

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра станков и инструментов

В.К. Пашков

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ФРЕЗЕРНО-ОБРЕЗНЫХ СТАНКОВ

Методические указания
для студентов очной и заочной форм обучения,
направления 250403.65 и 250403.68 «Технология деревообработки»,
специальность 250403 «Технология деревообработки»

Екатеринбург
2010

Печатается по рекомендации методической комиссии МТД.
Протокол № 1 от 24 сентября 2009 г.

Рецензент канд. техн. наук доцент кафедры станков и инструментов
В.Г. Новоселов

Редактор О.В. Атрошенко
Компьютерная верстка Г.И. Романовой

Подписано в печать 30.08.10		Поз. 1
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 50 экз.
Заказ №	Печ. л. 1,86	Цена 10 руб. 16 коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Предисловие

Лесопиление на агрегатном оборудовании широко применяется при операциях формирования поперечного сечения пиломатериалов во время обработки круглого пиловочника. В качестве режущего инструмента в станках и линиях этого оборудования используются фрезы и круглые пилы. При этом фрезы отличаются большим разнообразием конструктивных форм. В связи с этим возникают трудности при выполнении технологических расчетов процесса фрезерования из-за отсутствия в технической литературе необходимого методического обеспечения. В предложенных методических указаниях приведена методика расчета сил и мощности при фрезеровании на фрезерно-обрезных станках малоножевыми коническими фрезами. Методика разработана по результатам экспериментальных исследований динамики натурального образца станка Ц2Д-1Ф. В работе приведены необходимые справочные материалы, примеры расчетов применительно к курсовому и дипломному проектированию по специальности 250403. Материалы полезны также и при изучении дисциплины «Оборудование отрасли».

1. Общие сведения

Режимы резания – определенное (заданное) сочетание параметров работы оборудования (скорости резания, скорости подачи) при резании материала (доски) заданных размеров (толщины, ширины). Режим резания должен удовлетворять критериям оценки. Наиболее распространенными критериями являются качество обрабатываемой поверхности кромки доски, качество технологической щепы и производительность. Вместе с тем при расчетах режимов резания на фрезерно-обрезных станках с коническими малорезцовыми фрезами и прорезными пильными дисками необходимо учитывать ограничительные факторы.

Ограничения, относящиеся к обрабатываемому материалу, – это заданная шероховатость обрабатываемой поверхности, точность обработки и качество технологической щепы. К станку относятся следующие ограничения: мощность привода, частота вращения, скорость подачи, допускаемая кинематикой станка; к инструменту – емкость впадин зубьев, устойчивость диска пилы, прочность резцов фрезерного инструмента. Ограничения организационно-производственного и экономического характера не учитываются.

Сырьем, перерабатываемым на фрезерно-обрезных станках, являются необрезные пиломатериалы по ГОСТ 8486-66 «Пиломатериалы листовых пород. Технические условия».

Параметры фрезерно-обрезных станков для обработки необрезных пиломатериалов регламентированы требованиями ТУ 13-86 и ТУ 2-042-86 и приведены в табл. 1. Станки должны находиться в технически исправном состоянии и по нормам точности соответствовать требованиям стандартов и ТУ. Качество изготовления пил должно соответствовать требованиям ГОСТ 980-80, техндокументации на доработку полотна пилы, а качество подготовки – требованиям технологического режима РПИ 6.6-00 «Подготовка круглых плоских пил». Качество изготовления резцов конических малорезцовых фрез должно соответствовать требованиям ТУ 035-182-86 «Фрезы дереворежущие для фрезерно-обрезных станков», а качество подготовки и установки – требованиям инструкции по подготовке и установке инструментов фрезерно-обрезных станков.

Таблица 1

Предельные параметры фрезерно-обрезных станков

Номер ТУ	Модель станка	Наибольшая высота пропила и фрезерования, мм	Скорость резания, м/с	Скорость подачи, м/мин	
				минимальная	максимальная
ТУ 13-86	Ц2Д-1Ф	25	23,4/40,7	100	120
ТУ 042-86	Ц2Д-5АФ	32	31,1/54,3	–	150
ТУ 2-042-86	Ц3Д-7Ф	50	25/43,6	–	110

Выбор типа и исполнения пил, угловых параметров зубьев, уширение режущего венца производится согласно ГОСТ 980-80 (см. раздел «Рекомендации по условиям эксплуатации пил»).

Параметры резцов должны соответствовать требованиям ТУ 035-182-86 «Фрезы дереворежущие для фрезерно-обрезных станков». Число зубьев пил выбирается по ГОСТ 980-80 исходя из условия обеспечения нормативной подачи на зуб по заполнению впадины зуба и по шероховатости поверхности пропила. Число резцов фрезы выбирается исходя из условия получения заданных размеров технологической щепы по ГОСТ 15815-83 при наибольшем ее выходе.

Шероховатость поверхности пиления и точность обработки должны соответствовать требованиям стандартов и ТУ на изделия из древесины. Параметры и характеристики шероховатости без учета неровностей, обусловленных анатомическим строением древесины и случайными дефектами поверхности (сколами, вырывами, выщербинами), регламентированы ГОСТ 7916-82, а методы и средства определения параметров шероховатости – ГОСТ 15612-78. Качество технологической щепы должно соответствовать ГОСТ 15815-83 и согласно ему определяться.

2. Конструкция и режущий инструмент фрезерно-обрезных станков

Фрезерно-обрезные станки предназначены для обработки необрезных пиломатериалов с получением обрезных и технологической щепы для целлюлозно-бумажного производства.

Фрезерно-обрезной станок модели ЦЗД-7Ф состоит из станины, вальцового механизма подачи и механизма резания. Вальцы приводятся в действие электродвигателем через клиноременную передачу и редукторные коробки с коническими и цилиндрическими шестернями. В исходном положении вальцы подняты. При подаче пиломатериалов в зону фотоэлектрического датчика, закрепленного на передней стенке станка, во время обработки вальцы их поочередно прижимают.

Механизм резания состоит из двух суппортов: левого, условно неподвижного, перемещаемого с помощью винтового механизма вручную при переходе на обработку досок шириной более 300 мм, и правого, подвижного, перемещаемого позиционером, которым управляют с пульта нажатием кнопки нужного размера.

На суппортах, в подшипниках качения, установлены два вала, на концах которых закреплены фрезерные головки. Каждая головка состоит из набора цилиндрических фрез и подрезной пилы или конической фрезы и пилы. Фрезерные головки приводятся в действие электродвигателем через клиноременную передачу и шлицевой вал. Для раскроя досок шириной более 300 мм устанавливают делительную пилу. На суппортах перед фрезерными головками для подпора древесины снизу установлены контрножи.

При обработке необрезной доски пилы делают пропилы. Резцы фрезерной головки перерабатывают отпиливаемые сбеговые части необрезной доски на технологическую щепу.

Станок предназначен для установки в потоках со средне- и широкопросветными лесопильными рамами.

Во фрезерно-обрезных станках модели ЦЗД-7Ф применяют режущий инструмент с цилиндрическими и торцово-коническими фрезами.

Подобную конструкцию имеет *фрезерно-обрезной станок модели Ц2Д-1Ф* (с торцово-коническими фрезами), предназначенный для установки в потоках с узко- и среднепросветными лесопильными рамами. Его особенностями являются симметричная перестройка суппортов относительно продольной оси станка, индивидуальный привод фрезерных головок, привод подающих вальцов от электродвигателя через клиноременные передачи и червячные редукторы. Прижим верхних вальцов постоянный и создается пружинами. Станок не имеет делительной пилы.

Станок состоит из двух одинаковых по конструкции симметрично расположенных фрезерных узлов. Фрезерно-пильные головки приводятся в движение отдельными электродвигателями через клиноременную передачу. Ведомый шкив передачи находится на валу в подшипниковых опорах и не перемещается вместе с фрезами. Вал ведомого шкива имеет шлицевой конец размерами $10 \times 72 \times 82$ мм, который входит в шлицевую втулку полого вала фрез. Подшипниковый узел фрез перемещается гидропозиционером в направляющих вместе с фрезерно-пильным инструментом. Нижние валцы приводятся в движение электродвигателем через клиноременную передачу и червячные редукторы с передаточным числом $i = 10$ (по одному редуктору на каждый валец). Верхние валцы неприводные. Усилие прижима осуществляется пружинами.

Фрезерно-пильный механизм (рис. 2) состоит из двух независимых фрезерных блоков, отличающихся друг от друга только направлением резьбы на рамах, имеющих возможность разворота относительно оси подачи.

