

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Іванова Марина Сергіївна



УДК 621.91

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЯКОСТІ
ОБРОБКИ ОТВОРІВ ДЕТАЛЕЙ ГІДРОПНЕВМОСИСТЕМ
КОМБІНОВАНИМ ОСЬОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти та науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Степанов Михайло Сергійович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
декан машинобудівного факультету

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Фадєєв Валерій Андрійович,
ПАТ «ФЕД», м. Харків,
заступник голови правління з наукової роботи

кандидат технічних наук, доцент
Сичов Юрій Іванович,
Українська інженерно-педагогічна академія,
м. Харків,
декан факультету інтегрованих технологій в
виробництві та освіті

Захист відбудеться «14» квітня 2016 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий « 14 » березня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Зубкова Н. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Гідропневмопривод є найважливішою складовою різноманітного устаткування завдяки перевагам, до яких відносяться: високі зусилля; потужність, що передається; широкий діапазон безступінчастого регулювання швидкості і простота управління. При цьому до деталей елементів гідропневмоприводів пред'являють високі вимоги за точністю розмірів і розташування поверхонь, їх шорсткістю.

При виготовленні відповідальних деталей елементів гідропневмосистем особливо складною і трудомісткою є технологія обробки отворів. Типовий маршрут обробки отворів може містити такі операції, як свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання, розточування та обробка абразивно-алмазними інструментами: шліфування, хонінгування, полірування тощо.

Існуючі в цей час рекомендації та нормативні матеріали щодо вибору оптимального маршруту обробки отворів у більшості випадків відзначають доцільність врахування особливостей механічної обробки, в тому числі, із застосуванням комбінованих осьових інструментів (КОІ). Використання КОІ безпосередньо впливає на організаційно-технічні заходи, пов'язані з обробкою, і повинно враховуватися при проектуванні маршруту обробки отворів. Для розробки рекомендацій, що дозволять проектувати оптимальний маршрут з урахуванням особливостей механічної обробки отворів, необхідно встановити взаємозв'язки між показниками точності, конструктивними параметрами інструмента і його структурою, режимами обробки та вимогами до поверхні, яка обробляється. Це дозволить підвищити продуктивність і знизити собівартість виготовлення деталей.

Таким чином, дослідження, спрямовані на формування оптимального маршруту обробки отворів у деталях елементів гідропневмосистем комбінованим осьовим інструментом при заданих показниках точності і продуктивності, є актуальними та визначають напрям дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХПІ» в рамках держбюджетної НДР МОН України «Розробка теоретичних основ і методів рішення задач забезпечення міцності та надійності високонавантажених елементів машинобудівних конструкцій» (ДР № 0112U000403), в якій здобувач була виконавцем окремих етапів.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення продуктивності технологічного процесу та забезпечення якості обробки отворів у деталях елементів гідропневмосистем з використанням комбінованого осьового інструмента.

Для досягнення мети поставлено наступні задачі:

- визначити існуючі в сучасному виробництві напрями підвищення продуктивності та забезпечення точності обробки отворів у деталях елементів гідропневмосистем при застосуванні комбінованого осьового інструмента;
- виконати статистичний аналіз конструктивно-технологічних параметрів отворів у деталях елементів гідропневмосистем та методів їх обробки для ви-

значення теоретичних положень формування маршруту обробки;

- розробити математичну модель побудови структури технологічного процесу обробки заданої номенклатури отворів, який дозволяє обробити максимальну кількість отворів з мінімальною кількістю елементів, що входять до складу комбінованого осьового інструмента;

- розробити методику вибору раціональних режимів різання комбінованим осьовим інструментом з урахуванням виробничих умов та технічних обмежень;

- виконати теоретичні та експериментальні дослідження впливу силових навантажень при обробці ступенями комбінованого осьового інструмента на точність отвору, що обробляється;

- виконати дослідження впливу похибок виготовлення комбінованого осьового інструмента та похибок розташування осі вихідного отвору на точність оброблюваного отвору й продуктивність обробки;

- розробити методику побудови маршруту обробки заданої номенклатури отворів, яка заснована на мінімізації номенклатури різального інструмента;

- розробити та впровадити у виробництво ефективні конструкції комбінованого осьового інструмента для обробки отворів.

Об'єктом дослідження є технологічний процес механічної обробки отворів у деталях елементів гідропневмосистем.

Предмет дослідження – закономірності, що мають місце при формуванні технологічного процесу обробки отворів з використанням КОІ.

Методи дослідження. Аналітичні дослідження базуються на теоретичних основах технології машинобудування, теорії різання матеріалів, теорії опору матеріалів, теорії ймовірності та математичної статистики, системного аналізу. Математичне моделювання виконувалось на основі положень теорії множин та теорії багатокритеріального вибору, алгебри логіки. Моделювання напружено-деформованого стану КОІ здійснювалося на основі методу скінченних елементів у програмному середовищі Creo Parametric 2.0 та Creo Simulate 2.0. Достовірність теоретичних розробок підтверджено результатами експериментальних досліджень, виконаних у лабораторних і виробничих умовах. Математична обробка результатів виконувалась з використанням прикладного програмного забезпечення пакетів Microsoft Office Excel, MathCAD.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на основі аналізу особливостей отримання отворів у деталях елементів гідропневмосистем, досліджень і досягнень у цій галузі сформульовано принципи вибору структури й призначення параметрів при розробці технологічних процесів обробки комбінованим осьовим інструментом, які дозволяють зменшити вплив технологічної спадковості, забезпечують необхідну точність і якість, підвищують продуктивність обробки і базуються на:

- вперше розробленій математичній моделі формування раціональної структури комбінованого осьового інструмента, заснованій на теорії множин і теорії багатокритеріального вибору, яка на базі формування умов практичної доцільності дозволяє скоротити номенклатуру допустимих варіантів інструментів, що застосовуються;

- вперше запропонованому поданні маршруту обробки отворів із застосу-

ванням комбінованого осьового інструмента методом алгебри логіки, що відображає порядок отримання отворів інструментом, ступені якого, залежно від концентрації операцій, можуть працювати послідовно, паралельно або послідовно-паралельно;

- удосконаленій математичній залежності осьової сили різання при обробці ступенем комбінованого осьового інструмента з урахуванням його нагріву від теплових явищ, які виникають внаслідок обробки попереднім ступенем, що спричиняє зміну фізико-механічних властивостей матеріалу, який обробляється, конструктивних параметрів інструмента і отвору;

- теоретично визначених умовах виникнення сил різання на ступенях комбінованого осьового інструмента, що формують параметри точності отвору, який обробляється;

- виявленні впливу технологічної спадковості на характеристики точності обробки отворів комбінованим осьовим інструментом і їх поліпшення за рахунок раціонального розподілу загального припуску, що знімається, за заданим законом.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудівної галузі полягає у розробці і впровадженні у виробництво: методики вибору оптимальної структури і конструктивних параметрів КОІ з урахуванням технологічних факторів для забезпечення заданих показників технологічного процесу; методики вибору раціональних режимів різання, які забезпечують максимальну продуктивність при заданій точності; рекомендацій щодо виправлення похибок розташування і відхилення осі отвору в заготовках комбінованим осьовим інструментом; конструкцій інструментів, що забезпечують підвищення продуктивності обробки за рахунок концентрації технологічних переходів і зменшення допоміжного часу (пат. України № 45699, пат. України № 49356). Результати дисертаційного дослідження використано при розробці технологічних процесів обробки отворів в деталях, що виготовляються на підприємстві ТОВ «Техма-М» (м. Харків) і в навчальному процесі кафедр технології машинобудування та металорізальних верстатів, гідропневмоавтоматики і гідроприводу НТУ «ХП».

