

УДК 621.951.7

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.

Є.В. Скочко, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

### ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ РОЗВЕРТОК ДЛЯ ОБРОБКИ ПРЕЦИЗІЙНИХ ОТВОРІВ

*Виконана структурна оптимізація прецизійної верстатної розвертки. Розроблено конструктивні елементи та вибрано геометричні параметри верстатної розвертки підвищеної точності, стійкості та поліщеної якості обробленої поверхні отворів.*

Давньою є проблема обробки точних за макро- та мікроформою, а також розмірами циліндричних отворів. Вона пояснюється складністю процесів, які мають місце при розвертанні отворів, тобто комплексністю впливу багатьох визначальних чинників.

Головними чинниками розбиття та огранки отворів при розвертанні можуть бути [1]:

- зрізання тонких шарів припуску, величина яких сумірна з величинами радіусів заокруглення різальних кромки;
- зрізання значних за шириною шарів припуску;
- похибки виготовлення різальних кромки з величинами биття, сумірними з величинами товщини зрізів;
- неспівпадання осей розвертки на окремих її частинах з віссю отвору заготовки;
- велика згинна та мала крутильна жорсткість конструкцій стандартних розверток.

Відомо [2], що обробка отворів у деталях стандартними розвертками характеризується 6-10 квалітетами точності з параметрами шорсткості обробленої поверхні  $R_a \leq 2,5$  мкм при обробці сталевими та  $R_a \leq 0,63$  мкм при обробці твердосплавними розвертками. Такий широкий діапазон якості поверхонь оброблених деталей може бути пояснено недоліками конструкції стандартних розверток, ще більшими похибками виготовлення та особливо складними умовами експлуатації реальних верстатних (машинних) розверток.

Метою роботи є удосконалення конструкцій розверток для обробки циліндричних отворів, технології їх виготовлення та поліщення умов експлуатації.

Для досягнення суттєвих результатів структурного (якісного) удосконалення верстатних розверток та характеристик їх роботи потрібно комплексно проаналізувати всі фази створення та експлуатації розверток, виконавши системне дослідження кожної з фаз за умови виконання ведучої ролі верстатної розвертки в кожній з технологічних оброблювальних систем (ТОС).

Аналіз показує, що один з недоліків конструкції верстатних розверток – це підвищене зношування вершин зубців, що не тільки обмежує їх стійкість, а й призводить до погіршення якості оброблених поверхонь отворів деталей.

Під структурною оптимізацією потрібно розуміти [3] забезпечення прийняття доцільних якісних рішень (вибір принципових рішень, тобто виду, типу і схеми конструкції об'єкта удосконалення). Методика системного аналізу об'єктів дослідження повинна ґрунтуватись на структурному, функціональному та характеристичному аналізах та синтезах цих об'єктів з урахуванням процесів, які в них протікають [4].

Розпочинається структурна оптимізація з фіксації досягнутого рівня певним об'єктом, у нашому випадку верстатною розверткою, тобто переліку конструктивних елементів та геометричних параметрів, їх значень, режимів різання та досягнутих показників ефективності [2], [5]. Декомпозиція кожної з вказаних систем на елементи, критичний аналіз їх з виявленням причин недосконалості, дозволить знайти потрібні теоретичні та технічні рішення, а потім, після синтезу, знайти якісне рішення удосконаленої системи або найбільш відповідального її елемента, у нашому випадку – верстатної розвертки. Повинен бути описаним об'єкт та обраною мета структурної оптимізації.

Недоліки конструкції верстатних розверток зводяться до деякого ряду, а серед них – до підвищеного зношування вершин зубців між головними різальними кромками і смужками калібруючої частини, яке пояснюється недостатньою їх міцністю та обмеженим тепловідводом. Зменшити інтенсивність зношування вершин зубців можна за рахунок збільшення величини тілесних кутів цих вершин, тобто за рахунок зменшення величин кутів у плані головних

привершинних різальних кромок та зменшення величини задніх кутів цих лез. Так, для чотиризубої розвертки необхідно створити головні різальні кромки з кутом в плані, рівним  $\varphi_1 = 2,5^\circ \pm 30'$ , а для тризубої –  $\varphi_1 = 2^\circ \pm 30'$ . Задні кути лез повинні бути рівними  $\alpha_1 = 3,5^\circ \pm 30'$  та  $\alpha_2 = 3^\circ \pm 30'$  відповідно.

