

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПИЛ ГОРЯЧЕЙ РЕЗКИ ПРОКАТА

Петров П.А., Шпаков В.А., Павленко В.А. (ДонГТУ, ОАО “АМК”,
г. Алчевск, Украина)

The given work chases the purpose to investigate reliability of disk saw mechanisms for hot cutting, to reveal principal causes and regularity origination of failures in disk unit; to determine the factors influencing an operation time of a disk, to estimate periodicity of replacement of the tool (disk), quantity possible of teeth resharping and principal causes disks rejection.

1. Введение (Introduction)

По общей классификации дисковых пил для резки сортового проката применяются пилы следующих типов: маятниковые, салазковые, роторные, и рычажные к которым можно отнести рычажную четырехзвенную пилу, установленную на участке резки стана 600 ОАО “АМК”.

Дисковые четырехзвенные пилы конструкции УЗТМ* [1, 2] были предназначены для разработанного им рельсобалочного стана 950/800. Во время проектирования для стана 600 Ижорским машиностроительным заводом были разработаны четырехзвенные дисковые пилы с более производительной схемой порезки [3]. За время эксплуатации стана конструкция пилы претерпела некоторые изменения, в основном они коснулись механизма вращения диска: было внесено предложение [4] уменьшить частоту вращения диска с 1470 мин^{-1} до 980 мин^{-1} , что позволило снизить динамические нагрузки (уменьшило вибрацию диска), и повысило безопасность работы механизма.

Основные проблемы, связанные с порезкой простых и фасонных профилей, можно подразделить на отказы в работе механизмов пилы и отказы, связанные с качеством порезки и стойкостью инструмента – диска пилы.

2. Основное содержание и результаты работы (The main contents and outcomes of activity)

Первое направление связано с работоспособностью механизма вращения диска; из всех 4 механизмов пилы: механизма подачи; механизма вращения диска; механизма передвижения и механизма фиксации пилы на долю механизма вращения диска приходится большая часть отказов. За период с 1992г по 2002г на основе сведений агрегатных журналов были собраны данные об отказах в работе всех девяти передвижных пил участка горячей резки стана 600, которые подтвердили, что основная доля отказов связана именно с заменой вала диска пилы, подшипников на этом валу, и муфты вала вращения диска. Периодичность выхода из строя узла вала диска пилы в зависимости от номера пилы приведена в таблице №1.

Замена вала диска пилы, прежде всего, связана со стойкостью подшипников; неуравновешенность вращающихся масс (диск, план-шайба, вал диска) приводит к вибрации вала диска и выработке посадочных поверхностей корпусов подшипников, восстановление которых затруднено, что в свою очередь приводит к несоосности и перекосу установки подшипников. Кроме того, наличие вибрации отрицательно сказывается не только на работоспособности узлов и механизмов пилы, но и на точности отрезаемого проката. Установлено, что, несмотря на массу установки пилы (масса пилы без электрооборудования 39,9 т [1]), она может произвольно смещаться от

* – “салазковые”, так как ось диска пилы во время реза перемещалась горизонтально

выставленного положения на меру и величина этого смещения достигает $\pm 100 \div 140$ мм. Для ремонта пилы применяется агрегатный способ замены: вместо старой пилы устанавливают новую, а демонтированную пилу отправляют на ремонтную площадку, где производят ремонт и ревизию ее механизмов.

Таблица 1. Периодичность выхода из строя узла вала диска пилы (месяцы)

№ п/п	Номер передвижной дисковой пилы								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	44	9	23	4	16	21	22	57	48
2	12	21	21	2	0,5		35	5	18
3	23	0,3	11		7		5	43	
4	12	14,5	3,5		4		4	2	
5	2	17	9		11			16	
6	0,7	3	10		6			9,5	
7	1,5	3	4		1				
8		3	1		3				
9		23	1		10				
10			11		2,5				
11			1		16,5				
12			9		1				
13			2		18				
14					5				
\bar{X}	15,15	10,422	8,193	3	7,25	21	16,5	22,083	33
M	12	9	9	3	5,5	21	13,5	12,75	33

В таблице обозначено: \bar{X} – среднее арифметическое; M – медиана.
Графическое представление данных представлено на рисунке 1.

