

О СНИЖЕНИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ПИЛЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ КРУГЛЫМИ ПИЛАМИ *ABOUT POWER CONSUMPTION DECREASE AT LONGITUDINAL CUTTING OF WOOD BY CIRCULAR SAWS*

Главной задачей деревообрабатывающих предприятий является получение наибольшей прибыли, которая зависит от рационального использования древесного сырья с минимальным выходом отходов, качества выпускаемой продукции, экономного использования электроэнергии и увеличения производительности. Энергопотребление при пилении древесины круглыми пилами зависит от многих факторов: породы, температуры и влажности древесины, угловых параметров и профиля зубьев пил, количества зубьев, величины их уширения на сторону и диаметра пил, конструкции станка и режима пиления на нем и др. Ниже рассмотрены основные факторы процесса пиления, позволяющие снизить энергопотребление.

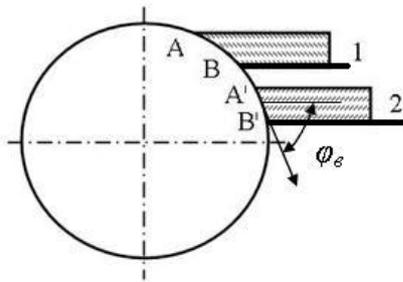


Рисунок 1 – Расположение пилы относительно заготовки

1. Положение стола станка относительно пильного вала. Известно, что затупление режущих кромок лезвий пилы зависит от длины пути контакта зубьев в заготовке, равной сумме дуг контакта пилы с заготовкой.

Заготовку на столе станка можно расположить относительно центра пилы в положение 1 или 2 (рис. 1). Тогда длина дуги контакта зуба пилы с заготовкой будет соответственно AB или $A'B'$. Ясно, что дуга AB длиннее дуги $A'B'$. Это значит, что на заготовке в положении 1 режущие кромки зубьев пилы тупятся быстрее, чем на заготовке в положении 2. Коэффициент затупления α_p в положении заготовки 1 будет больше, чем в положении 2, т.е. $\alpha_{p1} > \alpha_{p2}$. Кроме того, при продольном пилении заготовки 1 угол встречи φ_c (угол перерезания волокон древесины) меньше, чем при пилении заготовки 2. В связи с этим удельная сила продольно-торцового резания $F_{y\partial 1} < F_{y\partial 2}$.

Таким образом, при продольном пилении заготовки 2 по сравнению с пилением заготовки 1 наблюдается действие двух противоположно влияющих факторов: с одной стороны – уменьшение длин дуг контакта, замедление затупления, а с другой – увеличение удельной силы резания, т.е. энергозатрат. Конечный результат совместного действия этих факторов пока неочевиден. Решим этот вопрос на модели процесса пиления, путем решения задачи по методике А.Л. Бершадского.

Пример 1. Дано. Скорость подачи при продольном пилении $V_s = 30$ м/мин, распиливается древесина березы, высота пропила 25; 32; 40; 50 мм, диаметр пилы $D = 500$ мм, число зубьев $Z = 72$, ширина пропила $b = 3,5$ мм, частота вращения пилы $n = 2000$ мин⁻¹.

Определить мощность на пиление. Зависимость расчетной мощности пиления представлена на рисунке 2. Графики показывают, что с увеличением расстояния h от поверхности стола до оси вращения пильного вала мощность на пиление во всех случаях увеличивается.

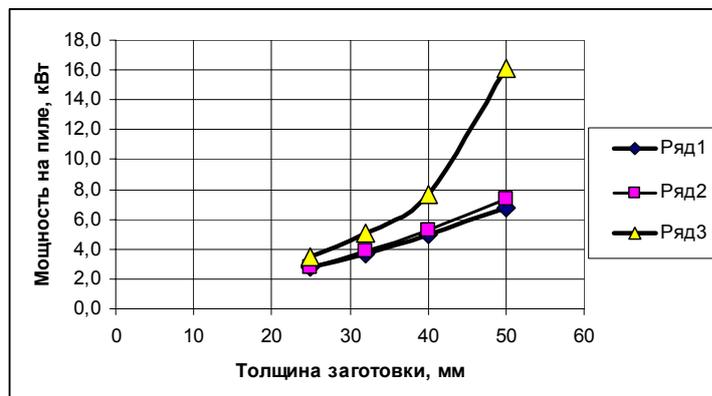


Рисунок 2 – Зависимость мощности пиления от высоты пропила для различных значений высоты стола h над пильным валом станка:
 ряд 1 – $h = 90$ мм; ряд 2 – $h = 150$ мм; ряд 3 – $h = 200$ мм