Другим недоліком конструкції верстатних розверток є велика чутливість кінців різальних кромок зубців до коливань величини припуску, чим порушується нормальна робота розвертки і розвивається явище копіювання поверхні заготовки (тобто попередньо створеного отвору) на обробленій поверхні отвору. Причиною цього явища є малі товщини зрізу та незадовільний розклад нормальної до поверхні різання сили на осьову і радіальну складові при малих кутах в плані лез, а також великі площі дотику задніх поверхонь кінців зубців стандартних розверток при відносно малих величинах задніх кутів (коло  $\alpha = 6...10^\circ$ ). Для зниження негативного явища копіювання доцільно створити додаткові головні різальні кромки на зубцях з кутами в плані, рівними  $\varphi_2 = 20...30^\circ$  та задніми кутами лез, рівними  $\alpha_2 = 14...18^\circ$ . Такі великі значення задніх кутів можуть бути виправдані лише за умови точного (без биття) виготовлення розвертки та точного її напрядуку по отвору заготовки.

Третім недоліком конструкції верстатних розверток слід вважати створення при розвертанні огранки та розбиття поверхні отворів. Причиною цього явища є небажане поєднання малої крутильної жорсткості та наявності циліндричної ділянки (а при виготовленні можлива навіть прямоконічна) калібруючої частини, особливо в умовах неспівпадання осей розвертки і отвору [1]. Перше є причиною створення активного елемента в крутильно-коливальному ланцюзі ТОС, а друге – збудником нелінійних коливальних рухів з піковим підвищенням моменту тертя, завдяки миттєвому підвищенню зв'язку з обробленою поверхнею отвору (миттєвому заклинюванню). Доцільним технічним рішенням вказаного негативного поєднання буде створення пружного частотного розриву між власними частотами крутильного коливального контуру та згінального для розвертки коливального контуру. Підвищення власної частоти крутильного контуру ТОС доцільно створити підвищенням крутильної жорсткості шийки шляхом збільшення її діаметра. Зменшення власної частоти згінального контуру ТОС можна реалізувати при збільшенні загальної довжини розвертки та виготовлення на кінці шийки пружного шарніру. Зменшення амплітуди коливання сил збудника буде сприяти і виконання калібруючої частини у вигляді двох зворотних конусів зі смужками: першого – в межах половини поля допуску на оброблюваний отвір; другого, традиційно більшим, – за межами допуску. Ефективним у вирішенні останньої задачі й буде зменшення загальної кількості зубців верстатної розвертки – з 6–12 до 3–4.

Відомим ще з довоєнних часів [6] конструктивним способом боротьби з огранкою отворів при розвертанні був шлях нерівномірного розташування зубців на поперечному перерізі розвертки. Останніми дослідженнями [7] встановлено, що цей шлях боротьби з огранкою не створює помітного ефекту, а лише ускладнює виробництво і підвищує вартість розверток.

Четвертим недоліком конструкції верстатної розвертки є незадовільне її напрядування в отворі при роботі привершинних головних різальних кромок. Поліпшення напрядування розвертки в отворі через створення більшої площі дотику задніх поверхонь лез зубців виконується вже відомим чином: зменшенням кутів у плані та зниженням значень величин задніх кутів.

П'ятим недоліком конструкції верстатної розвертки є виникнення нерегулярного мікрорельєфу на обробленій поверхні отвору у вигляді слідів куточків зубців та пластичних надбавок на гребінці мікронерівностей, створених з часток стружки, яка потрапила під задню поверхню леза при миттєвому неперіодичному віддаленні останнього від обробленої поверхні. Цей останній миттєвий рух дуже шкідливо відтворюється на зношування вказаного леза. Вирішується вказана проблема вищезазначеним способом.

