

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»  
Зав. кафедри ММР  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти  
на тему:  
**«Моделювання силової взаємодії штампового інструменту і обладнання під час здійснення технологічної операції»**  
**« Modelling the force interaction of stamping tools and equipment during a technological operation»**

Виконав здобувач вищої освіти  
II курсу, групи ПМ-22М-2  
спеціальності 131  
«Прикладна механіка»,  
\_\_\_\_\_ Локоцький К. А.

Керівник проекту  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Володимир МІРЗАК

Рецензент  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_

м. Кропивницький  
2023/2024

**Центральноукраїнський національний технічний університет**

Факультет: *Механіко-технологічний*

Кафедра: *«Машинобудування, мехатроніка і робототехніка»*

Рівень вищої освіти: *другий (магістерський)*

Галузь знань: *13 «Механічна інженерія»*

Спеціальність: *131 «Прикладна механіка»*

Освітньо-професійна програма: *«Прикладна механіка»*

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри ММР

канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_ Андрій Гречка

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
*Локоцькому Костянтину Анатолійовичу***

1. Тема роботи: *«Моделювання силової взаємодії штампового інструменту і обладнання під час здійснення технологічної операції».*

2. Керівник роботи: *Мірзак Володимир Якович, к. т. н., доцент.*

3. Строк подання роботи до захисту: *30 грудня 2023 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.

Мета: підвищення якості листового штампування шляхом удосконалення пристроїв компенсації системи «прес-штамп».

Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; розробити методику експериментальних досліджень; виконати експериментальні дослід-

ження та провести аналіз отриманих результатів; виконати розрахунки з економічної частини.

5. Консультант по роботі, із зазначенням розділу роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
№ 5 «Економічна частина»	Савеленко Г. В., к. т. н., доцент.	3.09.2023 р.	24.12.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2023 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	25.10.2023 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	15.12.2023 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	10.01.2024 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	11.01.2024 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	12.01.2024 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	23.01.2024 р.– 30.01.2024 р.	

Дата видачі завдання  
30 серпня 2023 р.

Підпис керівника  
\_\_\_\_\_ Мірзак В. Я.

Завдання прийнято до виконання  
30 серпня 2023 р.

Підпис здобувача  
\_\_\_\_\_ Локоцький К. А.

Завдання прийняв до виконання

К. А. Локоцький

## АНОТАЦІЯ

Локоцький К. А. «Моделювання силової взаємодії штампового інструменту і обладнання під час здійснення технологічної операції», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Метою дослідження є підвищення якості листового штампування шляхом удосконалення пристроїв компенсації системи «прес-штамп». Виконано експериментальне дослідження напружено-деформованого стану штампів під дією технологічного зусилля і різних варіантів його закріплення і налагодження. Встановлено, що найменший вигин пуансону відбувається при закріпленні нижньої частини штампів на пристрої компенсації, який використовується замість підштампової плити. Оптимальний діапазон рухомості компенсатора між його рухомими і нерухомими елементами визначена при зазорі 1 мм.

Виконано моделювання напружено-деформованого стану окремих компонентів компенсатора похибок системи «прес-штамп» методом кінцевих елементів в розрахунковому пакеті Simulation CAD SolidWorks для преса 0,4 МН в умовах його номінального зусилля. Встановлено, що прогин та напруження нижньої нерухої плити компенсатора з підп'ятником, при номінальному зусиллі навантаження преса, значно більші ніж на підштамповій плиті преса.

Розроблено технічні рішення по модернізації компенсатора похибок системи «прес-штамп». Запропоновано спосіб зменшення прогину нижньої нерухої плити компенсатора над провальним фігурним отвором в столі преса, шляхом накладення в зону інтенсивних деформацій зустрічного зусилля підпору.

Ключові слова: **якість штампування, система «прес-штамп», технологічний зазор, пристрій, компенсація похибок, напруження, деформація, штамп, пуансон.**

## ANNOTATION

Lokotskyi K. "Modeling the Force Interaction of the Stamp Tool and Equipment during Technological Operations," specialty 131 "Applied Mechanics," study program - "Applied Mechanics," Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

The aim of the research is to improve the quality of sheet metal stamping by enhancing the devices of the "press-stamp" compensation system. An experimental study of the stress-strain state of the stamp under the influence of technological forces and various options for its fixation and adjustment has been conducted. It was found that the smallest deflection of the punch occurs when the lower part of the stamp is fixed on the compensation device, which is used instead of the press plate. The optimal range of compensator mobility between its moving and fixed elements is determined at a gap of 1 mm.

Modeling of the stress-strain state of individual components of the compensator errors in the "press-stamp" system was performed using the finite element method in the Simulation CAD SolidWorks package for a press with a nominal force of 0.4 MN under its nominal load conditions. It is established that the deflection and stress on the lower fixed plate of the compensator with a heel, under the nominal load of the press, are significantly higher than on the press plate.

Technical solutions for modernizing the compensator of the "press-stamp" system errors have been developed. A method of reducing the deflection of the lower fixed plate of the compensator above the punch hole in the press table is proposed by applying counterforce in the zone of intense deformations.