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати досліджень отримані здобувачем самостійно. Серед них: аналіз джерел інформації; статистичний аналіз отворів в деталях елементів гідропневмосистем та комбінованих осьових інструментів; математичне моделювання маршруту обробки отворів комбінованим осьовим інструментом через алгебру логіки; математичне моделювання багатокритеріального вибору структури комбінованого осьового інструмента; аналітичні та експериментальні дослідження точності обробки комбінованим осьовим інструментом.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на: V Міжнародній науково-практичній конференції «Настоящи изследования – 2009» (Софія, Болгарія, 2009); VII та IX Міжнародних науково-технічних конференціях «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (Краматорськ, 2009, 2011); IX та X Всеукраїнських молодіжних науково-технічних конференціях

«Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (Запоріжжя, 2009, Суми, 2010); XVII, XVIII, XIX, XXI, XXIII Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2009, 2010, 2011, 2013, 2015); Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні напрямки розвитку машино-приладобудівних галузей і транспорту» (Севастополь, 2010); XVII та XVIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Машиностроение и техносфера XXI века» (Севастополь, 2010, 2011); XX Міжнародній науковій конференції «Технологии XXI века» (Суми, 2014).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено в 21 науковій праці, серед яких: 1 монографія, 9 статей в фахових виданнях України (2 статті у виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз), 1 стаття у іноземному періодичному фаховому виданні, 2 патенти України на корисну модель та 6 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації складає 271 сторінку, у тому числі 88 рисунків за текстом, 34 рисунки на 26 окремих сторінках, 23 таблиці за текстом, 10 таблиць на 16 окремих сторінках, 145 найменувань використаних джерел інформації на 16 сторінках, 5 додатків на 55 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наведено наукову новизну і практичне значення результатів дослідження, подано дані про апробацію роботи, публікації і особистий внесок здобувача в ході виконання досліджень.

Перший розділ присвячений аналізу особливостей обробки отворів у деталях елементів гідропневмосистем залежно від технічних вимог, які пред'являються до них і їх функціонального призначення. Систематизовано основні фактори, що спричиняють виникнення похибок і втрату точності розміру і форми отвору, призводять до погіршення якості поверхні при обробці осьовим інструментом. Фундаментальні теоретико-експериментальні дослідження, присвячені питанням обробки отворів різним інструментом, в тому числі і осьовим, виконали І.П. Дерябін, Е.М. Дечко, Т.Г. Джугурян, Л.Я. Закарян, М.М. Капустін, К.С. Колев, В.С. Корсаков, А.Г. Косілова, С.Г. Лакиреєв, В.М. Подураєв, В.А. Стрельцов, С.А. Тіллес, О.Г. Тат'янченко, М.Д. Троїцький, М.Ф. Уткін, Ю.П. Холмогорцев та ін. Відзначено, що однією з основних причин виникнення похибок обробки отвору осьовим інструментом є зміщення його осі під дією невірноваженої радіальної сили різання.

Для підвищення продуктивності і точності обробки співвісних поверхонь застосовуються комбіновані осьові інструменти (КОІ). В роботах Н.В. Жарлікова, Н.І. Жигалко, В.Є. Карпуся, І.О. Малишка, П.Р. Родіна розглянуто питання проектування осьових інструментів, у тому числі і комбінованих. Зок-

рема, в роботах І.О. Малишка зазначалося, що конструктивні та геометричні параметри КОІ призводять до погіршення умов відведення стружки, що може знизити точність і продуктивність обробки отвору. Крім того, КОІ виготовляють, як правило, для обробки одного конкретного отвору, що обмежує його технологічні можливості. Існуючі рекомендації щодо проектування та експлуатації КОІ відзначають доцільність теоретичного обґрунтування побудови структури технологічного процесу (ТП) із застосуванням КОІ та перспективи дослідження взаємного впливу і порядку компонування та роботи ступенів КОІ на явище технологічної спадковості для забезпечення точності та якості обробки отворів. Виконаний аналіз дозволив сформулювати основні задачі дисертаційного дослідження.

У другому розділі сформульовано теоретичні передумови формування й вибору оптимальної структури ТП обробки заданої номенклатури отворів і розробки КОІ для його здійснення.

На першому етапі виконано статистичний аналіз конструктивно-технологічних параметрів отворів у деталях елементів гідропневмосистем. Виявлено (рис. 1, а), що отвори можуть мати як гладку циліндричну форму поздовжнього перерізу (47%), так і ступінчасту (53%). Серед ступінчастих отворів переважають двоступінчасті (більше 70%), ступінчасті отвори з кількістю ступенів 5 і більше не перевищують 1%.

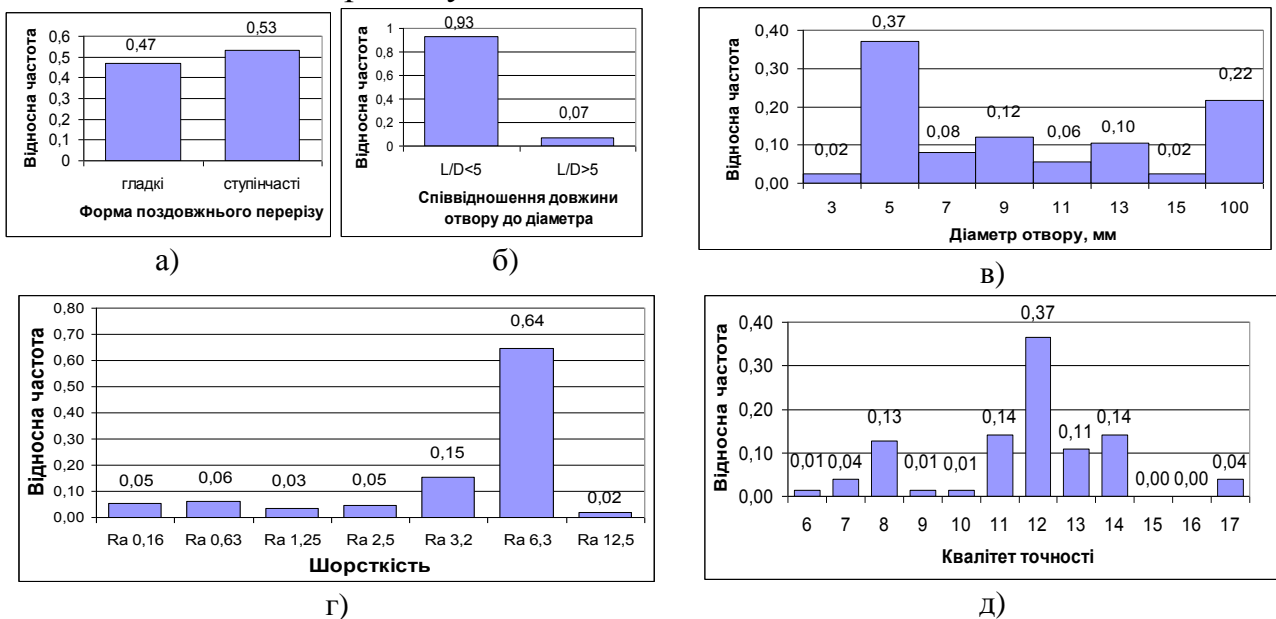


Рисунок 1 – Статистичний аналіз параметрів отворів у деталях елементів гідропневмосистем

Установлено, що рівень використання, який показує наявність m -ступінчастого отвору в конструкції деталі, описується поліномом четвертого степеня на основі методу найменших квадратів

$$y = 6,3825 - 5,4177 \cdot m + 1,7332 \cdot m^2 - 0,2460 \cdot m^3 + 0,0130 \cdot m^4, \quad (1)$$

де y – рівень використання; m – кількість ступенів.

