

УДК 621.923

М.И. Гасанов, канд. техн. наук, Харьков, Украина

## **ТВЕРДОСПЛАВНЫЕ ЧЕРВЯЧНЫЕ ФРЕЗЫ ПОСЛЕ АЛМАЗНОЙ ЗАТОЧКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

*У статті розглянуті процеси формоутворення для відновлення великогабаритних зубчастих коліс після на-плавки з підшарового шаром спеціальними твердосплавними фрезами після алмазної заточки, які забезпечують значитель-ве зменшення довжини головних різальних крайок і таким чином полегшують алмазну заточку інструменту. Виходячи з міні-бітної довжини ріжучої частини фрез була розроблена технологія відновлення зубів великогабаритних циліндричних зубчастих коліс спеціальними фрезами, у яких довжина ріжучих крайок зубів не залежить від розмірів оброблюваних зубів колеса.*

*Ключові слова: відновлення, великогабаритні зубчасті колеса, спеціальні, твердосплавні фрези, алмазна заточка, ріжучі кромки*

*В статье рассмотрены процессы формообразование для восстановления крупногабаритных зубчатых колес после наплавки с подслоиным слоем специальными твердосплавными фрезами после алмазной заточки, которые обеспечивают значительное уменьшение длины главных режущих кромок и таким образом облегчают алмазную заточку инструмента. Исходя из минимальной длины режущей части фрез была разработана технология восстановления зубьев крупногабаритных цилиндрических зубчатых колес специальными фрезами, у которых длина режущих кромок зубьев не зависит от размеров обрабатываемых зубьев колеса.*

*Ключевые слова: восстановление, крупногабаритные зубчатые колеса, специальные, твердосплавные фрезы, алмазная заточка, режущие кромки*

*In the article, shaping processes for the recovery of large-sized gears after smelting with a sublayer layer with special carbide cutters after diamond sharpening are considered, which provide a significant reduction in the length of the main cutting edges and thus facilitate the diamond sharpening of the tool. Proceeding from the minimum length of the cutting part of the milling cutters, a technology was developed for restoring the teeth of large-sized cylindrical gears with special cutters, in which the length of the cutting edges of the teeth does not depend on the size of the machined teeth of the wheel.*

*Keywords: recovery, large-sized cogwheels, special, carbide cutters, diamond sharpening, cutting edges*

### **Введение**

Восстановления крупногабаритных зубчатых колес во многом тесно связаны с разработкой конструкторско-технологических схем формообразования зубьев: способов ремонта, напыления, наплавки с подслоечным слоем однослойным или двухслойным и подготовки твердосплавного инструмента.

Одним из основных факторов при восстановлении цилиндрических зубчатых колёс является выбор оптимальной схемы резания и кинематики зубообработки специальными твердосплавными фрезами, которые

обеспечивают значительное уменьшение длины главных режущих кромок и таким образом облегчают алмазную заточку инструмент [1; 2; 3; 4; 5].

Технология обработки зубьев традиционно-стандартными червячными фрезами, у которых размеры режущих кромок зависят от размеров (модуля) обрабатываемых зубьев колеса, не позволяют увеличить количество режущих элементов и снизить нагрузки на режущие кромки червячных фрез, особенно при оснащении фрез твёрдым сплавом. Из-за значительных размеров режущих кромок усложняются процесс напайки зубьев твердым сплавом, шлифование зубьев, обеспечение точности инструмента.

### **Основное содержание**

Между тем, анализ технологических схем резания зубьев червячной фрезой при восстановлении крупногабаритных зубчатых колес (рис. 1, а) показывает, что в этом случае нет необходимости выполнять режущие кромки инструмента, соизмеримыми с размерами обрабатываемых зубьев колеса; т. к. не всей длиной кромки режущие зубья участвуют в резании. Рабочая длина режущей кромки определяется из условия обязательного обеспечения перекрытия резцов в процессе огибания эвольвентной поверхности зубьями фрезы и включает два участка, *A* и *B*, расположенные, соответственно, ниже и выше точки профилирования *C*. Длина участков *A* и *B* увеличивается с увеличением модуля и уменьшением числа зубьев обрабатываемого колеса и инструмента. Единственным технологическим условием является подготовка впадины зубьев перед окончательной нарезкой типа «протуберанец».