Шостим недоліком конструкції верстатної розвертки є наявність гвинтових рисок на обробленій поверхні отвору. Як правило, вони є наслідком вкорінення вершин куточків лез зі смужками циліндричної та зворотно-конічної ділянок без смужок калібруючої частини зубців. Мала площа дотику цих вершин при наявності циліндричної ділянки та в умовах перекосу осі отвору відносно осі розвертки створюють вказане явище. Технічним рішенням вказаної проблеми буде створення смужки на зворотному конусі, заміна циліндричної ділянки

калібруючої частини на слабку зворотно-конічну та послаблення поперечної жорсткості розвертки – шляхом збільшення її довжини та виконання на кінці шийки пружного шарніру.

Вказані недоліки конструкції стандартних верстатних розверток у поєднанні з недоліками виготовлення в умовах наявності похибок верстатів, похибок з'єднання копійчастих хвостовиків з їх шпинделями та зміщень осей отворів заготовок роблять ці розвертки майже непридатними. Найсуттєвішими похибками виготовлення розверток варто вважати биття лез різальної та калібруючої частини. Головними причинами виникнення биття різальних кромок зубців слід вважати: неточне базування розвертки за допомогою односторонньої упорки, негативний вплив малої міжроликкової бази напрямої поздовжнього руху стола загострювального верстата та неякісне базування розверток неякісними центровими отворами на некруглих центрах шліфувального верстата. Велике биття лез зубців калібруючої частини може бути пояснено наявністю нечистомоментного привода обертання розвертки (діє момент разом з поперечною силою, яка обертається разом з планшайбою верстата), неякісним базуванням на некруглих центрах верстата, та відсутністю попереднього радіального навантаження розвертки. “Завал” смужок калібруючої частини розвертки в бік передньої поверхні зубців суттєво погіршує зачисно-калібруючі властивості кромок та скорочує стійкість розвертки. Створення такого “завалу” смужок на зубцях може бути пояснене і в цьому випадку наявністю нечистомоментного привода обертання розвертки, а також відсутністю попереднього радіального та колового навантажень розвертки при шліфуванні смужок зубців її калібруючої частини.

Звертають увагу вимоги для доведених розверток щодо допусків на радіальне биття зубців калібруючої частини, які складають: для розверток з діаметрами 3–10 мм – 6 мкм, більше 30 мм – 10 мкм [3]. Для різальної частини допуски на биття доведених розверток за 6 квалітетом складають: для діаметрів 3–10 мм – 10 мкм, більше 30 мм – 16 мкм [3]. Навіть при додержанні цих вимог (на реальному виробництві це дуже складно!), які обмежують величини биття зубців різальної та калібруючої частини, з'ясовується, що ці величини порівняні з реальними товщинами зрізу розвертками, тобто частина зубців не буде мати змогу брати участь в різанні.

Враховуючи нелінійні явища, пов'язані зі співставністю величин тонких зрізів з величинами радіусів заокруглення різальних кромок  $a \approx \rho = 0,01...0,02$  мм [8] (йдеться про тонке різання лезами фасонних фрез), має місце проковзування зубців, яке при подальшому, з подачею, збільшенні товщини зрізу, продовжується непевним різанням при відповідному накопиченні потенційної енергії ТОС. При вказаних тонких зрізах реальні величини передніх кутів мають великі негативні значення, незалежно від значень кутів, отриманих при загострюванні зубців. Вказані величини передніх кутів визначають великі значення нормальних складових сил різання такими зубцями розверток. Особливо ж підвищуються питомі витрати енергії.