Аналіз елементарних внутрішніх поверхонь обертання показав, що частка глибоких отворів в деталях гідропневмосистем складає 7% (рис. 1, б). Як

мальний розкид подач за ступенями, мінімальний розкид частот за ступенями. Останні два параметри забезпечують максимальну продуктивність КОІ за рахунок максимального використання можливостей кожного ступеня інструмента. При цьому необхідно враховувати обмеження, що залежать від технічних вимог до отвору та виробничих умов. Поставлена задача в загальному вигляді вирішувалася для всіх типів КОІ. Для цього визначили такі оціночні функції:

1) мінімальне середньоквадратичне відхилення від середньої частоти обертання $f_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (n_i - \bar{n})^2$, де n_i – частота обертання i -тим ступенем КОІ, \bar{n} – середня частота обертання за всіма ступенями, m – кількість ступенів КОІ;

2) мінімальне середньоквадратичне відхилення від середньої подачі на оберт $f_2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (So_i - \bar{S})^2$, де So_i – подача на оберт ступеня КОІ, \bar{S} – середня подача на оберт за всіма ступенями;

3) максимальна продуктивність в одиницю часу $f_3 = \frac{1}{\min_{So_i \in MSo, n_i \in Mn} \{So_i \cdot n_i\}}$,

де MSo , Mn – множини подач та частот обертання, які визначаються для ступенів КОІ.

Результати вирішення задачі однокритеріальної оптимізації для кожної з функцій з урахуванням накладених технічних обмежень: за різальною здатністю інструмента; за допустимою потужністю верстата; за міцністю механізму подач; за максимальним крутним моментом; за розбивкою отвору; за кінематикою верстата тощо, – методом квазі-Ньютона дозволили припустити, що потенційно існує таке рішення, яке задовольняє всім трьома оцінювальними функціям. У зв'язку з цим була сформульована мінімаксна задача вибору раціональних режимів різання для КОІ з технічними обмеженнями:

$$\begin{aligned} \min_{x \in X} \max_{f \in F} \{f(x)\}; \\ X = \{x_i : x_i \in C, C = So \times N, i = \overline{1, |C|}\}; \\ F = \{f_1, f_2, f_3\}; \\ N = \{n^{\min}, n_i, \dots, n^{\max}\}; \\ So = \{So^{\min}, So_i, \dots, So^{\max}\}; \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_i \leq [V]_i, i = \overline{1, m}; \\ Nr_i \leq [Ndv]; \\ Po_i \leq [P]; \\ Mkr_i \leq [Mkr]; \\ \Delta d \leq [T]; \\ Sm_{\min} \leq So_i \cdot n_i \leq Sm_{\max}; \\ n_{\min} \leq n_i \leq n_{\max}; \\ Nsm \geq [Nsm], \end{array} \right. \quad (5)$$

де X – множина комбінацій частот обертання та подач; F – множина функцій, для яких виконується пошук мінімальних значень; So – множина подач за паспортом верстата; N – множина частот обертання за паспортом верстата; V_i – швидкість різання ступенем КОІ; $[V]_i$ – допустима швидкість різання з урахуванням виробничих умов для окремого ступеня; Nr_i – розрахункова потужність

різання ступенем КОІ; $[Ndv]$ – допустима потужність різання; P_{O_i} – осьова сила на ступені КОІ; $[P]$ – максимально допустима осьова сила; Mkr_i – крутний момент на ступені КОІ; $[Mkr]$ – максимально допустимий крутний момент на шпинделі верстата; Δd – розбиття отвору; $[T]$ – допуск на розбиття отвору; Nsm , $[Nsm]$ – розрахункова та необхідна кількість деталей змінного завдання; Sm_{min} , Sm_{max} , n_{min} , n_{max} – граничні значення хвилинних подач та частот обертання за паспортом верстата.

У **третьому розділі** надано результати теоретико-експериментальних досліджень силових параметрів на ступенях КОІ та їх впливу на точність отвору, який обробляється.

Сумарна осьова складова сили різання для паралельно працюючих ступенів у результаті температурних явищ, що виникають від впливу роботи попереднім ступенем, з урахуванням зміни твердості матеріалу, глибини різання і температурних деформацій системи інструмент-заготовка

$$P_{O\Sigma} = C \cdot S^y \cdot \sum_{i=1}^m HB_i^N \cdot \left[r_{Ii} - r_{Oi} \cdot (1 + \alpha_t \cdot T) + \beta \cdot \int_0^r \theta(r, y) \cdot dr \right]^x, \quad (6)$$

де C , y , x – емпіричний коефіцієнт та показники степеня, які враховують умови обробки; S – подача, мм/об; HB_i^N – твердість матеріалу, що обробляється, за Бринелем, для відповідного ступеня КОІ; r_{Ii}, r_{Oi} – половина діаметра ступеня КОІ та отвору, відповідно, мм; α_t – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу, що обробляється; T – середня температура деталі, яка збільшується внаслідок теплоти, що виділяється при обробці отвору; β – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу інструмента; $\theta(r, y)$ – температура інструмента на відстані r від його осі.

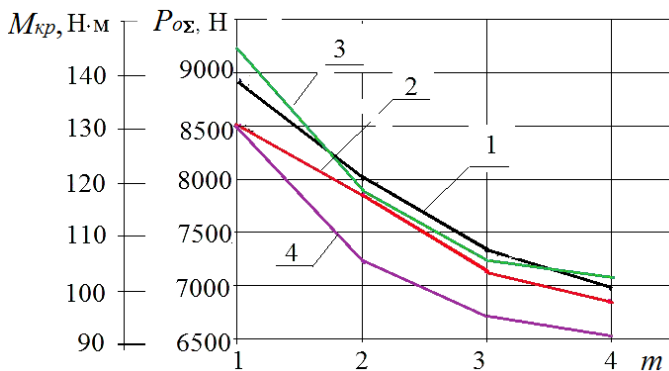


Рисунок 3 – Вплив кількості ступенів КОІ на:

- 1, 2 – сумарну осьову силу;
- 3, 4 – сумарний крутний момент

Відзначено, що значний вплив, можливо вирішальний, надає розмір перемички першого ступеня, який є функцією діаметра і визначається, як $(0,08 \dots 0,09) d$.

Порівняльний аналіз (рис. 3) сумарної осової сили різання і сумарного крутного моменту, що виникають при обробці ступінчастими свердлами з паралельним принципом роботи ступенів і при свердлінні стандартним свердлом з діаметром $d_{св}$, який дорівнює діаметру останнього ступеня ступінчастого свердла d_m , показав, що зі збільшенням кількості ступенів КОІ сумарні значення осової складової сили різання та крутного моменту знижуються. Максимальний градієнт зниження спостерігається при свердлінні отворів двоступінчастим інструментом. Це свідчить про те, що найбільш доцільно застосовувати двоступінчасті і триступінчасті КОІ для забезпечення точності та поліпшення силових характеристик. Дослідження проводилися для заготовок і інструмента з на-

ступними показниками: (1), (3) – матеріали, відповідно, сталь 45 і Р9К5, $V = 20$ м/хв, $S = 0,4$ мм/об; (2), (4) – матеріали, відповідно, сталь 30ХГСА і Р6М5, $V = 30$ м/хв, $S = 0,2$ мм/об.