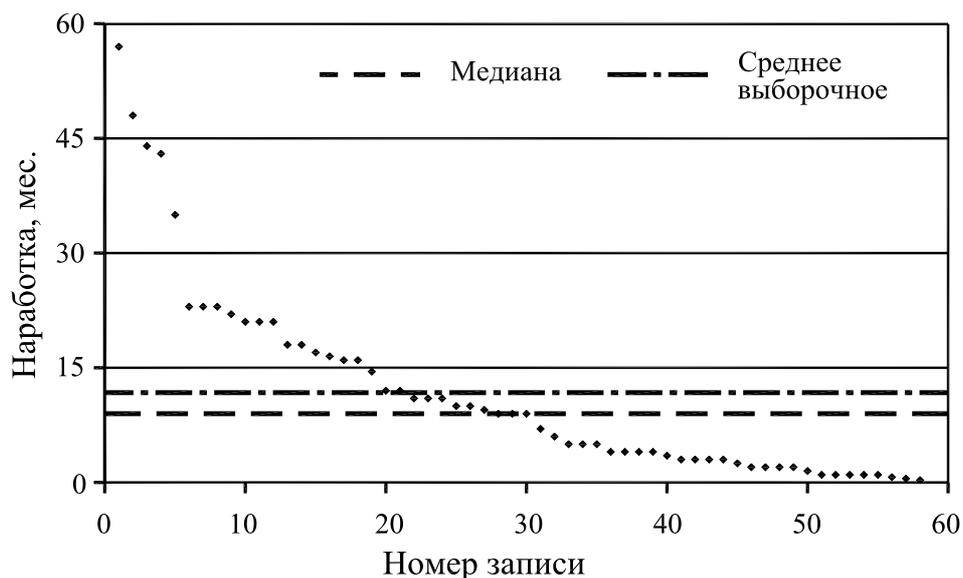


Рисунок 1. Распределение отказов вала диска пилы

В результате анализа полученных данных установлено, что выборка распределена по закону, отличающемуся от нормального. Для оценки меры положения

оригинальной выборки выбрана медиана, так как для закона распределения отличного от нормального медиана является более устойчивой и корректной оценкой положения центра распределения [5]. Медиана составила $M = 9$ месяцев. Доверительный интервал с вероятностью 0,5 для медианы вычислялся на основе выражения:

$$x_{(k)} < x_{0,5} < x_{(n-k+1)}, \quad (1)$$

где k – наибольшее натуральное число при заданных n и уровне значимости α . Интервал, задаваемый выражением (1), является двухсторонним не менее чем $100 \cdot (1 - \alpha)\%$ доверительным интервалом для медианы генеральной совокупности $x_{0,5}$.

Значение k рассчитывается на основании рекуррентной формулы:

$$P\{x_{(k)} < x_{0,5} < x_{(n-k+1)}\} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \sum_{t=k}^{n-k} C_n^t, \quad (2)$$

где C_n^t – число сочетаний из n по t , вычисляемое по формуле:

$$C_n^t = \begin{cases} \frac{n!}{t!(n-t)!} & \text{для } 0 \leq t \leq n \\ 0 & \text{для } 0 \leq n < t \end{cases}$$

Значение коэффициента k рассчитывалось по функции разработанной авторами [5] для электронных таблиц Microsoft Excel.

На основе вычисленного значения $k = 22$ (при $\alpha = 0,05$) левой границей доверительного интервала будет член отсортированной выборки (см. табл. 2) под номером $k = 22$, правой границей – под номером $n - k + 1 = 58 - 22 + 1 = 37$. Таким образом, доверительный интервал медианы будет иметь вид: $x_{(22)} < x_{0,5} < x_{(37)}$, то есть $4 < x_{0,5} < 11$, что свидетельствует о том, что с вероятностью 95% значения медианы укладываются в диапазон от 4 до 11 месяцев. Отдельно были рассчитаны среднее выборочное ($\bar{X} = 11,87$) и доверительный интервал для среднего при уровне значимости $\alpha = 0,05$, который получился в пределах от 8,6 до 15,14 месяца.

Для оценки меры рассеивания оригинальной выборки определены дисперсия $S^2 = 161,44$ и среднее квадратичное отклонение $S = 12,71$.

Прокатка сортовых профилей на стане 600 регламентируется по ГОСТ 535–88 [6] и по технологической инструкции [7]; в указанных документах изложены требования по порезке сортового проката касающиеся таких дефектов как: косина реза и высота заусенцев. Высота заусенцев при порезке фасонного и сортового проката пилами не должна превышать согласно требований [6] – 3 мм; [7] – 1,5 мм.