Расчёты показывают (рис. 1, б), что даже при восстановлении цилиндрических зубчатых колес с модулем  $m = 40$  мм и числе зубьев колеса  $Z_k = 30$  для обеспечения условий обработки достаточно иметь режущие кромки инструмента длиной  $l_{кр} = 5...6$  мм.

Исходя из этого, была разработана технология восстановления зубьев чистовыми специальными фрезами. С учётом возможных погрешностей изготовления инструмента по углу профиля и величины срезаемого припуска длина режущих кромок зубьев не зависит от размеров обрабатываемых зубьев колеса и составляет  $10...16$  мм. Впервые такие, но только быстрорежущие фрезы, названные фрезами «Победа», были предложены заслуженным изобретателем Украины; кандидатом технических наук А. К. Сидоренко [6; 7; 8].

Уменьшение размеров режущих кромок в  $2...5$  раз, по сравнению со стандартными фрезами (рис. 2), позволило увеличить количество режущих элементов фрезы в  $1,5...2$  раза, а также упростило процесс оснащения инструмента твёрдым сплавом и его алмазную заточку.

Особенность заточки обычных червячных модульных фрез состоит в относительно большой протяженности и криволинейности режущих кромок их зубьев.

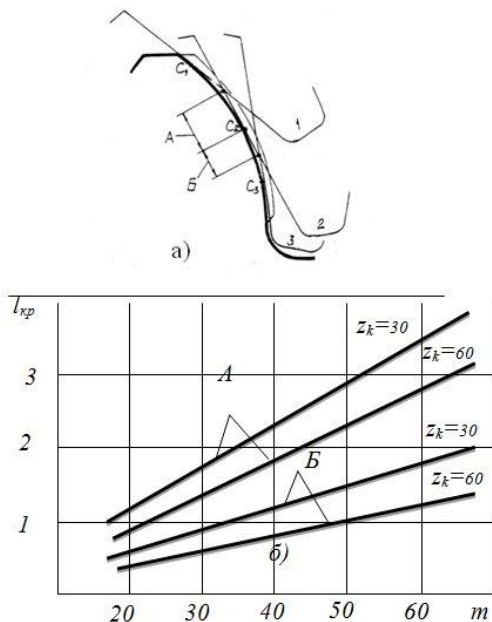


Рисунок 1 – К определению оптимальной длины главных режущих кромок специальной твердосплавной фрезы  
 а – схема огибания кромками фрезы зуба колеса;  
 б – зависимость длины кромки  $l_{кр}$  от модуля и числа зубьев колеса

При заточке уменьшенных размеров режущих кромок требуется обеспечить движение поверхности круга точно по кромке. Чтобы сохранить фасонный профиль фрезы и упростить заточку, затылованные зубья затачиваются только по передней поверхности алмазными чашечными кругами. Острозаточенные зубья, имеющие прямолинейную или стандартизованную криволинейную форму, затачивают по задней поверхности.

Для изготовления фрез используют твердые сплавы. Твердые сплавы, из которых изготавливают зубья фрез, производятся в виде пластин стандартных размеров и форм, крепящихся к корпусу фрезы высокотемпературной пайкой (например, серебряным припоем ПСр-40) или с помощью резьбовых соединений (сборные фрезы). Они состоят из карбидов вольфрама, титана и тантала, связанных кобальтом. Фрезы, изготовленные из вольфрам-кобальтовых сплавов (ВК2, ВК3, ВК6, ВК6М, ВК8 и пр.), используются для обработки чугуна, цветных металлов, неметаллических материалов. Титаново-вольфрам-кобальтовые сплавы (Т5К10, Т15К6, Т14К8, Т30К4 и др.) менее прочны, чем сплавы типа ВК, но они имеют более высокую

износостойкость при обработке деталей из различных видов стали. Трехкарбидные сплавы, состоящие из карбидов вольфрама, тантала, титана и кобальта (ТТ7К12 и пр.), в основном также применяются для обработки.

При использовании алмазных кругов (PCD) желательно осуществлять их охлаждение СОЖ. Одним из существенных недостатков алмаза является сравнительно низкая температурная устойчивость – при температуре около 900°C алмаз сгорает.