Величина сумарних осьових сил (рис. 4, а) і сумарних крутних моментів (рис. 4, б) при обробці КОІ на 17 ... 28% менше, ніж при обробці стандартним інструментом, незалежно від подачі.

Виявлено, що зі збільшенням діаметра першого ступеня триступінчастих свердл зростають сумарна осьова сила різання і сумарний крутний момент (рис. 5). Це пояснюється залежністю розміру перемички від діаметра першого ступеня. Так, при обробці отвору діаметром $d = 30$ мм довжиною $L = 20$ мм у заготовці зі сталі 45 інструментом зі сталі Р9К5, $V = 28$ м/хв, $S = 0,1$ мм/об, найбільш ефективним варіантом з розглянутих КОІ є використання інструмента з діаметром першого ступеня $d_1 = 5$ мм, що дозволяє зменшити сумарну осьову силу в 1,2 рази, а сумарний крутний момент – у 1,4 рази.

Дослідження показали, що важливе значення має й діаметр другого ступеня. Аналізували наступний ряд співвідношень діаметрів d_1/d_2 : 1/3; 1/4; 1/5; 2/3; 1/2; 2/5; 1/1; 3/4; 3/5 (рис. 6).

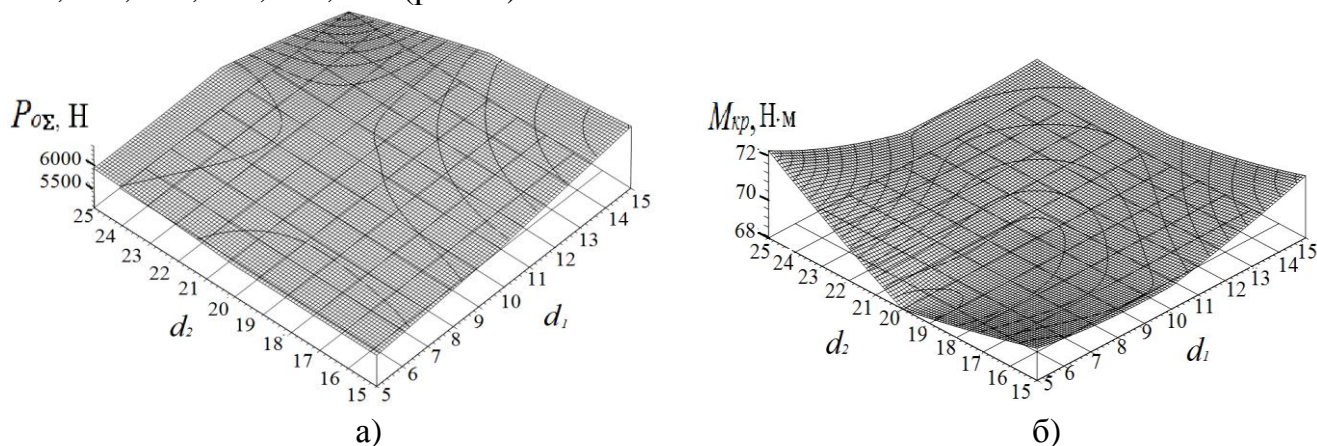


Рисунок 4 – Вплив подачі інструмента на сумарну осьову силу та сумарний крутний момент: 1 – стандартне свердло $d_{св} = 30$ мм; 2, 3, 4 – триступінчасте свердло діаметрами, відповідно, 15/20/30, 10/20/30, 5/20/30 мм

Рисунок 5 – Вплив діаметра першого ступеня КОІ на: 1 – сумарну осьову силу; 2 – сумарний крутний момент

Рисунок 6 – Область значень силових характеристик в залежності від співвідношення діаметрів ступенів d_1/d_2 триступінчастого свердла з паралельною роботою ступенів: а – сумарна осьова сила; б – сумарний крутний момент

Встановлено, що найбільш прийнятним є співвідношення $d_1/d_2 = 1/4$ ($d_1=5$, $d_2=20$ мм). Різниця в осьових силах може досягати 500 Н, а в крутних моментах – 6 Нм, що складає близько 10%.

Установлено, що на точність отвору, який обробляється КОІ, впливає не тільки величина неврівноваженої радіальної сили ΔP_y , але і напрям вектора її дії, що залежить від конструктивних параметрів КОІ, а саме: довжин ступенів та кута нахилу стружкових канавок ω (табл.).

Таблиця – Приклади можливих напрямків дії неврівноваженої радіальної сили різання

Співвідношення довжин ступенів КОІ $L_1 / L_2 / L_3$	Стан 1	Стан 2	Співвідношення довжин ступенів КОІ $L_1 / L_2 / L_3$	Стан 1	Стан 2
10/10/80			40/10/50		
20/10/70			50/10/40		
30/10/60			60/10/30		

Моделювання можливих напрямків дії неврівноваженої радіальної складової сили методом скінченних елементів (рис. 7) на триступінчастий КОІ проводили в системі Creo Simulate 2.0. Це дало можливість побудувати залежності (рис. 8), які показують, що збіг напрямків дії неврівноважених радіальних сил (табл.) призводить до збільшення зміщення осі КОІ.

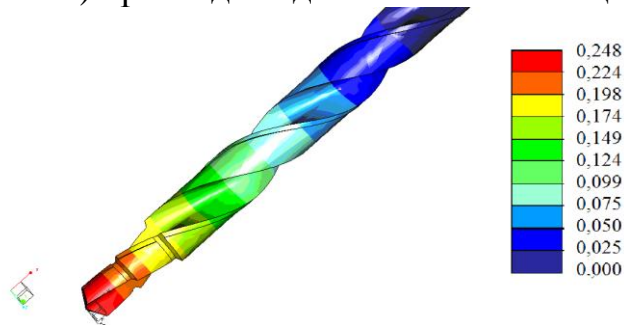


Рисунок 7 – Результати моделювання зміщення осі КОІ під дією сили ΔP_y

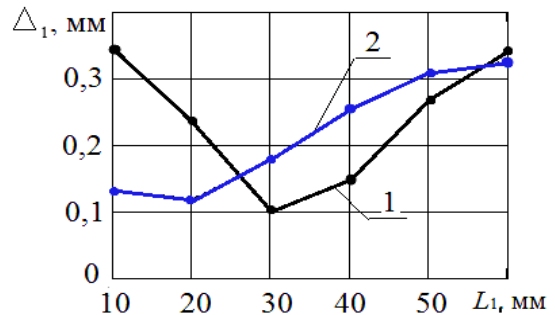


Рисунок 8 – Вплив довжини L_1 на зміщення осі КОІ в залежності від напрямку її дії: 1 – стан 1, 2 – стан 2 (див. табл.)

