

Д. К. ЗЕНЧЕНКО

доцент кандидат техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖЗАТОЧНЫХ ПЕРИОДОВ ПИЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ НА ЛЕСОЗАГОТОВКАХ

В процессе пиления режущие элементы зубцов пильной цепи постепенно затупляются, вследствие чего производительность чистого пиления, выражаемая величиной площади пропила в единицу времени, снижается. Если пильную цепь, работающую длительное время, не подвергать повторной заточке, то наступит такой момент, когда пильная цепь совсем утратит режущие свойства и производительность пиления практически будет равна нулю. Следовательно, пильная цепь после некоторой площади пропила F_0 должна подвергаться повторной заточке. Эта площадь пропила, получаемая между двумя заточками, характеризует межзаточный период пильной цепи и называется межзаточной площадью пропила.

Чем чаще будет затачиваться пильная цепь в течение рабочей смены, тем выше будет производительность чистого пиления. С этой точки зрения целесообразно пильную цепь затачивать как можно чаще. Однако при частой заточке будут возрастать непроизводительные затраты времени на замену пильных цепей и эксплуатационные расходы, связанные с перезаточкой и сокращением срока службы пильной цепи. С этой точки зрения целесообразно пильную цепь затачивать реже. В таком случае необходимо найти такую межзаточную площадь пропила (или, что то же самое, межзаточный период), которая бы удовлетворяла двум требованиям: обеспечению максимальной площади пропила в смену и минимальной себестоимости единицы площади пропила. При удовлетворении этих требований межзаточная площадь пропила будет иметь оптимальное значение.

Для установления оптимального значения межзаточной площади пропила F_0 необходимо найти зависимости площади пропила в смену S и удельных эксплуатационных расходов y ,

приходящихся на единицу площади пропила, от межзаточной площади пропила F_0 , т. е. должны быть найдены уравнения вида:

$$S = f(F_0) \quad (a)$$

и

$$y = f(F_0). \quad (б)$$

Задача по отысканию оптимального значения межзаточной площади пропила F_0 будет считаться решенной, если указанные уравнения при исследовании их на maximum и minimum дадут: (a) S max, (б) y min.

Площадь пропила в смену, в зависимости от межзаточной площади пропила, равна

$$S = \frac{T - T_1'}{T_0 + \frac{F_0}{f} t + t_0} \cdot F_0, \quad (1)$$

где: T — продолжительность рабочей смены;

T_1 — подготовительно-заключительное время и простой по техническим и организационным причинам;

T_0 — время чистого пиления за межзаточный период;

F_0 — межзаточная площадь пропила;

f — средняя площадь одного пропила;

t — среднее время на переход электропильщика между двумя соседними пропилами;

t_0 — среднее время замены пильной цепи на вновь заточенную.

Уравнение (1) содержит две взаимозависимых переменных величины T_0 и F_0 и не поддается решению. Возникает необходимость отыскания аналитической связи между этими переменными. Взаимосвязь между временем чистого пиления и площадью пропила за это время обусловлена интенсивностью (скоростью) затупления пильной цепи. Если исключить фактор затупления и полагать, что пильная цепь все время остается абсолютно острой, то в этом случае между T_0 и F_0 существует зависимость, выражаемая уравнением

$$\bullet \quad F_0 = C T_0.$$

Здесь коэффициент C представляет постоянную производительности чистого пиления.

В действительности же при пилении протекают сложные процессы затупления пильной цепи, обуславливающие сложную взаимосвязь между рассматриваемыми переменными T_0 и F_0 , отыскание которой требует специальных исследований.

Теория затупления резцов не дает нам ответа на поставленный вопрос. В связи с этим автором были проведены специальные экспериментальные исследования затупления пильных цепей электропил, применяемых на лесоразработках. В результате этих исследований было установлено, что между

интересующими нас переменными существует зависимость, выражаемая эмпирическим уравнением кривой

$$F_0 = \sqrt{aT_0 - b}, \quad (2)$$

где: F_0 в кв метрах, T_0 в мин.,

a и b — постоянные параметры кривой.