Но, т.к. в конструкциях специальных фрез применяются укороченные длины режущих кромок при алмазной заточке, обеспечивается в зоне заточки пластин фрез температуру до 700-900°C. При использовании СОЖ на основе воды для охлаждения добавляют определенные электролиты (углекислый натрий, кальцинированная сода, тринатрийфосфат, нитрит натрия, силикат натрия и т.д.), которые образуют защитные пленки.

Окружная скорость круга при заточке твердосплавных зубьев должна быть около 10-18 м/с. Это означает, что при использовании круга диаметром 125 мм скорость вращения двигателя должна быть около 1500-2700 об/мин. При заточке твердосплавных инструментов применение жестких режимов приводит к образованию повышенных напряжений и трещин, а иногда и к выкрашиванию режущих кромок, при этом повышается износ круга .

При конструировании новых фрез для восстановления крупногабаритных цилиндрических зубчатых колёс в качестве паллоиды окружности станочного зацепления инструмента и детали может быть использована как делительная окружность, так и отличная от неё. В первом случае фрезы будут универсальными, пригодными для обработки колёс с любым числом зубьев; во втором – специальными, обрабатывающими колеса в определенном диапазоне чисел зубьев [9; 10].

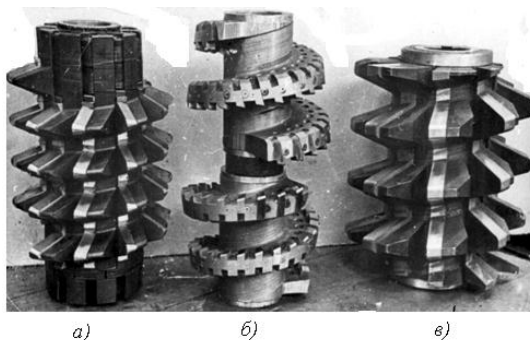


Рисунок 2 – Крупномодульные стандартные быстрорежущие червячные фрезы  
а – остро заточенная фреза;  $m = 20$  мм конструкции ВНИИинструмента;  
б – остро заточенная фреза «Победа»;  $m = 36$  мм;  
в – затылованная фреза по нормали завода «Фрезер»;  $m = 30$  мм

Особенность проектирования специальных червячных фрез заключается в том, что в качестве поллоиды станочного зацепления инструмента и детали используется окружность (рис. 3), проходящая через нижние граничные точки эвольвенты  $B$  и  $B1$ . При этом активные участки линий зацепления  $BE$  и  $B1E1$  располагаются симметрично относительно межосевого перпендикуляра и на некотором от него расстоянии.

Угол профиля зубьев специальной фрезы  $\alpha_k$  зависит от числа зубьев обрабатываемого колеса  $Z_k$  и определяется по зависимости

$$\alpha_k = \alpha_v - \sigma_v, \quad (1)$$

где  $\alpha_v$  – угол давления в крайней нижней точке  $B$  эвольвенты;

$\sigma_v$  – половина угловой толщины зуба по нижним граничным точкам  $B$  и  $B1$  эвольвенты.

В диапазоне нарезаемых зубьев колеса  $Z_k = 20 \dots 400$  угол профиля зубьев специальных фрез изменяется в пределах  $\alpha_k = 5^\circ - 19^\circ$ .

Каждой фрезой можно нарезать зубья колеса в определённом диапазоне чисел зубьев нарезаемого колеса:  $Z_k = 33 \dots 49$ ;  $Z_k = 46 \dots 66$ ;  $Z_k = 60 \dots 88$ ;  $Z_k = 88 \dots 134$ ;  $Z_k = 134 \dots 204$ . Технологическая установка фрез достигается путём разворота одного корпуса фрезы относительно другого на определённый расчётный угол и изменением толщины дистанционного кольца, закладываемого между корпусами. В каждом из корпусов фрезы выполняется несколько шпоночных пазов [3, 6, 8].

На рис. 4 приведены зависимости угла профиля зубьев специальной фрезы  $\alpha_k$  от числа зубьев обрабатываемых колёс  $Z_k$  и коэффициента смещения исходного контура зубчатой рейки  $X$  [3; 6].

Область применения фрез поясняют рис. 5 и 6. Зубчатые некорректированные колёса с числом зубьев  $33 \dots 49$  могут быть нарезаны фрезой с углом профиля  $\alpha_k = 9^\circ$  и установкой корпусов фрезы с разворотом на угол  $\theta$ .

$$\theta = 2z_K \beta_K,$$

где  $Z_k$  – число зубьев нарезаемого колеса;

$$\beta_K = \alpha_K - \alpha'_K,$$

где  $\alpha'_K$  определяется из графика (рис. 4).