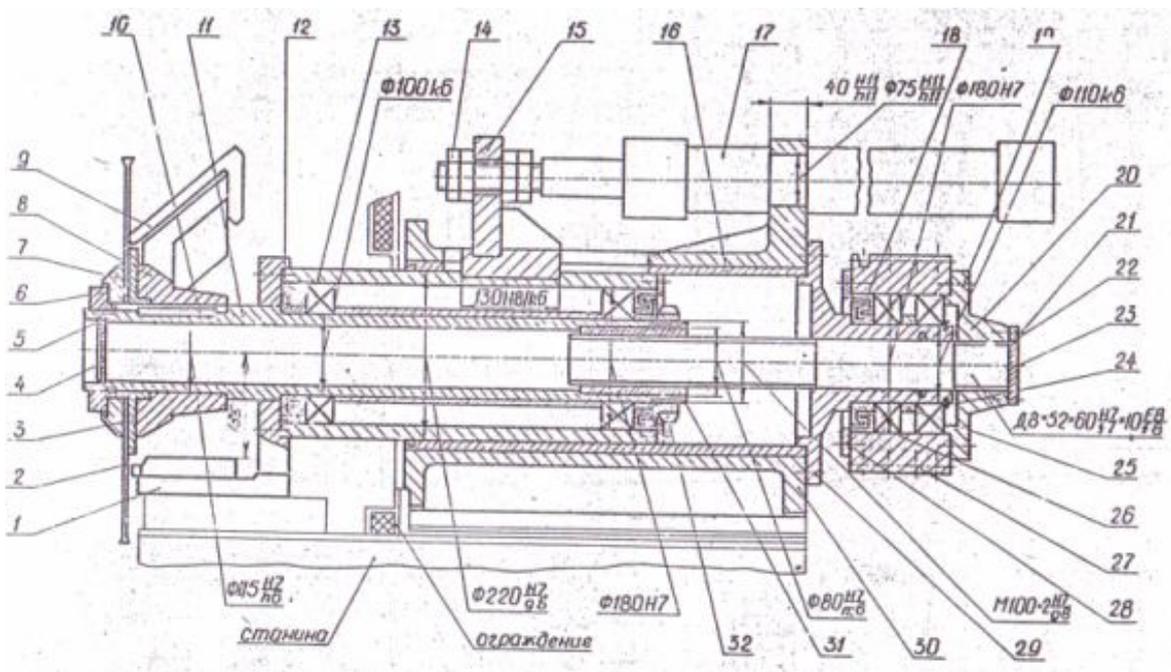


Рис. 2. Механизм фрезерно-пильного станка Ц2Д-1Ф:

- 1 – подвижная опора каретки; 2 – пила; 3 – шайба пилы; 4 – заглушка;
- 5 – стопорное кольцо; 6 – гайка; 7 – прижимная шайба; 8 – корпус фрезы;
- 9 – нож фрезы; 10 – шпонка; 11 – шпиндель; 12 – лабиринтное уплотнение;
- 13 – гильза; 14 – гайка; 15 – рычаг крепления гидропозиционера; 16 – стакан;
- 17 – гидропозиционер; 18 – уплотнение; 19 – винты крепления шлицевого стакана;
- 20 – стакан шлицевой; 21 – винты крепления шайбы; 22 – шайба; 23 – винт крепления шлицевого вала; 24 – стопорное кольцо; 25 – простановочное кольцо;
- 26 – подшипник; 27 – шкив; 28 – шайба уплотнения; 29 – опорный стакан;
- 30 – стойка каретки; 31 – шлицевая втулка; 32 – гайка

Для создания необходимого угла встречи головки перемещаются симметрично относительно оси просвета станка. При этом подвижными являются только фрезерные диски с подшипниковыми узлами, а ведомые шкивы со своими опорами неподвижны. Крутящий момент от ведомого шкива к валу фрез передается шлицевым соединением, причем шлицевой конец вала ведомого шкива входит в шлицевую втулку в полом вала фрез.

Оси фрезерно-пильных валов подняты над базовой поверхностью станка на 145 мм, что обеспечивает средний угол встречи резца с доской в пределах 45° . Фрезерные головки перемещаются по плоским направляющим, имеющим регулировку зазоров. Гайки, крепящие фрезерные диски, имеют контрящие винты, препятствующие самоотвинчиванию. К подвижным корпусам подшипниковых узлов крепятся «шлюзовые» листовые ограждения, препятствующие разбросу щепы из зоны фрезерования. В заводских условиях предусмотрена возможность регулировки угла встречи фрезерных головок. Для замены ремней в наружной опоре шкива предусмотрена съемная проставка.

Фрезерные головки перемещаются независимо друг от друга двумя гидропозиционерами. Гидропозиционеры крепятся к наружным поверхностям подшипниковых опор ведомых шкивов. Передняя часть гидропозиционера фиксируется креплением резьбового конца штока к уху, приваренному к подвижному корпусу подшипникового узла фрезерного вала. Каждый позиционер имеет 6 поршней с суммарным ходом 128 мм. Номинальная дискретность позиционеров равна 2,5 мм. При совместной работе гидропозиционеры обеспечивают получение следующего номинального ряда ширин обрезных досок: 60, 70, 75, 90, 100, 110, 115, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 170, 175, 190, 200, 210, 220, 225, 250, 275, 280 и 300 мм.

Суммарная точность установки фрез на заданный размер равна $\pm 0,7$ мм. Размер между фрезерно-пильными блоками регулируют гайками, крепящими резьбовой конец штока гидропозиционера к уху, приваренному к подвижному корпусу подшипникового узла фрезерного вала. Максимальное время установки фрез на любой размер должно быть не более 1 с. Каждая фрезерная головка приводится в движение индивидуальным электродвигателем мощностью 37 кВт через клиноременную повышающую передачу пятью ремнями сечения «В». Двигатели установлены на качающихся рамах, крепящихся к станине станка. Двигатели развернуты задними частями к оси станка, занимая пустоты в станине, что позволяет значительно уменьшить размеры станка по ширине. Торможение двигателей электродинамическое.

Механизм подачи вальцовый. Блок вальцов механизма показан на рис. 3. Он состоит из передней и задней секций. Две пары вальцов расположены до фрез, и две – после фрез, диаметр верхних вальцов равен 270 мм, нижних – 330 мм. Все вальцы консольные, длина нижних вальцов равна 300 мм, верхних – 200 мм.

Техническая характеристика Ц2Д-5АФ

Просвет станка, мм	480
Наибольшая ширина обрабатываемого материала, мм	480
Толщина обрабатываемого материала, мм.....	
наибольшая	35
наименьшая	13
Ширина чистообрезного пиломатериала, мм.....	
наибольшая	200
наименьшая	60
Наименьшая длина обрабатываемого материала, мм	1500
Диаметр торцово-конических фрез, мм.....	
наибольший	520
наименьший	240
Число фрез, шт.	2
Диаметр зачистных пил, мм	315 – 260
Частота вращения фрезерно-пильного вала, мин ⁻¹	1800
Скорость подачи, м/мин	80; 120
Размеры станка (длина × ширина × высота), мм	1940 × 1735 × 1400
Масса, кг	2800

Режущий инструмент фрезерно-обрезных станков является комбинированным. Он включает торцово-коническую или цилиндрическую фрезу и подрезную пилу. Торцово-коническая фреза состоит из корпуса, на котором закреплены ножи и подрезная пила (рис. 4). Ножи (резцы) на корпусе фрезы закреплены с помощью прижимных планок и шпилек с гайками. В зависимости от конструкции фрезы ножи могут крепиться с наружной или внутренней стороны корпуса. Вместо шпилек могут быть установлены болты.

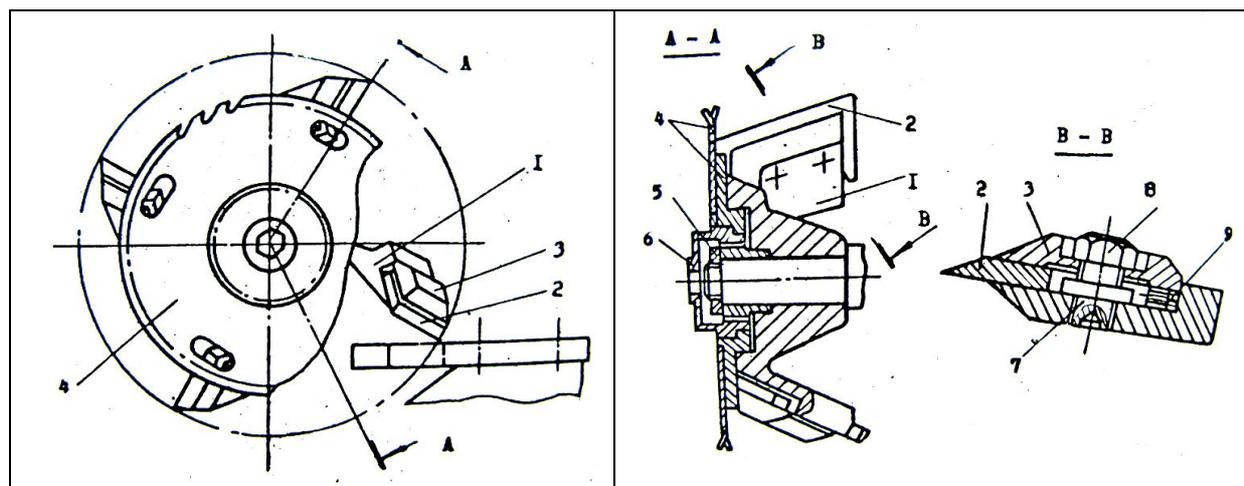


Рис. 4. Торцово-коническая фреза:

1 – корпус; 2 – нож; 3 – прижимная планка; 4 – пила с кольцом; 5 – гайка крепления фрезы на валу; 6 – гайка крепления пилы; 7 – шпилька; 8 – гайка; 9 – регулировочный винт

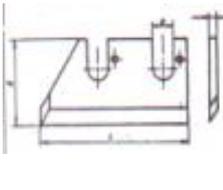
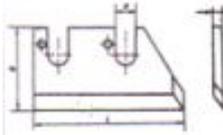
Пила закреплена на торце фрезы гайкой. Фреза имеет левое и правое исполнение.