Выполнение этих требований, особенно в случае экспортных поставок, требует исследования основных причин выбраковки и выявления факторов, влияющих на величину дефекта резки.

Таблица 2. Выборка из таблицы 1 отсортированная по возрастанию

№	Выборка										
1	0,3	11	2	21	4	31	9	41	16	51	23
2	0,5	12	2	22	4	32	9,5	42	16	52	23
3	0,7	13	2	23	4	33	10	43	16,5	53	23
4	1	14	2,5	24	5	34	10	44	17	54	35
5	1	15	3	25	5	35	11	45	18	55	43
6	1	16	3	26	5	36	11	46	18	56	44
7	1	17	3	27	6	37	11	47	21	57	48
8	1	18	3	28	7	38	12	48	21	58	57
9	1,5	19	3,5	29	9	39	12	49	21		
10	2	20	4	30	9	40	14,5	50	22		

На участке резания крупносортового стана 600 был налажен дополнительный учет дисков [8]. Результаты стойкости были представлены в виде максимального числа резов, совершенных диском до его замены, так как промежуток времени, в течение которого диск был установлен на пилу, не является объективной характеристикой его работы.

Объем общей выборки составил 4052 записи, из которых были удалены: 1) неполные записи – строки, для которых собрать абсолютно все данные (из перечисленных выше) не удалось; 2) записи связанные с заменой диска по причине перехода с квадрата на фасонный профиль, в результате чего диск снимается с пилы не по причине выработки ресурса, а по технологическим требованиям к качеству реза фасонных профилей затупленным диском. В результате объем выборки сократился до 3171 записи, но репрезентативность данных не была утрачена. Для пассивного эксперимента обязательно требуется проверить непрерывность факторного пространства, а затем выполнить работу с каждой из однородных подвыборок.

Для проверки однородности отклика (числа резов) используем коэффициент вариации V , если $V > 100\%$, то обычно это означает, что данные не однородны,

$$V = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100\% = \frac{570,75}{476,38} \cdot 100\% = 120\%,$$

где S – среднее квадратическое отклонение, $S = 570,75$; \bar{X} – среднее арифметическое, $\bar{X} = 476,38$ резов.

Неоднородность распределения связана с тем, что наряду с записями только по одному типу профиля, например квадрату, в генеральной совокупности фигурируют записи по другому типу профиля, а точнее и профилей, так как один диск за время работы мог резать несколько профилей, например швеллер, а затем квадрат.

На рисунке 2 представлено распределение доли основных факторов приводящих к замене диска пилы. К основным факторам следует отнести: заусенец (или наплыв [8]) на профиле, износ и поломку зубьев диска пилы.

Очевидно, что наиболее частой причиной замены дисков пил является износ зубьев. Изношенные зубья диска могут привести к образованию заусенца (наплыва) на профиле, однако 100% взаимосвязи между этим нет (диск с достаточно изношенными зубьями может продолжать нормально резать прокат без серьезных дефектов), на что

влияет скорость подачи, марка стали заготовки, траектория и угол под которым диск опускается на разрезаемый профиль и эффективность охлаждения проката.

Под прочими следует понимать такие дефекты как неотрихованность (сильная вибрация) диска, в результате которой разбивается пропилен со стороны входа диска в профиль; радиальное биение; диск с частичными повреждениями зубьев (в результате смещения пилы в процессе резания на колосники стеллажа резки); изгиб полки профиля, когда диск надвигается на штангу с большой скоростью и от интенсивной подачи полка такого профиля как швеллер или двутавр просто теряет свою устойчивость и прогибается. Однако доля перечисленных дефектов в доле прочих отказов составляет всего 10% остальные 90% связаны с заменой диска по причине перехода с квадрата на фасонный профиль.