Keywords: **stamping quality, press-stamp system, technological gap, device, error compensation, stress, deformation, stamp, punch.**

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	
Розділ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
1.1 Види похибок і фактори, що впливають на систему «прес-штамп».....	
1.2 Аналіз засобів компенсації похибок системи «прес-штамп» .....	
Висновки .....	
Розділ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ....	
2.1. Програма досліджень .....	
2.2 Вибір методів досліджень .....	
2.3 Методика дослідження ефективності роботи схем компенсації.....	
2.4 Оцінка достовірності отриманих даних.....	
2.5 Техніка безпеки при виконанні навчальних та науково-дослідних робіт.....	
Розділ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ КОМПЕНСАЦІЇ ПОХИБОК СИСТЕМИ "ПРЕС-ШТАМП".....	
3.1 Аналіз існуючих схем компенсації.....	
3.2 Розробка класифікатора схем компенсації похибок системи "прес-штамп".....	
Розділ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ СХЕМ КОМПЕНСАЦІЇ ПОХИБОК СИСТЕМИ "ПРЕС-ШТАМП".....	
4.1 Дослідження зміщення осей інструмента при встановленні та закріпленні штампа на пресі для різних схем компенсації.....	
4.2 Дослідження деформації напрямних і робочих деталей штампу в залежності від зусилля штампування і схеми компенсації.....	
4.3 Дослідження по встановленню оптимальної ступені рухомості компенсатора.....	
4.4 Моделювання напружено-деформованого стану елементів пристроїв компенсації.....	
Висновки .....	
Розділ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	
5.1 Розрахунок витрат на виконання госпрозрахункової науково-дослідної роботи.....	
5.2 Розрахунок договірної ціни та прибутку НДР.....	

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....

ДОДАТКИ .....

Додаток А. Приклад звіту щодо моделювання деформаційної картини нижньої плити компенсатора який реалізовувався із застосуванням розрахункового модуля САПР SolidWorks.....

Додаток Б. Довідка про доповідь на конференції.....

Додаток В. Плакати.....

## ВСТУП

### Актуальність теми

В галузях точного машинобудування, приладобудування, радіо та електроніки найбільша частина деталей виготовляється з матеріалів товщиною до 1 міліметра. При цих товщинах технологічний процес розділення матеріалу стає надто чутливим до впливу зовнішніх та внутрішніх чинників і вимагає постійного контролю для своєчасного втручання.

Висока ефективність у вдосконаленні технологічних процесів розділення матеріалу досягається при масовому виробництві. Наймасовішими деталями з жорсткими допусками на розміри та високими вимогами до якості є різноманітні пластини магнітопроводів у вузлах електромашин. З урахуванням сучасного стану інструментального виробництва вдається виготовляти високоточні штампи, але їхні технічні та якісні параметри не завжди стабільні. Великий відсоток браку, надмірне використання металу на оснащення, потреба у частому ремонті штамів та необхідність, в деяких випадках, обробки деталей на металорізальних верстатах після штампування – це проблеми з якими часто стикаються у виробничому середовищі.

Оскільки підсистема "штамп" входить у склад системи "прес-штамп", на неї впливають як внутрішні, так і зовнішні фактори. Внутрішні фактори, в основному пов'язані з проблемами інструментального виробництва і не є об'єктом дослідження в даній роботі. Основним джерелом зовнішніх факторів є інша підсистема - "прес", на яку припадає приблизно 40% впливу всіх інших факторів. Як правило, ці фактори є результатом силової взаємодії штампового інструменту і обладнання під час здійснення технологічної операції.

Існують різні методи зменшення (компенсації) впливу різноманітних похибок на штампове оснащення, такі як застосування пристроїв, які ми називаємо компенсаторами похибок системи "прес-штамп". Однак ці пристрої також не є ідеальними з точки зору ефективності. Їхнє різноманіття вимагає

подальшого уточнення особливостей їх застосування та класифікації. Таким чином, дослідження в цьому напрямку є актуальним і має практичне значення.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дослідження виконувалися на підставі внутрішньовузівської науково-дослідної роботи «Підвищення якості тонколистового розділового штампування механічним компенсатором похибок системи прес-штамп» (№ ДР 0113u003618), в якій автор брав участь як виконавець.

### **Мета і задачі дослідження**

Мета дослідження – підвищення якості листового штампування шляхом удосконалення пристроїв компенсації системи «прес-штамп».

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені наступні задачі:

- проаналізувати вплив похибок системи “прес-штамп” на експлуатаційні показники штампового оснащення;
- виконати аналіз засобів компенсації похибок системи прес-штамп;
- розробити класифікатор схем компенсації похибок системи прес-штамп;
- розробити методику експериментального дослідження по виявленню напружено-деформованого стану штампа під дією технологічного зусилля;
- виконати експериментальне дослідження напружено-деформованого стану штампа під дією технологічного зусилля;
- виконати моделювання напружено-деформованого стану окремих елементів пристроїв компенсації похибок системи “прес-штамп” для відкритого кривошипного преса номінальним зусиллям 0,4 МН в САПР SolidWorks;
- розробити технічні рішення по модернізації компенсатора похибок системи "прес-штамп".

*Об'єкт дослідження* – система "прес-штамп".