Ножи (табл. 2) затачиваются на ножеточильных станках типа ТЧН. Нож крепят на поворотном столе с помощью прижимных планок винтами с гайками. Стол устанавливают под углом 32°, равным углу заострения ножа.

Для заточки применяют шлифовальные круги типа ЧЦ или ЧК из белого корунда с керамической связкой, зернистостью 25–40 и твердостью СМ1–СМ2, диаметром 200–250 мм (24А 40СМ 1К, 24А 40СМ 2К, 24А 25СМ 1К, 24А 25СМ 2К по ГОСТ 2424-75).

Таблица 2

Ножи фрезерных головок фрезерно-обрезных станков

Наименование инструмента	ГОСТ, ОСТ, ТУ	Обозначение	Основные размеры и параметры					Эскиз инструмента
			L, мм	B, мм	S, мм	a, мм	Число	
Ножи к фрезам для фрезерно-обрезных станков	ТУ 2-035-1064-87	3100–6550.2	190	105	10	30	2	
3219–6309		3100–6551.2						

Режимы заточки

Окружная скорость шлифовального круга, м/с	15–30
Скорость продольной подачи шлифовального круга, м/мин.....	7–12
Поперечная подача шлифовального круга за двойной ход каретки, мм	0,02–0,03

При заточке применяют охлаждающую жидкость (1,5 %-й раствор эмульсола или 1–3 %-й раствор кальцинированной соды), затачивают до появления заусенца по всей режущей кромке ножа. Затем осуществляют доводку без поперечной подачи (8–10 двойных ходов), при этом заусенцы отгибают в сторону затачиваемой грани с помощью шлифовального бруска.

Окончательную доводку лезвия производят вручную бруском, смоченным водой. Рекомендуется применять бруски размером 20 × 16 × 150 мм из электрокорунда или карбида кремния зернистостью 6–4 на керамической связке твердостью СМ2 или С1.

Шероховатость поверхности задней грани ножа после заточки R_a должна быть не более 1,25 мкм, ее сравнивают с эталоном.

После заточки угломером проверяют угол заострения ножа. Допускаемое отклонение $\pm 30'$. При работе зимой рекомендуется затачивать кончик ножа под углом 36° , ширина фаски по задней грани может быть до 1 мм.

Перед установкой на фрезу ножи настраивают с помощью калибра или штангенциркуля на установочную ширину регулировочными винтами. Установочная ширина зависит от конструктивных особенностей фрезы и определяется по чертежу. Установочная ширина 115 мм (более точно ширину ножа подгоняют по фрезе).

Отрегулированные ножи при установке во фрезу автоматически обеспечивают заданные параметры фрезы: угол наклона режущей кромки, минимальный и максимальный диаметры резания.

После настройки ножи подбирают в комплекты с учетом их исполнения и массы. Допускаемая разность в массе ножей равна 10 г.

На фрезерно-обрезных станках можно применять обычные круглые пилы, пилы с наплавкой зубьев стеллитом, а также с пластинками твердого сплава. Число зубьев равно 60 (48), диаметр резания для торцово-конических фрез бывает до 450 мм. При наплавке зубьев пил стеллитом увеличивается период их стойкости по сравнению с обычными пилами в среднем в 3 раза, при оснащении пластинками твердого сплава – в 10 раз.

Пилы затачивают после приклепки их к корпусу фрезы фрезерно-пильного диска. В зависимости от конструкции торцово-конических фрез применяются пилы, приклепанные к специальным кольцам (ступицам), или пилы без приклепки к кольцам с креплением при помощи зажимных шайб.

Заточка и подготовка круглых пил регламентирована технологическими режимами:

РИ 06-00 «Подготовка круглых плоских пил», Архангельск, ЦНИИМОД, 1971;

РИ 09-00 «Подготовка круглых пил с пластинками из твердого сплава», Архангельск, ЦНИИМОД, 1975;

РИ 16-00 «Наплавка зубьев рамных, ленточных и круглых пил износостойкими сплавами. Подготовка и эксплуатация», Красноярск, СибНИИЛП, 1977.

Угловые параметры круглых пил для обработки хвойной древесины

Плоских, тип А, профиль 1

Передний угол, град.	35–40
Угол заострения, град.	40–35
С пластинками из твердого сплава	
Передний угол, град.	25
Угол заострения, град.	55
Угол поднутрения боковых граней, град.	3

Уширение режущего венца достигается разводом, плющением или припайкой пластинок. Рекомендуемое уширение на сторону составляет 0,6–0,8 мм при толщине 2,5–2,8 мм.

После заточки и подготовки проверяют торцовое биение плоскости пилы у венца зубьев и торцовое биение зубьев пил при установке на приборе ПН. Торцовое биение должно быть не более 0,3 мм при диаметре 450 мм.

3. Установка режущего инструмента в станке

При установке торцово-конических фрез корпус фрезы не снимают. Заменяют только ножи (резцы) и пилы. Заранее отрегулированные по ширине и массе ножи крепят на корпусе с помощью прижимной планки. При четном количестве ножей во фрезе допускается подбор по массе противоположно установленных ножей парами.

После установки ножей при проворачивании фрезы вручную щупом проверяют зазор между режущей кромкой ножа (по всей длине) и контр-ножом. Допустимый зазор составляет 0,4–1 мм (рис. 5).

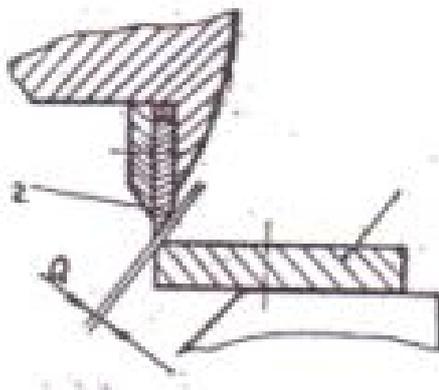


Рис. 5. Проверка зазора между резцами и контр-ножом:
1 – контр-нож; 2 – резец

Следует обратить внимание на то, что рабочая кромка контр-ножа имеет криволинейную форму (вогнута). При этом величина кривизны зависит от наименьшего и наибольшего диаметров резания торцово-конической фрезы и длины лезвия ножа (резца). Поэтому лучше регулировать зазор за счет ширины ножа. Контр-нож следует регулировать только при его замене или износе рабочей кромки. Износ рабочих кромок контр-ножа определяют по наличию вмятин, зазубрин и увеличению радиуса закругления более 2 мм, который проверяется с помощью шаблона (рис. 6).

4. Кинематические параметры процесса резания

Основные кинематические зависимости процесса попутного пиления и фрезерования основаны на сочетании вращательного движения инструмента и прямолинейного движения пиломатериала.

Схема попутного пиления приведена на рис. 8.

Скорость вращения пилы V , м/с, вычисляется по формуле

$$V = \pi D n / 60000, \quad (1)$$

где D – диаметр пилы, мм;

n – частота вращения фрезерно-пильного вала, мин^{-1} .

Скорость подачи V_s , м/мин, рассчитывается так:

$$V_s = S_z Z n / 1000, \quad (2)$$

где S_z – подача на зуб, мм;

Z – число зубьев, шт.

