

**Міністерство освіти і науки України**

**Чернігівський національний технологічний університет**

**ВЕРЕМЕЙ ГЕННАДІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 621.9.022.1

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ  
ВІДНОВЛЕННЯ СІДЕЛ КЛАПАНІВ В  
АВТОРЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

**05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти**

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата  
технічних наук

Чернігів – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автомобільного транспорту, машинобудування та промислового дизайну Чернігівського національного технологічного університету Міністерства освіти і науки України, м. Чернігів.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Кальченко Володимир Віталійович**  
Чернігівський національний технологічний університет,  
м. Чернігів, проректор з науково-педагогічної роботи,  
професор кафедри автомобільного транспорту,  
машинобудування та промислового дизайну

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Луців Ігор Володимирович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя, м. Тернопіль,  
завідувач кафедри конструювання верстатів,  
інструментів та машин

кандидат технічних наук, доцент  
**Юрченко Юрій Дмитрович,**  
Черкаський державний технологічний університет,  
м. Черкаси, доцент кафедри проектування харчових  
виробництв та верстатів нового покоління, завідувачий  
секцією металорізальних верстатів і систем

Захист відбудеться «16» вересня 2015 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 79.051.02 у Чернігівському національному технологічному університеті за адресою 14027, Чернігів, вул. Шевченка, 95 корпус № 2, ауд. №305.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Чернігівського національного технологічного університету за адресою 14027, Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Автореферат розісланий «14» серпня 2015 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



А. М. Єрошенко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У сучасному авторемонтному виробництві - галузі машинобудування до якості ремонтів двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) і, зокрема, газорозподільних механізмів (ГРМ) висуваються жорсткі вимоги, забезпечення яких можливо за рахунок підвищення ефективності процесів відновлення деталей шляхом: зниження трудомісткості, збільшення продуктивності і точності при металообробці деталей ГРМ.

У складних економічних умовах країни рентабельна діяльність і виживання більшості вітчизняних авторемонтних підприємств з обмеженими фінансовими можливостями можуть бути забезпечені за рахунок впровадження більш ефективних відновлюваних процесів шляхом модернізації існуючого та розробки нового обладнання, а також застосування сучасних різальних інструментів і матеріалів.

Накопичений досвід в експлуатації ДВЗ, пов'язаний з ремонтом для відновлення ГРМ вказує на те, що експлуатаційні характеристики двигунів (компресія і, відповідно, потужність - параметри, що залежать від якості сполучення «клапан - сідло»), не завжди задовольняють необхідним конструкторським вимогам внаслідок недостатньої досконалості існуючих технологій і обладнання в ремонтному виробництві. Причиною цього є застосування, в основному, ручного обладнання для обробки сідел клапанів і наявність фінішної операції з притирання клапанів до сідел, що свідчить про недостатній рівень якості існуючих відновних процесів щодо отримання параметрів точності та їх підвищену трудомісткість.

Тому підвищення ефективності процесу відновлення сідел клапанів за рахунок збільшення точності і зниження трудомісткості обробки, з урахуванням конструктивних особливостей сучасних ГРМ, вимагає наукового підходу шляхом розробки і впровадження математичного апарату, виготовлення спеціалізованого обладнання, застосування більш досконалого різального інструменту і являє собою на сьогодні досить актуальну проблему, особливо у вітчизняному одиничному авторемонтному виробництві.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація виконувалася відповідно з науково-дослідницькою роботою кафедри автомобільного транспорту, машинобудування і промислового дизайну Чернігівського національного технологічного університету за темами: № 73/11 «Створення методології 3D-моделювання та управління процесом високошвидкісного глибокого шліфування зі схрещеними осями деталі і круга з надтвердих матеріалів» (№ ДР 0111U000243) та № 83/15 «Створення наукових основ прогноуючого 3D-моделювання процесів абразивного шліфування пластичних металевих матеріалів» (№ ДР 0115002361).

**Мета і задачі дослідження.** Мета - підвищення ефективності процесу відновлення робочих поверхонь сідла клапана в авторемонтному виробництві за рахунок збільшення точності і зниження трудомісткості обробки шляхом розробки нового технологічного обладнання, а також застосування більш продуктивного різального інструменту і сучасного матеріалу.

Для досягнення поставлених цілей в роботі розв'язувалися наступні задачі:

- провести аналіз: впливу якості сполучення клапан - сідло на компресію і потужність двигуна; комплексний аналіз факторів, що впливають на якість сполучення клапан - сідло; розмірних зв'язків і параметрів якості сполучення втулка

- клапан - сідло для виявлення їх конструктивних особливостей; відомих методів обробки сідел клапанів у вітчизняному та зарубіжному ремонтному виробництвах;
- розробити загальну, математичну, модульну 3D-модель процесу формоутворення відновлюваних поверхонь сідла клапана з використанням різального інструменту для одночасної обробки трьох конічних поверхонь;
- розробити частинні математичні 3D-моделі: процесів дефектації та опису геометрії зношених поверхонь сідла клапана зі складно-змінною топографією для виявлення доцільності проведення відновлювального ремонту і визначення оптимальних обсягів зрізаного матеріалу; оптимізації режимів процесу обробки сідла клапана в залежності від необхідних параметрів точності;
- спроектувати і виготовити пристосування для обробки сідел клапанів, що дозволяє підвищити точність і знизити трудомісткість процесу відновлення;
- провести експеримент з відновлення зношених поверхонь сідел клапанів за допомогою виготовленого обладнання та дослідити отримані параметри якості сучасними методами контролю;
- проаналізувати результати експерименту і на базі розробленої моделі оптимізації отримати залежності параметрів якості обробки від режимів різання, а також зробити практичні рекомендації щодо їх вибору при відновлювальному ремонті сідел клапанів;
- провести дослідження отриманої якості сполучення клапан-сідло сучасними методами контролю і проаналізувати його вплив на експлуатаційні характеристики експериментального двигуна за допомогою сучасного діагностичного обладнання;
- провести впровадження результатів теоретичних і практичних досліджень в чинному авторемонтному виробництві.

**Об'єкт дослідження** – процес відновлення робочих поверхонь сідла клапана ГРМ.

**Предмет дослідження** - показники точності і трудомісткості процесу відновлення поверхонь сідла клапана.

**Методи дослідження.** Основні методи базуються на: наукових дослідженнях теорії різання та технології машинобудування; теоретичних засадах металообробки; основах конструкції автомобілів, технічної експлуатації та діагностики; методах стандартизації і технічних вимірів; методах відновлювальних ремонтів і дефектації деталей; методах математичного моделювання, програмування та оптимізації; методах математичної статистики; експериментальних методах досліджень, на основі яких встановлювалась адекватність розроблених математичних моделей.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше запропоновано математичне 3D-моделювання процесу формоутворення поверхонь сідла клапана методом копіювання, яке полягає в створенні 3D-моделей для одночасного розточування трьох внутрішніх конічних поверхонь на базі уніфікованих модулів: інструментального, перетворення, орієнтації і формоутворення, що дозволяє аналізувати параметри якості обробки;
- вперше запропоновані частинні моделі: інтерполяційна з використанням функцій – мультіквадрик для оцінки стану зношених поверхонь сідла клапана зі складно-змінною топографією та визначення оптимальних обсягів зрізаного матеріалу; математична модель в задачі дефектації для виявлення доцільності проведення відновлювального ремонту або необхідності вибраковування сідел;

- вперше запропонована математична модель оптимізації режимів обробки процесу формоутворення відновлюваних поверхонь сідла клапана в залежності від необхідних параметрів точності з використанням математичної моделі опису геометрії зношених поверхонь.

**Практична цінність отриманих результатів:**

- встановлена залежність параметрів геометричної точності концентричності і шорсткості оброблюваної поверхні від кутової орієнтації інструмента на базі розробленої загальної модульної 3D-моделі процесу формоутворення відновлюваних поверхонь сідла клапана;

- запропонована методика використання профілограм (круглограм) в задачі дефектації зношених сідел клапанів, яка дозволяє мінімізувати помилковість отримання її результатів і виявити доцільність проведення відновлювального ремонту або необхідність вибраковування сідел;

- реалізована методика адекватного проведення дефектації з визначенням оптимальних обсягів зрізання матеріалу перед процесом обробки та вибором раціональних режимів різання зношених сідел клапанів на базі запропонованих математичних частинних 3D-моделей;

- запропоновано технологічні засоби підвищення точності орієнтації різального інструменту під час обробки сідел клапанів на базі спроектованого та виготовленого технологічного обладнання для обробки сідел клапанів, яке представляє собою верстатне пристосування у вигляді плаваючого шпинделя на пневматичній подушці, що дозволяє підвищити точність обробки за рахунок використання конструкції орієнтованого пілота по направляючій втулці клапана з відсутністю необхідності поєднання системи координат різального інструменту з системою координат верстата;

- реалізовано процес одночасного розточування методом копіювання трьох внутрішніх конічних поверхонь профільною пластиною з покриттям аналогічним кубічному нітриду бора;

- зроблені практичні рекомендації для вибору раціональних режимів різання при відновлювальному ремонті сідел клапанів за обраним методом обробки;

- за результатами роботи отримано два патенти України на корисну модель;

- результати теоретичних і практичних досліджень впроваджені в авторемонтному виробництві «ТОРАЗ» (м. Бар, Вінницька обл.) і в навчальний процес Чернігівського національного технологічного університету.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та наукові результати, які винесені на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем самостійно. Постановка мети і завдань виконані з науковим керівником. Розробка технологічного обладнання, математичного моделювання процесу відновлення сідел клапанів, аналіз та комп'ютерна обробка отриманих результатів виконані спільно з авторами публікацій та патентів на корисну модель.

**Апробація роботи.** Основні положення і результати роботи доповідалися та обговорювалися на наступних науково-технічних конференціях: «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 2011, 2014 рр.); «Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи» (м. Севастополь, 2011 р.). У повному обсязі дисертація доповідалась на міжкафедральному семінарі ЧНТУ (м. Чернігів, 2014 р.).

**Публікації.** Результати досліджень опубліковані в 15 наукових працях, у тому числі в 6 статтях фахових видань, які входять до переліку ВАК України, з них 3 статті опубліковані у виданнях, які включені в міжнародні наукометричні бази даних; 7 – в матеріалах і тезах доповідей на міжнародних конференціях, з них 1 матеріал англійською мовою з участю в міжнародному конгресі; отримано 2 патенти України на корисну модель.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів основної частини, висновків, додатків, списку використаних джерел (112 найменувань). Загальний обсяг роботи становить 183 сторінки, у тому числі 125 сторінок основного тексту, 25 сторінок додатків, 11 сторінок списку використаних джерел, 22 повні сторінки з рисунками і таблицями (15 сторінок з рисунками, 7 сторінок з таблицями).

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, визначено об'єкт і предмет досліджень, наведені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, наведена інформація про особистий внесок здобувача та апробацію роботи, публікації, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** проведено:

- розгляд основних аспектів проблематики якості сполучення «клапан-сідело» в ГРМ і його впливу на експлуатаційні характеристики ДВС, аналіз і стан проблеми;
- дослідження факторів, що формують якість сполучення клапан-сідело;
- огляд літературних джерел, що розглядають існуючі технології, методи та обладнання для проведення відновлювальних ремонтів сідел клапанів в авторемонтному виробництві, авторів: Авдєєва М. В., Рютмана Х. Я., Петрова С. А., Коробейника А. В., Лауша П. В., Карагодіна В. І., Чабанного В. Я., Канарчука В. Е., Калашникова О. Г., Лудченко О. А., Крамарова В. С., Анакіна І. А., Чорновола М. І., Левитського І. З. та ін.