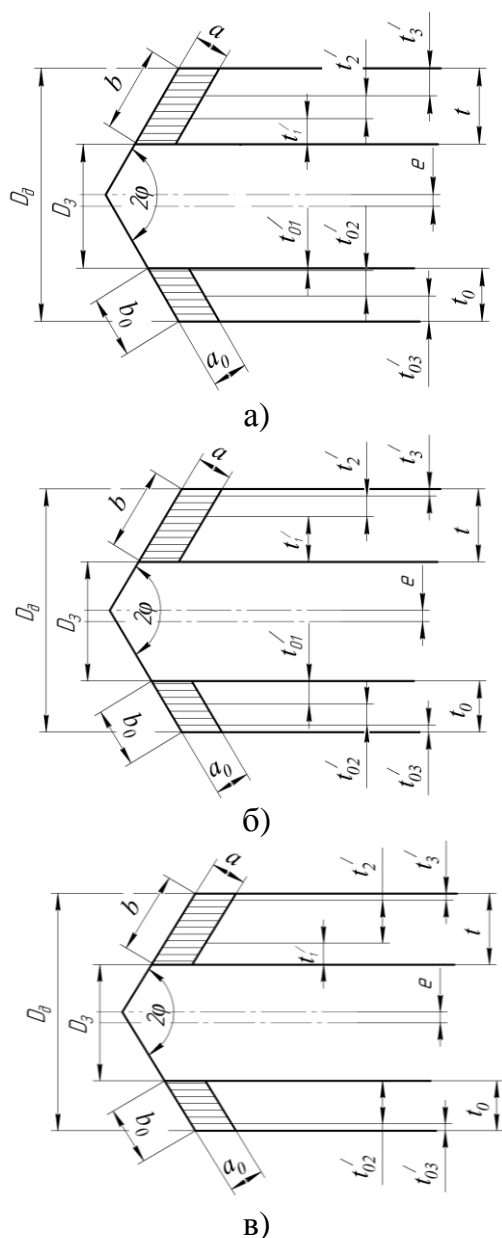


Рисунок 9 – Схеми поетапного зняття припуску КОІ

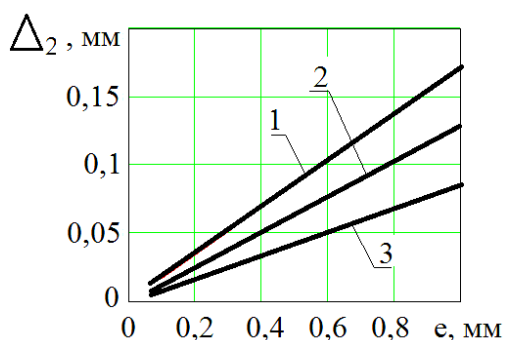


Рисунок 10 – Вплив зміщення осі вихідного отвору $D_{вих} = 8$ мм на зміщення осі інструмента: 1 – стандартного $d_{св} = 12$ мм; 2, 3 – КОІ з діаметрами, відповідно, 11/12 та 10/12 мм

Однак, якщо напрямки дії цих сил протилежні, то зменшується в 2–3 рази величина зміщення осі інструмента.

Встановлено, що при наявності зміщення осі вихідного отвору, зменшення пружних переміщень у технологічній системі досягається за рахунок поетапного зняття припуску, що можна здійснити використовуючи КОІ.

Глибину різання для кожного ступеня КОІ задають за різними законами:

- забезпечуючи процес рівномірного зняття припуску одним лезом (рис. 9, а):

$$t'_1 = t'_2 = t'_3 = \dots = t'_m; \quad (7)$$

$$t'_{01} = t'_{02} = t'_{03} = \dots = t'_{0m};$$

- дотримуючись умови поступового зменшення глибини різання (рис. 9, б):

$$t'_1 > t'_2 > t'_3 > \dots > t'_m; \quad (8)$$

$$t'_{01} > t'_{02} > t'_{03} > \dots > t'_{0m};$$

- виконуючи наступну умову (рис. 9, в):

$$t'_1 < t'_2 > t'_3 > \dots > t'_m; \quad (9)$$

$$t'_{01} < t'_{02} > t'_{03} > \dots > t'_{0m};$$

де $t'_1, t'_2, t'_3, t'_m, t'_{01}, t'_{02}, t'_{03}, t'_{0m}$ – поетапні теоретичні глибини різання лезами 1-го, 2-го, 3-го, m -го ступеня КОІ.

Величина пружних деформацій осі інструмента після обробки i -тим ступенем КОІ

$$\Delta_i = \frac{4 \cdot C_P \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \cdot t_i \cdot \Delta_{i-1}}{j_i \cdot \cos^2 \varphi_i}, \quad (10)$$

де j_i – жорсткість ступеня інструмента; Δ_{i-1} – зміщення осі КОІ після обробки попереднім ступенем, C_P – коефіцієнт, який залежить від умов роботи інструмента.

При обробці останнім ступенем КОІ зміщення осі інструмента

$$\Delta_m = e \cdot \prod_{i=1}^m \frac{4 \cdot C_P \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \cdot t_i}{j_i \cdot \cos^2 \varphi_i}, \quad (11)$$

де e – величина зміщення осі вихідного отвору.

Результати аналітичних досліджень (рис. 10) для двоступінчастого свердла з різними співвідношеннями діаметрів ступенів у порівнянні з обробкою одним стандартним спіральним свердлом підтверджують гіпотезу, що для виправлення зміщення осі вихідного отвору та зменшення його впливу на формування похибок, викликаних пружними деформаціями інструмента під дією невірної радіальної сили різання, необхідно зменшувати глибину різання першим ступенем КОІ.

Підвищення точності обробки отворів ступінчастим інструментом у разі неперпендикулярності осі вихідного отвору до базової площини можна також домогтися шляхом поетапного зняття припуску (рис. 11), що зменшує величину радіальної складової сили різання, що припадає на кожний ступінь КОІ.

При цьому зміщення осі інструмента на ступені залежить від різних геометричних характеристик інструмента і отвору. Наприклад, зміщення осі другого ступеня КОІ

$$\Delta_2 = \frac{\Delta P_{y2}}{j_2} = \frac{1}{j_2} \cdot \left\{ \frac{C_P \cdot a_2 \cdot \left[L_{r2} - \left(\frac{D_{ucx} - D_2}{2} \right) \right]}{\cos(90 - \varphi)} - \frac{C_P \cdot a_{02} \cdot (D_2 - D_{ucx})}{2 \cdot \cos(90 - \varphi)} \right\}, \quad (12)$$

де a_2 , a_{02} – товщина зрізу відповідними кромками другого ступеня КОІ.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень впливу невірних радіальних сил різання різного напрямку та величини, які діють на ступені КОІ.

Для відтворення невірної радіальної сили на ступені КОІ розроблено експериментальну установку (рис. 12).

Експериментальні криві мають гістерезис (рис. 13): навантажувальні криві (1, 3) виходять з початку координат, розвантажувальні (2, 4) – не повертаються у вихідне положення і при нульовому навантаженні відсікають від осі абсцис відрізки 4 і 2 мкм.

Максимальна величина зміщення осі першого ступеня (рис. 14) в залежності від величини сили, що діє на нього, та довжини першого ступеня досягає 265 ... 740 мкм для КОІ з діаметрами $d_1/d_2 = 5/9,5$ мм та 160...300 мкм – для КОІ з діаметрами $d_1/d_2 = 7,9/9,5$ мм. Зміщення осі КОІ у зоні різальних кромок другого ступеня при прикладенні сил до другого ступеня досягає 20 ... 150 мкм для КОІ $d_1/d_2 = 5/9,5$ мм і 15 ... 145 мкм – для КОІ $d_1/d_2 = 7,9/9,5$ мм.

