

УДК 531.16;51-74

А. В. Алифанов, С. И. Русан, В. В. Цуран

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## РАЗРАБОТКА И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЗАТОЧКИ ГЕЛИКОИДАЛЬНЫХ РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ ПО КРАЙНИМ И СРЕДНЕЙ ТОЧКАМ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ЛЕЗВИЯ

Геликоидальные рубильные ножи применяются в специализированных рубильных машинах, не имеющих механизмов подачи древесного сырья в зону рубки щепы. Подача осуществляется самозахватом за счёт специальной винтообразной формы режущего лезвия ножа. Шлифование геликоидальных ножей производится на плоскошлифовальных станках, винтообразная форма придаётся путём применения специальных прокладок. Однако механическое воздействие на нож в целях изменения его формы приводит к возникновению в теле ножа существенных внутренних напряжений, приводящих к частым поломкам. Цель работы — создание кинематической схемы заточки ножей при которой отсутствует их механическое формоизменение, винтообразная форма лезвия достигается за счёт определённого соотношения поступательных и вращательных движений специальной оснастки.

**Ключевые слова:** рубильные машины, рубильные ножи, депланация, заточка, гиперболоид, отрезок, схема.

**Введение.** Благодаря наличию большого количества лесов в Республике Беларусь хорошо развита деревообрабатывающая отрасль. В последние 10—15 лет началось производство технологической щепы, применяемой для изготовления целлюлозы, бумаги, древесно-стружечных плит, топливных полуфабрикатов. Соответствующего оборудования в Беларуси не производится, поэтому было закуплено большое количество импортных рубильных машин из России и развитых европейских стран (Чехии, Германии, Швеции): МРП-40-1, МРНП-30Н, МРЗ-50ГБ, BRUKS, RAUT, VECOPLAN, RALLMANN и др. Естественно, что и рубильные ножи для этих машин поставляются из-за рубежа, на что затрачиваются значительные валютные средства. Правительством Республики Беларусь была поставлена задача разработать импортозамещающие технологии изготовления рубильных ножей на отечественных предприятиях.

В некоторых рубильных машинах отсутствуют механизмы подачи древесного сырья в зону рубки щепы, а подача осуществляется самозахватом за счёт специальной винтообразной формы режущего лезвия ножа. Такой нож называется геликоидальным (рисунок 1).

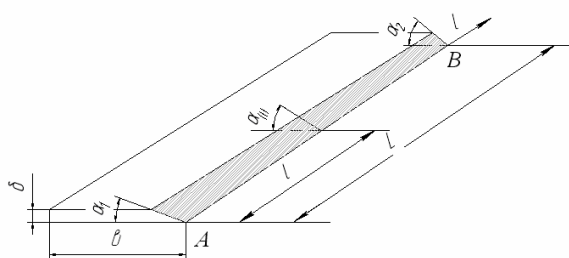


Рисунок 1. — Рубильный нож

Обычно переменный угол режущей кромки геликоидальных (с винтообразным профилем) ножей получают за счёт придания рубильному ножу винтовой формы, соответствующей геликоидальной поверхности диска на рубильной машине, с помощью подкладных регулировочных планок. Однако в результате механического винтообразного изгиба плоской заготовки рубильного ножа в его объёме возникают знакопеременные напряжения, под воздействием которых на поверхности или в объёме ножей могут появляться микро- и даже макротрещины, в результате чего ножи становятся непригодными к эксплуатации ещё до установки в рабочий барабан.

Целью работы является теоретическое обоснование и расчёт траектории движения несущего цилиндра устройства для осуществления заточки лезвия ножа без механического изгиба ножа с заданными углами. Это позволит спроектировать и изготовить устройство для заточки геликоидальных ножей, не подвергая их деформации, получая заданный профиль режущей кромки за счёт кинематики движения подвижных элементов устройства.