*Предмет дослідження* – експлуатаційні показники штампного оснащення в умовах силової взаємодії штампного інструменту і обладнання під технологічним навантаженням із застосуванням пристроїв компенсації похибок системи «прес–штамп».

*Методи дослідження:* Експериментальні дослідження проводилися методами прямих вимірів з використанням тензометричної апаратури. Для моделювання деформаційного стану елементів пристроїв компенсації використовувався метод кінцевих елементів, який реалізовувався із застосуванням розрахункового модулю Simulation CAEP SolidWorks.

**Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:**

1. Отримала подальший розвиток систематизація пристроїв компенсації похибок системи «прес-штамп», що сприяє більш обгрунтованому вибору оптимальних комбінацій їх елементарних ланок;

2. Отримало подальший розвиток встановлення особливостей роботи пристроїв компенсації, розподілу полів напружень та переміщень в нижній плиті пристрою компенсації похибок системи «прес-штамп» в контакті з поверхнею стола преса, що має фігурний отвір, під час навантаження номінальним зусиллям преса через сферичний підп'ятник, що дозволило виявити раніше невраховані чинники процесу та їх поєднання, які дозволяють керувати величиною напружень і переміщень в осередку пружної деформації.

**Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:**

1. Запропоновано модернізовану конструкцію компенсатора похибок системи «прес-штамп», яка відрізняється тим, що забезпечений оптимальний зазор між рухомими та нерухомими деталями компенсатора та застосовані мікрометричні упорні гвинти на обмежувачах переміщень.

2. Запропоновано спосіб зменшення прогину нижньої плити над провальним фігурним отвором в столі преса, шляхом накладення в зону інтенсивних деформацій зусилля підпору.

### **Апробація результатів магістерської роботи**

Основні результати дослідження доповідалися на науково-технічній конференції студентів ЦНТУ у 2023 році. Тема доповіді: Використання САПР SolidWorks при проектуванні елементів штампового оснащення.

### **Публікації**

За результатами роботи готуються матеріали для подання заявки на корисну модель.

### **Структура та обсяг роботи**

Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку використаних джерел із 24 найменувань. Повний обсяг роботи становить сторінок, включаючи рисунки та таблиці.

## ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Види похибок і фактори, що впливають на систему «прес-штамп»

Вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на систему «прес-штамп» при виконанні розділових операцій досліджувався в багатьох роботах. Найбільш детально їх сукупність, взаємозв'язок та пріоритетність розглянуто в роботі [1].

Якщо узагальнити цю інформацію то основними з них будуть наступні: зазор між матрицею та пуансоном і рівномірність його розподілу за контуром; рід матеріалу і його стан, які впливають на його пружні деформації; неоднорідність листового металу за товщиною і механічними властивостями (анізотропія); конфігурація і розміри деталей; конструкція штампа і спосіб фіксації заготовки; структура технологічного процесу (кількість і послідовність операцій); форма і нахил провального отвору матриці; точність виготовлення штампа, від якої залежить початкова точність деталей, що штампуються; знос штампа, який визначає кінцеву точність деталей; конструкція і стан пресу (жорсткість станини, ступінь зносу вузлів пресу, точність направлення повзуна пресу тощо); умови роботи, а також помилки оператора.

Складність аналітичного визначення сумарної похибки полягає в тому, що майже всі з перерахованих факторів є комплексними, тобто складаються з ряду елементарних, і деякі з них взаємопов'язані. Найбільш суттєвими є технологічний зазор та фактори, які впливають на його зміну в процесі виконання розділової операції [2, 3].

При виборі зазору необхідно прагнути до встановлення його оптимальної величини, при якій задовольняються основні чотири умови якісного розділового штампування, а саме: найменше технологічне зусилля, висока якість поверхні зрізу виробу, найвища точність штампування та, як наслідок, найбільш висока стійкість штампа. Складність визначення

оптимального зазору полягає в тому, що для кожного матеріалу і для кожної товщини заготовки він має своє певне значення. Визначається оптимальний зазор, як із застосуванням емпіричних даних в процентній залежності від товщини матеріалу, так і розрахунковими методами [4, 5]. Слід відмітити, що спостерігається достатньо велика розбіжність результатів щодо визначення оптимального зазору різними методами.

Існує однакова думка багатьох авторів щодо характеру впливу зазору на зміну розмірів деталей. Встановлено, що для різних матеріалів існує визначена оптимальна величина зазору, при якій відхилення розмірів штампованої деталі мінімальні. Так, в роботах [4, 6] досліджено вплив величини зазору на відхилення розмірів отворів в деталях для сталей Э12, Э11, 08кп і ЭО100 товщиною  $S = 0,5$  мм. Встановлено, що для кожної сталі існує свій оптимальний зазор при якому відхилення розмірів мінімальні (рис. 1.1).