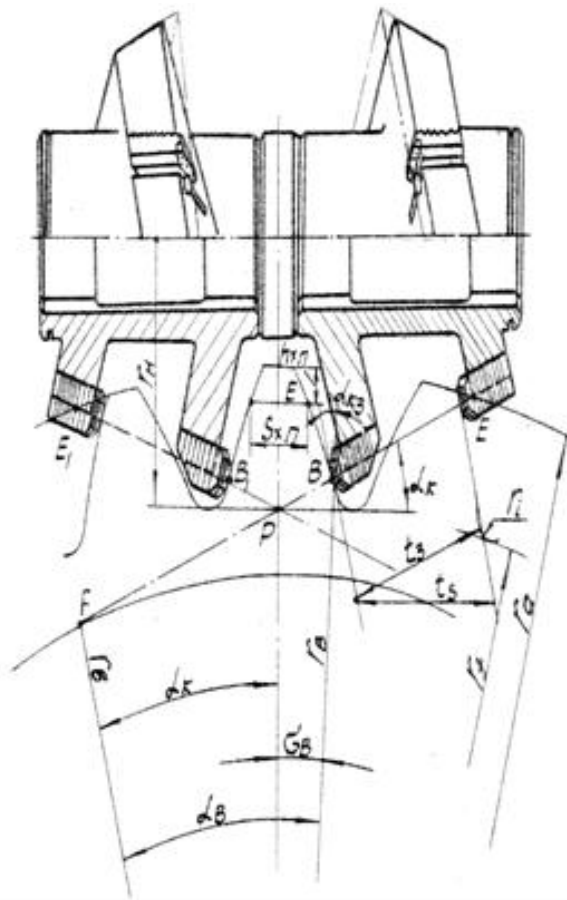


Рисунок 3 – Схема станочного зацепления специальной твердосплавной фрезы с обрабатываемым колесом

При установке на станке корпусов фрез, находящихся на оправке, корпуса фрез совмещают правыми резцами в одной плоскости и устанавливают на расстоянии  $S_{\phi}$ , определяемом конусным шаблоном (рис 5, а), сопрягающимся с обоими первыми резцами фрезы по их боковому профилю. Измеряют внутреннее расстояние между торцами обоих корпусов фрезы и по нему подбирают дистанционное кольцо. Затем устанавливают корпуса фрезы на соответствующие шпоночные пазы и закрепляют их на оправке. Фрезу с оправкой устанавливают в суппорт станка с последующей настройкой относительно оси зуба колеса.

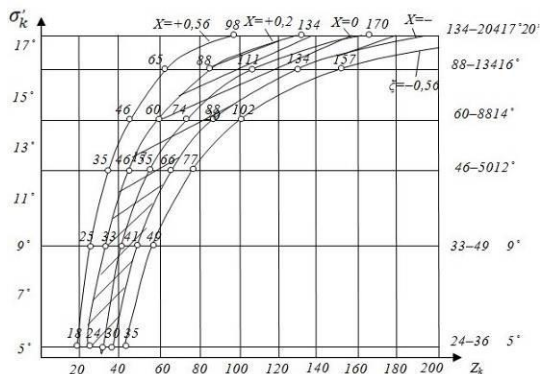


Рисунок 4 – График для определения применимости специальных твердосплавных фрез

Фрезы с заданным углом  $\alpha_k$  могут быть использованы для нарезания колёс с другим числом зубьев, если ось зуба колеса отклоняется от оси станка (рис. 5, б) на угол  $\beta_k$ , а  $S_\phi$  – расстояние между корпусами пересчитывается. При положительном  $\beta_k$  правый корпус фрезы поворачивается относительно левого по часовой стрелке на угол  $\theta$ , если смотреть со стороны правого корпуса фрезы (рис. 5, с). При отрицательном  $\beta_k$  правый корпус фрезы поворачивается против часовой стрелки и в таком положении оба корпуса закрепляются на оправке.

Для корригированных колёс диапазон чисел нарезаемых зубьев увеличивается: при  $X = +0,56$ , применяя фрезу с  $\alpha_k = 9^\circ$ , нарезают зубчатые колёса с числом зубьев 25, а при  $X = -0,56$  нарезают зубчатые колёса с числом зубьев 57.