Для виправлення вказаних недоліків виготовлення верстатних розверток необхідні технічні рішення з використанням механізмів дво- або триточкових упорок, котрі дозволяють на порядок підвищити точність колового базування розверток і в декілька разів знизити величину биття зубців розверток [1], [9]. Завдяки чистомоментному диференціальному приводу обертання розвертки [9] при попередньому коловому напруженні, створеному завдяки пружним кільцям, одягненим на контакти кінців хомутка з ведучими пальцями диференціального механізму (кільця не показані), та попередньому радіальному напруженню встановленої на центрах розвертки, створюваному пружиною стрічкою ([9], рис. 3, 6, 4) вдається позбутись негативного явища “завалу” стрічок зубців розвертки. Додатковий позитивний ефект може бути досягнуто при використанні абразивних, ельборових чи алмазних кругів з малою нормальною складовою сили різання.

Перезагострення верстатної розвертки повинно виконуватись лише по задній поверхні лез привертинної різальної кромки. Початкова довжина цих кромок може дорівнювати 0,5–1 мм, кінцева – 8–12 мм. Зрозуміло, що довжини калібруючої частини та кінцевої головної різальних кромок при перезагостреннях будуть зменшуватись.

Перезагострення повинні виконуватись заправленим кутом з постійними та однаковими для кожного зубця величинами глибини різання, швидкості різання та подачі.

Для попередження виникнення миттєвих поворотів навколо полюсів контакту – окремих “виступаючих” лез зубців зі створенням огранки отвору – необхідно виконати пружний шарнір на подовженій в 1,5–2 рази шийці розвертки біля її хвостовика. Для створення протидії

розбиттю отвору, що обробляється, необхідно, крім вказаного подовження розвертки, замість циліндричної калібруючої частини виконати зворотню конічну зі слабкою величиною конусності (в межах половини поля допуску на отвір па довжину цієї частини). Непевне самобазування розвертки та додаткове наклепування обробленої поверхні отвору створюється завдяки великій кількості зубців стандартних розверток. Необхідно замість 6–12 зубців виготовляти розвертки з 3–4 зубцями. Проблеми виміру розміру тризубої розвертки не існує – як не існує її при відомому вимірюванні тризубих мітчиків – за допомогою 60° насадки на мікрометрі.

В таблиці наведена загальна блок-схема структурної (якісної) оптимізації верстатних розверток.

Таблиця 1

Блок-схема структурної (якісної) оптимізації верстатних розверток

Об'єкт удосконалення	Розвертка машинна за ГОСТ 1672-80, ГОСТ 883-84, ГОСТ 16087-70: $d=10-32$ мм, $L=140-240$ мм, $d_{\text{н}}=8-23$ мм, $L_{\text{пр}}=16-25$ мм, конус Морзе № 1–3, $z=6$ при $d=10$ мм; $z=8$ при $d \leq 28$ мм; $z=10$ при $d \geq 30$ мм, для $d=10-30$ мм $\varphi=15^\circ$ , $\alpha=8^\circ \pm 2^\circ$					
Вихідний стан:	Розбиття та огранка отвору, точність отвору 6–10 квалітети, шорсткість поверхні $Ra = 0,63 \dots 2,5$ мкм, невисокі стійкість та продуктивність розвертки Величина припуску $t = 0,1 \dots 0,4$ мм. Подача $S = 0,8 \dots 1,3$ мм/об. Швидкість різання при обробці жароміцної сталі твердосплавними розвертками $V = 15 \dots 35$ м/хв. Період стійкості $T = 40 \dots 120$ хв					
Мета:	Позбавлення огранки та розбиття отвору, підвищення точності до 5–6 квалітетів, шорсткості поверхні до $Ra = 0,4 \dots 0,63$ мкм, підвищення стійкості розвертки при збереженні продуктивності					
<b>Удосконалення конструкції ідеалізованих верстатних розверток</b>						
Недоліки конструкції	Підвищене зношування вершин зубців розвертки	Велика чутливість кінців різальних кромок зубців до коливань припуску	Огранка та розбиття поверхні отворів	Незадовільне направлення розверток в отвори	Нерегулярний мікрорельєф поверхні отвору	Наявність гвинтових ризок на поверхні отвору
Причини	Велика сідова теплова вразливість вершин зубців	Великі зміни радіальних сил при коливанні припуску	Миттєві повороти навколо полюсів зачистлення – виступаючих зубців.  Циліндрична форма калібруючої частини розвертки	Слабка самобазувальна властивість привершинних лез зубців розвертки	Незадовільне направлення розвертки по отвору	Великі тиски куточків лез калібруючої частини розвертки
Теоретичні рішення	Збільшити тілесні кути вершин	Зменшити ширину і довжину площі дотику лез зубців	Зменшити силовий зв'язок розвертки у радіальному і підвищити у тангенціальному напрямках	Збільшити ширину і довжину контакту лез зубців різальної частини	Збільшити ширину і довжину контакту лез зубців різальної частини розвертки	Збільшити ширину контакту лез зубців зворотного конуса розвертки
Технічні рішення	Зменшити задні кути та кути в плані привершинних лез	Збільшити кути в плані та задні кути лез кінців зубців	Збільшити діаметр шийки розвертки  Виготовити калібруючу частину розвертки зі зворотним конусом	Зменшити задні кути та кути в плані привершинних лез зубців	Зменшити кути в плані та задні кути привершинних лез зубців	Виконати смужку і на зворотному конусі розвертки