**Анализ конструктивных особенностей геликоидального ножа.** Нож (см. рисунок 1) представляет собой длинную прямоугольную пластину постоянной толщины со скошенной заострённой поверхностью, причём угол заострения по длине режущей кромки меняется. В качестве направляющей линейчатой поверхности примем лезвие  $AB$  заготовки (см. рисунок 1). Угол  $\alpha_1$ , соответствующий точке  $A$ , меньше угла  $\alpha_2$ , соответствующего точке  $B$ . В результате такого перепада углов получается винтовой профиль режущей кромки рубильного ножа по её длине. Углы наклона  $\alpha_1, \alpha_2$  установлены опытным путём в процессе эксплуатации рубильных машин. Заготовка для изготовления ножа может иметь форму пластины с габаритными размерами ножа или пластины со скошенным под углом  $\alpha_2$  по всей длине краем (полуфабрикат). Рассмотрим геликоидальный нож длиной  $L$ , шириной  $b$ , толщиной  $\delta$  (см. рисунок 1). Угол заточки  $\alpha_1$  в начале режущей кромки меньше угла заострения  $\alpha_2$  в конце режущей кромки.

Учитывая неравномерность угла заострения лезвия ножа вдоль его длины, отметим, что процесс заточки данного ножа представляет немалые трудности. Обычно такие ножи затачиваются на плоскошлифовальном станке, на котором с помощью специального устройства ножу придают необходимую форму. При этом до 40% ножей ломаются в процессе заточки или в начале эксплуатации.

Авторами настоящей работы разработано специальное устройство, в котором шлифование режущей кромки ножа осуществляется с помощью специального вращающегося барабана (несущего цилиндра), при этом нож не испытывает крутящих моментов и в нём не возникает остаточных напряжений, приводящих к его поломкам [1]. В данной работе рассматриваются два метода настройки заточки геликоидального ножа — по крайним и средней точкам режущего лезвия.

**Оснастка и основы технологии заточки лезвия рубильного ножа.** Для заточки ножей с изменяемой наклонной поверхностью (депланацией) лезвия на ОАО «БААЗ» (г. Барановичи) был сконструирован специальный механизм, фрагмент которого показан на рисунке 2. Для установки заготовки ножа в устройство служит подвижный цилиндр. На рисунке он изображён в исходном (до начала рабочего хода) положении; в процессе заострения ножа цилиндр перемещается влево, совершая винтовое движение. Последнее обусловлено наличием на поверхности цилиндра винтовой канавки и входящего в нее ролика, неподвижно закреплённого в основании механизма и имеющего возможность вращения вокруг своей оси.

Цилиндр с заготовкой ножа в дальнейшем будем называть несущим. Шлифовальный круг располагается над несущим цилиндром. Его ось вращения перпендикулярна образующей цилиндра. В процессе заточки ножа шлифовальный круг совершает только вращательное движение вокруг своей оси, а цилиндр с находящейся на нём заготовкой ножа совершает относительно круга винтовое движение.

Механизм снабжён ручным приводом. Вращением маховика приводится в движение винт, увлекающий гайку с пальцем, вставленным в отверстие в стенке цилиндра (на рисунке 2 гайка видна на его передней стенке). Вместе с гайкой движется несущий цилиндр.

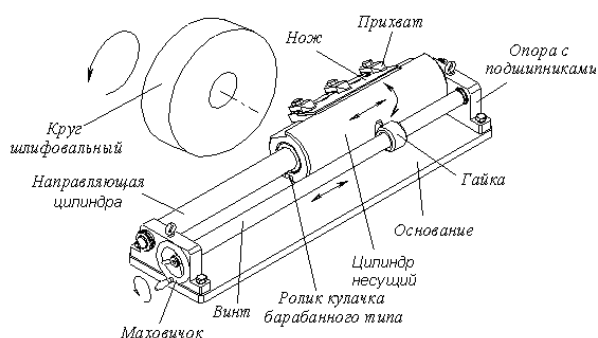
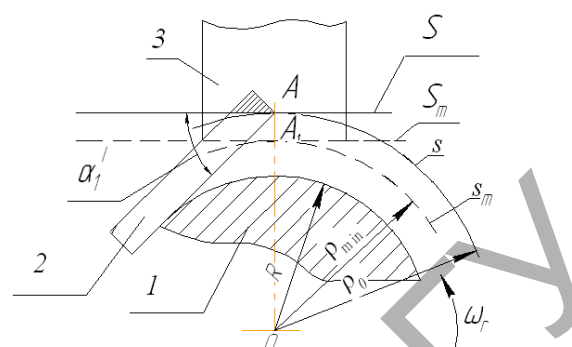