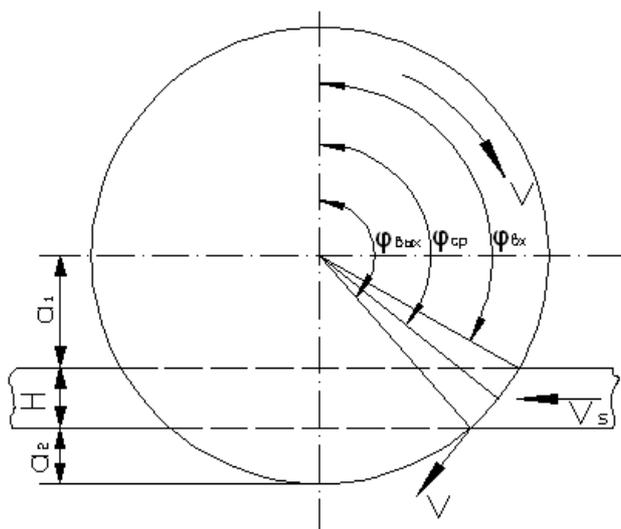


Рис. 8. Схема попутного пиления

Длина дуги контакта зуба с древесиной l_k , средняя толщина стружки $e_{\text{ср}}^*$ (примерно на середине дуги контакта) и соответствующий ей средний кинематический угол встречи $e_{\text{ср}}$ (угол между векторами скорости резания и подачи) определяются выражениями

$$l_k = \{ \pi D / 360 \} (\varphi_{\text{ВЫХ}} - \varphi_{\text{ВХ}}), \quad (3)$$

$$e_{\text{ср}}^{\Delta} = S_z h / l_k = S_z S_n \theta_{\text{ср}}, \quad (4)$$

$$e_{\text{ср}}^{\lambda} = b S_z h / (S_n l_k) = (b / S_n) S_z S_n \theta_{\text{ср}}, \quad (5)$$

$$\theta_{\text{ср}} = \arcsin S_n h / l_k, \quad (6)$$

* Средняя толщина стружки принята на основе равенства $e_{\text{ср}}^{\Delta} b l_k = b S_z H$.

где $\varphi_{\text{ВЫХ}}$, $\varphi_{\text{ВХ}}$ – углы входа в распиливаемый материал и выхода из него, град;

h – высота пропила, мм;

e^λ – толщина стружки для разведенных зубьев, мм;

b – ширина пропила, мм;

S_n – толщина пилы, мм;

$\theta_{\text{ср}}$ – кинематический угол встречи, град.

Углы $\varphi_{\text{ВЫХ}}$, $\varphi_{\text{ВХ}}$ для попутного пиления определяются из выражений

$$-\cos \varphi_{\text{ВХ}}^{\text{ПОП}} = a_1/R = 1 - (a_2 + h)/R, \quad (7)$$

$$-\cos \varphi_{\text{ВЫХ}}^{\text{ПОП}} = (a_1 + h)/R = 1 - a_2/R, \quad (8)$$

где R – радиус пилы, мм;

a_1 – расстояние от оси вращения пилы до ближайшей поверхности распиливаемого материала, мм;

a_2 – выступ пилы из пропила, мм.

Схема попутного поперечно-продольно-торцового фрезерования приведена на рис. 9.

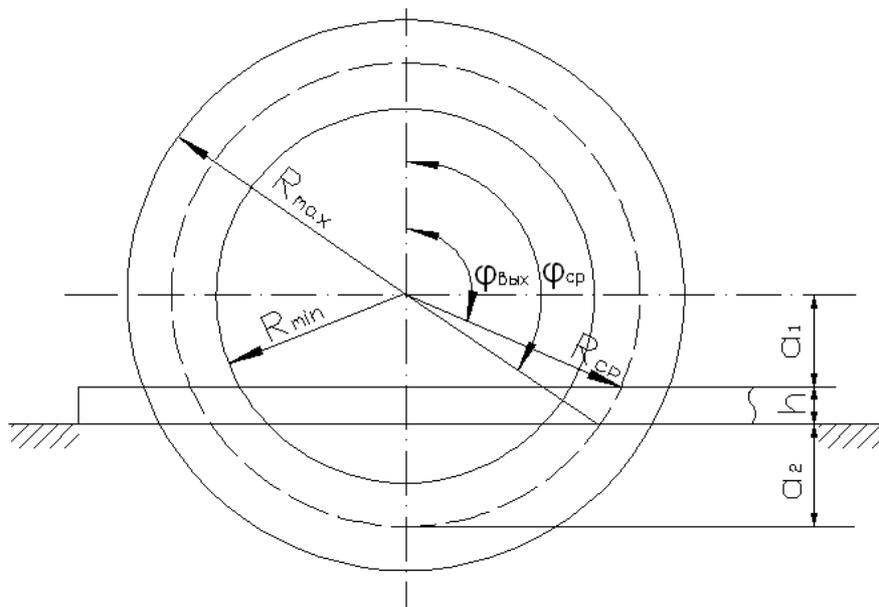


Рис. 9. Схема фрезерования

Скорость вращения фрезы V , м/с, находится по формуле

$$V = \pi D_{\text{фр}} n / 60 \cdot 1000, \quad (9)$$

где $D_{\text{фр}}$ – срединный диаметр фрезы, мм;

n – частота вращения фрезерно-пильного вала, мин^{-1} .

Скорость подачи V_s , м/мин, определяется так:

$$V_s = S_z Z n / 1000, \quad (10)$$

где S_z – подача на резец, мм;

Z – число зубьев, шт.

Кинематические углы встречи для срединного диаметра $\varphi_{\text{ВХ}}$ и $\varphi_{\text{ВЫХ}}$ определяются из выражений

$$-\cos \varphi_{\text{ВХ}} = a_1/R_{\text{ср}} = 1 - (a_2 + h)/R_{\text{ср}}, \quad (11)$$

$$-\cos \varphi_{\text{ВЫХ}} = (a_1 + h)/R_{\text{ср}} = 1 - a_2/R_{\text{ср}}, \quad (12)$$

где $R_{\text{ср}}$ – радиус срединного сечения конической части фрезы, мм:

$$R_{\text{ср}} = R_{\text{min}}/2 + R_{\text{max}}/2; \quad (13)$$

a_1 – расстояние от оси вращения фрезы до ближайшей поверхности распиливаемого материала, мм;

a_2 – выступ фрезы из материала по срединному диаметру, мм.

Чтобы обеспечить прочность резца и создать оптимальные условия резания, нужно, чтобы угол между передней гранью резца и плоскостью стола по направлению подачи был $95\text{--}140^\circ$.

Углы торцевого среза щепы определяются по формулам

$$\psi_{\text{щ}} = \arccos \sqrt{1 - \sin \psi_{\text{н}} \cdot \sin^2 \psi_{\perp}}, \quad (14)$$

$$\psi_{\text{щ}} = \arctg \left\{ \text{tg } \psi_{\text{п}} \cdot \text{tg } \psi_{\text{к}} / \sqrt{\text{tg}^2 \psi_{\text{н}} + \text{tg}^2 \psi_{\text{к}}} \right\}, \quad (15)$$

где $\psi_{\text{щ}}$ – угол торцевого среза щепы в плоскости, проходящей вдоль волокон, град. (рис. 10);

$\psi_{\text{п}}$ – острый угол между плоскостью, параллельной направлению волокон по кромке щепы, и плоскостью среза, град.;

$\psi_{\text{к}}$ – острый угол между плоскостью, параллельной направлению волокон по пласти щепы, и плоскостью среза, град.;

ψ_{\perp} – острый угол между плоскостью щепы и плоскостью среза в плоскости, перпендикулярной плоскости среза, град.

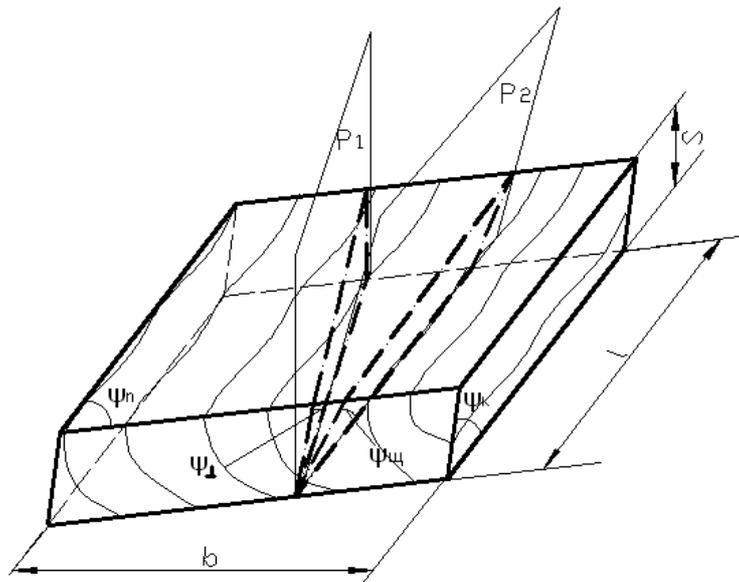


Рис. 10. Схема замера и определения углов среза щепы

Угол торцевого среза может быть определен и по номограмме (рис. 11).