Закінчення таблиці

<b>Удосконалення технології та засобів виготовлення верстатних розверток</b>			
Недоліки виготовлення	Значне биття лез зубців різальної частини	Велике биття лез калібруючої частини	“Завал” поверхонь смужок калібруючої частини
Причини	<p>Неточне базування розвертки однокисловою упоркою</p> <p>Мала мікроликова база стола загострювального верстата</p> <p>Неякісне базування розвертки на некруглих центрах</p> <p>Відсутність попереднього навантаження розвертки при загострюванні</p>	<p>Нечистомоментний привод обертання розвертки</p> <p>Неякісне базування розвертки на некруглих центрах</p> <p>Відсутність попереднього радіального навантаження розвертки</p>	<p>Нечистомоментний привод обертання розвертки</p> <p>Відсутність попередніх радіального та колового навантажень розвертки</p> <p>Неякісне базування розвертки на некруглих центрах</p>
Теоретичні рішення	За умови точного базування попередження пружної колової “віддачі” розвертки при зменшенні сили різання	За умови точного базування попередження пружної радіальної “віддачі” розвертки при зменшенні сили різання	За умови точного базування попередження пружних колової та радіальної “віддачі” розвертки при зменшенні сили різання
Технічні рішення	<p>Використання дво- або триточкових упорок з базуванням розверток різальними кромками калібруючої частини</p> <p>Створення попереднього навантаження розвертки</p> <p>Використання круглих прецизійних центрів та отворів у розвертках</p> <p>Використання точних загострювальних верстатів</p>	<p>Використання чистомоментного привода обертання розвертки</p> <p>Створення попереднього радіального навантаження розвертки при шліфуванні її смужок</p> <p>Використання круглих прецизійних центрів та отворів у розвертках</p>	<p>Використання чистомоментного привода обертання розвертки</p> <p>Створення при шліфуванні смужок на зубцях розвертки попередніх її радіального і колового навантажень</p> <p>Використання при шліфуванні смужок розвертки круга з малою радіальною складовою сили різання</p>
<b>Удосконалення умов експлуатації верстатних розверток</b>			
Незадовільність умов	Миттєві повороти навколо полюсів контакту – лез зубців – створюють огранку отворів	Розбиття отворів циліндричною калібруючою частиною розвертки	Непевне самобазування розвертки по отвору
Причини	Неспівпадання осей обертання, розвертки та отвору	Зміщення осі отвору відносно осі обертання розвертки	Велика кількість зубців розвертки
Теоретичні рішення	Створення умов компенсації неспівпадання осей отвору, розвертки та осі її обертання	Зниження негативної ролі розклинюючого ефекта циліндричною частиною при зміщенні осі отвору	Поліпшення умов самовстановлення розвертки по отвору заготовки
Технічні рішення	Виконання пружного шарніру на кінці подовженої шийки розвертки	<p>Виконання пружного шарніру на подовженій шийці розвертки</p> <p>Виконання частини зі зворотною конусністю замість циліндричної калібруючої частини</p>	Зменшення кількості зубців розвертки до 3–4