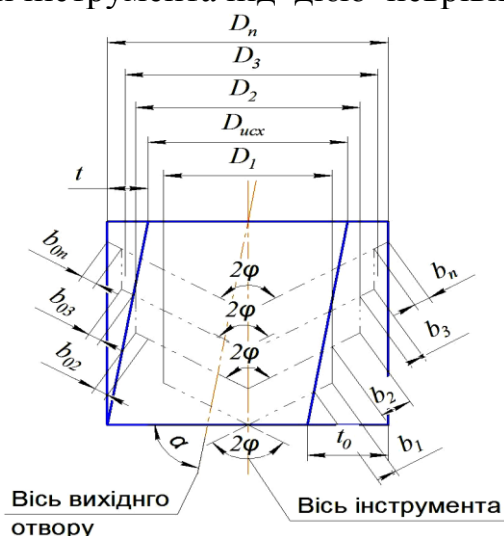


Рисунок 11 – Розрахункова схема для визначення ширини зрізу при обробці ступінчастим КОІ



Рисунок 12 – Загальний вигляд експериментальної установки

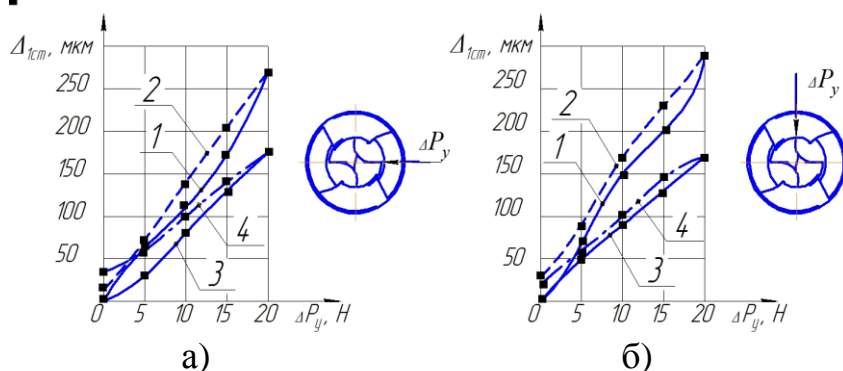


Рисунок 13 – Зміщення осі двоступінчастого свердла від дії сили ΔP_y : а – уздовж різальних кромок; б – поперек різальних кромок; 1, 2 та 3,4 – КОІ з діаметрами ступенів, відповідно, 5/9,5 мм та 7,9/9,5 мм

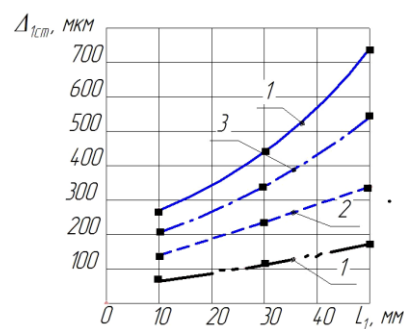


Рисунок 14 – Вплив довжини першого ступеня на величину зміщення осі КОІ з діаметрами 5/9 мм: 1, 2, 3, 4 – сила ΔP_y , відповідно, 5, 10, 15, 20 Н

Залежність величини зміщення осі ступенів від напрямку вектора прикладання сили ΔP_y (уздовж або поперек різальних кромок) має різний характер. У більшості випадків, що досліджуються, зміщення осі при дії сили уздовж різальних кромок перевищувало зміщення осі при дії сили поперек різальних кромок на 25...50 мкм.

У п'ятому розділі наведено методику побудови раціонального технологічного процесу обробки заданої номенклатури отворів, яка заснована на попередньому аналізі конструктивно-технологічних характеристик отворів (рис. 15) та виборі тих характеристик, що зустрічаються частіше, шляхом побудування точечних діаграм (рис. 16).

Наведено дані, які стосуються економічного обґрунтування та виробничого впровадження результатів дисертаційного дослідження на підприємстві ТОВ «Техма-М» (м. Харків) та в навчальному процесі НТУ «ХП».

Отвори у деталі														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
40	40	40	6,3	40	40			40	40	40	40	40	40	40
12	12	10	8	8	8	10	16	5	5	8,4	10,8	28,5	17	22,8
50	20	30	20	50	20	15	13	25	19	30		120		25
С	Гн	Гн	С	С	Гн	Гн	Гн	Гн	Гн	Гн	Гн	С	Гн	Гн
4	3	1	1	1	1	1	4	4	1	1	1	1	2	4

Рисунок 15 – Матриця характеристик отворів деталі «Кришка насоса 2Г15-14»

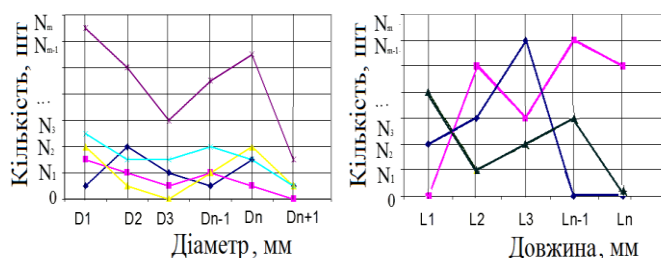


Рисунок 16 – Вигляд діаграм аналізу параметрів наскрізних отворів

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу підвищення продуктивності та забезпечення якості обробки отворів в деталях елементів гідропневмосистем.

1. Систематизація досліджень в області підвищення продуктивності й забезпечення якості отворів, які обробляються, дозволила сформулювати два підходи підвищення ефективності технологічного процесу із застосуванням

КОІ: *структурний*, який передбачає вибір елементів і формування КОІ на основі аналізу конструктивно-технологічних характеристик заданої номенклатури отворів; *параметричний*, який полягає у виявленні умов роботи КОІ, що гарантують надійне забезпечення параметрів точності й якості обробки.

2. Статистичний аналіз конструктивно-технологічних параметрів отворів у деталях елементів гідропневмосистем дозволив розробити класифікацію, на основі якої запропоновано спосіб підвищення ефективності технологічного процесу обробки отворів за рахунок скорочення номенклатури різального інструмента шляхом формування раціональної структури КОІ. Для розширення технологічних можливостей, підвищення гнучкості, полегшення умов виготовлення та експлуатації КОІ розроблено і запатентовано модульний КОІ.

3. Подання маршруту обробки заданої номенклатури отворів із застосуванням методу алгебри логіки, що відображає порядок отримання отворів комбінованим осьовим інструментом, дало можливість скоротити час на технологічну підготовку виробництва, що разом зі скороченням допоміжного часу дозволило підвищити продуктивність у 1,2–1,3 рази.

4. Запропоновано методику та отримано математичну модель визначення раціональних режимів різання, які дозволяють з урахуванням технічних обмежень знаходити такі подачу та частоту обертання, що забезпечують збільшення використання ресурсу нелімітуючих ступенів КОІ та підвищення продуктивності (хвилинну подачу), в залежності від критерію, до 2-х разів.

5. Уточнено математичну модель сумарної осьової сили різання при обробці отворів за допомогою КОІ, яка заснована на обліку факторів, що спричинені тепловими деформаціями в зоні різання під дією теплоти, яка генерується попереднім ступенем, що впливає на змінення механічних властивостей матеріалу та глибини різання наступним ступенем. Це дозволяє на етапі формування маршруту обробки отворів і необхідної структури КОІ прогнозувати параметри точності обробки. Встановлено, що зі збільшенням кількості ступенів КОІ сумарні значення осьової складової сили різання й крутного моменту знижуються, причому найбільший градієнт зниження спостерігається при обробці комбінованим осьовим інструментом з кількістю ступенів не більше трьох. А ефективне зменшення силових навантажень для двоступінчастого свердла досягається при співвідношенні діаметрів ступенів $d_2/d_1 \approx 4/1$.

6. Визначено, що для КОІ зі спіральними канавками похибки обробки, які залежать від місця та напрямку дії сили ΔP_y , що виникає на першому ступені, можуть як компенсуватися, так і посилюватися зміщенням осі КОІ від дій аналогічних сил на 2-ому, 3-ому та наступних ступенях. Характеристики цього процесу багато в чому визначаються довжинами ступенів КОІ і їх співвідношенням.