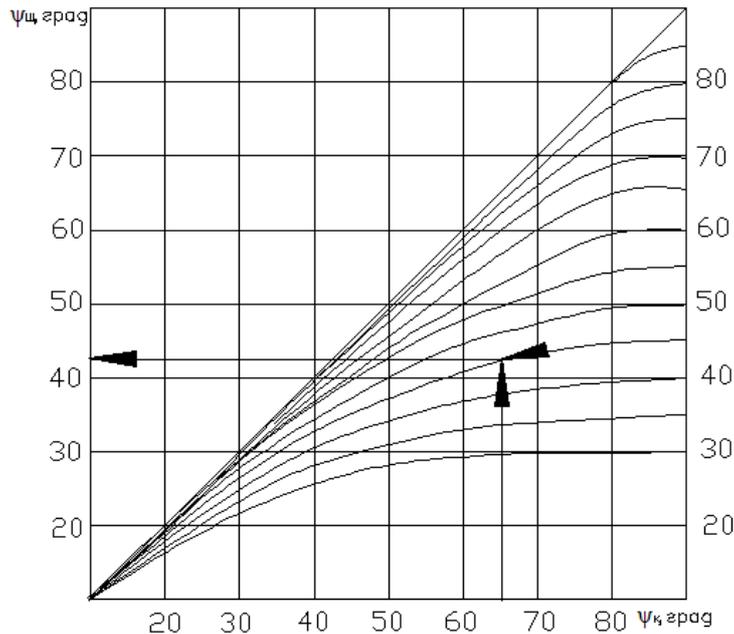


Рис. 11. Номограмма для расчета фактического угла среза на щепе по значению углов

5. Мощность и силы резания при попутном пилении пилами

Каждый зуб пилы, проходя через распиливаемый материал, отделяет стружку и производит механическую работу. При числе зубьев Z , частоте вращения n , об/мин, мощность резания $N_{рез}$, кВт, рассчитывается по формуле

$$N_{рез} = F_{xz} l_k Z n / 6 \cdot 10^7 = F_x V / 1000, \quad (16)$$

где F_{xz} – касательная сила резания на одном зубе, Н;

F_x – касательная сила резания, Н;

l_k – длина дуги контакта зуба с древесиной, мм.

Касательная сила резания на зубе с учетом толщины стружки $F_{xz}^{e > 0,1}$, Н, равна:

$$F_{xz}^{e > 0,1} = a_n a_w a_b [a_p p b_1 + S_z S_n \theta_{ср} (\kappa b + \alpha_T h)], \quad (17)$$

где a_n , a_w , a_b , a_p – коэффициенты, учитывающие влияние затупления зубьев, влажности и направления подачи;

p – фиктивная единичная сила резания по задней грани, Н/мм;

b_1 – ширина стружки ($b_1 = S$ (толщина пилы, мм) при разведенных зубьях, $b_1 = b$ при плющенных зубьях), мм;

S_z – подача на зуб, мм;

$\theta_{ср}$ – средний кинематический угол встречи, град.;

k – удельная сила резания по передней грани, Н/мм²;

b – ширина пропила, мм;

α_T – коэффициент интенсивности трения стружки о стенки пропила и прессования ее во впадине зуба ($\alpha_T = 0,71$ для разведенных зубьев, $\alpha_T = 0,57$ для плющенных зубьев), Н/мм²;

h – высота пропила, мм.

Коэффициент затупления зубьев при продольном пилении a_p вычисляется по формуле

$$a_p = 1 + 0,2\Delta\rho/\rho_0, \quad (18)$$

где ρ – начальный радиус закругления главной режущей кромки зуба пилы ($\rho_0 = 10$ мкм), мкм;

$\Delta\rho$ – приращение начального радиуса закругления главной режущей кромки, мкм.

Для острых зубьев $a_p = 1$. Для тупых зубьев при продольном пилении $a_p = 2$.

Период стойкости пилы равен 8 часам.

Значения коэффициентов a_n , a_w приведены в табл. 3 и 4. При попутном пилении $a_b = 1,1$.

Таблица 3

Коэффициент a_n

Порода древесины	Ель	Сосна	Лиственница	Береза
a_n	0,9	1,0	1,15	1,25

Таблица 4

Коэффициент a_w

Влажность, %	8–12	18–22	25–30	50–70*	70*
a_w	1,0	1,07	1,08	1,13	1,19

* Для мерзлой древесины $a_n = 1,5$.

Единичная касательная сила резания по задней поверхности p , Н/мм, вычисляется по формуле

$$p = 3,92 + 0,0353\theta_{cp}. \quad (19)$$

Удельная сила резания по передней поверхности $K^{e>0,1}$, Н/мм², определяется так:

$$K^{e>0,1} = (0,196 + 0,00392\theta_{cp})\delta_p + (0,0686 + 0,00147\theta_{cp})V - (5,4 + 0,167\theta_{cp}). \quad (20)$$

6. Расчет режимов попутного пиления

6.1. Определение скорости резания

Если соотношение максимального диаметра пилы к диаметру шайб составляет 2:1 и более при частоте вращения фрезерно-пильного вала, не превышающей 1870 мин^{-1} , то критическая частота вращения пилы выше фактической в 2 раза и более. Поэтому проверка работоспособности диска по критической частоте вращения не проводится.

Дополнительными техническими ограничениями при выборе скорости резания являются:

– работоспособность опор пильного вала, которая обеспечивается при проектировании круглопильных станков по общетехническим нормативам;

– уровень шума, который не должен превышать требований санитарных норм. С увеличением частоты вращения уровень шума увеличивается.

Скорость резания в диапазоне 20–100 м/с при постоянной подаче на зуб существенно не влияет на шероховатость поверхности распиливаемого материала. Поэтому нормативная величина подачи на зуб может приниматься при любой скорости резания в указанном диапазоне.

6.2. Определение скорости подачи

Скорость подачи по заполнению впадин зубьев

Срезаемая зубьями пилы стружка размещается во впадинах зубьев и ими же удаляется из пропила. Некоторое ее количество удаляется через зазор между полотном пилы и стенками пропила.

Максимальная скорость подачи по заполнению впадин разведенных зубьев стружкой V_s^λ , м/мин, определяется по формуле

$$V_s^\lambda = (0,8 \cdot 10^{-3} Z n) (\beta_{\text{зап}} F_B) / \alpha_{\text{уп}} h, \quad (21)$$

где Z – число зубьев, шт.;

n – частота вращения фрезерно-пильного вала, мин^{-1} ;

$\beta_{\text{зап}}$ – коэффициент заполнения впадин зуба, $\beta_{\text{зап}} = 0,5$;

F_B – площадь впадин зуба, мм^2 ;

$\alpha_{\text{уп}}$ – коэффициент допустимого уплотнения стружки, $\alpha_{\text{уп}} = 0,5$;

h – высота пропила, мм.

Взаимосвязь между скоростями подачи для плющенных V_s^Δ и разведенных V_s^λ зубьев определяется выражением

$$V_s^\Delta = 1,25 V_s^\lambda. \quad (22)$$

Площадь впадины зуба F_B , мм², рассчитывается по формуле

$$F_B = \theta_B t^2, \quad (23)$$

где θ_B – коэффициент площади впадины зуба (табл. 5);
 t – шаг зубьев, мм.

Таблица 5

Коэффициент площади впадины зуба

Тип пилы по ГОСТ 980-80	Исполнение	γ , град.	β , град.	Коэффициент θ_B при Z , равном				
				24	36	48	60	72
1	1	35	40	0,229	0,242	0,248	0,252	0,254

Шаг зубьев определяется по формуле

$$t = D \cdot \sin 180^\circ/Z. \quad (24)$$

Скорость подачи по шероховатости поверхности обработки

Шероховатость поверхности распиловки древесины по ГОСТ 7016-75 характеризуется параметром R_{max} – максимальной высотой неровностей на поверхности. Величина R_{max} зависит в основном от подачи на зуб и кинематического угла встречи.

Скорость подачи по шероховатости распиловки определяется по формуле

$$V_{ши} = (S_z Z n) / 1000, \quad (25)$$

где $V_{ши}$ – подача на зуб по заданной шероховатости поверхности распиловки, мм;

S_z – подача на зуб, мм.

Значение S_z выбирается по графику (рис. 12) в зависимости от заданного значения R_{max} , способа подготовки зубьев (развод, плющение) и кинематического угла встречи на входе зуба при попутном пилении древесины.

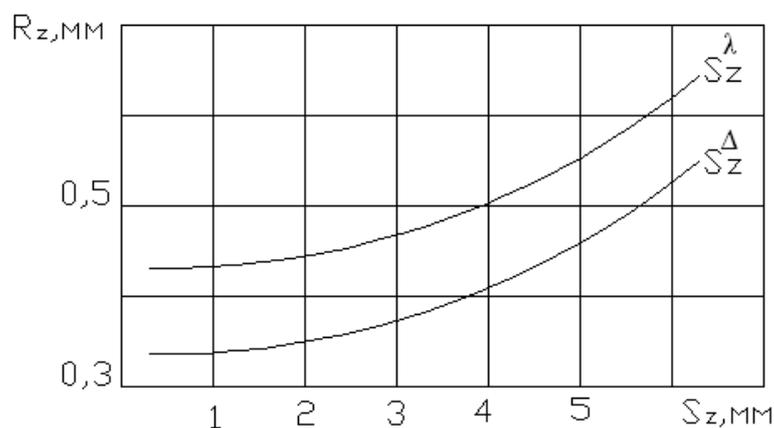


Рис. 12. Зависимость шероховатости поверхности пиления от подачи на резец

$$S_z \text{ (при } \alpha = 15^\circ, \delta = 55-60^\circ, \varphi = 100-140^\circ)$$

7. Пример расчета сил и мощности при попутном пиленнии

Разрабатывается фрезерно-обрезной станок модели Ц2Д-1Ф. Толщина необрезных пиломатериалов 35 мм, средняя ширина фрезерования с каждой кромки 40 мм, порода – ель, влажность древесины более 80%, диаметр пилы 450 мм, количество зубьев 48, толщина пилы 2,8 мм, частота вращения фрезерно-пильного вала 1600 мин^{-1} , скорость подачи 150 м/мин, фреза торцово-коническая (угол наклона образующей к оси вращения равен 40°), четырехрезцовая, диаметр фрезерования 320/556 мм. Расстояние оси вращения фрезерно-пильной головки над опорной поверхностью стола равно 145 мм. Требуется определить шероховатость поверхности пиления, силу и мощность резания.