Аналіз експлуатаційних характеристик вітчизняних і зарубіжних двигунів, що пройшли відновлювальні ремонти ГРМ в сучасному авторемонтному виробництві (а також часто і в основному), свідчить про те, що має місце зниження компресії до 7% і потужності до 10%.

Огляд факторів, що впливають на дані експлуатаційні характеристики двигуна, вказують, що однією з основних причин цього явища є недостатній рівень формування параметрів якості з'єднання клапан-сідело, які забезпечуються під час виконання відновлюваних ремонтів сідел клапанів.

Дослідження існуючих процесів відновлення та моніторингу ринку сучасного обладнання показав, що, в своїй більшості, вітчизняне авторемонтне виробництво характеризується в технологіях ремонту наявністю фінішної операції з притирання клапанів до сідел з використанням пристосувань для обробки сідел клапанів вручну.

Очевидно, що необхідні параметри точності в силу низької жорсткості системи «пристосування - інструмент» і непостійності зусиль, що прикладаються при ручній обробці сідел клапанів, можуть бути забезпечені зі змінною ймовірністю успіху. Присутність операції з притирання свідчить про недостатню якість оброблених поверхонь через недосконалість інструментального матеріалу і режимів різання а також про підвищену трудомісткість відновлюваних процесів.

Дослідження сучасних конструкцій ГРМ, вітчизняних і зарубіжних технологій та обладнання, що застосовуються в основному виробництві, показав, що формоутворення внутрішніх конічних поверхонь сідел клапанів в силу конструктивних особливостей даних механізмів вимагає застосування спеціалізованого обладнання на базі верстатів з CNC, використання якого в ремонтному виробництві є економічно не доцільним.



Рисунок 1 – Структурно-логічна схема роботи

Результати з опрацювання літератури, матеріалів наукометричних інформаційних джерел, дисертаційних архівів, патентних баз вказали на недостатність накопиченого досвіду в області процесів відновлення сідел клапанів в авторемонтному виробництві, а саме на: відсутність математичних підходів, що надають можливість отримати раціональні параметри у процесах дефектації та формоутворення; недостатність забезпечення відповідним обладнанням, що дозволяє виключити ручне втручання в процес формоутворення; недостатність технологічних рішень щодо забезпечення змінної просторової орієнтації різального інструменту (РІ) і деталі, які враховують різноманітність конструктивних особливостей сучасних двигунів; відсутність чітких і практично обґрунтованих рекомендацій щодо застосування оптимальних режимів обробки і різальних матеріалів, здатних забезпечити конструкторські вимоги з точності і якості поверхневого шару оброблюваних сідел клапанів при виконанні ремонту; підвищену трудомісткість процесу формоутворення.

Таким чином, в роботі за основний напрямок у поліпшенні експлуатаційних характеристик ДВС була прийнята концепція покращення якості сполучення «клапан - сідло» в ГРМ шляхом підвищення ефективності процесу відновлення сідел клапанів. На її базі була сформована мета, поставлені завдання, сформульовані шляхи, способи і методи досягнення мети (рисунок 1).

У другому розділі роботи представлений синтез математичних моделей, що застосовуються для підвищення якості відновлювального ремонту з урахуванням особливостей деталі, інструменту та зняття оптимального припуску в процесі обробки, прийняття рішення про доцільність проведення ремонту з відновлення зношених сідел клапанів в процесі дефектації, налаштування оптимальних технологічних параметрів перед обробкою деталей.

Для опису процесу формоутворення і налаштування параметрів розроблена загальна модульна 3D-модель, яка описує інструмент, зняття припуску і формоутворення робочої поверхні сідел клапанів ГРМ на базі чотирьох уніфікованих модулів: інструментального, перетворення, орієнтації та формоутворення. Схема процесу розточування конічних поверхонь сідла клапана 4 орієнтованою різальною пластиною 1 зображена на рисунку 2.

Шпиндель 2 пристосований на пневматичній подушці центрується за допомогою орієнтуючих елементів (пілота 5, розтискної пелюсткової цанги 6) у направляючій втулці 3 головки блоку ДВЗ, що забезпечує відносне розташування РІ до сідла клапана. Обробка конічних поверхонь сідла здійснюється за рахунок обертання шпинделя і робочої подачі на оборот  $S_z$  інструменту уздовж осі його обертання.

Параметр гвинтового руху  $p$  при цьому

$$p = \frac{S_z}{2 \cdot \pi} \cdot \quad (1)$$

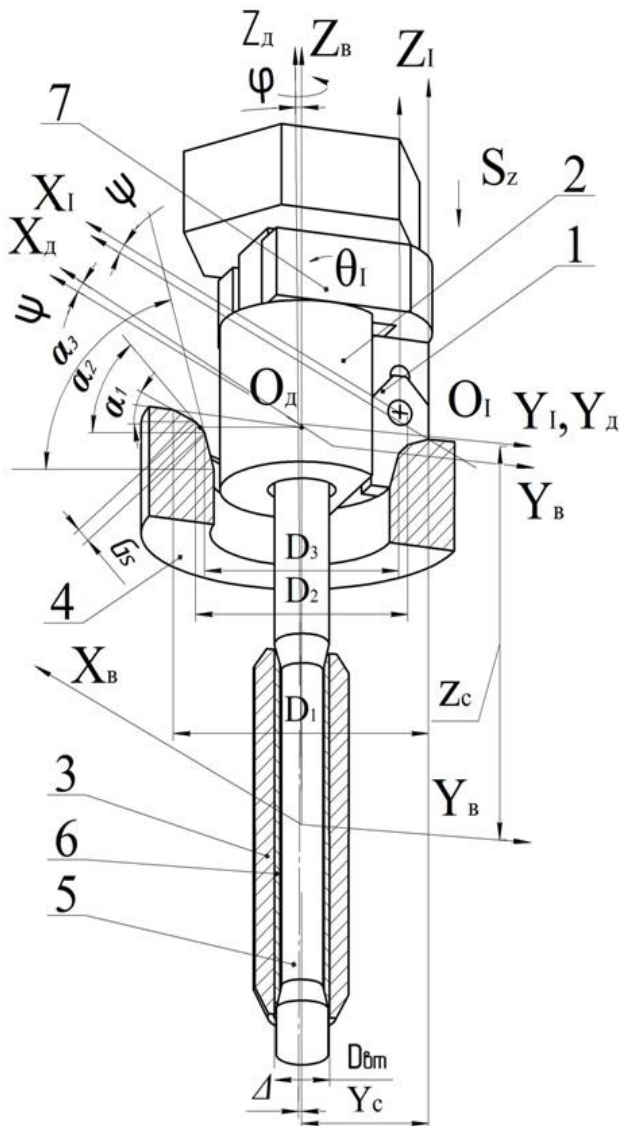


Рисунок 2 - Схема розточування конічних поверхонь сідла клапана

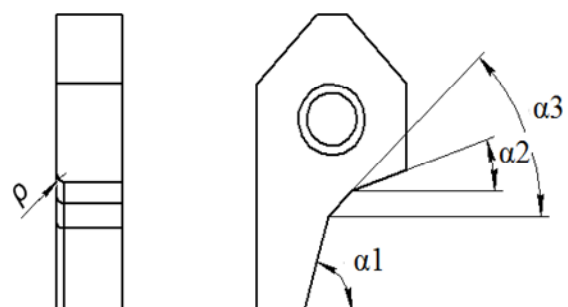


Рисунок 3 – Ріжуча пластина

Загальна модель інструментальної поверхні різальної пластини описується циліндричним модулем, обумовленим наявністю двох незалежних параметрів:  $\theta$  -



кут повороту навколо осі  $O_I X_I$ , який задає радіус  $\rho$  заокруглення різальної крайки;  $i$  - координата точки різальної пластини в площині  $O_I Y_I Z_I$  (рисунок 3).

Загальна модель різальної пластини представлена як

$$\bar{r}_I = C_{Z_I(i)Y_I(i)\theta_I\rho_I(i)}^I \cdot \bar{e}_4, \quad (2)$$

де  $\bar{r}_I$  - радіус-вектор точок пластини;  $C_{Z_I(i)Y_I(i)\theta_I\rho_I(i)}^I$  - циліндричний інструментальний модуль різальної пластини, який є матрицею переходу радіус-вектора початкової точки  $\bar{e}_4$  в систему координат інструмента.

У модульних 3D-моделях використовуються однокоординатні матриці  $A1, A2, A3, A4, A5, A6$ , які описують переміщення уздовж напрямків  $X_I, Y_I, Z_I$  та повороти навколо осей, відповідно.

Номінальна поверхня сідла клапана представлена радіус-вектором інструменту, модулем перетворення, модулем орієнтації і модулем формоутворення

$$\bar{r}_D = M_{ID} \cdot \bar{r}_I = C_{z_D\theta_D}^\phi \cdot S_{\varphi\psi x_c}^o \cdot P_{z_c y_c x_c}^\Pi \cdot \bar{r}_I, \quad (3)$$

де  $M_{ID}$  - матриця переходу з системи координат інструмента в систему координат деталі, яка являє собою множину прямокутного модуля переносу  $P_{z_c y_c x_c}^\Pi$ , що задає координати інструмента відносно верстата, сферичного модуля  $S_{\varphi\psi x_c}^o$  орієнтації різальної пластини відносно системи координат станини і циліндричного модуля  $C_{z_D\theta_D}^\phi$ , який задає рух інструмента відносно деталі.

З урахуванням формул (2) і (3), а також рівняння зв'язку  $z_D = \theta_D \cdot \rho$  рівняння обробленої поверхні має вигляд

$$\bar{r}_D(\theta_D, i, \theta_I) = C_{(\theta_D \cdot \rho)\theta_D}^\phi \cdot S_{\varphi\psi x_c}^o \cdot P_{z_c y_c x_c}^\Pi \cdot C_{Z_I(i)Y_I(i)\theta_I\rho_I(i)}^I \cdot \bar{e}_4 \quad (4)$$

Після проведення засобами *MathCAD* інтерполяції дискретної залежності у функціональну рівняння лінії контакту деталі з інструментальною поверхнею (описана за допомогою функції Хевісайда) має вигляд (рисунок 4)

$$\bar{Lk}(i) = \bar{r}_D(0, i, \theta_I(i)). \quad (5)$$

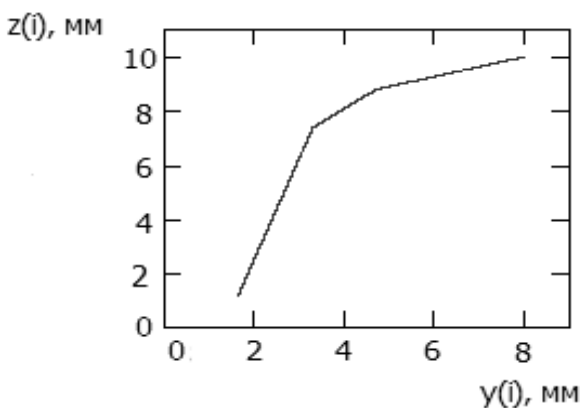


Рисунок 4 – Лінія контакту деталі з інструментом



Рисунок 5 – Модельовані поверхні сідла клапана

Розроблена модель дозволяє описувати вплив зміни радіуса заокруглення різальної кромки в результаті зносу, задаючи його зміну. Графіки залежності

точності обробки від переміщення пластини вздовж осі  $OvXv$  та від радіуса заокруглення різальної кромки інструмента показані на рисунках 6, 7. Зі збільшенням радіуса заокруглення різальної кромки точність обробки поверхні зменшується. Поверхня деталі утворюється шляхом обертання лінії контакту навколо осі обертання (рисунок 5).