7. Встановлено, що при наявності похибок розташування осі вихідного отвору зміщення осі остаточно отриманого отвору визначається режимами та умовами обробки, конструктивними параметрами інструмента, жорсткістю технологічної системи і глибиною різання. Причому, чим менше глибина різання, тим менше величина зміщення осі інструмента. Крім того, управління

глибиною різання за заданим законом дозволяє зменшити похибки обробки в 2,3 рази.

8. Експериментальні дослідження підтвердили теоретичні висновки про те, що зміщення осі КОІ під дією неврівноважених радіальних сил різання залежить від напрямку дії цих сил та жорсткості інструмента, які, в свою чергу, залежать від довжин ступенів КОІ. Так, для двоступінчастих сверدل з діаметрами ступенів $d_1/d_2 = 5/9,5$ мм збільшення довжини першого ступеня у 5 разів спричиняє зріст зміщення осі в 3 рази, а для КОІ з діаметрами $d_1/d_2 = 7,9/9,5$ мм – в 1,9 рази.

9. Результати роботи впроваджено у виробництво на підприємстві ТОВ «Техма-М», а також у навчальному процесі на кафедрах технології машинобудування та металорізальних верстатів, гідропневмоавтоматики і гідроприводу НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Інтенсифікація процесів механічної обробки : монографія / В.Є. Карпусь, В.О. Іванов, О.В. Котляр, Д.О. Міненко, М.С. Іванова / за ред. В.Є. Карпуся. – Суми : СумДУ, 2012. – 436 с.

Здобувачем проаналізовано різні конструкції КОІ, залежність точності та продуктивності обробки отворів від конструктивних параметрів КОІ, розглянуто можливість призначення режимів різання для КОІ за середньозваженим діаметром.

2. Іванова М.С. Технологічні особливості обробки комбінованим осьовим інструментом / В.Є. Карпусь, М.С. Іванова, В.О. Границя // Наукові нотатки : міжвузівський зб. (за напрямом «Інженерна механіка») – Луцьк : ЛНТУ. – 2009. – № 24. – С. 247–255.

Здобувачем досліджено вплив геометричних параметрів двоступінчастих сверدل на розбиття отвору, що обробляється.

3. Іванова М.С. Експериментальні дослідження ефективності технологічного оснащення для верстатів з ЧПК / В.Є. Карпусь, В.О. Іванов, В.О. Котляр, М.С. Іванова // Наукові нотатки : міжвузівський зб. (за напрямом «Інженерна механіка») – Луцьк : ЛНТУ. – 2009. – № 25, Ч.1. – С. 161–166.

Здобувачем виконано порівняльний аналіз точності обробки двоступінчастими зенкерами з послідовною обробкою стандартними зенкерами.

4. Іванова М.С. Аналіз інтенсивності формоутворення отворів комбінованим осьовим інструментом / В.Є. Карпусь, М.С. Іванова // Технологія приборостроення. Научно-техн. журнал. – Харків. – 2010. – №2. – С. 37–41.

Здобувачем проаналізовано продуктивність обробки отворів комбінованим осьовим інструментом порівняно зі стандартними за критерієм інтенсивності формоутворення.

5. Іванова М.С. Перспективи застосування комбінованого осьового інструмента / В.Є. Карпусь, М.С. Іванова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХП». –

2010. – № 41 – С. 14-22.

Здобувачем визначено задачі та шляхи вдосконалення КОІ з урахуванням виробничих умов.

6. Іванова М.С. Призначення режимів різання двоступінчастим свердлом / В.Є. Карпусь, М.С. Іванова, О.В. Чукарін // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2010. – № 49 – С. 92–96.

Здобувачем досліджено вплив величини подачі КОІ на точність обробки отворів.

7. Іванова М.С. Дослідження силових характеристик при послідовно-паралельній обробці отворів комбінованим осьовим інструментом / М.С. Степанов, М.С. Іванова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 42 (1085). – С. 19–23.

Здобувачем обґрунтовано доцільну кількість одночасно працюючих ступенів комбінованого осьового інструмента з точки зору зменшення силових навантажень на інструмент.

8. Іванова М.С. Математическое моделирование процесса обработки отверстий комбинированным осевым инструментом / М.С. Іванова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 4 (1113). – С. 72–75.

9. Іванова М.С. Разработка математической модели выбора наиболее выгодных режимов резания комбинированным осевым инструментом / М.С. Степанов, М.С. Іванова // Технологічний аудит и резерви виробництва. – Харків – 2015. – № 411 (24). – С. 69-72.

Здобувачем розроблено математичну модель багатокритеріальної оптимізації розрахунку режимів різання комбінованим осьовим інструментом.

10. Іванова М.С. Исправление погрешности расположения оси отверстия комбинированным осевым инструментом / М.С. Степанов, М.С. Іванова // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin-Rzeszow – 2015. – Vol. 17, № 7. – С. 143–147.

Здобувачем запропоновано спосіб зменшення впливу технологічної спадковості на точність обробки при наявності похибки розташування осі отвору, після попередньої обробки.

11. Іванова М.С. Исследование влияния термомеханических явлений и параметров комбинированного осевого инструмента на силу резания / М.С. Степанов, М.С. Іванова // Технічні науки та технології : науковий журнал Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т. – 2015. – № 1 (1). – С. 31–37.

Здобувачем виконано порівняльний аналіз сумарних осьових сил різання і крутних моментів стандартним інструментом та КОІ і визначено найбільш ефективний варіант співвідношення діаметрів ступенів КОІ з точки зору зменшення силових навантажень.

12. Пат. № 45699 Україна, МПК В23В 51/00 Збірний комбінований осьовий інструмент. Карпусь В.Є., Іванова М.С., Котляр О.В. Заявл. 18.05.2009. Опубл. 25.11.2009, Бюл. №22, 2009.

Здобувачем розроблено конструкцію збірною КОІ.

13. Пат. № 49356 Україна, МПК В23В 51/00. Модульний комбінований осьовий інструмент. Карпусь В.Є., Іванова М.С. Заявл. 16.11.2009. Опубл. 26.04.2010, Бюл. №8, 2010.

Здобувачем розроблено конструкцію модульного КОІ.

14. Іванова М.С. Доцільність використання збірною комбінованого осьового інструмента / В.Є. Карпусь, М.С. Іванова // *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: сб. тез доповідей ІХ всеукр. молодіжної наук-техн. конф. (м. Запоріжжя, 26–27 листопада 2009 р.). – Запоріжжя : ЗНТУ. – 2009. – С. 68–69.*

Здобувачем визначено умови доцільного використання КОІ.

15. Іванова М.С. Дослідження пружних деформацій двоступінчастого свердла / В.Є. Карпусь, М.С. Іванова // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XVIII міжнар. наук-практ. конф., (м. Харків, 12–14 травня 2010 року) – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – Ч.1. – С. 128.*

Здобувачем досліджено вплив співвідношення діаметрів та довжин ступенів КОІ на величину пружних деформацій двоступінчастого свердла.

16. Іванова М.С. Інтенсифікація процесів механічної обробки у машинобудуванні. / В.Є. Карпусь, М.С. Іванова, О.В. Котляр // *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Харків. – 2010 – Вип. 1(15). – С. 29–33.*

Здобувачем виконано аналіз продуктивності обробки отворів КОІ за критерієм інтенсивності формоутворення.