Рисунок 2. — Схема механизма для заточки рубильных ножей



1 — несущий цилиндр; 2 — заготовка ножа; 3 — шлифовальный круг

Рисунок 3. — Схема переднего торца несущего цилиндра с заготовкой

Заготовка закрепляется на цилиндре таким образом, чтобы её часть, предназначенная для обработки шлифовальным кругом под остриё ножа, выступала над поверхностью цилиндра. Схематично (рисунок 3) показан фрагмент переднего торца несущего цилиндра 1 с заготовкой ножа 2.

Буквой  $S$  обозначена виртуальная плоскость, параллельная оси цилиндра и касательная к нижней поверхности шлифовального круга 3. Эта плоскость вместе с нижней плоскостью заготовки ножа ограничивает заданный угол  $\alpha_1$  заточки лезвия ножа (на рисунке 3 видна проекция  $\alpha'_1$  этого угла на торцевое сечение цилиндра). Срезается (стачивается) та часть заготовки, которая находится выше плоскости  $S$  (на рисунке 3 заштрихована). Поэтому её можно назвать плоскостью среза. Буквой  $s$  (см. рисунок 3) обозначена относительная траектория точки  $A$  режущей кромки лезвия, касательная к плоскости  $S$ . Геометрическое место траектории  $s$  для всех точек кромки лезвия  $AB$  (см. рисунок 1) представляет поверхность, описываемую отрезком  $AB$  в относительном движении (рисунки 1, 3 и 4). Форма этой поверхности накладывает ограничения на выбор угла депланации и настройку механизма.

Депланация скошенной поверхности лезвия в процессе заточки достигается благодаря строго определённому расположению заготовки на несущем цилиндре. Положение заготовки на цилиндре устанавливается расчетным путём и в основном определяется углом депланации лезвия. Последний выбирается из условий оптимизации процессов резания в рубильных машинах.

В исходном для рабочего хода положении несущего цилиндра точка  $A$  лезвия  $AB$  располагается в апогее её траектории  $s$  (точка  $A_1$ , см. рисунок 3), а точка  $B$  сдвинута от апогея траектории  $s$  в заднем торце

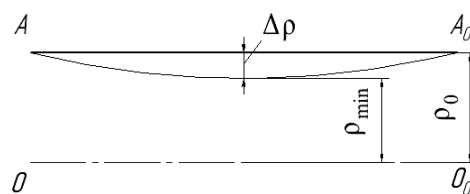
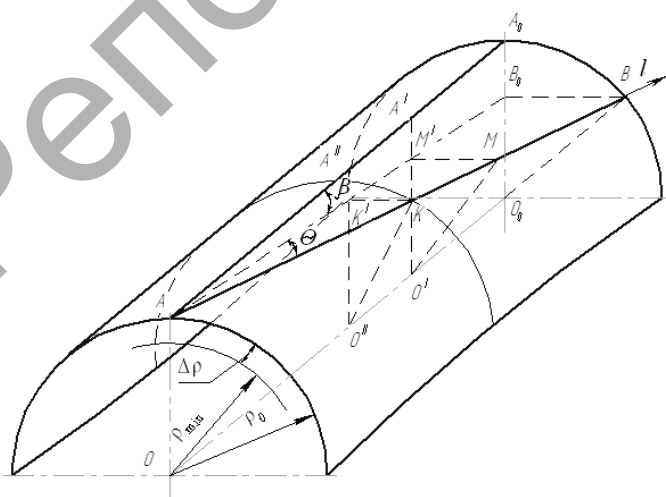
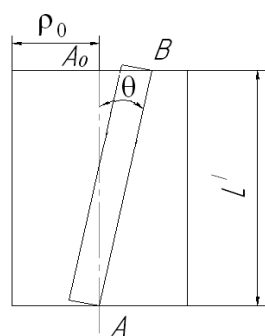
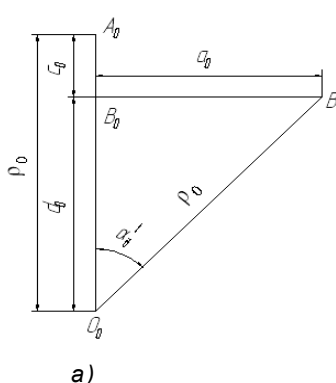