2. Увеличение диаметра пилы. С увеличением диаметра круглой пилы при продольном пилении длина дуги контакта пилы с заготовкой уменьшается, замедляется процесс затупления режущих кромок зубьев. Кроме того, с ростом диаметра пилы увеличивается скорость главного движения, увеличивается угол встречи зубьев с волокнами древесины и пиление приближается к торцовому резанию, самому энергоемкому резанию. Это приводит к росту значений фиктивной силы резания и касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба. Энергозатраты на резание должны увеличиться.

Конечное влияние совместного действия этих факторов на мощность резания определим на модели пиления по примеру 1, принимая диаметры пил 315; 400; 500; 560 мм.

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость мощности пиления P , кВт, от диаметра круглой пилы и высоты пропила

| Диаметр пилы D , мм | Высота пропила t , мм | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----|-----|-----|
| | 25 | 32 | 40 | 50 |
| 315 | 2,9 | 4,0 | 5,5 | 7,9 |
| 400 | 2,7 | 3,7 | 5,0 | 6,9 |
| 500 | 2,8 | 3,7 | 5,0 | 6,8 |
| 560 | 2,8 | 3,8 | 5,1 | 6,9 |

С увеличением диаметра пилы от 315 мм до 400 мм при заданном режиме мощность пиления уменьшилась в зависимости от высот пропила соответственно на 6,9%, 7,5%, 9,1%, 12,7%. При дальнейшем увеличении диаметра уменьшение мощности не наблюдается.

3. Уменьшение числа зубьев пилы. Расход мощности на пиление зависит от количества зубьев пилы находящихся в пропилах на дуге контакта. Чем меньше зубьев на дуге контакта, тем меньше затраты энергии на пиление. Обычно считают, что одновременно должны работать минимум 2 и максимум 4 зуба. Если в распиливаемом материале будет находиться менее 2-х зубьев, пила не будет работать устойчиво и при небольшой мощности качество пропила ухудшится. Если в пропилах будет находиться большое количество зубьев, то мощность на пиление увеличится, и внешняя зона пильного диска будет сильно нагреваться. Пила теряет свою плоскостность и может выйти из строя из-за трения о распиливаемый материал.

Общее правило такое: для пиления тонких материалов следует использовать пилы с большим количеством зубьев, а для пиления толстых – с меньшим.

Высказанные соображения проверим на модели пиления по условиям примера 1, приняв при диаметре пилы 450 мм число зубьев 36; 48; 60; 72. Результаты расчета представлены на рисунке 3.

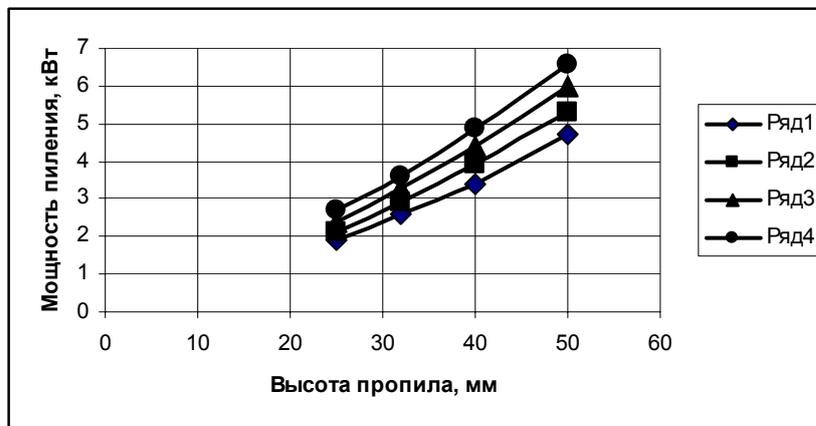


Рисунок 3 – Зависимость мощности пиления от количества зубьев пилы:
 ряд 1 – $Z = 36$; ряд 2 – $Z = 48$; ряд 3 – $Z = 60$; ряд 4 – $Z = 72$

Результаты расчета показывают, что с увеличением количества зубьев пилы мощность, затраченная на пиление, увеличивается.

4. Выбор профиля зубьев. Для продольного пиления древесины применяют круглые пилы с различным профилем зубьев.