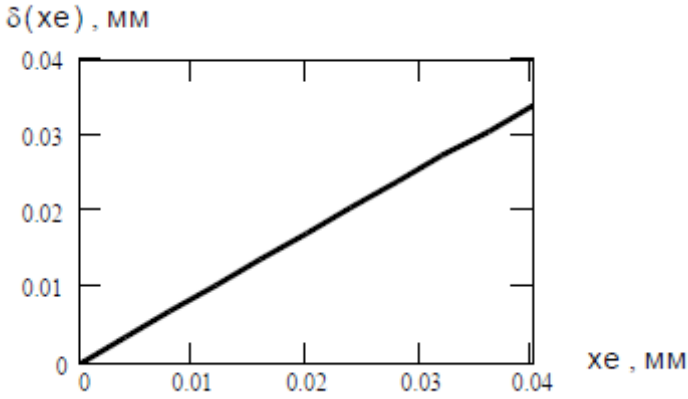


Рисунок 6 – Залежність точності обробки від переміщення пластини вздовж осі  $OvXv$

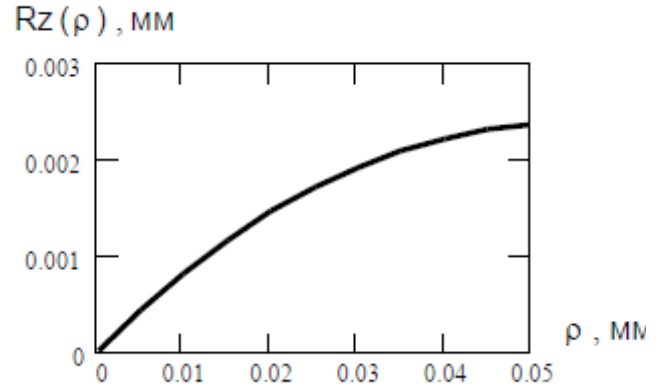
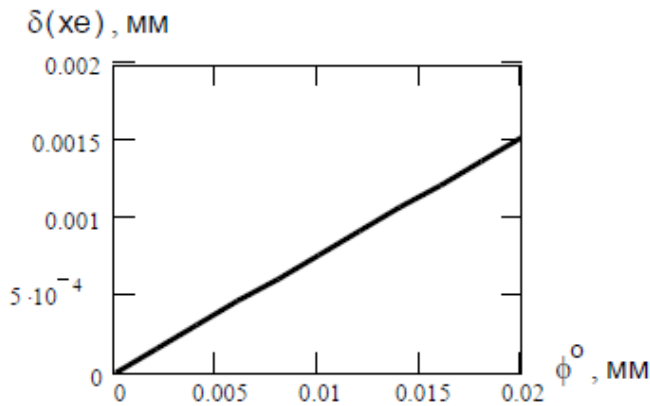
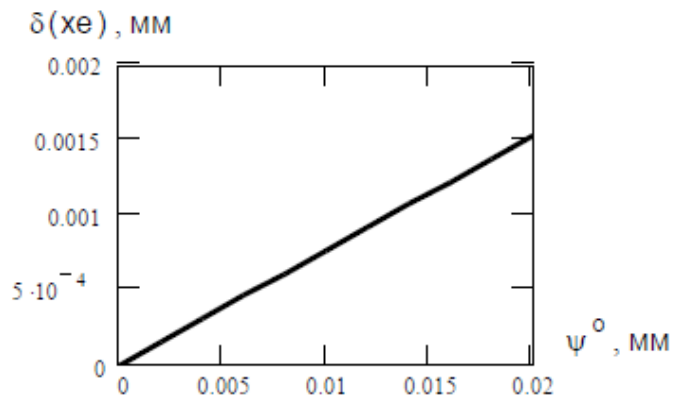


Рисунок 7 – Залежність точності обробки від радіуса округлення різальної кромки



(а)



(б)

Рисунок 8 – Залежність точності обробки поверхні: (а) – від змінення кута повороту пластини навколо осі  $OvXv$ ; (б) - від змінення кута повороту пластини навколо осі  $OvYv$

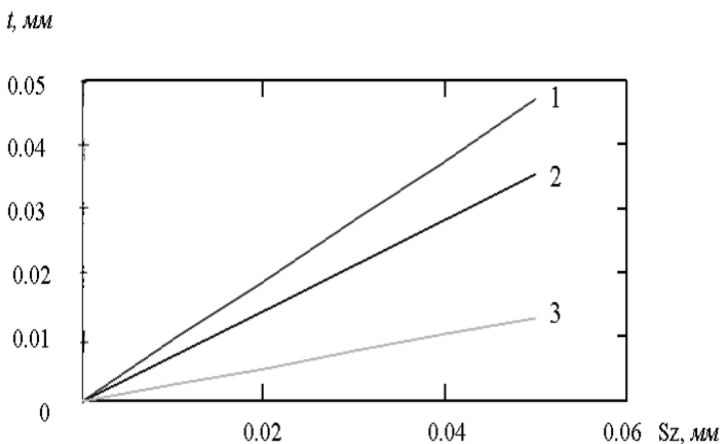
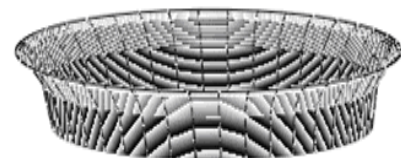


Рисунок 9 – Розподіл товщини зрізу в залежності від подачі  $S_z$



(а)



(б)

Рисунок 10 – Геометрична модель зношеної поверхні (а), загальний вигляд базової (номінальної) поверхні (б)

На рисунку 8 представлені результати розрахунків впливу кутів орієнтації навколо осей  $Ox$  (рис. 8, а) і  $Oy$  (рис. 8, б) на точність обробки. Як видно з графіків точність обробленої поверхні зменшується зі збільшенням кутів повороту навколо осі  $Ox$  і осі  $Oy$ .

На рисунку 9 представлена залежність товщини зрізу від подачі для трьох різальних кромки пластини. Товщина зрізу першої кромки 1 - найбільша, 2 - середня, 3 - найменша.

У відновлювальному ремонті сидел клапанів процесу формоутворення обов'язково передують операції з дефектації зношених поверхонь для виявлення доцільності проведення обробки або надмірного зносу з наступною заміною сидла на нову заготовку. Отримання об'єктивних результатів дефектації вимагає точних методів оцінки стану зношених поверхонь.

У даній роботі для аналізу стану відновлюваних поверхонь сидел клапанів зі складною топографією використовується метод круглограм і профілограм, реалізація якого здійснюється за допомогою контрольно-вимірювального обладнання, описаного в розділі експериментального дослідження процесу обробки.

У задачі дефектації пропонується інтерполяційна математична 3D-модель зношених поверхонь у вигляді узагальненого полінома

$$Q(x, y) = \sum_{k=1}^N c_k \cdot \varphi_k(x, y), \quad (6)$$

де  $c_1, c_2, \dots, c_n$  - невідомі параметри, які визначаються із системи рівнянь:

$$z_l = \sum_{k=1}^N c_k \cdot \varphi_k(x_l, y_l), \quad l = 1, \dots, M, \quad (7)$$

де  $\varphi_1(x, y), \dots, \varphi_N(x, y)$  - система базових функцій, які мають вигляд квадрик:

$$\varphi_k(x, y) = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 + A_\varphi}, \quad (8)$$

$(x_l, y_l, z_l)$  - система вихідних точок оброблюваної поверхні, які задаються шляхом зняття профілограм (круглограм) та їх оцифрування з кроком, необхідним для обліку нерівностей оброблюваної поверхні;

$A_\varphi$  - параметр, який впливає на кривизну модельованої поверхні і заданий як експериментально обґрунтована константа ( $A_\varphi \geq 0$ ).

За допомогою системи *MathCAD* досліджуються 3D-відхилення моделей зношеної (рисунок 10, а) і базової (номінальної) (рисунок 10, б) поверхонь. Рішення про вибраковування приймається при виявленні більш глибоких впадин на зношеній поверхні у порівнянні з номінальною хоча б для однієї з фасок сидла.

Якщо зношене сидло придатне для обробки, то через визначення максимального відхилення піків і впадин по всій зношеній поверхні підбирається оптимальний загальний припуск на обробку  $Z_{заг}$ .

Загальний обсяг зрізаного шару, як цільовий параметр обробки, визначається:

$$- \text{з використанням 3D-моделей оброблюваної і номінальної поверхонь} \\ V_{\text{мод}} = \sum_i \sum_j [Q(x_{ij}, y_{ij}) - Z(x_{ij}, y_{ij})], \quad (i=1, \dots, I; j=1, \dots, J). \quad (9)$$

- з використанням режимів обробки:

$$V_{\text{обр}} = B_{\text{різ}} \cdot n_{\text{об}} \cdot S_0 \cdot t_p \cdot k_{\text{пр}}, \quad (10)$$

де  $B_{\text{різ}}$  – ширина різання (мм),  $n_{\text{об}}$  – кількість обертів (об/хв),  $S_0$  – подача на оберт (мм/об),  $t_p$  – глибина різання (мм),  $k_{\text{пр}}$  – кількість проходів.

Ширина різання (геометрична) розраховується з поздовжнього перетину базового (номінального) сідла клапана:

$$B_{piz} = \sum_{m=1}^3 \frac{R_m - R_{m-1}}{\cos \alpha_m} \quad (11)$$

Інші параметри режимів різання вважаються змінними  $x_1 = n_{об}$ ;  $x_2 = S_0$ ;  $x_3 = t_p$ ;  $x_4 = k_{np}$ , і тоді оптимізаційна модель налаштування режимів обробки має вигляд:

$$F = V_{обр} - V_{мод} = B_{piz} \cdot \prod_{n=1}^4 x_n - V_{мод} \rightarrow \min \quad (12)$$

$$\begin{cases} x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \leq B_{об} \\ x_3 \cdot x_4 = Z_{заг} \\ x_n \geq 0, n = \overline{1,4}, \end{cases} \quad (13)$$

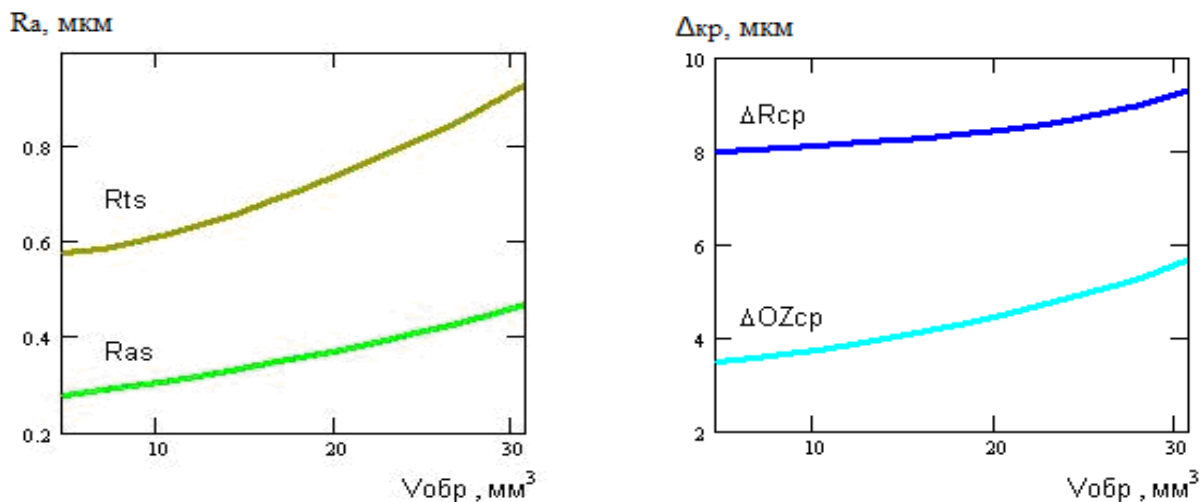
де  $B_{об}$  – максимальні обмеження добутку змінних, що оптимізуються (14).