По формуле (1) определим скорость резания V :

$$V = 3,14 \cdot 450 \cdot 1600/60 \cdot 1000 = 37,68 \text{ м/с.}$$

Подачу на зуб S_z определим по формуле (2):

$$S_z = 150 \cdot 1000/48 \cdot 1600 = 1,95 \text{ мм.}$$

Шаг зуба t вычислим по формуле (24):

$$t = 29,43 \text{ мм.}$$

По формуле (21) рассчитаем максимальную скорость подачи по заполнению пазухи зубьев V_s^λ :

$$V_s^\lambda = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 48 \cdot 1600 \cdot 0,5 \cdot 0,248 \cdot 29,43^2/0,5 \cdot 35 = 377 \text{ м/мин.}$$

По формулам (3, 6, 7) определим $\varphi_{\text{вх}}$, $\varphi_{\text{вых}}$, $\theta_{\text{ср}}$, $\psi_{\text{к}}$, $l_{\text{к}}$:

$$\varphi_{\text{вх}} = 180^\circ - \arccos 110/225 = 119^\circ 16',$$

$$\varphi_{\text{вых}} = 180^\circ - \arccos(110 + 35)/225 = 130^\circ 7',$$

$$l_{\text{к}} = 3,14 \cdot 450 \cdot (130^\circ 7' - 119^\circ 16') = 42,59 \text{ мм,}$$

$$\theta_{\text{ср}} = 180^\circ - \arcsin 35/42,59 = 124,7^\circ.$$

Единичная касательная сила резания по задней грани p определяется по формуле (19):

$$p = 3,92 + 0,0353 \cdot 124,7 = 8,3 \text{ Н/мм.}$$

Удельная (фиктивная) сила резания на передней поверхности зуба $K^{e > 0,1}$ вычисляется по формуле (20):

$$K^{e > 0,1} = 55(0,196 + 0,00392 \cdot 124,7) + (0,0686 + 0,00147 \cdot 124,7) (90 - 37,68) - (0,167 \cdot 124,7 - 5,4) = 24,6 \text{ Н/мм}^2.$$

Касательная сила резания на одном зубе $F_{\text{xz}}^{e > 0,1}$ вычисляется по формуле (17):

$$F_{\text{xz}}^{e > 0,1} = 0,9 \cdot 1,13 \cdot 1,1 [1 \cdot 8,3 \cdot 2,8 + 1,95 \cdot 0,822 (24,6 \cdot 4 + 0,71 \cdot 35)] = 249,1 \text{ Н.}$$

Мощность при пиленнии $N_{\text{рез}}$ находим по формуле (16):

$$N_{\text{рез}} = 249,1 \cdot 42,59 \cdot 48 \cdot 1600/6 \cdot 10^7 = 13,37 \text{ кВт.}$$

8. Мощность и силы резания при попутном фрезеровании

8.1. Касательные силы резания. Мощность резания

В исследовании динамики механизма резания станка Ц2Д-1Ф изменение сил резания и крутящих моментов валов электродвигателей и шпинделей фрезернопильных головок выполнялось без их разделения на силы и крутящие моменты от резания пилами и фрезерными головками.

Силы и мощность при резании подрезной пилой находятся по известной методике [1]. Силы и мощность резания фрезерными головками определяются по результатам экспериментальных исследований, выполненных в работах [2, 3, 4], и по руководящим техническим материалам [5].

Установлено пропорциональное влияние толщины доски h , мм, и ширины фрезерования $b_{\text{фр}}$, мм, на увеличение мощности резания. Например, изменение толщины доски в 1,34 раза (с 26 до 36 мм) приводит к увеличению мощности электродвигателя во столько же раз. При увеличении ширины фрезерования в 1,70 раз (с 90 до 150 мм) мощность электродвигателя возрастает в 1,78 раз. Можно сделать вывод о том, что мощность и касательная сила резания пропорциональны площади сечения обработки $h \times b_{\text{фр}}$, мм².

Чтобы рассчитать силу резания для случаев, когда режимы и параметры обработки отличаются от примера в разд. 7, введем понятие касательной удельной силы резания на дуге контакта $\check{F}_{\text{уд.фр}}$, Н/мм²:

$$\check{F}_{\text{уд.фр}} = \check{F}_{\text{хз фр}} / (b_{\text{фр}}h), \quad (26)$$

где $\check{F}_{\text{хз фр}}$ – касательная сила резания на дуге фрезерования.

Касательная удельная сила резания на дуге контакта при фрезеровании $\check{F}_{\text{уд.фр}}$ по данным работы [2] будет равна:

$$\check{F}_{\text{уд.фр}} = 3799/150 \cdot 35 = 0,72 \text{ Н/мм}^2.$$

Значение $\check{F}_{\text{уд.фр}} = 0,72 \text{ Н/мм}^2$ – это постоянная величина при обработке необрезных досок на станке Ц2Д-1Ф. Тогда касательная сила резания на дуге фрезерования $\check{F}_{\text{хз фр}}$ с учетом выражения (20) определится по формуле

$$\check{F}_{\text{хз фр}} = \check{F}_{\text{уд.фр}} b_{\text{фр}} h. \quad (27)$$

Для других режимов резания и параметров обработки необходимо ввести поправочные коэффициенты [5]:

p_i – коэффициент, учитывающий влияние длины щепы, принимается по табл. 6;

p_ϕ – коэффициент, учитывающий влияние угла встречи. Для углов 110–130° он равен 1;

p_w – коэффициент, учитывающий влияние влажности, принимается по табл. 7;

p_n – коэффициент, учитывающий влияние породы древесины; для сосны и ели принимается равным 1, для березы – 1,1.

Таблица 6

Порода	Коэффициенты	Длина щепы $l_{щ}$, мм				
		5	10	15	20	25
Сосна	p_i	0,617	0,785	0,905	1,0	1,08
Береза	p_i	0,61	0,78	0,9	1,0	1,08
Ель	p_i	0,465	0,68	0,85	1,0	1,13

Таблица 7

Коэффициент	Влажность древесины, %				
	20	30	40	60	80
p_w	1,1	1,07	1,04	1,02	1,0

Тогда выражение (27) в общем случае примет вид:

$$\check{F}_{xz \text{ фр}} = \check{F}_{уд. \text{ фр}} b_{\text{фр}} h a_{\text{поп}}, \quad (28)$$

где $a_{\text{поп}}$ – поправочный коэффициент, $a_{\text{поп}} = p_i p_\phi p_w p_n$.

Касательная окружная (средняя) сила фрезерования $\check{F}_{x \text{ фр}}$ определяется по формуле

$$\check{F}_{x \text{ фр}} = \check{F}_{xz \text{ фр}} \frac{z \varphi_k}{360}. \quad (29)$$

Угол контакта ножа с заготовкой φ_k равен:

$$\varphi_k = \frac{l_k}{\pi D_{\text{ср}}} 360, \quad (30)$$

где l_k – длина дуги контакта ножа с древесиной, мм;

$D_{\text{ср}}$ – средний диаметр торцово-конической фрезы, мм.

Длина дуги контакта l_k определяется из выражения

$$l_k = \sqrt{h^2 + b_{\text{фр}}^2} + b_{\text{фр}} \operatorname{tg} \alpha, \quad (31)$$

где h – толщина доски, мм;

$b_{\text{фр}}$ – ширина фрезерования (средняя ширина рейки, отрезаемой подрезной пилой), мм;

α – угол поворота режущей кромки ножа относительно диаметральной плоскости фрезы ($\alpha = 15^\circ$), град.

Мощность фрезерования $N_{\text{фр}}$, кВт, определится из выражения

$$N_{\text{фр}} = \tilde{F}_{\text{хз фр}} \frac{Z\varphi_{\text{к}}}{360} \cdot \quad (32)$$

8.2. Нормальные и осевые силы при фрезеровании торцово-коническими фрезами

В работе [2] рассмотрены возможные варианты изменения нормальных сил резания F_z при фрезеровании. Установлено, что проекции касательной силы резания на оси координат X , Z равны, следовательно, и нормальная сила резания $F_z = 0$. В работах [5, 6] также сказано о незначительности нормальных сил резания при принятых условиях торцово-конического фрезерования щепы. Таким образом, в расчетах сил резания во фрезерно-обрезных станках с малоножевыми коническими головками можно силу F_z принять равной нулю (не учитывать).