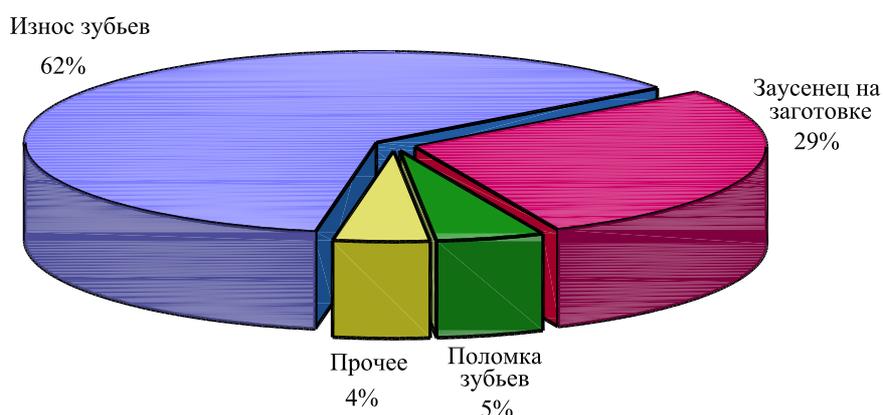


Рисунок 2 – Распределение отказов

Изношенные зубья диска подвергаются переточке, диски в которых произошла поломка зубьев или образовались трещины – выбраковываются. Восстановление зубьев происходит в два этапа: 1) собственно заточка на специальном станке: абразивный круг, имеющий треугольный профиль, обрабатывает одну сторону зубьев, а затем диск разворачивают и производят обработку второй стороны; 2) термообработка токами высокой частоты.

Если высота зуба становится менее допустимой диск отправляют в механический цех, где производят его реставрацию. Реставрации подлежат диски пил, отработавшие в СПЦ и имеющие износ зуба по высоте более 5 мм, а также диски пил, имеющие сколы или поломку хотя бы одного зуба. Восстановление диска производится по следующему плану: 1) переход на следующий ремонтный размер (уменьшение наружного диаметра до 1740 мм); 2) нарезка зубьев на зубофрезерном станке специальной червячной фрезой; 3) правка и балансировка дисков; 4) контроль качества дисков и 5) упрочнение зубьев. Диски подвергают правке на пятироликовой машине ПМ-90 в автоматическом режиме и балансировке на специальном стенде для статической балансировки в соответствии с ТИ-229-ГМ-024-53-04 “Статическая балансировка дисков пил горячей резки металла СПЦ”. Упрочнение зубьев дисков пил горячей резки производится на участке подготовки пил СПЦ на электроконтактной установке с охлаждением на воздухе последующему режиму: напряжение 5–6 В; сила тока 750–800А; время нагрева зуба 4 секунды; скорость закалки 5–6 зуб/мин [9].

Проведенные исследования показали, что количество n переточек зубьев одного диска изменяется от 0 до 7, с учетом того, что диск может прослужить $n + 1$

сессию количество установок диска: минимальное – 1, а максимальное – 8. В общую выборку (490 шт.) вошли данные о количестве переточек новых (162 шт.) и реставрированных (328 шт.) дисков. Размер выборки для статистической обработки определялся по следующей формуле [5, стр. 362]:

$$z = \frac{\frac{t_{n,\alpha}^2 \cdot PQ}{\delta^2}}{1 + \frac{1}{N} \left[\frac{t_{n,\alpha}^2 \cdot PQ}{\delta^2} - 1 \right]} = \frac{\frac{2,36^2 \cdot 0,85 \cdot (1 - 0,85)}{0,05^2}}{1 + \frac{1}{490} \left[\frac{2,36^2 \cdot 0,85 \cdot (1 - 0,85)}{0,05^2} - 1 \right]} = 180,$$

где N – общее количество записей, $N=490$; P – предположительная доля корректных данных, $P=0,85$, $Q=(1-P)$; δ – абсолютная предельно допустимая ошибка в определении доли, $\delta=0,05$; $t_{n,\alpha}$ – критическое значение распределения Стьюдента, для числа степеней свободы $n=7$ и уровня значимости $\alpha=0,05$ – $t_{n,\alpha}=2,36$.

Принимаем размеры выборок для новых и реставрированных дисков равными, $z=195$. Гистограмма распределения количества переточек и интегральная функция распределения для новых ($\varnothing 1800$ мм) и реставрированных ($\varnothing 1740$ мм) дисков представлены на рисунках 3 и 4.