Модель є задачею нелінійного програмування з нелінійними функціоналом і обмеженнями. Для розв'язання задачі застосовується метод множників Лагранжа з використанням спеціального обчислювального блоку *MathCAD* і розглядом параметрів в заданих межах зміни:

$$200 \leq n_{об} \leq 600; 0,02 \leq S_0 \leq 0,15; 0,05 \leq t_p \leq 1; k_{np} = Z_{заг} / t_p. \quad (14)$$

Оскільки за результатами дефектації обсяги зрізаного шару для окремих сідел можуть бути різними, при вході в алгоритм мінімізації передбачені налаштування значень  $Z_{заг}$ ,  $V_{мод}$  та початкових параметрів різання з урахуванням ширини різання  $B_{piz}$  і допусків радіального ( $\leq 0,05$  мм) і кутового ( $\leq 0,028^\circ$ ) биття шпинделя.

З використанням оптимізаційної моделі (12), (13) розраховані оптимальні параметри різання для відповідних обсягів зрізаного шару та за допомогою засобів *MathCAD* отримані теоретичні залежності параметрів точності обробки від обсягів зрізаного шару (рисунок 11).



(а):  $R_{ts}$  - розмах точок,  $R_{as}$  - середньоарифметичне відхилення моделі обробленої поверхні від номінальної; (б):  $\Delta R_{cp}$  - відхилення радіуса обробленої поверхні від радіуса номінального кола,  $\Delta OZ_{cp}$  - позиційне зміщення осі  $OZ$

Рисунок 11 - Графіки залежності параметрів точності обробки від обсягів зрізаного шару

3D-модель (6) дозволяє в 2D-форматі визначати доцільність обробки сідла при проведенні дефектації, а також досліджувати очікувані параметри точності обробки деталі: шорсткість, округлість і співвісність.

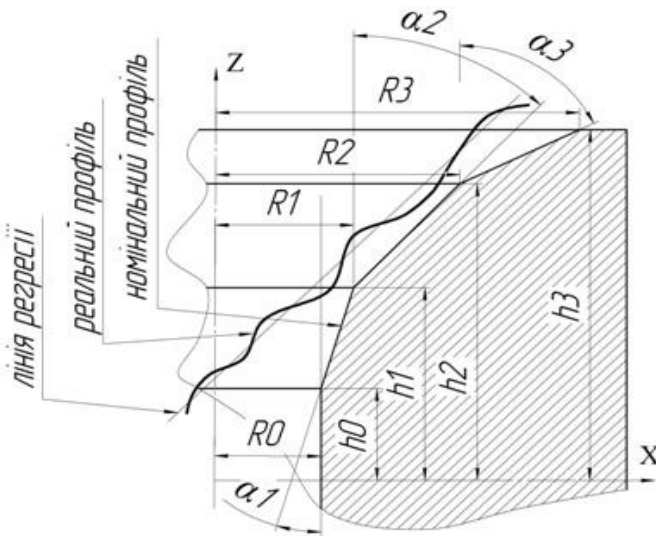


Рисунок 12 – Поздовжній профіль сідла клапана



Рисунок 13 – Поперечний профіль сідла клапана

За 2D-методикою шляхом побудови вертикальних січних площин будується сімейство плоских кривих у координатах поздовжнього профілю для одержання кривої лінії регресії (рисунок 12). Шляхом розрахунку середнього відхилення лінії регресії від проекції твірної номінального конуса оцінюється розмах точок і середньоарифметичне відхилення моделі оброблюваної (або обробленої) поверхні від номінальної, відповідно:

$$R_{ts} = R_{ps} + R_{vs}, \quad R_{as} = \frac{1}{I \cdot J} \sum_{i,j} |\Delta z_{Pij}|, \quad (15)$$

де  $R_{ps} = \max_{i,j} |\Delta z_{Pij}|$  - висота найбільшого виступу поверхні,

$R_{vs} = \min_{i,j} |\Delta z_{Pij}|$  - глибина найбільшої западини поверхні.

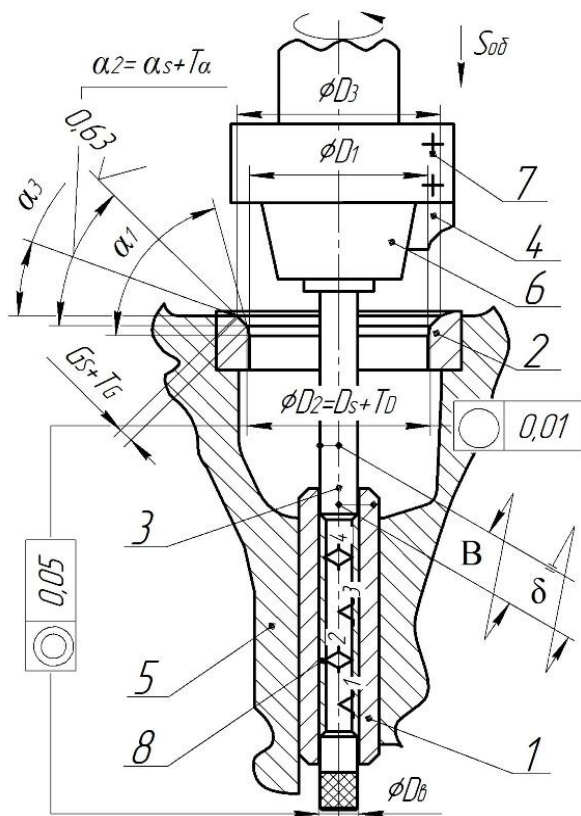
Побудовані поперечні профілі дають можливість з використанням методу нелінійної регресії приймати рішення про необхідність обробки сідла або прогнозувати параметри відхилення від круглості і концентричності, тобто відхилення радіуса обробленої поверхні від радіуса номінального кола та позиційне зміщення осі OZ (рисунок 13).

$$\Delta R_{Cp} = R_{Cnk} - (R_1 + z_{Cp} \cdot \text{ctg} \alpha_2), \quad \Delta OZ_{Cp} = \sqrt{x_{Cnk}^2 + y_{Cnk}^2}, \quad (16)$$

де  $R_{Cnk}$  і  $R_{cn}$ , відповідно, радіуси кіл номінального профілю і окружності найменших квадратів.

У **третьому розділі** наведено теоретичне дослідження параметрів точності процесу формоутворення поверхонь сідла клапана. А саме, проведені: розмірний аналіз сполучення «втулка - клапан - сідло»; вибір і обґрунтування схеми і методу обробки; обґрунтування варіанта базування елементів пристосування і РІ відносно оброблюваної деталі шляхом розмірного аналізу параметрів точності сідла клапана і направляючої втулки; моделювання планування експерименту.

На підставі отриманих висновків розділу 1 даної роботи, заданих параметрів точності (рисунок 14, таблиця 1), зробленого розмірного аналізу параметрів точності обробки (рисунок 15) був запропонований метод розточування для формоутворення трьох конічних поверхонь сідла клапана (матеріал ВЧ 70) шляхом копіювання з використанням РІ у вигляді орієнтованої пластини з трьома різальними кромками, що мають покриття з матеріалу аналогічного кубічному нітриду бора. Радіус заокруглення різальної кромки  $r$  складає 9-11 мкм.



1 – напрямна втулка клапана, 2 – сідло клапана, 3 – пілот пристосування, 4 – РІ, 5 – блок ДВЗ, 6 – шпindelь пристосування, 7 – різцетримач, 8 – з’ємна пелюсткова цанга

Рисунок 14 – Схема базування пристосування при розточуванні і параметри якості сідла клапана

пелюсткової цанги 8 похибка базування пристосування відносно направляючої втулки дорівнює 0 (параметри  $B=0$  і  $\delta=0$ ). Це дозволяє підвищити точність обробки і досягнути відхилення від концентричності осей оброблюваної поверхні і отвору направляючої втулки в межах конструкторського допуску. Відповідно до виявлених розмірних ланцюгів ексцентриситетів і відносних поворотів (рисунок 15), а також результатів розрахунку методом максимуму мінімуму, похибка орієнтації РІ в радіальному напрямку склала 0,023 мм, в кутовому 0,013°.

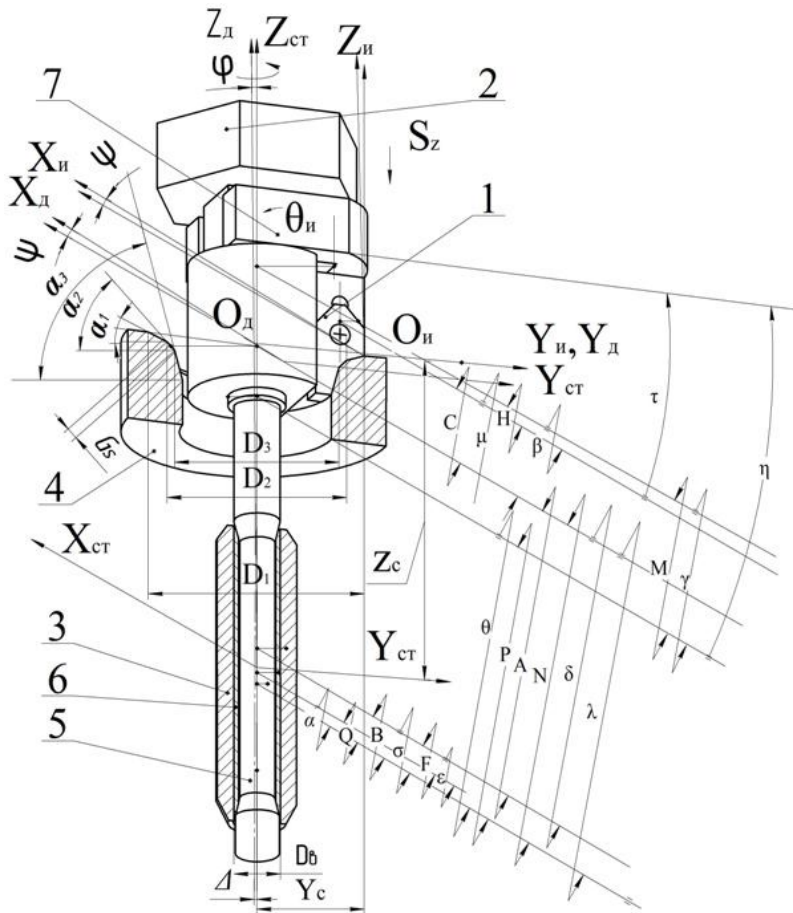
Одночасне розточування трьох поверхонь сідла клапана дозволяє знизити трудомісткість формоутворення оброблюваних поверхонь у порівнянні з традиційними методами приблизно в два-три рази. Використання покриття пластини дає можливість лезовим методом обробки на невисоких швидкостях

Таблиця 1 – Параметри якості деталей ГРМ експериментального двигуна ВАЗ-21083

Параметри якості	Сідло клапана	Напрямна втулка
Діаметр, (мм)	$D_2 = 35 \pm 0,15$	$D_6 = 8,04 \pm 0,01$
Відхилення від округлості, (мм)	0,01	0,005
Кут конусності, (град)	$\alpha_2 = 45^\circ \pm 5'$	-
Шорсткість $R_a$ , (мкм)	0,63	-
Ширина робочої поверхні, мм	$2 \pm 0,1$	-
Відхилення від співвісності радіальне, (мм)	0,05	
Відхилення від співвісності кутове, (град)	0,028	

Орієнтація різальної пластини шляхом базування пілота 3 за віссю направляючої втулки 1 (рисунок 14) здійснюється при включеній пневмоподушці пристосування для розточування. За рахунок використання з’ємної розтискної

різання  $V < 100$  м/хв отримувати якість обробленої поверхні з висотою мікронерівностей до 0,3 мкм, що дозволяє виключити фінішну операцію з притирання клапанів до сідел і знизити трудомісткість відновлювального ремонту.