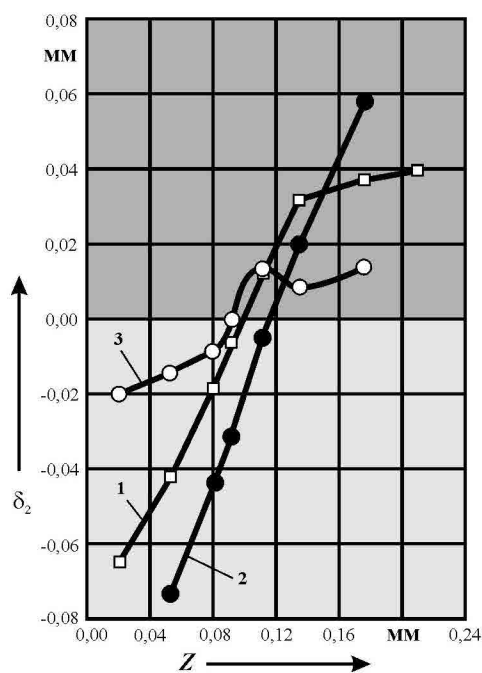


Рис. 1. 1 Залежність відхилення розмірів отворів  $\delta_2$  від зазору  $Z$  для деталей із різних сталей: 1 - Э12; 2 - Э11; 3 - 08кп та ЭО100

Позитивним відхиленням розмірів деталі при вирубіванні (збільшенню розмірів) відповідають менші значення зазорів, а негативним – більші значення. При пробиванні отворів має місце зворотна залежність.

В роботі [7] відзначається, що залежності відхилень розмірів деталей при вирубіванні  $\delta_1$ , і отворів при пробиванні  $\delta_2$  від величини зазору  $Z$  мають загальний характер. Більшість кривих наближується по виду до кубічної

параболи.

Як вже було сказано вище, процес розділення матеріалу в кожному конкретному випадку проходить не стабільно. Оптимальний технологічний зазор після виготовлення штампі може змінюватися в процесі виконання технологічної операції. Оптимальний зазор можна представити як сукупність чотирьох складових:

$$Z = Z_0 + e_1 + e_2 + \Delta Z_{zn}, \quad (1.1)$$

де:  $Z_0$  – оптимальний (початковий) зазор;  $e_1$  – величина зміни зазору при закріпленні штампі на пресі;  $e_2$  – динамічна складова зміни зазору, що залежить від експлуатаційних показників преса;  $\Delta Z_{zn}$  – величина зміни зазору за рахунок зносу пуансона та матриці.

Джерелами зміни величин  $e_1$  та  $e_2$  можуть бути пружні та теплові деформації робочих деталей штампі та похибки пресового обладнання, вплив яких буде залежати від жорсткості штампівого блоку та схеми його кріплення. Наслідки цих змін також відбиваються на якісних параметрах деталі. Так, наприклад, по даним роботи [6] оптимальний зазор, вибраний для конкретного матеріалу в процесі вирубування-пробивання змінюється із-за похибок системи "прес-штамп" на 10-12 % . Це приводить до розсіювання зовнішніх і внутрішніх розмірів деталі на 10-15 % і зміщенню осей вирубаного контуру і пробитого отвору.

В роботі [8] досліджено вплив зниження точності пресу на форму заготовки, що вирубується. Було встановлено, що некруглість заготовки і остаточне радіальне напруження зі збільшенням ексцентриситету пуансона зростають.

Слід відмітити, що суттєво впливає на нерівномірність зазору між розділовими пуансоном та матрицею конструкція пресу. Широке застосування отримали кривошипні відкриті преси з С-подібною станиною. Однак, поряд з їх

перевагами (менша металоємність та зручність обслуговування), вони мають суттєвий недолік – низьку жорсткість станини. В момент здійснення технологічної операції спостерігається згинання і розкриття станини, що приводить до зміни напрямку руху повзуна і зміщенню робочих деталей штампа в горизонтальному напрямку. Крім того, відбувається складне переміщення повзуна в напрямних станини, викликане наявністю зазорів між напрямними повзуна і станини, що додатково може збільшувати загальну похибку обладнання. При наближенні технологічного зусилля до номінального зусилля преса горизонтальне зміщення робочих деталей штампа може бути порівняно з величиною технологічного зазору між пуансоном і матрицею. Така суттєва зміна зазору, в свою чергу, приводить до збільшення поля розкиду розмірів деталей і зниженню їх точності. Докладно ці процеси розглянуті в роботі [9].

Автор роботи спробував систематизувати основні похибки пресів, поділивши їх на геометричні похибки і похибки обумовлені пружними деформаціями преса. та запропонував структуру точності пресів (рис. 1,2).