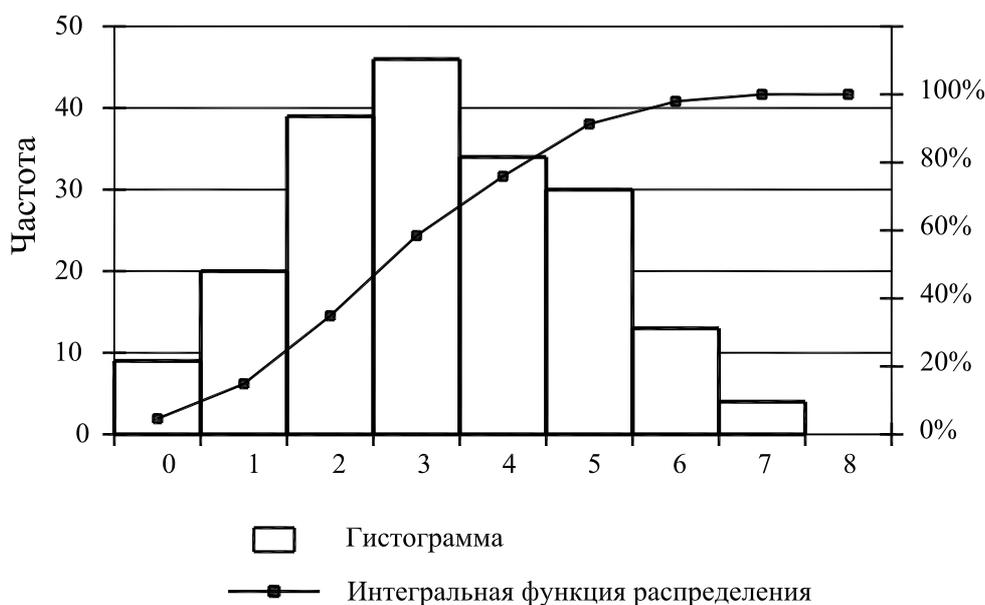


Рисунок 3. Распределения количества переточек новых дисков

Закон распределения в обоих случаях – нормальный. Проверка осуществлялась по критерию χ^2 ; например, для новых дисков коэффициент вариации $V=44\%$, расчетное значение критерия $\chi_{рас}^2=4,09$, критическое значение определялось при

$\delta=0,05$ и $n=7$ и составило $\chi_k^2 = 12,02$, так как $\chi_{рас}^2 < \chi_k^2$ гипотеза о нормальном распределении выборки принимается.

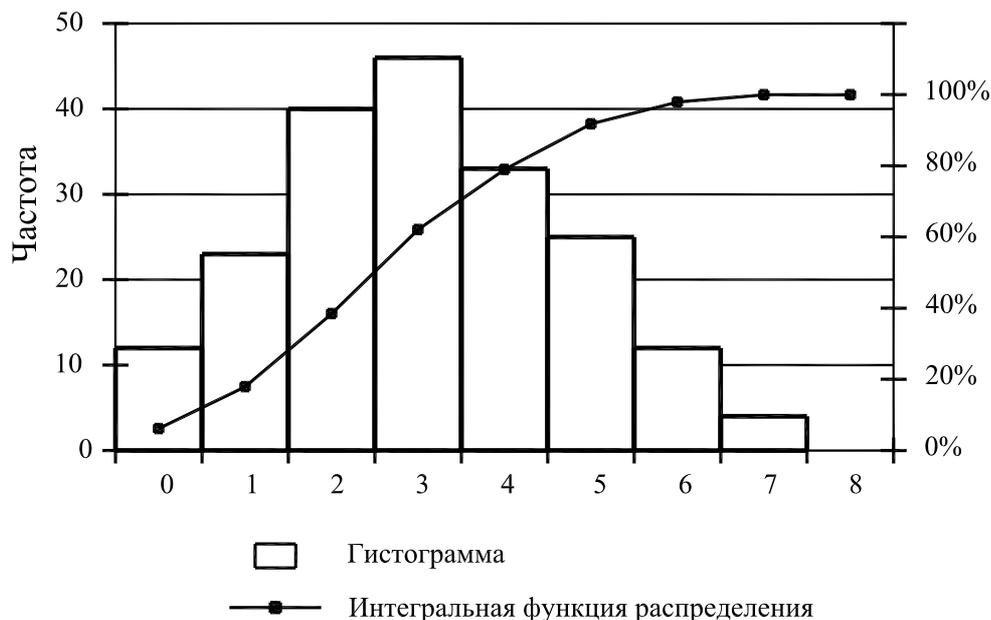


Рисунок 4. Распределения количества переточек реставрированных дисков

Как можно видеть на представленных гистограммах, распределения очень схожи, несмотря на различия в диаметре и количестве зубьев новых и реставрированных дисков. Это доказывает что число восстановлений рабочей поверхности режущего инструмента подчинено нормальному закону.