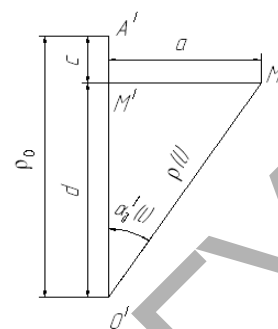
Рисунок 4. — Гиперboloид с сечениями и его фрагмент



**Рисунок 5. — Заготовка в исходном положении (вид сверху)**



а)



б)

а — торцовое сечение; б — произвольное сечение

**Рисунок 6. — Геометрические фигуры в сечениях гиперboloида**

цилиндра на длину дуги  $A_0B$  (см. рисунок 4), соответствующей центральному углу  $\alpha'_d$  (рисунок 5). В процессе заточки в конце рабочего хода точка  $B$  переносится цилиндром в положение  $A_0$  в плоскость среза  $S$ .

Чтобы установить пределы применимости рассматриваемого способа настройки механизма, необходимо определить, насколько расстояния  $O'M$  промежуточных точек  $M$  лезвия  $AB$  от оси вращения  $OO_0$  (см. рисунок 4) отличаются от расстояния крайних точек  $A$  и  $B$ , т. е. найти разность радиусов  $\Delta\rho(l)$ . Для этого составим уравнение радиуса  $\rho(l)$  произвольной точки  $M$  отрезка  $AB$ , который находится ниже поверхности цилиндра, в виде функции координаты  $l$ . Начало координат совмещаем с точкой  $A$ . Ось  $Al$  направляем по отрезку  $AB$ . Радиус  $\rho(l)$  находим как отрезок перпендикуляра  $MO'$ , опущенного из точки  $M$  на ось  $OO_0$ . Отдельно показаны геометрические фигуры в торцовом и произвольном сечениях гиперboloида (рисунок 6, а, б). Буквами  $\alpha'_d$  и  $\alpha'_d(l)$  обозначены проекции углов депланации на эти сечения;  $L = AB$ .

**Анализ настройки механизма для заточки по крайним точкам режущей кромки лезвия.** Расстояние от оси цилиндра  $O$  до плоскости среза  $S$  выбирается из условий конструктивной и технологической целесообразности и равняется  $\rho_0$ . Причём  $\rho_0$  должно быть одинаково для крайних точек лезвия  $A$  и  $B$ . Такой вариант закрепления заготовки на несущем цилиндре будем называть настройкой механизма заточки по крайним (концевым) точкам лезвия. Эта настройка обеспечивает заточку только концов заготовки. Остальная часть лезвия, находящаяся между точками  $A$  и  $B$ , располагается не по образующей цилиндрической поверхности заточки, а под некоторым углом к ней, в результате чего при относительном повороте несущего цилиндра лезвие перемещается ниже плоскости среза. Заготовка ножа показана в исходном положении, вид сверху, и угол  $\theta$  смещения лезвия от осевой плоскости, проведённой через образующую  $AA_0$  (см. рисунок 5).

Поверхность, описываемая отрезком  $AB$  в относительном перемещении, в математике называется однополостным гиперboloидом вращения [2]. При настройке механизма заточки по крайним точкам лезвия фрагмент гиперboloида располагается внутри поверхности заточки, имея одинаковые с ним основания (радиуса  $\rho_0$ ).