На рисунку наведено креслення удосконаленої чотиризубої верстатної розвертки.

Різальна частина верстатної розвертки може виготовлятися із швидкорізальної сталі або твердого сплаву.

Стружкові канавки верстатної розвертки виконані нахиленими до осі.

Передні кути виконуються рівними  $\gamma = 0^\circ$ . Різальні кромки виконуються доведеними з радіусом заокруглення кромки, рівним  $\rho = 0,006 \dots 0,01$  мм. “Завал” передньої поверхні, звичайно отримуваний при загострюванні передніх поверхонь зубців, зі зменшенням величин передніх кутів, не допускаються.

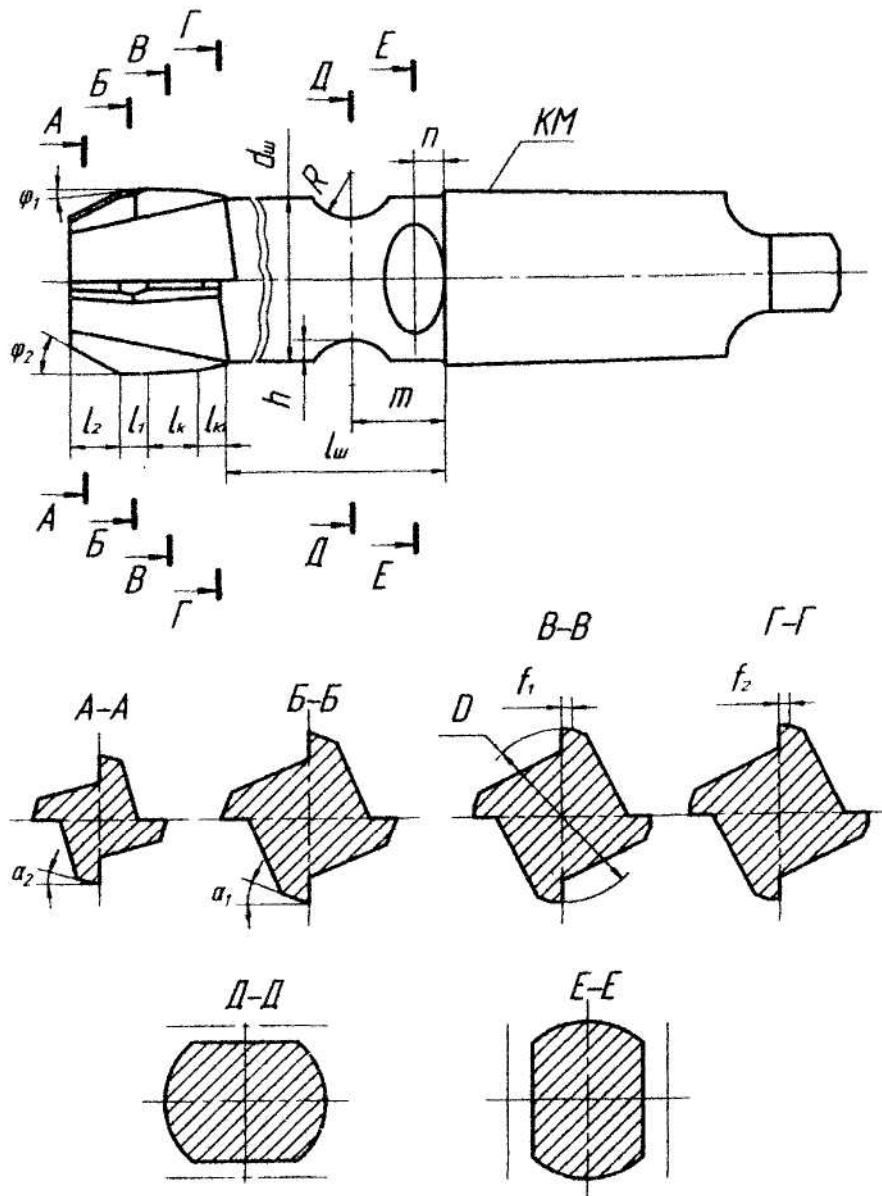


Рис. Удосконалена чотиризуба верстатна розвертка

Для подальшої параметричної оптимізації [10] верстатної розвертки, в конкретних випадках, за певними критеріями – точністю чи шорсткістю поверхні отвору, стійкістю розвертки чи продуктивністю обробки тощо можна рекомендувати наступні початкові значення:

- розмірів конструктивних елементів – розмірів шийки розвертки:  $d_w = D - (0,3...1)$  мм,  $l_w = (7...15) \cdot D$ ; розмірів пружного шарніру:  $R = (0,2...0,5) \cdot D$ ,  $h = (0,05...0,1) \cdot D$ ,  $m = (0,12...0,18) \cdot D$ ,  $n = (0,04...0,08) \cdot D$ ;
- розмірів різальної та калібруючої частин:  $l_2 = (0,3...0,5) \cdot D$ ;  $l_1 = (0,01...0,3) \cdot D$ ;  $l_k = (0,2...0,4) \cdot D$ ;  $l_{k1} = 1 \pm 0,5$  мм;
- кутів різальної частини:  $\varphi_1 = 2,5^\circ \pm 30'$ ,  $\alpha_1 = 3,5^\circ \pm 30'$ ,  $\varphi_2 = 20...30^\circ$ ,  $\alpha_2 = 14...18^\circ$ .

На кожному з розроблених і виготовлених типів циліндричних розверток для певних умов експлуатації (матеріал, конструкція деталі, розміри отвору тощо) повинна бути проведеною параметрична оптимізація за одним з бажаних критеріїв (продуктивність обробки чи її собівартість, стійкість розвертки тощо) [10].