Разворот корпусов фрез на угол  $\theta$  осуществляется путём совмещения соответствующих шпоночных пазов в корпусах.

Конструктивно специальные затачиваемые твердосплавные фрезы (рис. 6) могут быть выполнены при модуле  $m = 10...16$  мм со вставными рейками, на которых напаяны твердосплавные пластинки формы 0115А по ГОСТ 25395-82 длиной 16 мм, а при модуле  $m = 18...65$  мм в витках корпусов фрез размещены вставные резцы с напаянными пластинками формы 01151 длиной 20 мм. Материал пластинок – твердый сплав марок ВК10-ОМ; ВК10-ХОМ по ГОСТ 3882-74.

Достоинство рассмотренных конструкций специальных червячных фрез в том, что они одновременно обоими корпусами обрабатывают обе боковые поверхности зубьев колеса. Усилия резания от обоих корпусов направлены навстречу друг другу, т. е. имеет место силовое замыкание внутри инструмента. Это способствует снижению вибраций и колебаний стола

станка вместе с обрабатываемым колесом. Значительным преимуществом технологии обработки спаренными фрезами является то, что обеспечивается рациональная геометрия формирования режущей части, по сравнению со стандартными фрезами. Передний угол резания может быть выполнен в диапазоне  $\gamma = 0^\circ \div 10^\circ$ ; задний угол резания  $\alpha = +5^\circ - +10^\circ$ ; угол наклона главной режущей кромки  $\lambda = 0^\circ - 30^\circ$ .

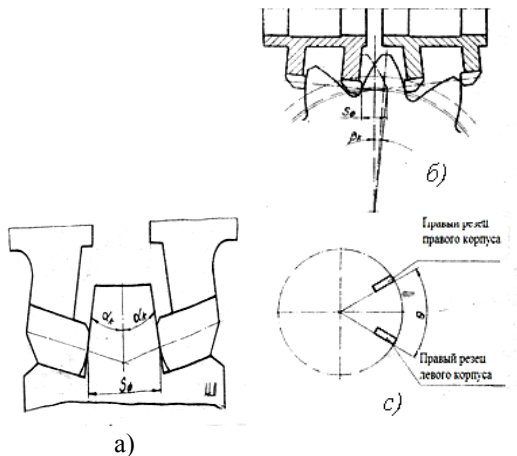


Рисунок 5 – Установка и настройка фрезы а – шаблон для установки корпусов; б – поворот колеса на угол  $\beta$ ; с – разворот корпусов фрезы на угол  $\theta$

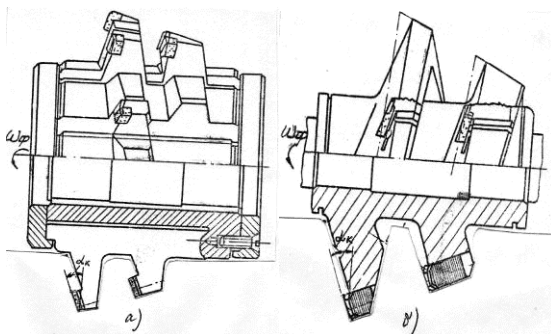


Рисунок 6 – Конструкция специальных твердосплавных фрез  
 а – правый корпус фрез,  $m = 0 - 16$  мм; со вставными зубчатыми рейками и напаянными пластинками;  
 б – правый корпус фрез,  $m = 18 \dots 65$  мм со вставными резцами и напаянными пластинками

Фрезы выполнены остро заточенными, т.е. алмазное затачивание и



перетачивание зубьев фрез ведётся только по задним граням. Это значительно уменьшает толщину срезаемого слоя, увеличивает количество возможных перетачиваний инструмента и снижает трудоёмкость затачивания и перетачивания фрез. Наиболее рациональной областью использования рассмотренных специальных фрез является восстановление крупногабаритных цилиндрических зубчатых колес, используемых в углеразмельных и рудоразмельных мельницах, экскаваторах, прокатных станах, механизмах подъёма.