Из рисунков 6, а, б, находим:  $a_0 = \rho_0 \cdot \sin \alpha'_d$ ,  $d_0 = \rho_0 \cdot \cos \alpha'_d$ ,  $a/a_0 = l/L$ ,  $c/c_0 = l/L$ ; отсюда  $a = ml$ ,  $c = nl$ , где  $m = a_0/L$ ,  $n = c_0/L$ . Далее определяем

$$d_0 = \rho_0 - c = \rho_0 n l u \rho(l) = \sqrt{a^2 + d^2} = \sqrt{(ml)^2 + (\rho_0 - nl)^2} = \sqrt{(ml)^2 + \rho_0^2 - 2\rho_0 nl}. \quad (1)$$

Здесь

$$\begin{aligned}
 m^2 + n^2 &= \frac{a_0^2 + c_0^2}{L^2} = \frac{a_0^2 + (\rho_0 - d_0)^2}{L^2} = \frac{(\rho_0 \cdot \sin \alpha'_d)^2 + (\rho_0 - \rho_0 \cdot \cos \alpha'_d)^2}{L^2} = \\
 &= \frac{(\rho_0^2 \cdot \sin^2 \alpha'_d + \rho_0^2 - 2\rho_0^2 \cdot \cos \alpha'_d + \rho_0^2 \cdot \cos^2 \alpha'_d)}{L^2} = \frac{(\sin^2 \alpha'_d + 1 - 2 \cdot \cos \alpha'_d + \cos^2 \alpha'_d) \cdot \rho_0^2}{L^2} = \\
 &= \frac{2 \cdot (1 - \cos \alpha'_d) \cdot \rho_0^2}{L^2}.
 \end{aligned}$$

Подставляем  $(m^2 + n^2)$  и  $n$  в формулу (1):

$$\begin{aligned}
 \rho(l) &= \sqrt{\frac{2(1 - \cos \alpha'_d) \cdot \rho_0^2}{L^2} \cdot l^2 + \rho_0^2 - \frac{2\rho_0 \cdot (\rho_0 - \rho_0 \cdot \cos \alpha'_d) \cdot l}{L}} = \\
 &= \sqrt{\frac{2(1 - \cos \alpha'_d) \cdot \rho_0^2}{L^2} \cdot l^2 + \rho_0^2 - \frac{2\rho_0^2 \cdot (1 - \cos \alpha'_d) \cdot l}{L}} = \rho_0 \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - \cos \alpha'_d) \cdot \left(\frac{l}{L}\right)^2 - \frac{l}{L}}.
 \end{aligned}$$

Введём относительную координату  $u = l/L$ . Получим

$$\rho(l) = \rho_0 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - \cos \alpha'_d) \cdot (u - 1) \cdot u}. \quad (2)$$

Минимальное значение радиус  $\rho(l)$  принимает в среднем сечении гиперboloида, т. е. при  $l = L/2$ ;  $u$  равно 0,5:

$$\rho_{\min} = \rho_0 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - \cos \alpha'_d) \cdot (0,5 - 1) \cdot 0,5},$$

или

$$\rho_{\min} = \rho_0 \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha'_d}{2}}. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что расстояние  $KO'' = \rho_{\min}$  средней точки  $K$  ребра  $AB$  от оси вращения несущего цилиндра пропорционально радиусу  $\rho_0$  траектории точки  $A$  (или  $B$ ) и не зависит от длины  $L$  ребра  $AB$ .

Чтобы установить, на каком расстоянии от плоскости среза  $S$  перемещается средняя точка  $K$  ребра  $AB$  при относительном повороте цилиндра с заготовкой, найдём разность радиусов  $\Delta\rho$  как функцию угла  $\alpha'_d$ :

$$\Delta\rho = \rho_0 - \rho_{\min} = \rho_0 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha'_d}{2}}\right).$$

Кривая  $AA_0$  представляет осевое сечение гиперboloида вращения (см. рисунок 4).

Результаты получены на интервале  $0 \leq \alpha'_d \leq 60^\circ$  (при  $\alpha'_d$ , равном 0;  $\Delta\rho$ , равном 0).

Показан график изменения относительной величины в зависимости от угла  $\alpha'_d$  (рисунок 7). Из него видно, что с увеличением  $\alpha'_d$  уход кромки  $AB$  заготовки от плоскости среза  $S$  резко возрастает.