Наиболее часто для пиления применяют пилы с зубьями прямой заточки, когда главные режущие кромки расположены перпендикулярно корпусу диска, и с косой заточкой, когда главные режущие кромки расположены под острым углом к корпусу диска. Заменяя зубья с прямой заточкой на зубья с косой заточкой по передней и задней граням, процесс резания древесины переводится с продольно-торцового на продольно-торцово-поперечный. В результате удельная сила резания убывает и уменьшаются затраты мощности на пиление.

Для доказательства рассмотрим режим пиления по примеру 2.

Пример 2. На однопильном круглопильном станке распиливаются сосновые брусья толщиной $t = 100$ мм на доски. Высота стола над центром пилы $h = 105$ мм, диаметр пилы $D = 650$ мм, число зубьев $z = 36$, толщина диска пилы $S = 4,4$ мм, уширение зубьев на сторону $S' = 1,2$ мм, ширина пропила $b = 6,8$ мм, зубья оснащены пластинами твердого сплава ВК15, угол резания $\delta = 70^\circ$, скорость подачи $V_s = 10$ м/мин, частота вращения пильного вала $n = 1500$ мин⁻¹.

Зубья пилы имеют косую заточку с углом наклона режущей кромки $\lambda=10^\circ$. Решение проводилось в сравнении с пилением пилой с прямой заточкой.

Результаты расчета показали, что при использовании пилы с прямыми зубьями мощность пиления равна $P_n = 8,28$ кВт, при косой заточке зубьев $P_k = 5,48$ кВт. С увеличением угла наклона режущих кромок мощность на пиление можно уменьшить. Так при $\lambda=20^\circ$ $P_k=4,94$ кВт, при $\lambda=30^\circ$ $P_k=4,37$ кВт.

5. Пила с стружкообразующими и подчищающими зубьями. Снижение энергопотребления при продольном пилении может быть достигнуто путем особой подготовки пилы.

На рисунке 4 показана схема продольного пиления круглой пилой, у которой стружкообразующими являются зубья 1, 4, 7 и т.д., а зубья 2, 3, 5,6 и т.д. являются подчищающими. Уширение для всех зубьев выполнено одинаково.

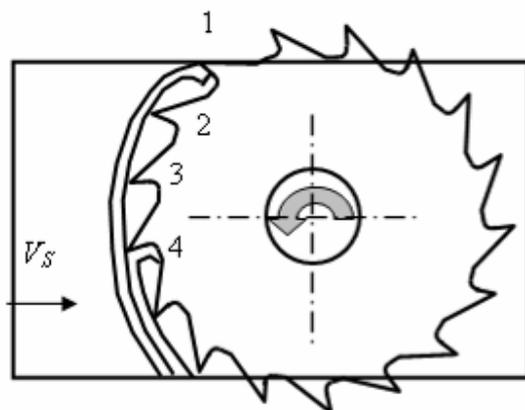


Рисунок 4 – Работа стружкообразующих и подчищающих зубьев пилы

Подчищающие зубья имеют укороченную высоту, поэтому их режущие кромки не задевают дно пропила. Боковые режущие кромки этих зубьев подчищают стенки пропила, срезая тонкие слои древесины, и гасят боковые колебания пилы.

При такой организации пиления на долю стружкообразующих зубьев приходится утроенная величина подачи на зуб. Стружка срезается толще обычного в три раза. Удельная работа резания убывает, что приводит к уменьшению мощности на пиление примерно на 34%. Пилы с подчищающими и стружкообразующими зубьями широко применялись архангельскими лесопильными предприятиями во время Великой отечественной войны.

Пила "Ганнибал". Для продольного пиления массивной древесины с высотой пропила более 90 мм используют пилы с зубчатым венцом "Ганнибал". Зубчатый венец такой пилы поделен на несколько секторов, разъединенных глубокими пазухами, которые очищают пропил от опилок, прерывают температурное поле в пиле и более интенсивно охлаждают корпус пилы.

Пила состоит из 4...8 зубчатых секторов (рис. 5) с глубокими пазухами между ними. При формировании глубокой пазухи вырезают, например, 1...3 зуба и соответственно 2...4 междузубных пазухи обычной пилы [1].