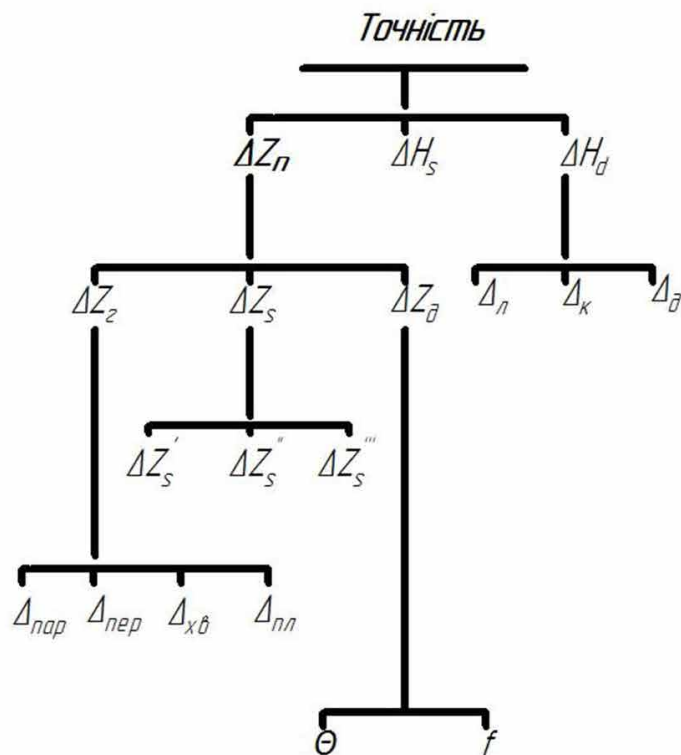


Рисунок 1.2 – Структура точності преса

Розшифровка позначень на рис. 1.2 наведена нижче:

$\Delta Z_n$  – неспіввісність пуансонів і матриць штампа, обумовлена геометричними похибками преса, зазорами між його напрямними і пружними деформаціями;

$\Delta H_d$  – вертикальне переміщення пуансонів відносно матриць штампа внаслідок пружних деформацій преса;

$\Delta H_s$  – вертикальне переміщення пуансонів відносно матриць штампа внаслідок зазорів у підшипниках;

$\Delta Z_z$  – неспіввісність, яка визначається похибками положенням повзуна відносно столу в ненавантаженому стані;

$\Delta Z_S$  – неспіввісність, яка обумовлена зазорами між напрямними преса;

$\Delta Z_\delta$  – неспіввісність, яка обумовлена пружними деформаціями преса;

$\Delta_{нар}$  – похибка непаралельності нижній поверхні повзуна поверхні столу;

$\Delta_{пер}$  – похибка неперпендикулярності переміщення повзуна до поверхні столу;

$\Delta_{x\epsilon}$  – похибка неперпендикулярності осі отвору під хвостовик до поверхні столу;

$\Delta_{ni}$  – похибка неплщинності поверхні стола (увігнутість).

$\Delta Z'_s$  – неспіввісність пуансонів і матриць, яка обумовлена горизонтальним переміщенням повзуна в межах зазору між напрямними повзуна і станини;

$\Delta Z''_s$  – неспіввісність пуансонів і матриць, яка обумовлена обертанням повзуна навколо вертикальної осі в межах зазору між напрямними повзуна і станини;

$\Delta Z'''_s$  – неспіввісність пуансонів і матриць, яка обумовлена перекосами повзуна у вертикальній площині в межах зазору між напрямними повзуна і станини;

$\Delta_x$  – деформація на лінійній частині характеристики жорсткості;

$\Delta_k$  – деформація на криволінійній частині характеристики жорсткості;

$\Delta_\rho$  – деформація від динамічних сил.

$f$  – горизонтальне поступальне переміщення пуансонів штампа відносно матриць, яке обумовлене пружними деформаціями деталей пресів під технологічним навантаженням;

$\theta$  – обертальне переміщення пуансонів штампа відносно матриць на величину кутової деформації, яке обумовлене пружними деформаціями деталей пресів під технологічним навантаженням;

Тобто в загальному вигляді  $\Delta Z_n$ , можна представити як:

$$\Delta Z_n = f(\Delta Z_e, \Delta Z'_s, \Delta Z''_s, \Delta Z'''_s, \Theta, f). \quad (1.2)$$

Більш наочно механізм виникнення похибок, які розглядаються, представлено на рисунках 1.3 – 1.10.

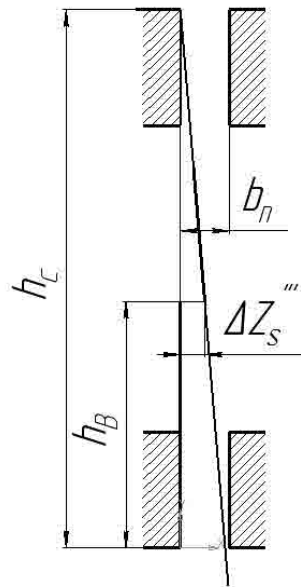


Рисунок 1.3 – Схема перекосу повзуна у напрямних станини (до розрахунку неспіввісності  $\Delta Z_s'''$ )

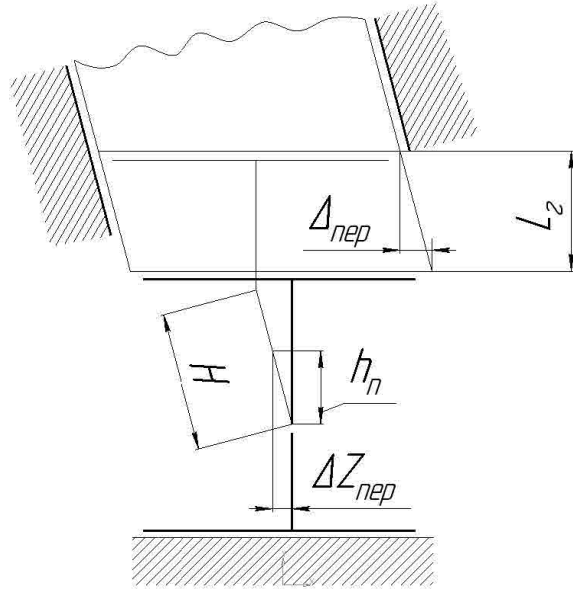


Рисунок 1.4 – Схема неперпендикулярності ходу повзуна до поверхні стола пресу (до розрахунку неспіввісності  $\Delta Z_{nep}$  )