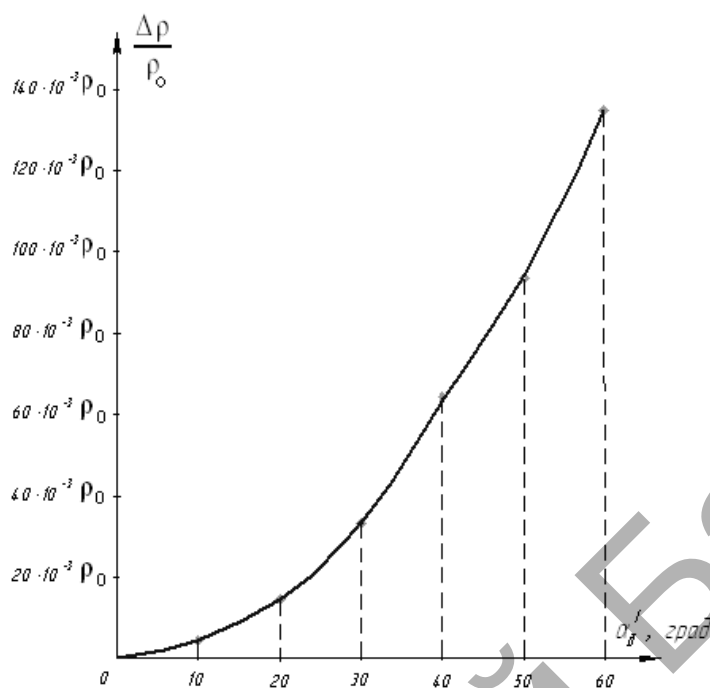


Рисунок 7. — График изменения относительной величины  $\Delta\rho$  в зависимости от угла  $\alpha'_a$

Чтобы получить более конкретное представление о порядке величины  $\Delta\rho$  в абсолютных единицах, вычислим его значение при  $\rho_0$ , равном 75 мм,  $\alpha'_a$ , равном  $5^\circ$ . Воспользовавшись данными графика (см. рисунок 7), получим при  $\alpha'_a$ , равном  $5^\circ$ ,  $\Delta\rho/\rho_0 = 0,000952$ , откуда  $\Delta\rho = 0,000952 \cdot \rho_0 = 0,000952 \cdot 75 = 0,0714 \approx 0,07$  мм, где  $\rho_0$  — радиус реального несущего цилиндра устройства, равный 75 мм.

Из полученных значений  $\Delta\rho$  видно, что даже при  $\alpha'_a$ , составляющем  $5^\circ$ , режущая кромка лезвия ножа будет иметь отклонение от прямолинейности. Схематично показан вид сверху рубильного ножа, заострённого при настройке механизма по концевым точкам  $A, B$  (рисунок 8).

Незатемнённая часть лезвия у кромки  $AB$  не заточена (на рисунке её площадь увеличена). Если заготовка представляет полуфабрикат — пластину со скошенным под углом  $\alpha_2$  краем, — то незатемнённая на рисунке нижняя её часть останется заострённой под этим углом.

**Настройка механизма для заточки рубильных ножей по средней точке режущей кромки лезвия.** Настройка описанного выше механизма для заточки рубильных ножей по крайним точкам кромки  $AB$  накладывает жёсткие ограничения на выбор угла депланации.

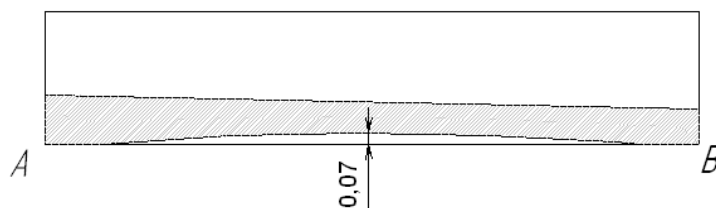
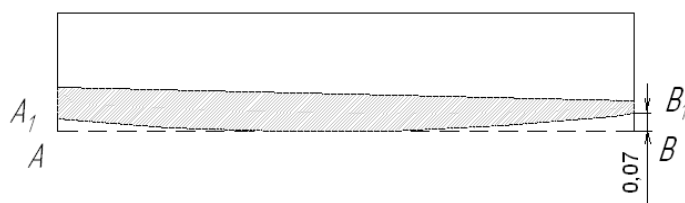


Рисунок 8. — Схема рубильного ножа, заострённого при настройке механизма по концевым точкам  $A, B$



**Рисунок 9. — Схема рубильного ножа, заостренного при настройке механизма по средней точке режущей кромки лезвия**

Для расширения этих пределов с сохранением качества заточки механизм для заточки рубильных ножей можно настраивать иначе — по средней точке  $K$  (см. рисунок 4) ребра  $AB$  заготовки. Такая настройка достигается смещением оси шлифовального круга 3 на расстояние  $\Delta r$  в сторону оси несущего цилиндра 1 (см. рисунок 3), где новая плоскость среза  $S_m$  показана пунктирной линией. Радиальное расстояние, на которое выдвигается заготовка 2 (см. рисунок 3) над поверхностью несущего цилиндра, при новой настройке сохраняется неизменным, т. е. величина  $\rho_0$  при разных настройках одинакова. Отметим, что режущая кромка заточенного при альтернативной настройке ножа изменяется, — она не строго прямолинейна. Однако при  $\alpha'_d \leq 20^\circ$  это изменение формы не существенно и на режущие свойства ножа не влияет.

На рисунках 8 и 9 для наглядности искривление режущей кромки увеличено. Истинную форму кривых  $AB$  (см. рисунок 8) и  $A_1B_1$  (см. рисунок 9) можно получить, воспользовавшись формулой (2).

Анализ рисунков 8 и 9 показал, что полученная форма кривой  $AB$  приводит к образованию острых кромок в точках  $A$  и  $B$ , которые в процессе рубки щепы могут быстро выкрашиваться. Форма кривой  $A_1B_1$ , (см. рисунок 9), более благоприятна для работы ножа в условиях ударных нагрузок, в связи с чем дальнейшие работы, связанные с проектированием и изготовлением устройства для заточки геликоидальных ножей, основываются на методе затачивания по средней точке.

**Заключение.** Согласно ГОСТ 17432-87 «Технические требования к рубильным ножам» отклонение от прямолинейности не должно превышать 0,2 мм на всей длине ножа (в нашем случае  $l$  составляет 300 мм). Рубильные ножи выбранного типа и размеров имеют углы заострения  $\alpha_1$ , равный  $29^\circ 42'$ ,  $\alpha_2$ , равный  $34^\circ 42'$ , т. е. разность углов равна  $5^\circ$ , а отклонение составляет 0,07 мм на длине 300 мм, что значительно меньше регламентированной погрешности 0,2 мм.

В данной работе рассматривались реальные геликоидальные ножи длиной 300 мм, применяемые при производстве технологической щепы.

Следовательно, разработанный метод затачивания режущего лезвия геликоидального ножа по средней точке удовлетворяет требованиям стандарта и может быть использован на соответствующих предприятиях при производстве и перезаточке геликоидальных ножей.

#### Список цитируемых источников

1. Алифанов А. В., Цуран В. В. Устройство для геликоидального шлифования режущего лезвия рубильных ножей // Вестник БарГУ. 2013. Вып. 1. С. 44—49.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М. : Наука. 1974. 831 с.

The article describes the design of an apparatus and method of its two settings for sharpening the cutting edge of the chipping helical blade, 300 mm in length, used by the woodworking enterprises of the Republic of Belarus for the production of wood chips. The theoretical analysis of the methods for setting the extreme and mid-point of the cutting edge of the blade showed that the grinding accuracy of 0.07 mm along the length of the knife when the permissible error is 0.2 mm. The analysis showed that the sharpening on the midpoint of the cutting edge of the blade is more favorable from the standpoint of the knife performance durability. Therefore, the method based on the midpoint of the sharpened blade helical blade can be recommended for both the companies producing and using helical blades.

**Key words:** chippers, chipping knives, warping, sharpening, hyperboloid, segment, circuit.