1 – різальна пластина; 2 – шпиндель; 3 – напрямна втулка; 4 – сідло клапана; 5 – пілот; 6 – пелюсткова цапга; 7 – різцетримач; A, B, C, E, N, H, M, P, Q – параметри розмірних ланцюгів ексцентриситетів;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – кути конусності сідла;  $\alpha, \lambda, \beta, \delta, \epsilon, \eta, \lambda, \mu, \sigma, \tau, \gamma$  – параметри розмірних ланцюгів відносних поворотів;  $D_1, D_2, D_3$  – діаметральні розміри поверхонь сідла

Рисунок 15 – Технологічні розміри ланцюги у схемі обробки сідла клапана

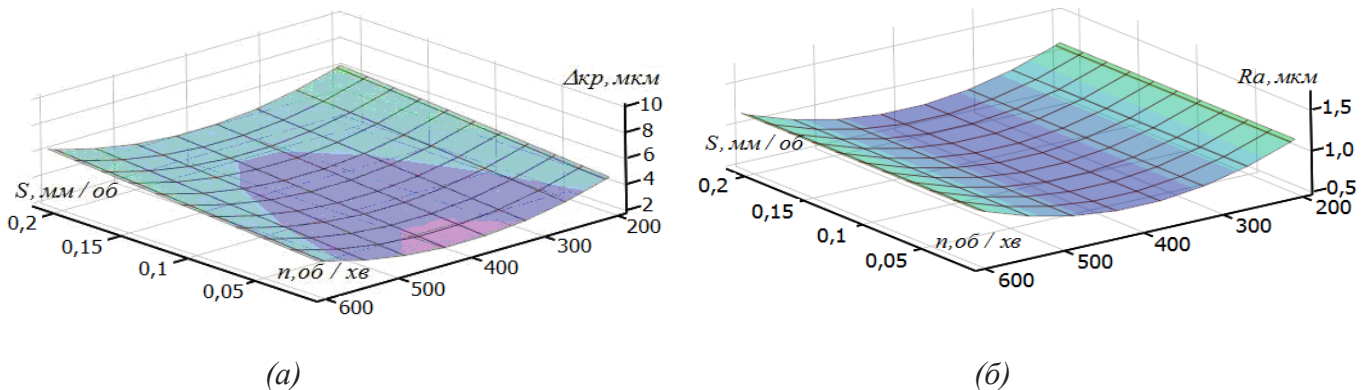


Рисунок 16 – Модельовані залежності відхилення від круглості (а) і шорсткості (б) оброблюваних поверхонь сідла від режимів різання

Виявлення теоретичних закономірностей формування точності форми сідел клапанів експериментальних головок залежно від режимів обробки здійснювалося шляхом проведення математичного планування експерименту з незалежних факторів. В якості варійованих факторів були прийняті режими різання:  $X1$  - кількість обертів  $n$ ;  $X2$  - глибина різання  $t$ ;  $X3$  - подача на один оберт  $S$  (діапазони вказані в (14)). Параметрами оптимізації прийняті відхилення від круглості поверхонь  $\Delta_{кр}$  та їх шорсткість  $Ra$ .

Для розрахунків використано композиційне ортогональне планування 2-го порядку. У нормованому масштабі рівняння регресії для параметрів  $\Delta_{кр}$  і  $R_a$ :

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{\Delta_{кр}} &= 7,2624 + 1,8179 \cdot X_1^2 + 0,5852 \cdot X_3, \\ \hat{Y}_{R_a} &= 0,7326 + 0,391 \cdot X_1^2 + 0,18 \cdot X_2 \cdot X_3.\end{aligned}\quad (17)$$

Адекватність моделей з довірчою ймовірністю 0,95 перевірена за критерієм Фішера ( $F_{розр} = 1,726 < 2,126 F_{табл}$  для параметра  $\Delta_{кр}$ ;  $F_{розр} = 0,804 < 2,126 F_{табл}$  для параметра  $R_a$ ).

Після розшифровки математичних моделей отримані залежності параметрів  $\Delta_{кр}$  і  $R_a$  від подачі, частоти обертання і глибини різання шпинделя:

$$\begin{aligned}\Delta_{кр} &= 9,9034 + 0,0454 \cdot 10^{-3} \cdot n^2 - 0,0364 \cdot n + 8,36 \cdot S, \\ R_a &= 2,6791 + 0,0098 \cdot 10^{-3} \cdot n^2 - 0,0078 \cdot n + 6,4286 \cdot S \cdot t - 3,2113 \cdot S - 0,765 \cdot t.\end{aligned}\quad (18)$$

У графічному вигляді залежності наведені на рисунку 16.

У **четвертому розділі** виконано експериментальне дослідження процесу відновлення поверхонь сідел клапанів. Для дослідження використовувався стенд з робочим 4-х циліндровим 8-ми клапанним ДВЗ моделі ВА3-21083 і 4 експериментальні головки блоку двигуна.

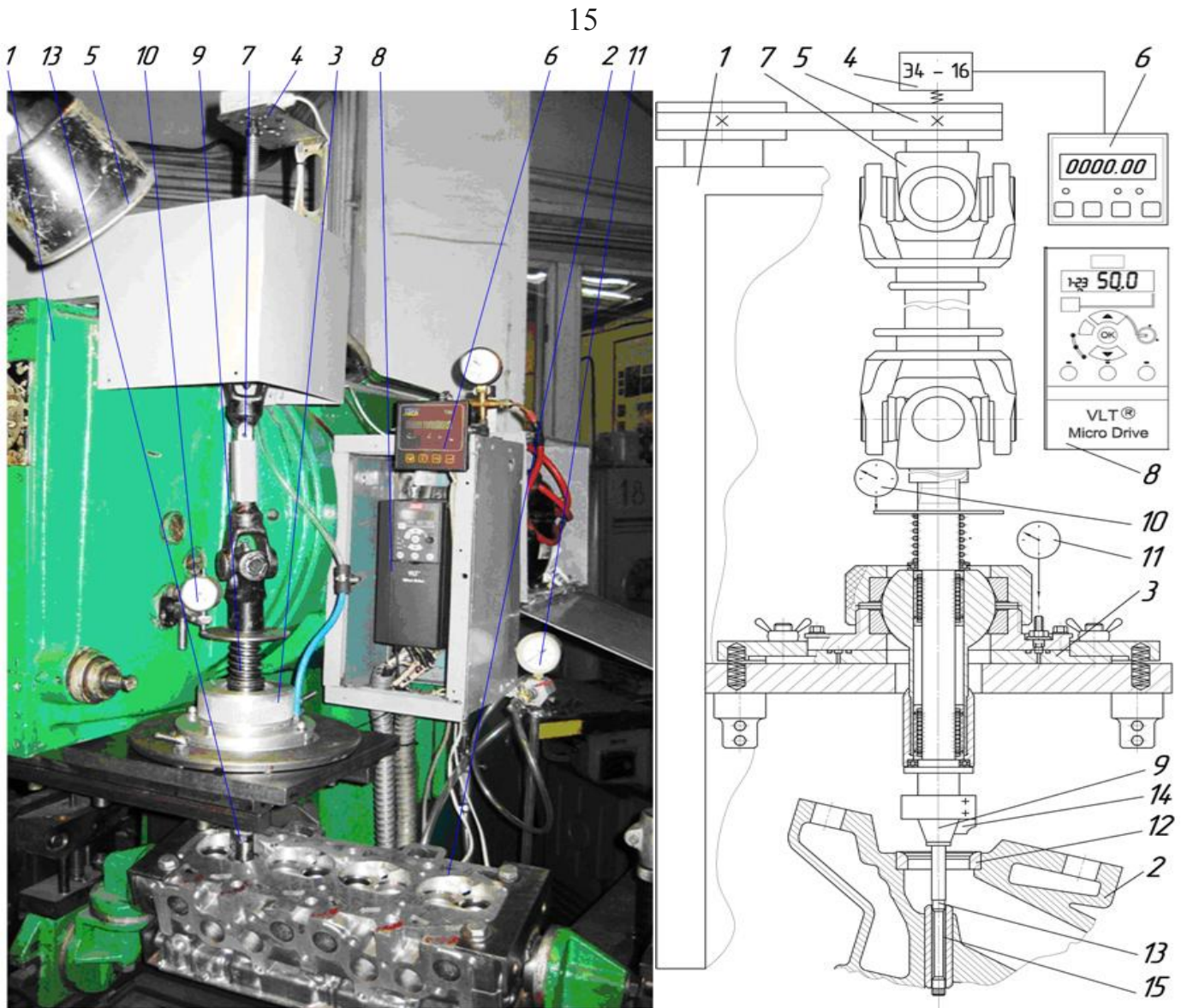
При проведенні експериментальних досліджень використовувався комплекс засобів на базі модернізованого вертикально-фрезерного верстата моделі 6P12, а також спеціально спроектоване і розроблене пристосування для розточування сідел клапанів (рисунок 17), що дозволяє не поєднувати систему координат верстата з системою координат деталі та інструменту за рахунок застосування карданної передачі, пневматичної подушки, орієнтації шпинделя по кульовій опорі і самоцентруючогося пілоту зі з'ємною розтискною пелюстковою цангою, яка базується по отвору направляючої втулки головки ДВЗ.

Регулювання частоти обертання шпинделя здійснювалося за допомогою електричного частотного варіатора «Danfoss» FC-51 (поз. 8), а її фіксування електронним тахометром Б-ТМ-НП1210-СК03-ІВ5ВА (поз. 6) з точністю  $\pm 1 \text{хв}^{-1}$ . Величина переміщення шпинделя контролювалася індикатором годинникового типу 11 з точністю 0,01 мм. Загальний вигляд технологічного оснащення, використаного під час проведення експерименту, представлено на рисунку 18.

Для контролю величини радіальних зміщень шпинделя з метою уточнення вибраних режимів різання використовувався контрольний комплекс обладнання (рисунок 19): два безконтактних лазерних датчика типу РФ603.2-10 / 2-485-U-IN-AL-CG (робочий діапазон 2 мм, лінійність  $\pm 2 \text{мкм}$ , роздільна здатність 0,2 мкм, максимальна частота дискретизації  $f_d = 9,4 \text{кГц}$ ), цифровий осцилограф IRIS, ноутбук з програмним забезпеченням для цифрової обробки результатів. У результаті проведення експерименту було побудовано графічні залежності і виявлено, що биття шпинделя у межах допуску забезпечується при режимах обробки  $n = 300 \div 550 \text{об/хв}$ ,  $S = 0,02 \div 0,1 \text{мм/об}$ ,  $t = 1 \text{мм}$ , до яких задані діапазони режимів різання були скореговані.

Оцінка параметрів якості процесу формоутворення проводилася шляхом дослідження показників точності оброблених поверхонь сідел клапанів (відхилення від круглості, шорсткості, відхилення від співвісності) за допомогою вимірювального комплексу: кругломіра (Talyrond, Model 2), профілометра («Taylor Hobson, Surtronic 2»), приладу для перевірки концентричності (Fowler) (рисунок 20).