17. Іванова М.С. Аналіз існуючих рекомендацій щодо призначення режимів різання комбінованими осьовими інструментами / В.Є. Карпусь, М.С. Іванова // *Машиностроение и техносфера XXI века // Сб. тр. XVIII междунар. научно-техн. конф. (г. Севастополь, 12–17 сентября 2011 г.). – В 4-х томах. – Донецьк: ДонНТУ. – 2011. Т. 2. – С. 49–52.*

Здобувачем проаналізовано існуючі рекомендації призначення режимів різання для КОІ.

18. Іванова М.С. Дослідження впливу пружних переміщень осі двоступінчастих свердл під дією неврівноваженої радіальної сили на розбиття отвору / М.С. Іванова // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXI міжнар. наук-практ. конф. (м. Харків, 29–31 травня 2013 р.) – НТУ «ХПІ». – 2013. – С. 101.*

19. Іванова М.С. Уточнений розрахунок осьової сили при обробці отворів ступінчастими свердлами / М.С. Степанов, М.С. Іванова // *Технологии XXI века: сборник тезисов по материалам 20^й междунар. научн. конф. (г. Южный, 15–19 сентября 2014 г.) Ч.1. – Суми: СНАУ. – 2014. – С. 25–26.*

Здобувачем отримано математичну модель визначення сумарної осьової сили для КОІ з урахуванням зміни механічних властивостей матеріалу внаслідок нагрівання заготовки в результаті обробки попереднім ступенем.

20. Іванова М.С. Статистические исследования отверстий в деталях гидрорепневмосистем / М.С. Степанов, М.С. Іванова // *Інформаційні технології: на-*

ука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції, Ч.I (м. Харків, 20–22 травня 2015р.) – Харків, НТУ «ХПІ». – 2015. – С. 134.

Здобувачем виконано статистичний аналіз конструктивно-технологічних характеристик отворів у деталях елементів гідропневмосистем вітчизняних виробників.

21. Иванова М.С. Роль фактора технологической наследственности в формировании шероховатости поверхности при обработке отверстий комбинированным осевым инструментом / М.С. Степанов, М.С. Иванова // Сучасні системи технологій у машинобудуванні. Зб. наук. праць, присвячений 90-річчю з дня народження проф. ОНПУ Якимова О.В. – Д : ЛПРА. – 2015. – С. 133–136.

Здобувачем отримано аналітичну залежність шорсткості поверхні отвору від аналогічних показників, що отримані після виконання попередніх переходів.

АНОТАЦІЇ

Іванова М.С. Технологічне забезпечення продуктивності та якості обробки отворів деталей гідропневмосистем комбінованим осьовим інструментом. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2016.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково-технічної задачі підвищення продуктивності та забезпечення якості обробки отворів в деталях елементів гідропневмосистем за рахунок вибору оптимальної структури і призначення параметрів технологічного процесу обробки, що здійснюється КОІ. Розроблено математичну модель формування структури технологічного процесу з використанням КОІ та вибору оптимального варіанта на основі статистичного аналізу конструктивно-технологічних характеристик заданої номенклатури отворів та рекомендацій до конструювання КОІ. Розроблено математичну модель, яка описує порядок компонування ступенів КОІ та принцип їх роботи в залежності від концентрації технологічних переходів на основі математичного апарата булевої алгебри. Розроблено математичну модель для багатокритеріального вибору раціональних режимів різання, яка дозволяє підвищити продуктивність обробки. В результаті дослідження сумарної осьової сили та сумарного крутного моменту, що діють на КОІ, визначені співвідношення діаметрів ступенів, що дозволяють зменшити навантаження на інструмент та знизити енерговитрати. Запропоновано рекомендації щодо зменшення впливу похибок попередньої обробки на точність отвору за рахунок розбиття припуску за заданим законом. Теоретично та експериментально досліджена залежність напрямку дії неврівноваженої радіальної сили різання на точність обробки отворів КОІ.

Ключові слова: технологічний процес обробки отворів, комбінований осьовий інструмент, продуктивність, точність, якість, режими різання.

Иванова М.С. Технологическое обеспечение производительности и качества обработки отверстий деталей гидропневмосистем комбинированным осевым инструментом. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению важной научно-технической задачи повышения производительности и качества обработки отверстий в деталях элементов гидропневмосистем за счет выбора оптимальной структуры и назначения параметров ТП обработки, который осуществляется КОИ. Рассмотрены технологические факторы, влияющие на показатели точности и качества обрабатываемого отверстия.

Разработана математическая модель формирования структуры ТП с использованием КОИ и выбора оптимального варианта на основе статистического анализа конструктивно-технологических характеристик заданной номенклатуры отверстий и рекомендаций к конструированию КОИ. Разработана математическая модель, описывающая порядок компоновки ступеней КОИ и принцип их работы в зависимости от концентрации технологических переходов на основе математического аппарата булевой алгебры. Разработана математическая модель для многокритериального выбора рациональных режимов резания, которые позволяют повысить производительность обработки.

В результате исследования суммарной осевой силы и суммарного крутящего момента, действующих на КОИ, определены соотношения диаметров ступеней, которые позволяют уменьшить нагрузку на инструмент и снизить энергозатраты. Предложены рекомендации по уменьшению влияния погрешностей предварительной обработки на точность отверстия за счет разбиения припуска по заданному закону.

Теоретически и экспериментально исследована зависимость направления действия неуравновешенной радиальной силы резания на точность обработки отверстий КОИ.

Разработана инженерная методика построения рационального технологического процесса обработки заданной номенклатуры отверстий, основанная на предварительном анализе конструктивно-технологических характеристик заданной номенклатуры отверстий и выборе наиболее часто встречающихся путем построения точечных диаграмм.

Для повышения эффективности технологического процесса обработки отверстий за счет сокращения номенклатуры применяемых инструментов, а также уменьшения временных и материальных затрат на изготовление комплекта КОИ, разработан модульный КОИ (патент Украины на полезную модель № 49356).

Ключевые слова: технологический процесс обработки отверстий, комбинированный осевой инструмент, производительность, точность, качество, режимы резания.

Ivanova M.S. Technological assurance of productivity and quality hole-making of parts of hydropneumatic systems by combined axial tool. – Manuscript.

Thesis for granting the Degree of Candidate of Technical Sciences on a specialty 05.02.08 – Manufacturing engineering. – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2016.

The thesis is dedicated to solving the important scientific and technical problem of efficiency and quality increase of hole-making operations in parts of hydropneumatic systems by choice of optimal manufacturing process structure and its parameters which are realized by combined axial tool. Mathematical model of forming manufacturing process structure based on combined axial tool using and optimum alternative choice which is based on statistical analysis of design and technological parameters of given holes range and guidelines for combined axial tool design is developed. Mathematical model describing the order of assembly combined axial tool steps and principle of their operation subject to concentration of manufacturing steps and based on mathematical apparatus of Boolean algebra is developed. Mathematical model of multicriteria choice of rational cutting conditions which allows increasing the machining efficiency is proposed. Based on results of research of total axial force and total torque operating on combined axial tool diameters and lengths ratios of combined axial tool are determined. Recommendations of decreasing of errors influence from preprocess machining on hole accuracy due to decomposition of excess material under the given principle. The dependence of action direction of unbalanced radial cutting force on accuracy of hole-making operations by combined axial tool is investigated theoretically and experimentally.

Keywords: manufacturing process of hole-making, combined axial tool, productivity, accuracy, quality, cutting conditions.



Підписано до друку 10.03.2016. Формат 60x90/16.

Папір Copy Paper. Друк – різнограф.

Гарнітура Times. Умов. друк. арк. 0,9.

Обл. вид. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. №1382

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953 від 31.03.1994)
М. Харків, вул. Червонопрапорна, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua