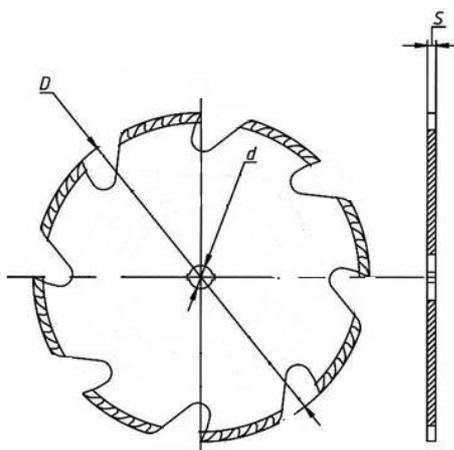


Рисунок 5 – Пила с зубчатым венцом ”Ганнибал”

Технические характеристики пил с зубчатым венцом ”Ганнибал” приведены в таблице 2.

Пила с зубчатым венцом ”Ганнибал” по сравнению с обычной пилой имеет серьезный недостаток. Если при работе обычной пилы все зубья удаляют срезаемые слои с подачей на зуб, равной S_z , то у пилы с зубчатым венцом ”Ганнибал” подача на зуб неравномерна по величине. Первый зуб по ходу вращения пилы, примыкающий к глубокой пазухе, работает с подачей на зуб $(2...4)S_z$, а остальные зубья сектора – с подачей на зуб S_z .

Таблица 2 – Технические характеристики пил с зубчатым венцом ”Ганнибал”
ОАО ”Горьковский металлургический завод”

| D, мм | d, мм | S, мм | Кол-во секторов Z × кол-во зубьев z_c в секторе |
|-------|-------|-------|---|
| 500 | 50 | 3,2 | 8 × 5; 6 × 4; 4 × 7 |
| 600 | 50 | 3,6 | 8 × 5; 6 × 4; 4 × 7 |
| 700 | 50 | 4,0 | 8 × 5; 6 × 4; 4 × 7 |
| 800 | 50 | 4,5 | 8 × 5; 6 × 4; 4 × 7 |
| 1000 | 50 | 5,0 | 8 × 5; 6 × 4; 4 × 7 |
| 1150 | 50 | 6,0 | 8 × 5; 6 × 4; 4 × 7 |

Первые зубья секторов сильно нагружены, они быстро затупляются, испытывают повышенные деформации и напряжения, сильно нагреваются, прежде всего, в них образуются микротрещины и зубья ломаются.

Сохранить известные достоинства пилы ”Ганнибал” и избавиться от указанных недостатков можно, если пиковую нагрузку зуба 1 равномерно переложить на все зубья сектора (рис. 6). Для равномерной загрузки зубьев сектора подачу на зуб первого зуба (по сравнению с обычной пилой) надо уменьшить на $0,6S_z$, второго – на $0,45S_z$, третьего – на $0,3S_z$, четвертого – на $0,15S_z$, пятого – на $0,0S_z$. Для этого высоты зубьев следует укоротить.

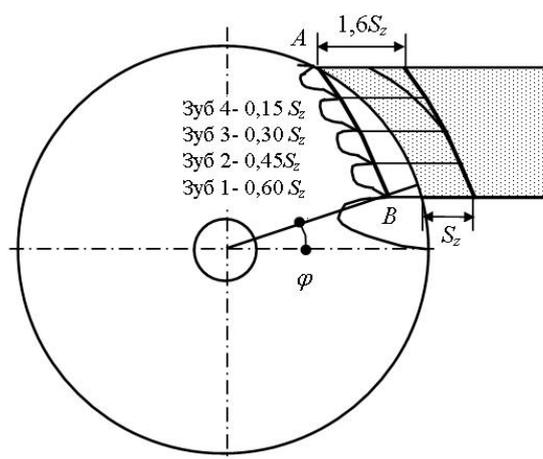


Рисунок 6 – Схема расположения зубьев на секторе пилы при равномерной их нагрузке

Радиусы режущих кромок зубьев можно найти по формуле

$$R_1 = R - 0,6S_z \cos \varphi_1 = R - 0,55S_z; \quad R_2 = R - 0,45S_z \cos \varphi_2 = R - 0,4S_z;$$

$$R_3 = R - 0,3S_z \cos \varphi_3 = R - 0,25S_z; \quad R_4 = R - 0,15S_z \cos \varphi_4 = R - 0,12S_z.$$

Выполним расчет режимов пиления пилами с глубокими пазухами и обычной пилой.