(а) (б)  
 1 – верстат 6P12, 2 – головка ДВЗ, 3 – пристосування на пневмо подушці, 4 – енкодер, 5 – привід шпинделя пристосування, 6 – електронний тахометр, 7 – карданна передача, 8 – електричний частотний варіатор, 9 – шпиндель пристосування для розточування, 10 – індикатор подачі шпинделя, 11 – індикатор тиску у пневмоподушці, 12 – сідло клапана, 13 – самоцентруючий пілот, 14 – РІ, 15 – з’ємна пелюсткова цанга  
 Рисунок 17 – Загальний вигляд (а) і структурна схема (б) комплексу для обробки сідел клапанів

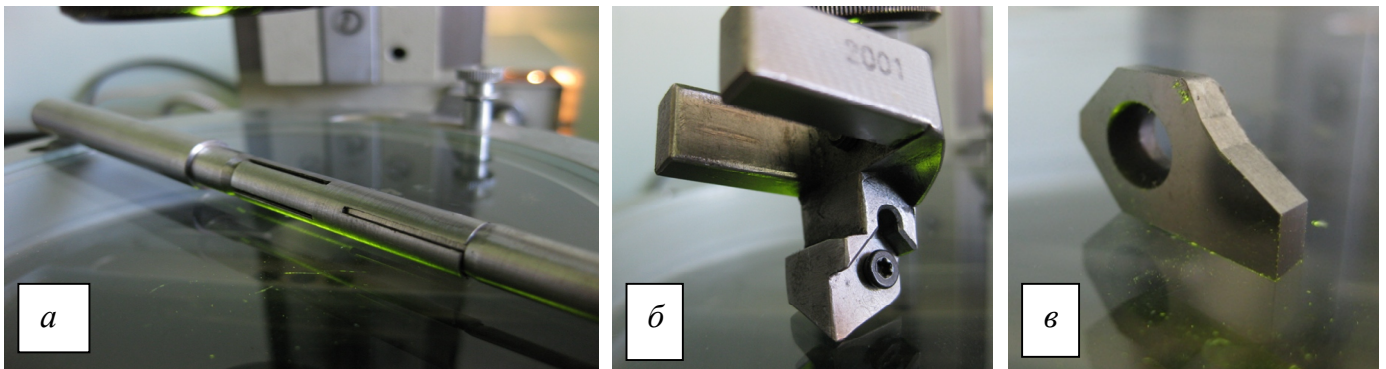
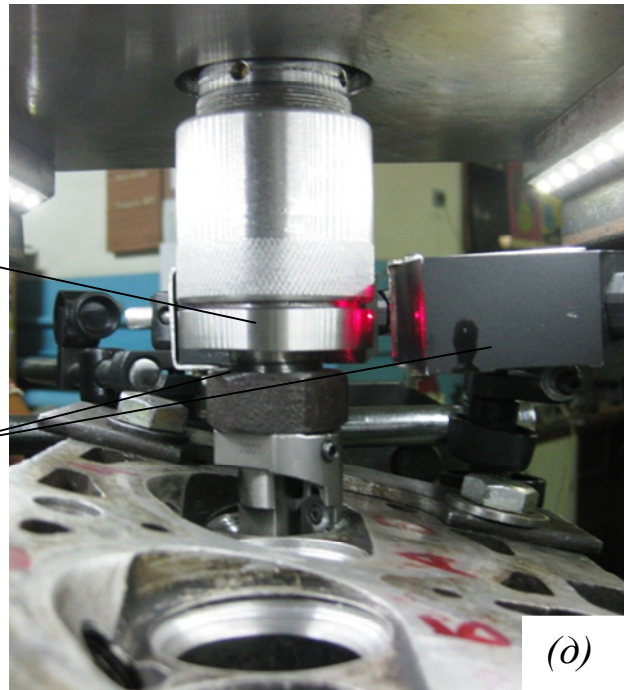
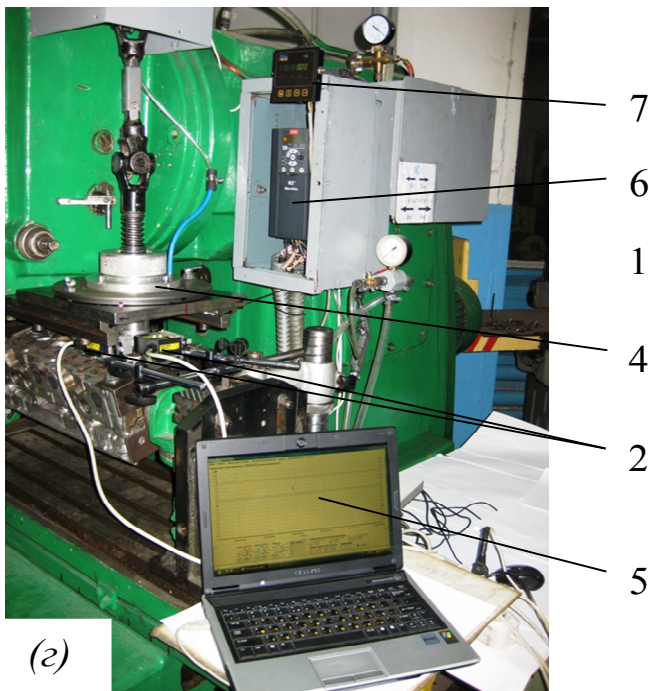
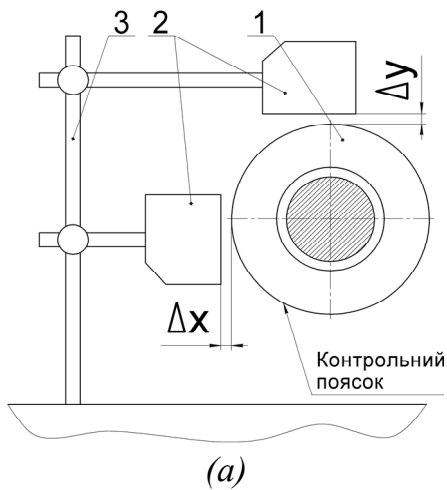


Рисунок 18 – Самоцентруючий пілот зі з’ємною розтискною пелюстковою цангою (а), різцетримач (б), профільна різальна пластина (в)



1 – прецизійний диск шпинделя, 2 – датчики, 3 – стійка, 4 – пристосування для обробки, 5 – ноутбук, 6 – варіатор частот, 7 – тахометр; (а) – схема установки датчиків; (б) – лазерний датчик; (в) – осцилограф; (г, д) – загальний вигляд комплексу і вимірювання

Рисунок 19 - Схема установки датчиків і загальний вигляд комплексу для контролю переміщень

Визначення величини мікронерівностей експериментальних сідел проводилося в трьох осьових перетинах по утворюючим конусної поверхні (малюнок 21, а). Абсолютна величина похибки вимірювання 0,2 мкм. Результати вимірювань  $Ra$  склали  $0,6 \div 1,24$  мкм.

Вимірювання величини відхилення від концентричності осі конусної робочої поверхні від осі циліндричного отвору направляючої втулки блоку ДВС (рисунок 14) проводилося пристосуванням індикаторного типу, що базується за віссю направляючої втулки клапана за допомогою пілота із розтискною цанговою оправкою (рисунок 20, в). Абсолютна величина похибки вимірювання 0,0125 мм. Результати вимірювань для 90% дослідів склали  $0,0125 \div 0,05$  мм.

Отримані результати шорсткості і відхилень від круглості у вигляді профілограм і круглограм були оброблені за допомогою програмного забезпечення *MathCad* і

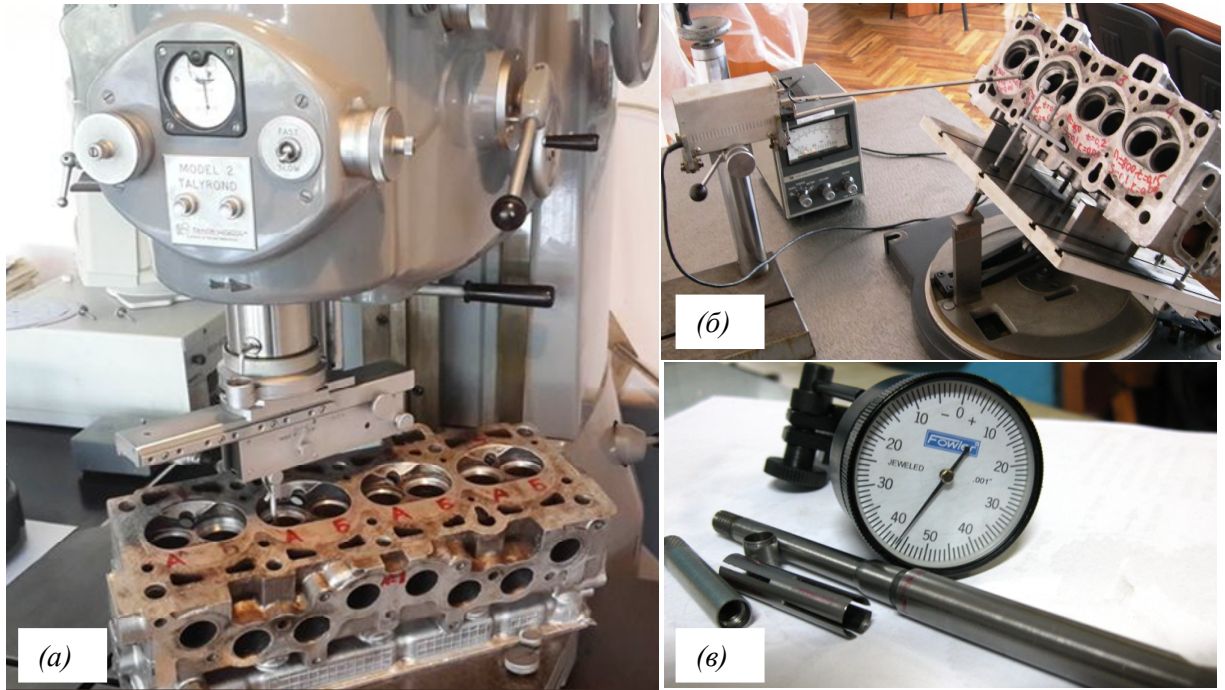
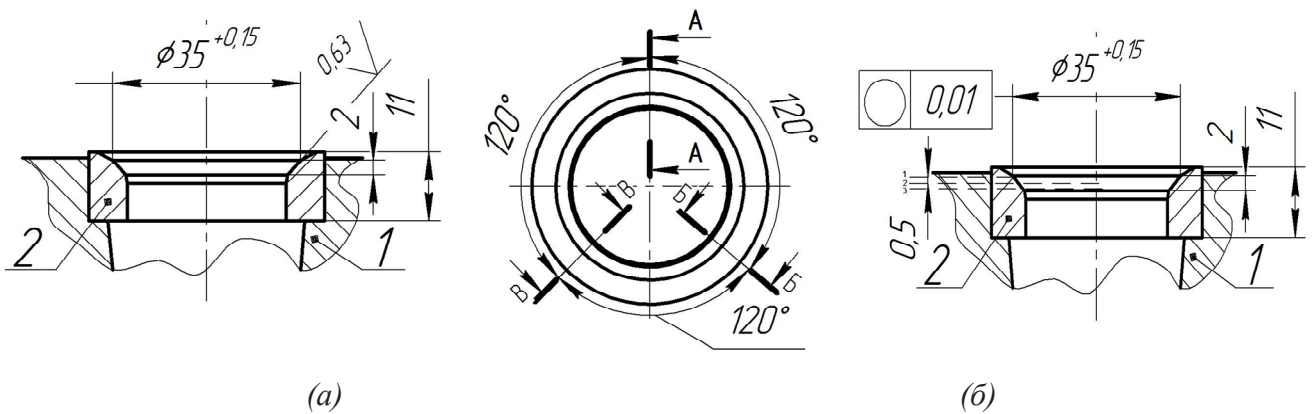