### **Выводы**

Для восстановления крупногабаритных зубчатых колес после наплавки с подслоиным слоем (однослойным или двухслойным) предложена конструкторско-технологическая схема формообразования зубьев специальными твердосплавными фрезами, которые обеспечивают значительное уменьшение длины главных режущих кромок и таким образом облегчают алмазную заточку инструмента. Одним из основных факторов при восстановлении цилиндрических зубчатых колёс является выбор оптимальной схемы резания и кинематики. Анализ технологических схем резания зубьев специальной твердосплавной червячной фрезой при восстановлении крупногабаритных зубчатых колес показывает, что в этом случае нет необходимости выполнять режущие кромки инструмента, соизмеримыми с размерами обрабатываемых зубьев колеса; т. к. не всей длиной кромки режущие зубья участвуют в резании. Рабочая длина режущей кромки определяется из условия обязательного обеспечения перекрытия резцов в процессе огибания эвольвентной поверхности зубьями фрезы и включает два участка, расположенные, соответственно, ниже и выше точки профилирования. Длина участков резания увеличивается с увеличением модуля и уменьшением числа зубьев обрабатываемого колеса и инструмента. Единственным технологическим условием является подготовка впадины зубьев перед окончательной нарезкой типа «протуберанец».

Исходя из минимальной длины режущей части фрез была разработана технология восстановления зубьев чистовыми специальными фрезами, у которых длина режущих кромок зубьев не зависит от размеров обрабатываемых зубьев колеса и составляет 10...16 мм с учётом возможных погрешностей изготовления инструмента по углу профиля и величины срезаемого припуска.

**Список использованных источников:** 1. Технологические способы повышения точности зубофрезерования универсальными червячными фрезами / Ю. В. Тимофеев, Е. В. Мироненко, А. А. Клочко, В. Ф. Шаповалов, О. Е. Мироненко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ ХПІ, 2010. – № 25. – С. 134–141. 2. Технология обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес твердосплавными червячными фрезами / Ю. В. Тимофеев, Е. В. Мироненко, А. А. Клочко, В. Ф. Шаповалов, О. Е. Мироненко // Вісник