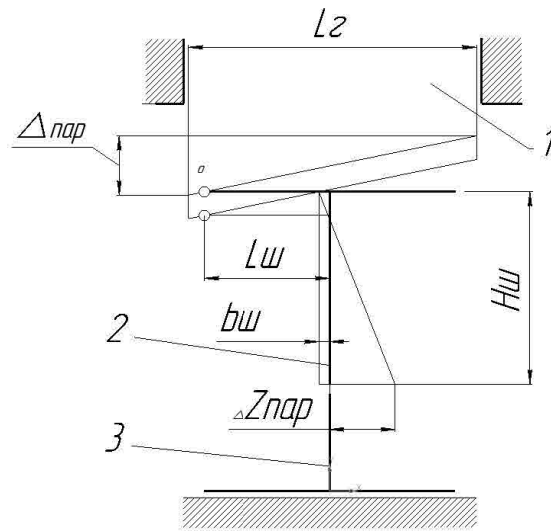


Рисунок 1.5 – Схема непаралельності поверхні повзуна до поверхні стола пресу (до розрахунку неспіввісності  $\Delta Z_{nap}$  )

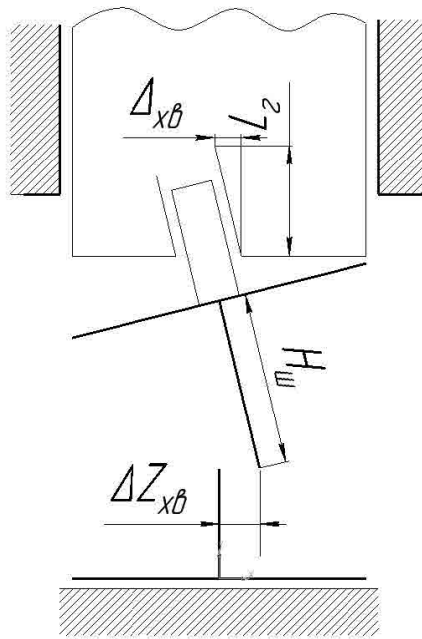


Рисунок 1.6 – Схема неперпендикулярності осі отвору під хвостовик в повзуні до поверхні стола пресу (до розрахунку неспіввісності  $\Delta_{x\beta}$  )

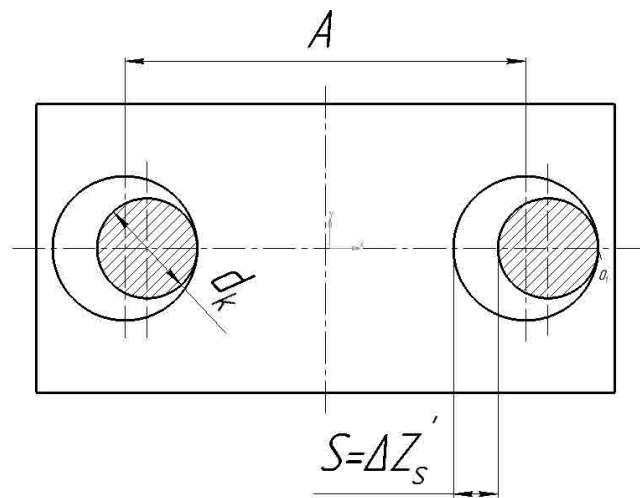


Рисунок 1.7 – Схема до розрахунку неспіввісності  $\Delta Z'_s$  для пресів з циліндричними напрямними (з нижнім приводом)

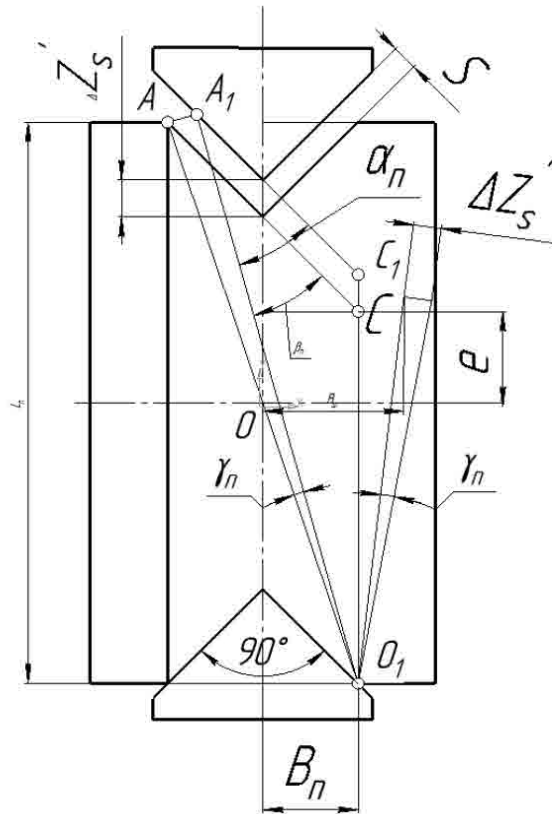


Рисунок 1.8 – Схема до розрахунку неспіввісності  $\Delta Z'_s$  і  $\Delta Z''_s$  для пресів з призматичними напрямними і при обертанні повзуна навколо точки  $O_1$