Рисунок 20 - Комплекс обладнання для контролю параметрів точності:  
 а - кругломір, б - профілометр, в - прилад для вимірювання концентричності



1 - головка блоку ДВС, 2 - сідло клапана  
 Рисунок 21 - Схеми розташування перетинів при вимірюванні шорсткості (а) і відхилення від круглості (б) поверхні сідла

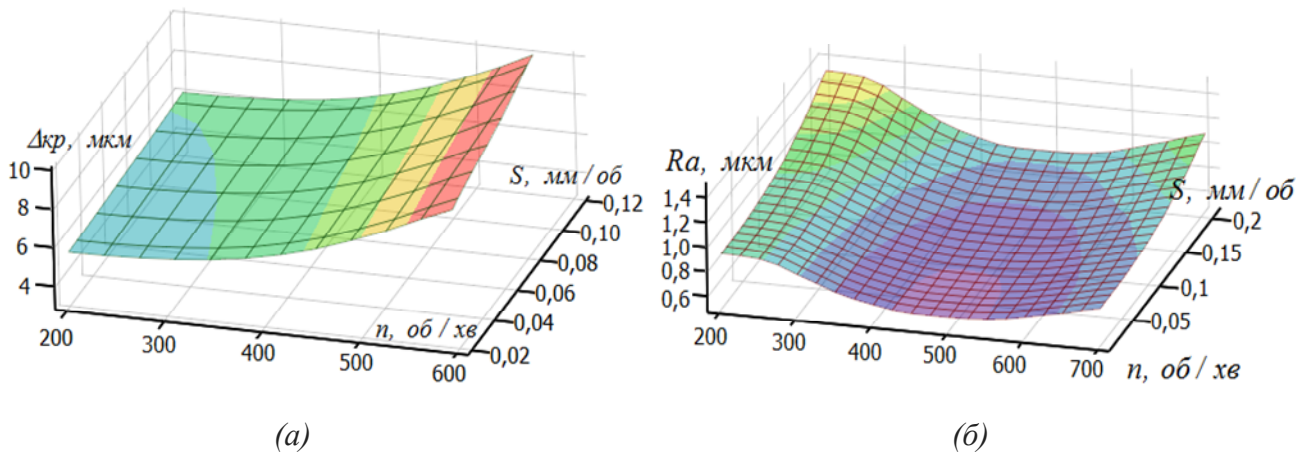


Рисунок 22 - Залежності відхилення від круглості (а) і шорсткості (б) поверхонь експериментальних сідел клапанів від режимів обробки

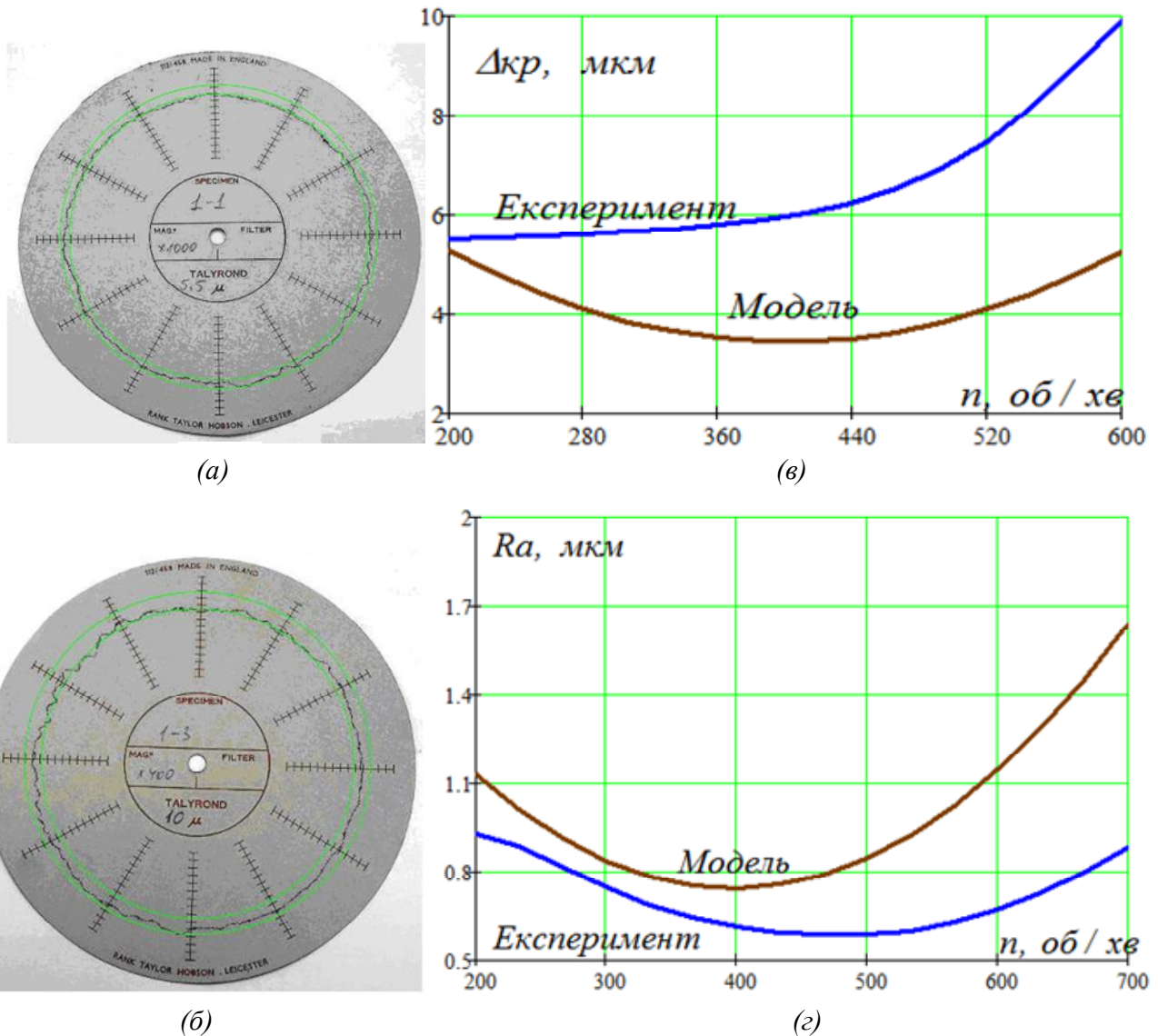


Рисунок 23 - Круглограми (а) і (б), залежності відхилення від круглості (в) і шорсткості (г) поверхонь сідла клапана від частоти обертів шпинделя

«Компас» і представлені у вигляді графіків залежності (рисунок 22) параметрів якості обробки від режимів різання.

Аналіз результатів експериментальних даних показав, що відхилення від круглості оброблених поверхонь при подачі  $0,02 \div 0,15$  мм/об залишається в межах допуску в діапазоні частот обертання шпинделя  $200 \div 550$  об/хв, в області частот  $450 \div 550$  об/хв наближається до граничного значення, а при підвищенні  $n > 600$  об/хв екстремально збільшується.

Дана поведінка пояснюється, відповідно, збільшенням швидкості різання  $V$ , величини сили різання, впливом зростаючої відцентрової сили і присутністю статичного дисбалансу вала шпинделя. В межах значень  $0,02 \div 0,15$  мм/об подача впливає мало на шорсткість і збільшується з підвищенням сили різання. В області частот  $400 \div 500$  об/хв шорсткість досягає мінімальних значень, а при вході в діапазон частот  $n > 600$  об/хв і підвищених подач починає екстремально зростати, що пояснюється впливом віброактивності приводу шпинделя і пружними деформаціями його елементів в результаті підвищення сил різання.

Глибина різання на відхилення від круглості практично не впливає в зазначених вище діапазонах частот і подач. На параметр шорсткості зміна глибини різання при різному ступеню зносу сідел в представленому діапазоні  $0,05 \leq t_p \leq 1$  мм практично не має впливу і вона формується за рахунок мікронерівностей і радіуса заокруглення  $\rho$  різальної кромки пластини.

Адекватність параметрів точності, отриманих математичним моделюванням, підтверджується експериментальними результатами (рисунок 23). Загальна розбіжність між теоретичними і експериментальними даними шорсткості і відхилення від круглості знаходиться в межах від 3 до 32%.

Результати якості обробки сідел були проконтрольовані на герметичність з'єднання з клапанами шляхом вакуумізації та апробовані на діючому двигуні із визначенням його експлуатаційних характеристик за допомогою діагностичного обладнання. Перевірка на герметичність вакуумним насосом проводилася при величині тиску - 1 атм. Падіння тиску для всіх сідел клапанів склало *max* 10% (при допустимому 30%).

Результати дослідження експлуатаційних характеристик експериментального двигуна ВАЗ 21083 після установки на нього головки, що пройшла ремонт сідел клапанів на виготовленому обладнанні, показали підвищення величини компресії і потужності, відповідно, на 10% і 12%. Контроль компресії проводився методом вимірювання тиску в надпоршневому просторі за допомогою мембранних датчиків та миттєвої потужності - за динамікою розгону двигуна. Результати були зафіксовані за допомогою програмного забезпечення діагностичного стенду «Дельфін 1М».

У дисертаційній роботі для повної оцінки ефективності процесу відновлення сідел клапанів був проведений аналіз трудомісткості запропонованого методу дефектації і самого процесу формоутворення шляхом розрахунку витрат часу на виконання технологічних основних і допоміжних операцій. Висновок про ефективність був зроблений на підставі проведеного порівняння показників трудомісткості існуючих процесів відновлення в авторемонтному виробництві і розрахункового. Підвищення ефективності склало в середньому 25%.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна задача підвищення ефективності процесу відновлення сідел клапанів в авторемонтному виробництві за рахунок збільшення точності і зниження трудомісткості обробки шляхом розробки нового технологічного обладнання, а також застосування сучасного різального інструменту і матеріалу.

1. Встановлено, що важливим напрямом покращення експлуатаційних характеристик ДВЗ і параметрів якості деталей ГРМ є підвищення ефективності процесу відновлення сідел клапанів в авторемонтному виробництві шляхом: удосконалення процесу дефектації, розробки нового обладнання, застосування сучасних різальних інструментів і матеріалів, виключення операцій з притирання і ручного втручання в процес формоутворення оброблюваних поверхонь.

2. Вперше використано універсальну модульну 3D-модель процесу формоутворення методом копіювання при одночасному розточуванні трьох конічних поверхонь орієнтованою різальною пластинною на базі уніфікованих

модулів. На базі даної моделі були встановлені залежності геометричної шорсткості від радіуса заокруглення різальної кромки РІ і точності обробки від кутової орієнтації інструментальної поверхні.

3. Вперше запропоновано математичну інтерполяційну модель із застосуванням в процесах дефектації для оцінки стану зношених поверхонь зі складно-змінною топографією з визначенням оптимальних обсягів зрізання матеріалу при формоутворенні поверхонь сідла клапана.

4. Розроблено модель оптимізації режимів обробки відновлюваних поверхонь сідла клапана в залежності від необхідних параметрів точності з використанням математичної інтерполяційної моделі, а також науково-обґрунтовану методику використання круглограм і профілограм в задачах математичного 3D- та 2D- моделювання для аналізу необхідності відновлювального ремонту зношених деталей та оцінки параметрів якості обробки сідел клапанів.

5. Виконано планування повного факторного експерименту з трьома факторами і підтверджена адекватність отриманої математичної моделі з розрахунком коефіцієнтів регресії. Аналіз рівнянь регресії показав, що найбільший вплив на параметри шорсткості і відхилення від круглості в діапазоні оптимальних режимів обробки надають подача і частота обертання шпинделя.