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *Скочко Є.В.* Аналіз механізмів роботи розверток та їх удосконалення // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – 2003. – № 1 (24). – С. 65–71.
2. *Справочник инструментальщика* / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.П. Шевченко и др. – Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – С. 404–414.
3. *Юликов М.И.* и др. Проектирование и производство режущего инструмента / М.И. Юликов, Б.И. Горбунов, Н.В. Колесов. – М.: Машиностроение, 1987. – С. 14.
4. *Глушко В.В.* Системный подход к проектированию станков и роботов. – К.: Техніка, 1981. – С. 8.
5. *Металлорежущий инструмент. Часть 6. Инструмент для обработки отверстий. Зенкеры, зенковки и развертки: Каталог* / ВНИИинструмент. – М.: ВНИИТЭМР, 1988. – С. 39.
6. *Семенченко И.И.* Режущий инструмент. Конструирование и производство. – Том 1. – М.: ГРЛноМиМ, 1936. – С. 431–436.
7. *Филиппов Г.В.* Режущий инструмент. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – С. 263–279.
8. *Кудевицкий Я.В.* Фасонные фрезы. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – С. 18–19.
9. *Скочко Є.В.* Технологія інструментального виробництва: Навчальний посібник для вузів. – Житомир: ЖІТІ, 1999. – С. 140.
10. *Скочко Є.В.* Різальні інструменти: Навчальний посібник для студентів вузів. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – С. 188–200.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – доктор технічних наук, професор, ректор Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- дослідження у галузі механіки руйнування;
- технологія машинобудування.

СКОЧКО Євген Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- різальні інструменти;
- теорія різання.

Подано 9.01.2005