Численные значения постоянных кривой зависят от большего количества факторов и приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Численные значения постоянных параметров кривой при пилении свежесрубленной древесины хвойных и твердолиственных пород

Тип пильной цепи	Угол боковой заточки режущего зуба в град.	Хвойные		Твердолиственные	
		a	b	a	b
Н-206 м	55	1,53	9,6	0,663	3,15
ПЦ-15	60	—	—	0,61	4,9

Подставляя в уравнение (1) вместо T_0 его значение, получим следующее уравнение, связывающее площадь пропила в смену S с межзаточной площадью пропила F_0 :

$$S = \frac{(T - T_1) a F_0}{F_0^2 + \frac{at}{f} F_0 + at_0 + b}. \quad (3)$$

Положим далее, что

$$a \frac{t}{f} = A,$$

$$at_0 + b = B,$$

$$(T - T_1) a = C,$$

тогда уравнение (3) переписывается в таком виде:

$$S = \frac{CF_0}{F_0^2 + AF_0 + B}. \quad (4)$$

Для исследования функции S на максимум возьмем от этого уравнения первую производную:

$$\frac{dS}{dF_0} = \frac{CB + CF_0^2}{(CF_0^2 + AF_0 + B)^2}.$$

Последнее равенство приравняем к нулю и находим критическое значение площади пропила F_0 .

$$F_0^2 = B$$

или с учетом того, что из (2)

$$F_0^2 = aT_0 - b,$$

получим окончательно

$$F_0 = \sqrt{at_0 + b}. \quad (5)$$

Возьмем от (4) вторую производную

$$\frac{d^2S}{dF_0^2} = \frac{-2CF_0(F_0^2 + AF_0 + B)^2 - C(B - F_0^2)2(F_0^2 + AF_0 + B)(2F_0 + A)}{(F_0^2 + AF_0 + B)^4}.$$

Подстановка критического значения F_0 во вторую производную показывает, что ее значение имеет отрицательный знак. Следовательно, площадь пропила в смену имеет максимальное значение S_{\max} при

$$F_{0(S_{\max})} = \sqrt{at_0 + b}. \quad (5a)$$

Здесь индекс (S_{\max}) напоминает, что межзаточная площадь пропила F_0 дает S_{\max} .

Найдем далее уравнение удельных эксплуатационных расходов y , связывающих эти расходы с межзаточной площадью пропила F_0 , и подвергнем его исследованию на *minimum*.

Удельные эксплуатационные расходы y складываются из удельных расходов на содержание и амортизацию электропил и электростанции и равны сумме следующих элементов расхода, отнесенных на единицу площади пропила:

а) отчисления на амортизацию пильной цепи

$$y_1 = \frac{C_1 \Delta l}{l_0 F_0},$$

где: C_1 — стоимость пильной цепи;

l_0 — длина участка на сточку зуба;

Δl — средняя толщина слоя металла, снимаемого за одну заточку;

б) отчисления на амортизацию электропил

$$y_2 = \frac{1,05C_2}{A_2 S},$$

где: C_2 — стоимость электропилы;

A_2 — срок амортизации электропилы в сменах;

S — площадь пропила в смену;

в) содержание рабочих, обслуживающих электропилы,

$$y_3 = \frac{3T_2}{S},$$

где: T_2 — средняя тарифная ставка;

г) отчисления на амортизацию электростанции

$$y_4 = \frac{1,05 C_3}{A_3 n_1 S} + \frac{1,1 RC_6}{n_1 S},$$

где: R — расход бензина в смену;

C_6 — стоимость килограмма бензина;

n_1 — количество одновременно обслуживаемых электропил;

C_3 — стоимость электростанции;

A_3 — срок службы электростанции в сменах;

д) отчисления на амортизацию точильного станка

$$y_5 = \frac{C_4}{A_4 F_0} + \frac{1,05 C_5}{A_5 n_1 S},$$

где: C_4 — стоимость точильного круга;

A_4 — срок амортизации точильного круга, выраженный числом заточек пильной цепи;

C_5 — стоимость точильного станка;

A_5 — срок амортизации точильного станка в сменах;

е) содержание обслуживающего электростанцию технического персонала

$$y_6 = \frac{2T_3}{n_1 S},$$

где: T_3 — средняя тарифная ставка персонала. Суммарные расходы в общем виде будут равны:

$$y = \frac{M}{F} + \frac{N}{S},$$

где M и N — постоянные величины.

Заменяя в этом выражении значение S из уравнения (4), получим после простейших приведений следующее уравнение, связывающее удельные расходы с межзаточной площадью пропила F_0

$$y = \frac{NF_0}{C} + \left(M + \frac{NB}{C} \right) \frac{1}{F_0} + \frac{NA}{C}. \quad (6)$$

Уравнение (6) имеет одну переменную F_0 . Остальные величины являются постоянными.