6. На базі розроблених математичних моделей та результатів експерименту встановлено залежності параметрів якості обробки від режимів різання і зроблено практичні рекомендації щодо їх вибору. При відновлювальному ремонті сідел клапанів з матеріалу ВЧ70-80 оптимальні режими обробки при розточуванні пластиною з покриттям аналогічним кубічному тринітриду бору:

- глибина різання в межах  $t = 0,01 \div 1,0$  мм на відхилення від круглості і на величину шорсткості поверхонь сідел фактично не впливає в області частот  $250 \div 600$  об/хв і подачі  $0,02 \div 0,15$  мм/об;

- підвищення подачі в межах  $0,02 \div 0,15$  мм/об обумовлює майже пропорційне збільшення відхилення від круглості і шорсткості в межах допуску при частоті обертання  $250 \div 600$  об/хв;

- частота обертання в межах  $300 \div 600$  об/хв при зазначених вище значеннях подачі і глибини різання забезпечує шорсткість і відхилення від круглості оброблюваних поверхонь в межах  $1,2$  мкм і  $10$  мкм, відповідно;

- рекомендовані значення подачі і частоти обертання  $300 \div 400$  об/хв і  $0,02 \div 0,1$  мм/об забезпечують мінімальні значення шорсткості  $0,6$  мкм і відхилення від круглості  $5,5$  мкм.

7. Спроектоване та виготовлене технологічне обладнання для обробки сідел клапанів, що представляє собою верстатне пристосування у вигляді плаваючого шпинделя на пневматичній подушці з використанням конструкції орієнтованого пілота по направляючій втулці клапана, дозволяє виключити ручне втручання в процес формоутворення, підвищити точність обробки та забезпечити сумарну похибку обробки  $\Delta \Sigma < 0,023$  мм.

8. Запропонований процес відновлення сідел клапанів з одночасним розточуванням трьох внутрішніх конічних поверхонь профільною пластиною, з покриттям аналогічним ельборовому, дозволяє підвищити якість обробленої поверхні до  $0,6$  мкм, усунути операцію з притирання сідел, знизити машинний час на обробку в  $2,5$ - $3$  рази та підвищити ефективність процесу обробки по трудомісткості в середньому на  $25\%$ .

9. За результатами дисертаційної роботи отримано два патенти України на корисну модель. Результати теоретичних і практичних досліджень впроваджені в авторемонтному виробництві «ТОРАЗ» (м. Бар, Вінницька обл.) і в навчальний процес Чернігівського національного технологічного університету.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### ***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації Публікації у фахових виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази даних РІНЦ***

1. Веремей Г.А. Математическое моделирование формообразования восстанавливаемых поверхностей седла клапана в газораспределительном механизме // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки” : науковий збірник / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2014. – № 1 (71). – С. 127-134.
2. Жарий Я.В., Веремей Г.А. Модель оптимизации процесса дефектации седел клапанов газораспределительного механизма при восстановительном ремонте// Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”: науковий збірник / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2014. – № 2 (73). – С. 62-69. *(Здобувачем запропонований метод аналізу стану відновлюваних поверхонь у задачі дефектації)*.
3. Кальченко В.И., Кальченко В.В., Веремей Г.А., Следникова Е.С. Модульное 3D-моделирование инструментов, процесса съема припуска и формообразования при растачивании седел клапанов ориентированной пластинкой// Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”: науковий збірник / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – № 2 (78). – С. 51-59. *(Здобувачем запропонований метод обробки сідел клапанів у ГРМ)*.

### ***Публікації у фахових виданнях затверджених переліком ВАК України***

4. Кальченко В.В., Веремей Г.А. Исследование формообразования поверхностей контакта «клапан – седло» газораспределительного механизма в двигателе внутреннего сгорания // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Збірник – Чернігів : ЧДТУ, 2010, №42. – С.66-73. *(Здобувачем досліджено існуючі методи обробки поверхні контакту з'єднання клапан-сідро)*.
5. Веремей Г.А. Методы повышения качества поверхностей сопряжения деталей в двигателях внутреннего сгорания// Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Збірник – Чернігів: ЧДТУ, 2011, № 3 (51). – С.79-83.
6. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Веремей Г.О. Технологічні методи забезпечення якості з'єднання «клапан-сідро» газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання // Вісник Севастопольського національного технічного університету: Збірник – Севастополь : СевНТУ, 2011, №121. – С.18-21. *(Здобувачем здійснено аналіз методів щодо забезпечення якості з'єднання «клапан-сідро» у ГРМ)*.

**Опубліковані праці апробаційного характеру**

7. Веремей Г.А. Анализ размерных связей поверхностей контакта деталей в двигателях внутреннего сгорания / Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем/ Матеріали I міжнародної науково-практичної конференції. Чернігів: ЧДТУ, 2011. – С.88-89.
8. Кальченко В.В., Веремей Г.А. Влияние точности формообразования поверхностей сопряжения «клапан – седло» на характеристики двигателя внутреннего сгорания //Acta Universitatis Pontica Euxinus. Варна: Технологический университет, 2010, №3, т.1. – С.243-247 *(Здобувачем досліджено параметри якості деталей ГРМ у ДВЗ).*
9. Кальченко В.И., Кальченко В.В., Веремей Г.А. Технологические методы достижения точности сопряжения «клапан-седло» в двигателе внутреннего сгорания // Материалы XIV - ой международной научно - технической конференции «Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы», Севастополь: СевНТУ, 2011, №121. – С.18-21 *(Здобувачем здійснено аналіз методів щодо забезпечення якості з'єднання «клапан-сідро» у ГРМ).*
10. Веремей Г.А. Усовершенствование оборудования для восстановительного ремонта сёдел клапанов в газораспределительных механизмах / Веремей Г.А. // Вісник інженерної академії України. – 2014. - № 2, С. 37-41.
11. Технологические методы достижения качества в процессах формообразования рабочих поверхностей седла клапана / Веремей Г.А. // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем/ Матеріали I V міжнародної науково-практичної конференції. Чернігів: ЧНТУ, 2014, – С.32-34.

**Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

12. Y. Zharii, H.Veremei. The geometry mathematical modeling of the overhauled valve-seat surfaces in the valve timing gear / Materials of the sixth world congress “Aviation in the XXI-st century”. Kyiv, Ukraine, 2014. – P. 17-21*(Здобувачем запропоновано математичну модель у задачі дефектації відновлюваних поверхонь сідел клапанів).*
13. Веремей Г.А. Комплексний інформаційний простір дослідження технічної системи // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси / Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції. Київ: НАУ, 2013, - С. 48-50
14. Патент України на корисну модель № 95725 МПК В23В 43/00 «Пристрій для обробки сідел клапанів» /Кальченко В. В., Гончарук С. С., Веремей Г. О.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. - (2015.01), номер заявки – и 2014 04435, опубл. 12.01.2015, бюл. № 1. *(Здобувачем удосконалено конструкцію пристрою для обробки сідел клапанів).*
15. Патент України на корисну модель № 95724 МПК В23В 47/00 «Пристосування для базування пристрою з обробки сідел клапанів»/ Гончарук С.С., Веремей Г.О.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. - (2015.01), номер заявки – и 2014 04434, опубл. 12.01.2015, бюл.№1. *(Здобувачем розроблена конструкція пристосування для базування пристрою з обробки сідел клапанів).*



## АНОТАЦІЯ

**Веремей Г.О. Підвищення ефективності процесу відновлення сідел клапанів в авторемонтному виробництві. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Чернігівський національний технологічний університет, Чернігів, 2015.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна задача підвищення ефективності процесу відновлення сідел клапанів в авторемонтному виробництві за рахунок збільшення точності і зниження трудомісткості обробки шляхом розробки нового технологічного обладнання, а також застосування більш сучасного різального інструменту і матеріалу.

На основі створених математичних моделей встановлені теоретичні залежності показників якості формоутворення при розточуванні трьох внутрішніх конічних поверхонь профільним орієнтованим інструментом від режимів обробки та запропоновано ефективний метод при вирішенні задачі дефектації сідел клапанів. За допомогою проведених експериментальних досліджень на базі розробленого авторемонтного обладнання та застосування сучасного різального матеріалу зроблені практичні рекомендації щодо підвищення точності формоутворення і зниження трудових витрат у відновлювальному ремонті сідел клапанів газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння.

**Ключові слова:** точність обробки, орієнтований інструмент, модульна математична 3D-модель, відновлювальний ремонт, задача оптимізації, процес формоутворення, процес дефектації.

## АННОТАЦИЯ

**Веремей Г.А. Повышение эффективности процесса восстановления сёдел клапанов в авторемонтном производстве. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. – Черниговский национальный технологический университет, Чернигов, 2015.

В диссертационной работе решена актуальная задача повышения эффективности процесса восстановления сёдел клапанов в авторемонтном производстве за счёт увеличения точности и снижения трудоёмкости обработки путём разработки нового технологического оборудования, а также применения более совершенного режущего инструмента и материала.

На основе созданных математических моделей установлены теоретические зависимости показателей качества формообразования при растачивании трех внутренних конических поверхностей профильным ориентированным инструментом от режимов обработки и предложен эффективный метод при решении задачи дефектации сёдел клапанов. Посредством проведённых экспериментальных исследований на базе разработанного авторемонтного оборудования и применения современного режущего материала сделаны практические рекомендации по повышению точности формообразования и снижению трудовых затрат в

восстановительном ремонте сёдел клапанов газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания.

**Ключевые слова:** точность обработки, ориентированный инструмент модульная математическая 3D-модель, восстановительный ремонт, задача оптимизации, процесс формообразования, процесс дефектации.

## ANNOTATION

**Veremey G.A. The efficiency increasing of the valve seats' overhauled process in auto repairing production. - At the rights of the manuscript.**

Dissertation for the scientific degree of candidate technical sciences, specialty 05.03.01 – machining processes, machines and tools. – Chernigiv National University of Technology, 2015.

In the dissertation work the current problem of the efficiency increasing for the valve seats' overhauled process in auto repairing production was solved. It has been implemented due to increase and labor intensity reduce of working by the development of new technological equipment, as well as better use of the cutting tool and its material.

A method of forming surfaces for the valve seat while simultaneous by copied boring of the three conical surfaces with oriented tool was proposed, the usage of which can significantly reduce the complexity of the overhauled process, eliminate manual operations of lapping and improve surface quality.

The overhauled equipment based on pneumatic bag was designed and manufactured. It improves the accuracy of the valve seats processing due to the introduction of the original design and technological solutions.

The designed equipment was introduced in the current auto repairing production and educational process of the university.

The assessment method for the worn surfaces state of the valve seat in the problem of flaw detection was proposed, which allowed to improve the accuracy and eliminate the error of the overhauled process.

The general and partial modular 3D models of: the forming process, the flaw detection problem, describe the geometry of surfaces with complicated - variable topography, optimization of processing parameters was designed.

The analytical and experimental dependences for the processing parameters on the surface quality rates were obtained. On their basis was made the practical advice on choosing the optimum cutting conditions when overhauling valve seats.

The results for precise increasing of the overhauled valve seats' process, tested on the engine with the diagnostic equipment, allowed to reach improve of the experimental engine performance.

**Keywords:** precision machining, oriented tool, modular mathematical 3D-model, overhaul, optimization problem, the process of formation, a flaw detection process.

Підписано до друку 13.08.2015. р. Формат 60x84/16.  
Папір офсетний. Друк різнографія. Умов. др. арк. 0,9.  
Тираж 100 пр. Замов. № 276/15.

---

Редакційно-видавничий відділ  
Чернігівського національного технологічного університету  
14027, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції серія ДК №4802 від 01.12.2014 р.