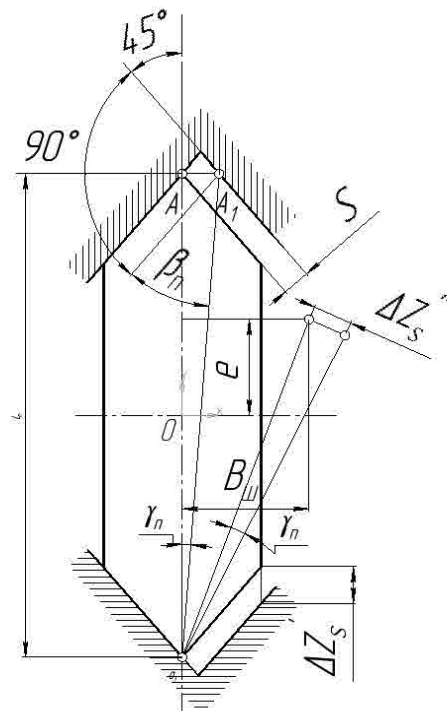


Рисунок 1.9 – Схема до розрахунку неспіввісності  $\Delta Z'_s$  і  $\Delta Z''_s$  для пресів з призматичними напрямними і при обертанні повзуна навколо точки  $O$

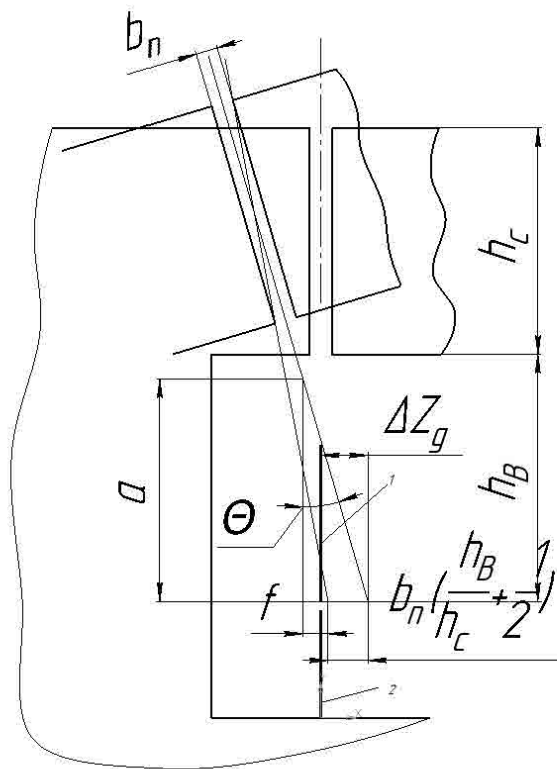


Рисунок 1.10 – Схема до розрахунку неспіввісності  $\Delta Z_g$  для пресів з призматичними напрямними під технологічним навантаженням

Як видно з представлених схем існує достатньо велика кількість похибок зі сторони підсистеми «прес», які суттєво можуть впливати на роботоздатність підсистеми «штам». Звісно, що є варіанти зменшення впливу цих похибок. Один з варіантів, це підвищення жорсткості пресового обладнання, зокрема станин відкритих кривошипних пресів. Наприклад, в роботі [10] для порівняння різних типів станин були досліджені два відкритих преса з номінальним зусиллям 600 кН. Один із пресів мав зварну станину, інший – литу. Із результатів дослідження видно, що деформація зварної станини при навантаженні 180 кН склала 0,84 мкм/кН, литої – 1,51 мкм/кН. Проводились також заміри динамічних характеристик при пробиванні отворів з зусиллям до 380 кН. Відзначається, що в момент розділу матеріалу, коли зусилля швидко падає до нуля, повзун, в наслідок відсутності опору матеріалу, переміщується далі із значно більшою швидкістю на відстань від 15 до 320 мкм. Потім станина коливається з частотою вільних коливань із амплітудою, яка поступово

зменшується до нуля. Амплітуда коливань при зусиллі пробивання 500 кН складає 500 мкм. Частота вільних коливань в горизонтальній площині для пресу зі зварною станиною складає 345 Гц, а в вертикальній площині 575 Гц. Для пресу з литою станиною частота коливань буде 319 Гц і 218 Гц відповідно. Горизонтальне зміщення осі пуансона на площині стола при зусиллі 500 кН складо: для преса зі зварною станиною – 0,2 мм; для преса з литою станиною – 0,48 мм. Вказується, що величина горизонтального зміщення залежить від зусилля, і також від зазорів в підшипниках та від деформації штампів.

З метою підвищення точності пресового обладнання розроблені конструкції пресів з прецизійним напрямним: між напрямними повзуна і станини розташовані кульки або ролики з попереднім натягом. Наявність такого напрямлення значно знижує перекося повзуна в напрямних. Однак, зміщення повзуна преса спостерігається і в цьому випадку, так як деформація елементів кочення може бути значною. Крім того, прецизійне напрямлення не знижує похибку, викликану розкриттям станини преса.