Национального технического университета «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. пр. Тематичний випуск : Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ ХПІ, 2010. – № 40. – С. 109–123. **3.** О повышении эффективности процесса алмазного шлифования / *М.И. Гасанов, Ф.М. Євсюкова, О.В. Євсюкова, О.Ф. Енікєєв* // Вестник Национального технического университета «ХПИ»- Харьков, 2001.-№ 14. С. 62-69. **4.** Технология зубообработки закаленных колес червячными фрезами с неперетачиваемыми поворотными пластинками и твердосплавными роликами / *Ю. В. Тимофеев, Е. В. Мироненко, А. А. Клочко, В. Ф. Шаповалов* // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – Вып. 27. – С. 69–77. **5.** Оптимизация технологического процесса алмазного шлифования по критерию стоимости / *М.И. Гасанов, Ф.М. Євсюкова, О.Ф. Енікєєв, И.С. Зыков* // Вестник Национального технического университета "ХПИ- Харьков, 2002.-№3. С. 83-90. **6.** Совершенствование технологии зубонарезания червячными модульными фрезами с контактно-реактивной пайкой режущих пластин / *Е. В. Мироненко, А. А. Клочко, В. Ф. Шаповалов, В. А. Чмырь* // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2013. – Вып. 33. – С. 3–7. **7.** Анализ схем резания и технологическое оснащение при интенсивной и высококачественной зубообработке закаленных крупномодульных колес / *Ю. В. Тимофеев, А.Н. Шелковой, Е. В. Мироненко, А. А. Клочко, А. Н. Кравцов* // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Серія : Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2014. – № 42(1085). – С. 7–19. **8.** Шелковой А.Н. Общая имитационная модель формирования погрешностей при зубообработке лезвийным инструментом / *А.Н. Шелковой, А.А. Клочко, С.Ю. Палашек, Т.В. Терещенко* // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали тринадцятого Міжнар. наук.-техн. конф., 2–4 червня 2015 р. / за загал. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ : ДДМА, 2015. – С. 93. **9.** Шелковой А.Н. Технологические условия формирования параметров поверхностного слоя зубчатых колес и их влияние на эксплуатационные свойства / *А. Н. Шелковой, А. А. Клочко, О.А. Анцыферова, С.Ю.Палашек* // Физические и компьютерные технологии. Труды 21-й Международной научно-практической конференции. 24–25 декабря 2015, г.Харьков. – Д.: Лира, 2015. –С. 107–120. – ISBN 978-966-383-658-4. **10.** Особенности эксплуатации абразивных кругов при зубошлифовании / *Ф.В. Новиков, А.А. Клочко, М.И. Гасанов, Е.В. Басова, А.Н. Лищенко* // Физические и компьютерные технологии. Труды 22-й Международной научно-практической конференции. 7–9 декабря 2016, г.Харьков. – Д.: Лира, 2016. –С. 110–112. – ISBN 978-966-383-795-6.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Technological ways to improve the accuracy of gear milling with universal worm cutters / Yu. V. Timofeev, EV Mironenko, AA Klochko, VF Shapovalov, OE Mironenko / News of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute ": zb. sciences. Ave. Subject visas: Technologies in machinebuilding. - Khar'kov: NTU KhPI, 2010. – No. 25. – P. 134-141. **2.** Technology of processing coarse-grained hardened gears with carbide-tipped worm cutters / Yu. V. Timofeev, EV Mironenko, AA Klochko, VF Shapovalov, OE Mironenko / News of the National Technical University "Kharkovsky Politechnicheskii Institute ": zb. sciences. Ave. Subject visas: Technologies in machinebuilding. – Khar'kov: NTU KhPI, 2010. – No. 40. – P. 109-123. **3.** On improving the efficiency of the diamond grinding process / M.I. Hasanov, F.M. Cvsyukova, O.V. Evsyukova, OF. Enikeev // Bulletin of the National Technical University "KhPI" - Kharkov, 2001.- № 14. P. 62-69. **4.** Technology of tooth-machining of hardened wheels with worm cutters with non-repivoted rotary plates and carbide-tipped rollers. Yu. V. Timofeev, EV Mironenko, AA Klochko, VF Shapovalov / Instrument reliability and optimization of technological systems: Sat. sci. tr. - Kramatorsk: DGMA, 2010. – Issue. 27. – P. 69-77. **5.** Optimization of the technological process of diamond grinding by the criterion of cost / M.I. Hasanov, F.M. Cvsyukova, OF Enikeev, I.S. Zыkov / Bulletin of the National Technical University "KhPG-Kharkov, 2002. – No 3. S. 83-90. **6.** Improvement of the technology of gear cutting with worm modular mills with contact-reactive soldering of cutting inserts / EV Mironenko, A. A. Klochko, V. F. Shapovalov, V. A. Chmyr // Instrument reliability and optimization of technological systems: Collection of scientific papers – Kramatorsk: DGMA, 2013. – Issue 33. – P. 3-7. **7.** Analysis of cutting schemes and technological equipment for intensive and high-

quality machining of hardened coarse-grain wheels / Yu.V. Timofeev, A.N. Shelkovoy, E.V. Mironenko, A. A. Klochko, A. N. Kravtsov / News of the National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute." Science: Technology in machinebuilding .– Kharkov: NTU "KhPI." – 2014. – No. 42 (1085) – P. 7-19. **8.** Shelkovoy A.N., Klochko A.A., Paslachek S.Y., Tereshchenko T.V. The general simulation model of the formation of errors in the processing of teeth with a blade tool. – Vazhke mashinobuduvannya. Problems that perspective are rooted in: the material of the triadnated Mizhnar. Sciences: -techn. conf., 2-4 draft of 2015 p. for the lock. Ed. VD Koval'ova. – Kramatorsk: DDMA, 2015. – P. 93. **9.** Shelkovoy A.N., Klochko AA, Antsyferova OA, Palashek S.Yu. Technological conditions for forming the parameters of the surface layer of gears and their effect on operational properties.– Physical and Computer Technologies. Proceedings of the 21st International Scientific and Practical Conference. December 24-25, 2015, Kharkiv. – D .: Lear, 2015. – C. 107-120. ISBN 978-966-383-658-4. **10.** Features of the operation of abrasive wheels with gear grinding / F.V. Novikov, A.A. Klochko, M.I. Gasanov, E.V. Basova, A.N. Lyshenko. – Physical and Computer Technologies. Proceedings of the 22nd International Scientific and Practical Conference. December 7-9, 2016, Kharkov. – D .: Lira, 2016. – P. 110-112. ISBN 978-966-383-795-6.