Осевая сила резания колеблется в широких пределах [2]. Силы зависят от размеров обработки. С уменьшением h и $b_{\text{фр}}$ уменьшаются и осевые силы. Средние значения сил $\tilde{F}_{\text{ос}}$ на дуге контакта для исследованных параметров обработки в диапазоне технической характеристики станка Ц2Д-1Ф по данным в работе [2] приведены в табл. 8.

Таблица 8

Расчет осевых сил при фрезеровании

Толщина доски h , мм	$h_{\text{ср}}$, мм	Левая головка				
		Ширина фрезерования $b_{\text{фр}}$, мм	$b_{\text{фр.ср}}$, мм	Осевая сила $\tilde{F}_{\text{ос}}$, Н	$\tilde{F}_{\text{ос.ср}}$, Н	$\tilde{F}_{\text{уд.ос}}$, Н/мм ²
39	39,0	85	87,5	1200	1075	0,315
39		90		950		
30	29,5	85	85,5	810	795	0,315
29		86		780		
27	26,7	97	80,0	900	617	0,288
26		82		540		
28		95		600		
25		87		480		
26,5		81		840		
27,5		63		540		
27		55		420		
Среднее значение осевой силы $F_{\text{уд.ос}} = 0,30$ Н/мм ²						

Продолжение таблицы 8

Толщина доски h , мм	$h_{\text{ср}}$, мм	Правая головка					Среднее значение двух головок, $\bar{F}_{\text{уд.ос}}$, Н/мм ²
		Ширина фрезерования $b_{\text{фр}}$, мм	$b_{\text{фр.ср}}$, мм	Осевая сила $\bar{F}_{\text{ос}}$, Н	$\bar{F}_{\text{ос.ср}}$, Н	$\bar{F}_{\text{уд.ос}}$, Н/мм ²	
39	39,0	95	92,5	1050	945	0,276	0,299
39		90		840			
30	29,5	86	86,0	790	800	0,315	0,315
29		86		810			
27	26,7	75	73,0	780	557	0,228	0,228
26		97		540			
28		85		480			
25		92		540			
26,5		66		600			
27,5		55		600			
27		40		360			
Среднее значение осевой силы $F_{\text{уд.ос}} = 0,30$ Н/мм ²							

Зависимость средней осевой силы резания $\bar{F}_{\text{ос}}$ от параметров h и $b_{\text{фр}}$ устанавливается по методике определения касательной силы резания. Для этого для каждой группы толщин досок 26–27 мм, 29–30 мм и 39 мм определим удельную осевую силу резания на дуге контакта $\bar{F}_{\text{уд.ос}}$, Н/мм², по формуле

$$\bar{F}_{\text{уд.ос}} = \frac{\sum_1^n \bar{F}_{\text{ос.ср}}/n}{\sum_1^k h_i/k \cdot \sum_1^m b_{\text{фр.ср}}/m}, \quad (33)$$

где n , k , m – количество значений $\bar{F}_{\text{ос.ср}}$, h_i , $b_{\text{фр.ср}}$, принятое для определения из средних значений $\bar{F}_{\text{ос.ср}}$, $h_{\text{ср}}$, $b_{\text{фр.ср}}$.

Расчеты $\bar{F}_{\text{уд.ос}}$ выполняются отдельно для левой и правой фрезерных головок и для обеих головок по каждой группе толщин досок. Затем определяется среднее значение удельной осевой силы резания $\bar{F}_{\text{уд.ос}}$ для всех групп толщин досок по формуле

$$\bar{F}_{\text{уд.ос}} = \frac{\sum F_{\text{уд.ос}}}{n}, \quad (34)$$

где n – количество групп толщин досок, $n = 3$.

Расчеты показывают, что средняя удельная осевая сила резания на дуге контакта ножа с древесиной $\bar{F}_{уд.ос} = 0,30 \text{ Н/мм}^2$, ее отклонения от среднего значения в зависимости от параметров обработки не превышают 5 %. Это свидетельствует о том, что осевая сила резания $\bar{F}_{ос}$ изменяется пропорционально изменению h и $b_{фр}$. Таким образом, структура формулы для расчетов $\bar{F}_{ос.ср}$ будет аналогичной формуле (29), по которой определяется касательная сила резания.

Средняя осевая сила резания $\bar{F}_{ос.ср}$ на дуге контакта ножа с древесиной находится по формуле

$$\bar{F}_{ос.ср} = \bar{F}_{уд.ос} h b_{фр} a_{поп}, \quad (35)$$

где $a_{поп} = p_i p_\phi p_w p_n$ [5]: p_i (см. табл. 8); $p_\phi = 1$; p_w (табл. 9); $p_n = 1$ (ель) и $p_n = 1$ (береза).

Осевая сила на обороте фрезы $\bar{F}_{ос}$, Н, будет равна:

$$\bar{F}_{ос} = \bar{F}_{ос.ср} \frac{Z \varphi_k}{360}, \quad (36)$$

где φ_k – угол контакта ножа с древесиной, определяемый по формуле (30), град.

8.3. Расчет режимов попутного фрезерования

Скорость резания при попутном фрезеровании с получением технологической щепы определяется из условий, при которых бывает наибольший выход нормальной фракции щепы лучшего качества, по графику (рис. 13), полученному при длине щепы 20–25 мм.

Скорость подачи V_s , м/мин, по параметрам щепы определяется по формуле

$$V_s = S_z Z n / 1000, \quad (37)$$

где S_z – подача на резец (15–25 мм), оптимальное значение 20–23 мм;

Z – число резцов по диаметру фрезы, шт.;

n – частота вращения фрезерно-пильного вала, мин⁻¹.

Расчет параметров фрезерования выполняем по условиям примера, приведенного в разд. 7.

Длина щепы $l_{щ}$ составит:

$$l_{щ} = 150 \cdot 1000 / 1600 \cdot 4 = 23,4 \text{ мм.}$$

Найдем скорость резания V по среднему диаметру фрезы, равному 442 мм:

$$V = 3,14 \cdot 442 \cdot 1600 / 60 \cdot 1000 = 37 \text{ м/с.}$$

По графику на рис. 13 определяем, что принятая скорость резания обеспечивает нам больший выход кондиционной щепы лучшего качества.

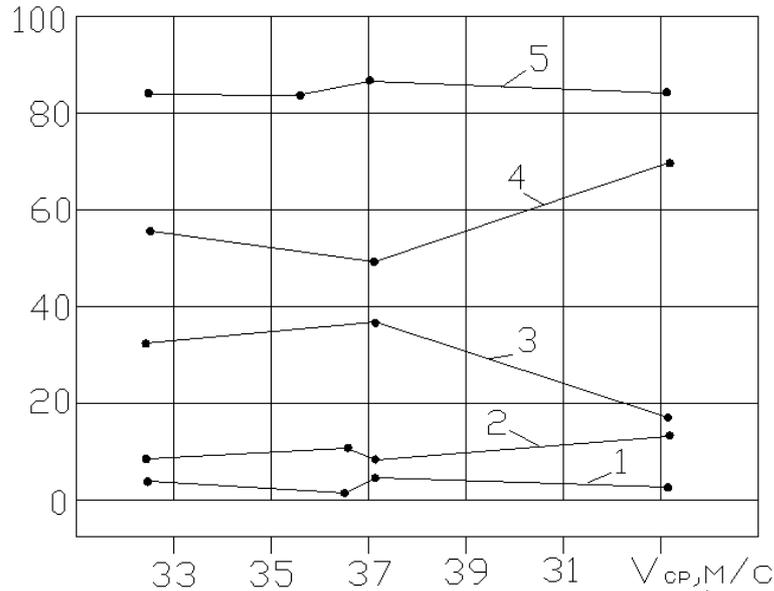


Рис. 13. Зависимость фракционного состава щепы от скорости резания:
 1 – остаток на сите 30 мм; 2 – остаток на сите 5 мм; 3 – остаток на сите 20 мм;
 4 – остаток на сите 10 мм; 5 – нормальная фракция щепы

Касательная сила резания на дуге фрезерования $\vec{F}_{xz \text{ фр}}$ по формуле (28) будет равна:

$$\vec{F}_{xz \text{ фр}} = 0,72 \cdot 150 \cdot 35 \cdot 1,08 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 4082 \text{ Н.}$$

Касательная окружная (средняя) сила фрезерования $F_{x \text{ фр}}$ определяется по формуле (29):

$$F_{x \text{ фр}} = 4082 \cdot 4 \cdot 46/360 = 2084 \text{ Н.}$$

Мощность, расходуемая на фрезерование, $N_{\text{фр}}$ вычисляется по формуле

$$N_{\text{фр}} = 10^{-3} F_{x \text{ фр}} V; \quad (38)$$

$$N_{\text{фр}} = 2084 \cdot 37/1000 = 77 \text{ кВт.}$$

9. Мощность и сила подачи

9.1. Попутное пиление

Мощность подачи $N_{\text{под}}$, кВт, рассчитывается по формуле

$$N_{\text{под}} = Q_{\text{под}} V_s / 60000, \quad (39)$$

где $Q_{\text{под}}$ – сила подачи, Н;

V_s – скорость подачи, м/мин.