Для исследования функции y на минимум возьмем от уравнения (6) первую производную:

$$\frac{dy}{dF_0} = \frac{N}{C} - \frac{MC + NB}{CF_0^2}.$$

Приравнявая первую производную к нулю, получим:

$$F_0^2 = \frac{MC}{N} + B,$$

откуда находим критическое значение F_0 :

$$F_0 = \sqrt{\frac{MC}{N} + B}.$$

Возьмем вторую производную от уравнения (6):

$$\frac{d^2y}{dF_0^2} = \frac{(MC + NB) 2CF_0}{(CF_0^2)^2}.$$

Подстановка критического значения F_0 во вторую производную дает положительный знак. Следовательно, удельные эксплуатационные расходы имеют минимальное значение y_{\min} при

$$F_0(y_{\min}) = \sqrt{\frac{MC}{N} + B}$$

или, так как

$$B = at_0 + b,$$

получим окончательно

$$F_0(y_{\min}) = \sqrt{\frac{MC}{N} + at_0 + b}. \quad (7)$$

Здесь индекс (y_{\min}) напоминает, что межзаточная площадь пропила F_0 дает y_{\min} .

Выведенные уравнения (5а) и (7) показывают, что межзаточная площадь пропила $F_0(y_{\min})$, соответствующая минимальным удельным расходам y_{\min} , не совпадает по своей величине с межзаточной площадью пропила $F_0(S_{\max})$, соответствующей максимальной площади пропила в смену S_{\max} .

Следовательно, точки S_{\max} и y_{\min} не совпадают. Мы не даем здесь анализа несовпадению этих точек. Нас интересует другой практический вопрос: как велико будет отклонение абсолютных значений удельных эксплуатационных расходов y от их действительного минимального значения y_{\min} , если предположить, что координаты точки y_{\min} совпадают с координатами точки S_{\max} . Оказывается, в этом случае удельные расходы y повышаются на весьма малую величину, составляющую 0,0018 y_{\min} , т. е. 0,18% от действительного значения.

Для наглядности изучения изменений функции S и y в зависимости от любых, произвольно взятых, значений межзаточной площади пропила F_0 мы построили график кривых $S\%$ и $y\%$ (рис. 1). Координаты точек кривых определены по уравнениям:

$$а) S\% = \frac{CF_0}{F_0^2 + AF_0 + B} \cdot \frac{100}{S_{\max}}$$

и

$$б) y\% = \frac{NF_0^2 + ANF_0 + NB + MC}{CF_0} \cdot \frac{100}{y_{\min}}.$$

Кривые графика показывают следующее:

а) площадь пропила в смену, выраженная в процентах ($S\%$), с увеличением межзаточной площади пропила F_0 сначала быстро увеличивается, достигая максимума в точке a при $F_0(S_{\max}) = = 3,13 \text{ м}^2$, а затем медленно снижается;

б) удельные эксплуатационные расходы, выраженные в процентах ($y\%$), с увеличением межзаточной площади пропила F_0 сначала быстро уменьшаются, достигая минимума в точке b при $F_0(y_{\min}) = 3,33 \text{ м}^2$, а затем медленно возрастают.

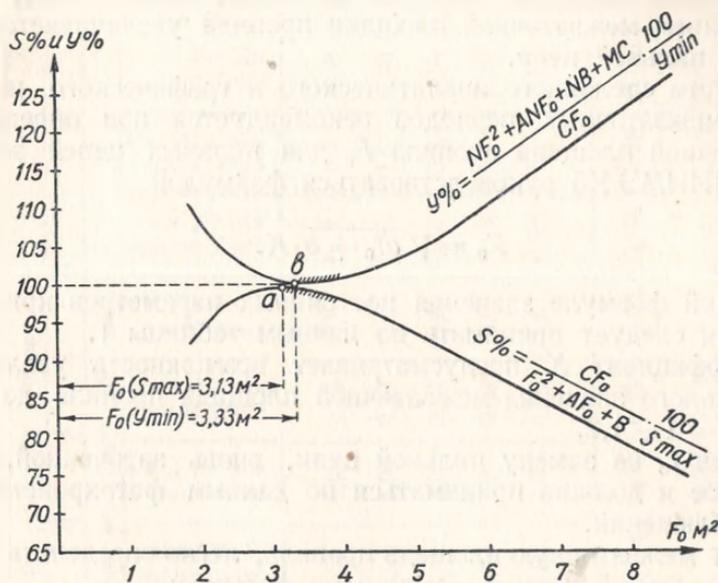


Рис. 1. Кривые площади пропила в смену и удельных расходов в % в зависимости от межзаточной площади пропила.