Пример 3. На круглопильном делительном станке распиливаются сосновые заготовки влажностью $W = 30\%$. Диаметр пилы с глубокими пазухами $D = 600$ мм, толщина диска $S = 3,6$ мм, количество секторов 8, количество зубьев в секторе 5, количество удаленных зубьев для формирования глубокой пазухи $z_{yz} = 3$, зубья оснащены стеллитом ВЗКР. Высота пропила $t = 100, 125, 150$ мм. Частота вращения пильного вала $n = 1000$ мин⁻¹. Период стойкости $T = 15$ ч = 900 мин, интенсивность затупления зуба $\gamma_{\Delta} = 0,00017$ мкм/м. Высота стола над центром пилы $h = 90$ мм. Скорость подачи $V_s = 6$ м/мин.

Определить мощность двигателя механизма главного движения P для пил с глубокими пазухами и обычной.

Расчетами установлено, что мощность на пиле:

обычной – $P = 6,15$ кВт; “Ганнибал” – $P = 4,53$ кВт.

Результаты расчетов показывают, что, изменяя количество удаляемых зубьев $z_{уд}$ от 3, до 2 и 1, мощность на пиле с глубокими пазухами не изменяется, но по сравнению с круглой пилой, из которой пила с глубокими пазухами получается, расход мощности сокращается соответственно на 30,5%, 31,7% и 33,7%. Для пилы диаметром 600 мм, $z_{уд} = 3$ и $Z \times z_c = 6 \times 4$ и $Z \times z_c = 4 \times 7$ (табл. 2) расход мощности для условий рассмотренного примера сокращается соответственно на 28,7...29,1% и 19,8...20,1%.

6. Оснащение зубьев пил твердыми сплавами. Оснащение зубьев пил твердыми сплавами (карбидами вольфрама и кобальта типа ВК15 и стеллитами ВЗКР) широко применяется деревообрабатывающими предприятиями.

По сравнению с инструментом из легированной инструментальной стали период стойкости режущего инструмента, оснащенного вольфрамокобальтовым сплавом, повышается в 20...50 раз. Однако такие инструменты имеют серьезные недостатки: дороговизна, применение алмазных заточных кругов и прецизионных заточных станков,

хрупкость при встрече с металлическими и другими твердыми включениями, высокие напряжения и, как следствие, низкая прочность паяного шва из-за разности температурных коэффициентов удлинения стального корпуса и пластинок твердого сплава [2]. Такие пилы быстро затупляются при обработке влажной древесины.

Преимущество стеллитированных режущих инструментов наиболее ярко проявляется при распиловке твердых пород древесины (красное дерево, тик, дуб и др.), влажной и мерзлой древесины. Преимущества наблюдаются при пилении и мягких пород древесины, сухой древесины: боковые вершинки режущей кромки зуба пилы, образованные пересечением передней, задней и боковыми гранями, длительно сохраняют свою остроту, в результате чего улучшается шероховатость распиленных поверхностей.

У твердосплавных пил замедляется процесс затупления режущих кромок зубьев и в процессе пиления сокращается расход мощности.

Вывод. Используя выше рассмотренные приемы, можно подобрать рациональные режимы и снизить затраты электрической энергии на пиление древесины.

Библиографический список

1. Глебов, И.Т. Расчет режима резания древесины пилами с глубокими пазухами [Текст]/ И.Т. Глебов//Современные проблемы лесозаготовительных производств, производства материалов и изделий из древесины: пиломатериалы, фанера, деревянные дома заводского изготовления, столярно-строительные изделия. Материалы Международной научно-практической конференции 27-28 марта 2009 г. Т. 1.С-Петербург, 2009. С.74-81.

2. Зайцев, В.В. Особенности конструкций пыльного инструмента в условиях закрытого резания при первичной переработке круглого леса большого диаметра и повышение ресурса пил с использованием перспективной технологии наплавки стеллита [Текст]/ В.В. Зайцев/М.: "Лесопромышленник" №2. №3. 2001.

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) GIT5@yandex.ru

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

MODERN METHODS OF CALCULATION OF MODES OF WOOD CUTTING

Теорией резания древесины разработано несколько расчетных методов, позволяющих определять мощность и силы резания, скорости подачи. Основные методы следующие:

- метод, использующий уравнения регрессии;
- метод, использующий эмпирические степенные формулы;
- метод использования объемной формулы;
- метод использования табличной силы;
- метод А.Л. Бершадского;
- аналитический.