Сила подачи определяется из выражения

$$Q_{\text{под}} = \alpha Q_{\text{сп}} = \alpha(Z_{\text{п}}Q_{\text{Г}} - \Sigma Q_{\text{тр}}), \quad (40)$$

где α – коэффициент запаса силы подачи, $\alpha = 1,3 - 1,5$;

$Q_{\text{сп}}$ – сила торможения, Н;

$Z_{\text{п}}$ – число пил, шт.;

$Q_{\text{Г}}$ – горизонтальная составляющая силы резания, Н;

$\Sigma Q_{\text{тр}}$ – суммарная горизонтальная составляющая сил трения, определяемая конструкцией механизма подачи, Н.

Горизонтальная и вертикальная составляющие силы резания $Q_{\text{Г}}$ и $Q_{\text{В}}$, Н, определяются по формулам

$$Q_{\text{Г}} = F_{\text{х}} \cos Q_{\text{ср}} + F_{\text{z}} \sin Q_{\text{ср}}, \quad (41)$$

$$Q_{\text{В}} = F_{\text{х}} \sin Q_{\text{ср}} - F_{\text{z}} \cos Q_{\text{ср}}, \quad (42)$$

где $F_{\text{х}}$ – средняя окружная касательная сила резания, Н;

$Q_{\text{ср}}$ – средняя сила резания, Н;

F_{z} – средняя окружная нормальная сила резания, Н.

При продольном пилении нормальная сила резания определяется по формуле

$$F_{\text{z}} = F_3/f - F_{\text{п}} \text{tg}(90 - \delta - \varphi_{\text{т}}), \quad (43)$$

где $F_3 = 0,2p$ – средняя окружная сила по задней грани, Н;

$F_{\text{п}} = F_{\text{z}} - F_3$ – средняя окружная сила по передней грани, Н;

δ – угол резания, град;

$\varphi_{\text{т}}$ – угол трения ($\varphi_{\text{т}} = 20-25^\circ$), град;

f – приведенный коэффициент трения ($f = 2$ для острых и $f = 0,7-0,8$ для тупых зубьев).

Суммарная горизонтальная составляющая сил трения $\Sigma Q_{\text{тр}}$, Н, зависит от конструкции механизма подачи. Для известных конструкций фрезерно-обрезных станков она равна:

$$\Sigma Q_{\text{тр}} = Q_{\text{п}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{н}}, \quad (44)$$

где $Q_{\text{п}}$ – сила трения поверхности заготовки при перемещении по плоской поверхности (стол станка, поддерживающая поверхность), Н;

$Q_{\text{к}}$ – сила трения валцов по поверхности заготовки, Н;

$Q_{\text{н}}$ – сила трения о направляющие линейки, Н.

$$Q_{\text{п}} = \mu(Z_{\text{п}}Q_{\text{В}} + G), \quad (45)$$

$$Q_{\text{к}} = Z_{\text{В}}T_{\text{В}}K_{\text{В}}/r_{\text{В}} + Z_{\text{Н}}T_{\text{Н}}K_{\text{Н}}/r_{\text{Н}}, \quad (46)$$

$$Q_{\text{н}} = \mu Q_{\text{ос}}, \quad (47)$$

где μ – коэффициент трения при скольжении заготовки по поверхности стола ($\mu = 0,3-0,5$);

G – вес заготовки, Н;

$Z_{\text{В}}, Z_{\text{Н}}$ – количество верхних и нижних валцов, шт.;

T_B, T_H – силы прижима верхних и нижних валцов к заготовке, Н;
 K_B, K_H – коэффициенты трения качения верхнего и нижнего валцов, см;
 r_B, r_H – радиусы верхних и нижних валцов, см;
 $Q_{ос}$ – осевая сила прижима заготовки к линейке, Н.

9.2. Попутное фрезерование

Мощность подачи $N_{под}$, кВт, рассчитывается по формуле

$$N_{под} = Q_{под} V_s / 60000. \quad (48)$$

Сила подачи $Q_{под}$, Н, определяется из выражения

$$Q_{под} = \alpha Q_{сп} = \alpha (2Q_G - \Sigma Q_{тр}), \quad (49)$$

где α – коэффициент запаса силы подачи, ($\alpha = 1,3-1,5$);

$Q_{сп}$ – сила торможения, Н;

$2Q_G$ – горизонтальная составляющая силы резания от двух фрез, Н;

$\Sigma Q_{тр}$ – суммарная горизонтальная составляющая сил трения, определяемая конструкцией механизма подачи, Н.

Горизонтальная и вертикальная составляющие силы резания Q_G, Q_B , Н, определяются по формулам

$$Q_G = F_x \cos Q_{ср}, \quad (50)$$

$$Q_B = F_x \sin Q_{ср}, \quad (51)$$

где F_x – средняя окружная касательная сила резания, Н.

Осевая сила на обороте фрезы $F_{ос}$, Н, определяется по формуле (36):

$$F_{ос} = \bar{F}_{ос.ср} Z_{фк} / 360.$$

Нормальная сила на фрезерно-обрезных станках на принятых углах встречи имеет незначительные значения и при расчете Q_G и Q_B не учитывается.

Суммарная горизонтальная составляющая сил трения $\Sigma Q_{тр}$, Н, равна:

$$\Sigma Q_{тр} = Q_{п} + Q_{н}, \quad (52)$$

где $Q_{п}$ – сила трения заготовки при перемещении по плоской поверхности (стол станка, поддерживающая поверхность), Н;

$Q_{н}$ – сила трения о направляющие линейки, Н.

$$Q_{п} = \mu (Z_{фр} Q_B + G), \quad (53)$$

$$Q_{н} = \mu F_{ос}, \quad (54)$$

где μ – коэффициент трения при скольжении заготовки по поверхности стола ($\mu = 0,3-0,5$);

$Z_{фр}$ – число фрез, шт.;

G – вес заготовки, Н;

$F_{ос}$ – осевая составляющая силы резания, Н.

Библиографический список

1. Стахийев Ю.М. и др. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины плоскими круглыми пилами / Ю.М. Стахийев, В.К. Пашков и др. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1986. 71 с.
2. Пашков В.К. Исследование и совершенствование фрезерно-обрезных станков. Отчет о НИР (промежуточный). 36/87. НТР 1870081239. Свердловск: УЛТИ, 1989. 153 с.
3. Пашков В.К., Виноградов В.Ф. Экспериментальные исследования сил резания во фрезерно-обрезном станке модели Ц2Д-1Ф // Станки и инструменты деревообрабатывающих производств: межвуз. сб. науч. тр. СПб: ЛТА, 1991. С. 35–39.
4. Пашков В.К. Виноградов В.Ф. Тензометрирование сил резания во фрезерно-обрезных станках // Станки и инструменты деревообрабатывающих производств: межвуз. сб. науч. тр. СПб: ЛТА, 1992. С. 41–44.
5. Дружинин В.С. и др. Руководящие технические материалы. Режимы резания фрезерно-обрезных станков / В.С. Дружинин, Г.В. Кудрявин. Архангельск: ЦНИИМОД, 1986. 99 с.
6. Боровиков Е.М. и др. Лесопиление на агрегатном оборудовании / Е.М. Боровиков, Л.А. Фефилов, В.В. Шестаков. М.: Лесная промышленность, 1985. 216 с.

Содержание

Предисловие.....	3
1. Общие сведения.....	3
2. Конструкция и режущий инструмент фрезерно-обрезных станков..	5
3. Установка режущего инструмента в станке.....	13
4. Кинематические параметры процесса резания.....	15
5. Мощность и силы резания при попутном пилении пилами.....	18
6. Расчет режимов попутного пиления.....	20
6.1. Определение скорости резания.....	20
6.2. Определение скорости подачи.....	20
7. Пример расчета сил и мощности при попутном пилении	22
8. Мощность и силы резания при попутном фрезеровании.....	23
8.1. Касательные силы резания. Мощность резания.....	23
8.2. Нормальные и осевые силы при фрезеровании торцово- коническими фрезами.....	25
8.3. Расчет режимов попутного фрезерования.....	27
9. Мощность и сила подачи.....	28
9.1. Попутное пиление.....	28
9.2. Попутное фрезерование.....	30
Библиографический список.....	31



В.К. Пашков

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ФРЕЗЕРНО-ОБРЕЗНЫХ СТАНКОВ

Екатеринбург
2010