Для оценки тесноты связи между выборками была проверена гипотеза о принадлежности двух дисперсий к одной генеральной совокупности с помощью критерия Фишера. Для этого было рассчитано отношение наибольшей (реставрированный диск) $S_{max}^2=2,79$ дисперсии к наименьшей (новый диск) $S_{min}^2=2,695$,

$$F_{рас} = \frac{S_{max}^2}{S_{min}^2} = \frac{2,79}{2,695} = 1,035.$$

Критическое значение критерия Фишера при $\delta=0,05$ и $n=194$ составило $F_k = 1,267$, следовательно, дисперсии можно считать равными.

Практическую ценность имеет оценка доверительного интервала для среднего числа переточек. Среднее значение по двум выборкам составило $\bar{X} = 3,144$, то есть в среднем режущая часть диска выдерживает три переточки, а диск служит $n+1 = 3+1 = 4$ сессии, после чего он списывается.

Доверительный интервал для среднего

$$\left[\bar{X} - t_{n,\alpha} \frac{S}{\sqrt{z}}, \bar{X} + t_{n,\alpha} \frac{S}{\sqrt{z}} \right],$$

где S – среднее квадратическое отклонение, $S = 1,66$; $t_{n,\alpha}$ – критическое значение распределения Стьюдента, при $n = 390$ и $\alpha = 0,05$ – $t_{n,\alpha} = 1,972$. С вероятностью 95% доверительный интервал для среднего количества переточек зубьев диска составит (2,978...3,309).

3. Заключение (Conclusion)

Охарактеризованы основные дефекты, приводящие к замене (выбраковке) диска.

Определены доли основных причин замены дисков: износ зубьев – 62%, качество реза (заусенец на профиле) – 29%, в сумме составляющие 91%.

Максимальное количество переточек зубьев диска составляет 7. Число возможных переточек распределяется по нормальному закону, как для новых, так и для реставрированных дисков; среднее количество переточек $\bar{X} = 3,144$.

Изложены краткие сведения о процессе восстановления и реставрации зубьев дисков пил горячей резки в условиях ОАО “АМК”.

Отказы в работе узла вала диска распределены по закону отличному от нормального, по форме больше напоминающее экспоненциальное распределение, что является типичным для деталей и узлов механического оборудования.

Список литературы (References): 1. Ищенко А.А. Участки резки проката дисковыми пилами: Учеб. пособие. – К.: Выща шк., 1989. – 61. 2. Прокатные станы. Информационный сборник под. ред. Химича Г.Л., ЦИНТИМАШ, 1961, 131 с. 3. Петров П.А., Шпаков В.А. Математическая модель дисковой пилы горячей резки // Сб. науч. тр. ДГМИ, №17 – Алчевск: ДГМИ, 2003. – С. 292–298. 4. Стан 600 КМК. Пила горячей резки $\varnothing 1800$ мм передвижная. Расчет 360.46.000.РР.КО ВНИИМЕТМАШ. 1988. Уч. № 2 – 885с. 5. Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. Статистика в науке и бизнесе. – К.: МОРИОН, 2002. – 640с. 6. ГОСТ 535–88. Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия. 7. Технологическая инструкция ТИ 229–МЦ–141–2000. “Производство проката на экспорт”/ОАО “Алчевский металлургический комбинат”. – 2000. – 42с. 8. Петров П.А. Оценка основных причин замены дисков пил горячей резки // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ, вып. 22, 2006. – С.173–179. 9. Технологическая инструкция ТИМ 229-ГМ-017-65-2005 “Изготовление дисков пил горячей резки СПЦ”/ОАО “Алчевский металлургический комбинат”. – 2005. – 11с.

Сдано в редакцию 30.01.07

КОНТАКТНАЯ ПРОЧНОСТЬ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С ТОЧЕЧНОЙ СИСТЕМОЙ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЬЕВ

Попов А.П., Каиров А.С. (НУК, г. Николаев, Украина)

The space contact problem of point scheme tooth transmissions has been solved. It is shown that point tooth contact differs from linear contact because it increases evolvent tooth loading ability by 2-3 times.

Постановка проблемы. Разработка зубчатых передач повышенной нагрузочной способности с необходимыми весогабаритными показателями и улучшенными виброакустическими характеристиками является актуальной проблемой, успешное решение которой определяет современное развитие редукторостроения. В наибольшей