Если точку b , соответствующую минимальному значению удельных эксплуатационных расходов y_{\min} , полагать смещенной влево до совпадения с точкой a , соответствующей максимальному значению площади пропила в смену S_{\max} , то при этом y_{\min} отклонится от своего истинного значения на 0,18%. При практических расчетах межзаточной площади пропила F_0 указанной величиной отклонения, ввиду ее малости, можно пренебречь, т. е. принять:

$$F_0(S_{\max}) \simeq F_0(y_{\min}) \simeq F_{\text{opt}}.$$

Тогда оптимальное значение межзаточной площади пропила будет равно:

$$F_{\text{opt}} = \sqrt{at_0 + b}.$$

Из графика также видно, что кривые имеют сильно пологие части ветвей (на графике показаны штриховкой), мало чувствительные к значительному изменению величины межзаточной площади пропила F_0 . Так, с увеличением оптимального значения межзаточной площади пропила от $F_0 = 3,13 \text{ м}^2$ до $F_0 = 3,76 \text{ м}^2$, т. е. на 20,1%, максимальное значение площади пропила в смену S_{\max} уменьшается в пределах 1%, а удельные эксплуатационные

расходы увеличиваются в пределах 0,4% от их истинного минимального значения y_{\min} .

Эта особенность указанных участков кривых использована нами как основание для увеличения оптимального значения межзаточной площади пропила до 20%, имея в виду, что с увеличением межзаточной площади пропила увеличивается срок службы пильной цепи.

В итоге сделанного аналитического и графического исследования межзаточных периодов рекомендуется при определении межзаточной площади пропила F_0 для пильных цепей электропил ЦНИИМЭ-К5 руководствоваться формулой

$$F_0 = \sqrt{at_0 + b} \cdot K.$$

В этой формуле значения постоянных параметров кривой затупления следует принимать по данным таблицы 1.

Коэффициент K предусматривает возможность увеличения оптимального значения межзаточной площади пропила до 20%, т. е. $K = 1 - 1,2$.

Время t_0 на замену пильной цепи, вновь заточенной, незначительное и должно приниматься по данным фотохронометражных наблюдений.

Зная межзаточную площадь пропила, легко определить число заточек пильной цепи в смену n по формуле:

$$n = \frac{S}{F_0} \cdot K \quad (8)$$

Для пильной цепи ПЦ-15, при работе на валке твердых пород, число заточек в смену, определенное по формуле (8), колеблется от 3 до 7, в зависимости от среднего объема хлыста.

По межзаточной площади пропила можно рассчитывать сроки службы пильных цепей по формуле:

$$C_v = \frac{l_0}{\Delta l} \cdot \frac{F_0}{\omega} \quad (9)$$

где: ω — удельная площадь пропила, приходящаяся на кубометр заготовленной древесины.

Отношение $\frac{l_0}{\Delta l}$ дает число заточек, которое может выдержать пильная цепь. Длина стачиваемого участка режущего зуба l_0 зависит от первоначальной длины задней грани зуба. По данным измерений оставшейся длины задней грани на амортизированных в леспромхозах пильных цепях ПЦ-15, длина стачиваемого участка l_0 получается в среднем около 8—9 мм.

Толщина снимаемого слоя за одну заточку Δl зависит, главным образом, от способа заточки и от степени затупления кон-

Данные измерений износа длины задней грани режущих зубцов пильной цепи
ПЦ-15-М вследствие повторных заточек

