резание P ; 3) построить график скоростей подачи для найденной мощности на резание, приняв ближайшие два диаметра сверла из следующих размеров: $D = 5, 10, 15, 20, 25$ мм; 4) составить расчетные схемы с указанием линейных и угловых размеров и действующих сил; 5) сделать выводы.

Недостающие данные к расчетам принять самостоятельно.

26. Шлифование

Номер варианта	Обрабатываемый материал	Класс шероховатости до шлифования $\nabla\delta$, мкм	Класс шероховатости после шлифования $\nabla\delta$, мкм	Ширина шлифования b , мм	Скорость главного движения (ленты) V , м/с	Состояние шлифовальной шкурки	Вид прижима	Материал абразива	Диаметр вальца (D), мм, длина контакта (l_k), мм
1	Береза	2	7	300	18	о	в	э	160 (D)
2	Сосна	2	8	400	15	с	у	к	60 (l_k)
3	Береза	3	8	350	10	т	в	э	140 (D)
4	Дуб	2	6	450	20	о	в	э	120 (D)
5	Береза	1	5	200	16	о	в	к	150 (D)
6	Сосна	2	7	450	12	с	у	э	70 (l_k)
7	Дуб	1	6	380	14	о	в	э	120 (D)

Номер варианта	Обрабатываемый материал	Класс шероховатости до шлифования $V\sigma$, мкм	Класс шероховатости после шлифования $V\sigma$, мкм	Ширина шлифования b , мм	Скорость главного движения (ленты) V , м/с	Состояние шлифовальной шкурки	Вид прижима	Материал абразива	Диаметр вальца (D), мм, длина контакта (l_k), мм
8	сосна	3	9	500	17	с	в	э	170 (D)
9	береза	1	7	390	15	о	в	э	130 (D)
10	дуб	2	5	250	19	о	в	к	180 (D)
11	береза	1	5	420	21	т	у	э	55 (l_k)
12	сосна	3	9	350	18	с	в	к	140 (D)
13	дуб	2	8	410	19	о	в	э	170 (D)
14	береза	1	7	550	20	о	в	э	180 (D)
15	дуб	2	6	480	15	т	в	э	150 (D)
16	береза	1	8	320	22	с	у	э	80 (l_k)
17	дуб	3	8	440	16	с	в	к	170 (D)
18	сосна	1	6	330	13	о	в	э	130 (D)
19	береза	2	9	260	17	о	в	к	160 (D)
20	береза	3	6	460	21	с	в	к	190 (D)
21	дуб	2	8	310	10	о	у	э	70 (l_k)
22	береза	2	7	550	14	т	в	э	160 (D)
23	сосна	1	8	450	16	с	в	к	175 (D)
24	дуб	3	9	300	19	о	у	э	65 (l_k)
25	береза	2	8	400	24	о	в	э	200 (D)
26	дуб	4	9	360	15	о	в	э	145 (D)
27	сосна	2	8	510	18	с	в	к	165 (D)
28	сосна	1	7	350	17	о	в	э	180 (D)
29	дуб	3	8	220	14	т	у	к	75 (l_k)
30	береза	2	9	430	16	о	в	к	155 (D)

Примечание: 1. Состояние шлифовальной ленты: о – острая, с – 1/2 от полного периода стойкости (среднее), т – теряющая режущую способность.

2. Вид прижима: в – вальцовый; у – утюжок.

3. Материал абразива: э – электрокорунд; к – кремень.

КПД привода – $\eta_{пр} = 0,85$.

Недостающие данные к расчетам принять самостоятельно.

Определить: 1) припуск на обработку H , мм; 2) удельную производительность инструмента $a_{ш}$ (шлифовальной шкурки), $\text{см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{см}$; 3) касательную составляющую силы резания F , Н; 4) мощность шлифования P , кВт; 5) построить график скоростей подачи V (м/мин) в зависимости от припуска на обработку H (мм) для **найденной** мощности привода с учетом 8, 9 и 10-го классов шероховатости ($V_{sRm_{max}}$); 6) **составить расчетные схемы с указанием линейных и угловых размеров и действующих сил**; 7) определить рациональную скорость подачи и сделать **выводы**.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бершадский, А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 304 с.
2. Морозов, В. Г. Дереворежущий инструмент: справочник / В. Г. Морозов. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 344 с.
3. Глебов, И. Т. Справочник по резанию древесины / И. Т. Глебов, В. Г. Новоселов, Л. Г. Швам. – Екатеринбург: Уральская государственная лесотехническая академия, 1999. – 190 с.
4. Обработка резанием. Термины. Определения и обозначения общих понятий: ГОСТ 25762-83. – Введ. 01.07.84. – М.: Государственный стандарт Союза ССР, 1985. – 40 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
1. Термины, определения, обозначения и размерность, используемые при решении конструкторских и технологических задач	4
1.1. Термины и определения общих понятий (ГОСТ 25762-83, ГОСТ 25751-83 (СТ СЭВ 6506-88), ГОСТ 3.1109-82)	4
1.2. Системы координатных плоскостей и координатные плоскости	6
1.3. Обозначения и размерность параметров, принятых в учебно-методическом пособии.....	11
1.4. Геометрия обработанной поверхности	17
2. Методы решения задач по резанию древесины	21
3. Методика определения силы (F) и мощности (P) резания, скорости движения подачи (V_s), скорости главного движения резания (V), скорости результирующего движения резания (V_e) при механической обработке древесины.....	24
3.1. Процесс фрезерования	24
3.2. Процесс пиления рамными пилами.....	39
3.3. Процесс пиления ленточными пилами	55
3.4. Процесс пиления дисковыми пилами	64
3.5. Процесс сверления	79
3.6. Процесс шлифования	85
Приложение	95
Литература.....	109

Учебное издание

Гришкевич Александр Александрович

**МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА
ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ
МАТЕРИАЛОВ, УПРАВЛЕНИЕ
ПРОЦЕССАМИ РЕЗАНИЯ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *О. П. Приходько*

Компьютерная верстка *О. П. Приходько*

Корректор *О. П. Приходько*

Подписано в печать 13.11.2012. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 13,0. Уч.-изд. л. 8,3.

Тираж 110 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.

ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.