№№ подопытных зубцов	Первоначальная дли- на задней грани ре- жущих зубцов l мм	Порядковые номера заточек режущих зубцов														Средний износ	
		1		2		3		4		5		6		7		на 35 заточек $\epsilon \Delta l$ мм	на одну заточку ср. Δl мм
		Линейный износ задней грани режущего зубца на															
пять заточек $\epsilon \Delta l$ мм	одну заточ- ку Δl мм	пять зато- чек $\epsilon \Delta l$ мм	одну заточ- ку Δl мм	пять зато- чек $\epsilon \Delta l$ мм	одну заточ- ку Δl мм	пять зато- чек $\epsilon \Delta l$ мм	одну заточ- ку Δl мм	пять зато- чек $\epsilon \Delta l$ мм	одну заточ- ку Δl мм	пять зато- чек $\epsilon \Delta l$ мм	одну заточ- ку Δl мм	пять зато- чек $\epsilon \Delta l$ мм	одну заточ- ку Δl мм	пять зато- чек $\epsilon \Delta l$ мм	одну заточ- ку Δl мм		
1	13,1	1,1	0,22	0,9	0,18	1,1	0,12	1,0	0,20	0,9	0,18	0,9	0,18	0,9	0,18	6,8	0,1943
2	13,1	1,1	0,22	0,9	0,18	1,0	0,20	0,9	0,18	1,0	0,20	1,0	0,20	1,0	0,20	6,9	0,1971
3	13,0	0,8	0,16	1,1	0,22	1,0	0,20	0,9	0,18	0,9	0,18	0,8	0,16	0,8	0,16	6,3	0,1800
4	13,3	1,2	0,24	1,0	0,20	0,9	0,18	0,8	0,16	1,0	0,20	0,9	0,28	1,0	0,20	3,8	0,1943
5	13,3	1,3	0,26	1,0	0,20	0,8	0,16	1,0	0,20	1,0	0,20	1,0	0,20	1,1	0,22	7,2	0,2087
	13,16	1,1	0,22	0,98	0,196	0,96	0,192	0,92	0,184	0,96	0,192	0,92	0,182	0,98	0,192	6,8	0,1942

$$M = \frac{6,8}{35} = 0,1942 \text{ мм } \sigma = \pm \frac{0,016708}{34} = \pm 0,000491 \text{ мм } V = \frac{0,02214}{0,1942} \cdot 100 = 11,4\% \quad m = \pm \frac{0,02214}{\sqrt{35}} = \pm 0,0037 \text{ мм } \frac{M}{m} =$$

$$= \frac{0,1942}{0,0037} = 52,4 > 3.$$

Следовательно, $M = 0,1942 \pm 0,0037 \text{ мм.}$

чика зуба за межзаточный период. Величина Δl в различных литературных источниках дается па-разному.

Некоторые авторы указывают на величину Δl , равную 0,2--0,3 мм, другие авторы считают возможным снизить Δl до 0,1--0,15 мм.

В связи с этим мы провели опытную работу по установлению толщины снимаемого слоя Δl при заточке пильных цепей ПЦ-15 на станке Витковского в производственных условиях.

Подопытный образец пильной цепи ПЦ-15 изучался на раскряжкевке хлыстов, доставлявшихся трелевочными тракторами на разделочную эстакаду.

Всего было сделано 6537 пропилов общей площадью 238,646 м² и заготовлено 718,81 м³ древесины в сортиментах.

Средняя удельная площадь пропила, приходящаяся на один кубометр заготовленной древесины в сортиментах, составила

$$\omega = 0,332 \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

Данные измерений износа зубьев вследствие повторных заточек приведены в таблице 2, из которой видно, что интересующая нас толщина снимаемого слоя металла за одну заточку Δl колеблется на пяти подопытных зубцах в пределах от 0,1800 до 0,2057 мм и в среднем составляет

$$\Delta l = 0,1942 \pm 0,0037 \text{ мм}.$$

Подставляя приведенные опытные данные в формулу (9), получим

$$C_v = \frac{9}{0,19} \cdot \frac{4}{0,332} = 571 \text{ м}^3.$$

Это означает, что при межзаточной площади пропила $F_0 = 4 \text{ м}^2$ одной пильной цепью ПЦ-15 можно заготовить 571 м³ древесины твердолиственных пород в сортиментах, после чего пильная цепь становится непригодной для дальнейшего пользования.

На валке леса удельная площадь пропила меньше, чем на раскряжкевке, и может быть легко определена для разработки лесосеки по среднему диаметру насаждения и среднему объему хлыста. При валке леса в насаждениях со средним объемом хлыста 0,50—0,75 срок службы пильной цепи в кубометрах заготовленной древесины в хлыстах составит:

$$C_v = \frac{9}{0,19} \cdot \frac{4}{0,1194} = 1575 \text{ м}^3.$$

Изложенный в работе метод определения межзаточных периодов пильных цепей и полученные экспериментальные данные могут быть использованы на практике и при дальнейших исследованиях.