Автор роботи [9] запропонував модернізацію вузла повзуна з застосуванням *H*-подібних циліндричних напрямних. Така модернізація не дає бажаного результату, так як *H*-подібні напрямні виконані з зазорами за посадкою ковзання і їх жорсткість недостатня для усунення перекосів, викликаних розкриттям станини.

Одним із способів підвищення жорсткості відкритих пресів є встановлення на них стяжних шпильок. Однак, наявність стяжних шпильок утруднює доступ в робочу зону преса і не усуває перекося повзуна в напрямних. Збільшення жорсткості відкритого пресу до нульового розкриття станини, в момент максимального технологічного зусилля, практично неможливе, внаслідок різкого зростання його металоємності. Так в роботі [11] відзначається, що для забезпечення нульового занурення пуансона в матрицю після розділення матеріалу жорсткість існуючих відкритих пресів повинна бути збільшена в 10 разів.

Tomselt W. [12] висуває в якості умови нормального зносу штампів при

вирубіванні пружне деформування станини повинно бути не більш 0,025 мм на 100 мм довжини напрямної станини при максимальному зусиллі.

Жорсткість штампного блоку залежить від типу, розташування та розмірів напрямних елементів і товщини нижньої та верхньої плит. В роботі [13] рекомендується компенсувати поперечні сили від технологічної операції і перекосу повзуна, що викликають зміщення розділового пуансона відносно матриці, шляхом варіювання кількістю, розташуванням та розмірами напрямних вузлів. Але ці рекомендації здебільшого відносяться до універсально-складальних переналагоджуваних штамів.

Напрямок робочих деталей штамів у процесі штампування може здійснюватися за допомогою: напрямних вузлів ковзання; напрямних вузлів кочення; напрямних циліндрів; проміжних напрямних плит; жорсткого знімача.

Кількість нормалізованих напрямних вузлів обмежується чотирма, хоча при проектуванні спеціальних штамів їх кількість досягає 16 і більше. При тонколистовому розділовому штампуванні використовують блоки: з осьовим розташуванням напрямних вузлів, з діагональним розташуванням напрямних вузлів та з чотирма напрямними вузлами. В прецизійних штампах часто використовують зустрічний тип напрямних вузлів.

Встановилася узвичаєна думка, що при проектуванні прецизійних штамів, особливо для тонколистового матеріалу, необхідно використання беззазорних напрямних вузлів кочення. Проте, у деяких роботах відзначається протилежна точка зору. Так І. Міккерс [14], на підставі досліджень щодо визначення зсуву пуансона при вирівнуванні на механічному пресі, робить висновок, що кулькові напрямні вузли не зменшують зсув у порівнянні з напрямними вузлами ковзання. У роботі [15] також відзначається, що більш жорсткий зв'язок повзуна преса і штампного блоку може викликати більший горизонтальний зсув різучих кромки робочих деталей штампа.

Зміна розмірів штампованих деталей, що викликається зносом робочих кромки пуансона і матриці (а отже і технологічного зазору), дуже істотна. Зубцов М. Е. [7] відзначає, що за період між двома переточуваннями (18...30

тис. деталей) знос робочих кромок викликає зсув центрів розподілу розмірів на 0,01-0,015 мм, а за весь термін експлуатації інструмента (350...450 тис. деталей) – на 0,1-0,12 мм.

Знос впливає на кінцеву точність партії деталей, тобто до моменту закінчення штампування спостерігається як зсув центру групування розмірів, так і збільшення розкиду розмірів.

Фактори які впливають на знос штампового інструмента та якість деталей практично однакові. До розглянутих вище факторів можна додати тип мастила або покриття, яке використовується при штампуванні, та вихідний стан поверхні робочих частин і їх термообробка.

На основі розглянутої вище інформації можна констатувати, що на сьогоднішній день не існує достатньо надійного способу забезпечення рівномірності технологічного зазору між робочими деталями штампа і дослідження в цьому напрямку повинні бути продовжені.

Забезпечення прийнятних експлуатаційних показників штампового оснащення є комплексною проблемою. Її успішне вирішення можливе лише тоді, коли питання якості, продуктивності і економічності розглядаються у взаємному зв'язку на всіх етапах виготовлення виробу: при розробці принципів схем і виконанні розрахунково-конструкторських робіт, проектуванні і здійсненні технологічних процесів на всіх стадіях виробництва, при проектуванні і виготовленні засобів вимірювання і контролю.

При дослідженні і розрахунку складових загальної похибки процесу тонколистового розділового штампування їх можна звести до наступних трьох основних груп: «прес-штамп-деталь» (ПШД).

Найбільш повне загальне уявлення сукупності дій похибок на втрату якості штампованих деталей надає діаграма причино-наслідкових зв'язків втрати якості при тонколистовому розділовому штампуванні (рис. 1.11), що побудована за принципом відомої діаграми Ісікави [1]. Запропонована діаграма дозволяє не тільки систематизувати причини втрати якості, але й показує їх взаємозв'язок, дозволяє оцінити відсотковий вплив головних джерел

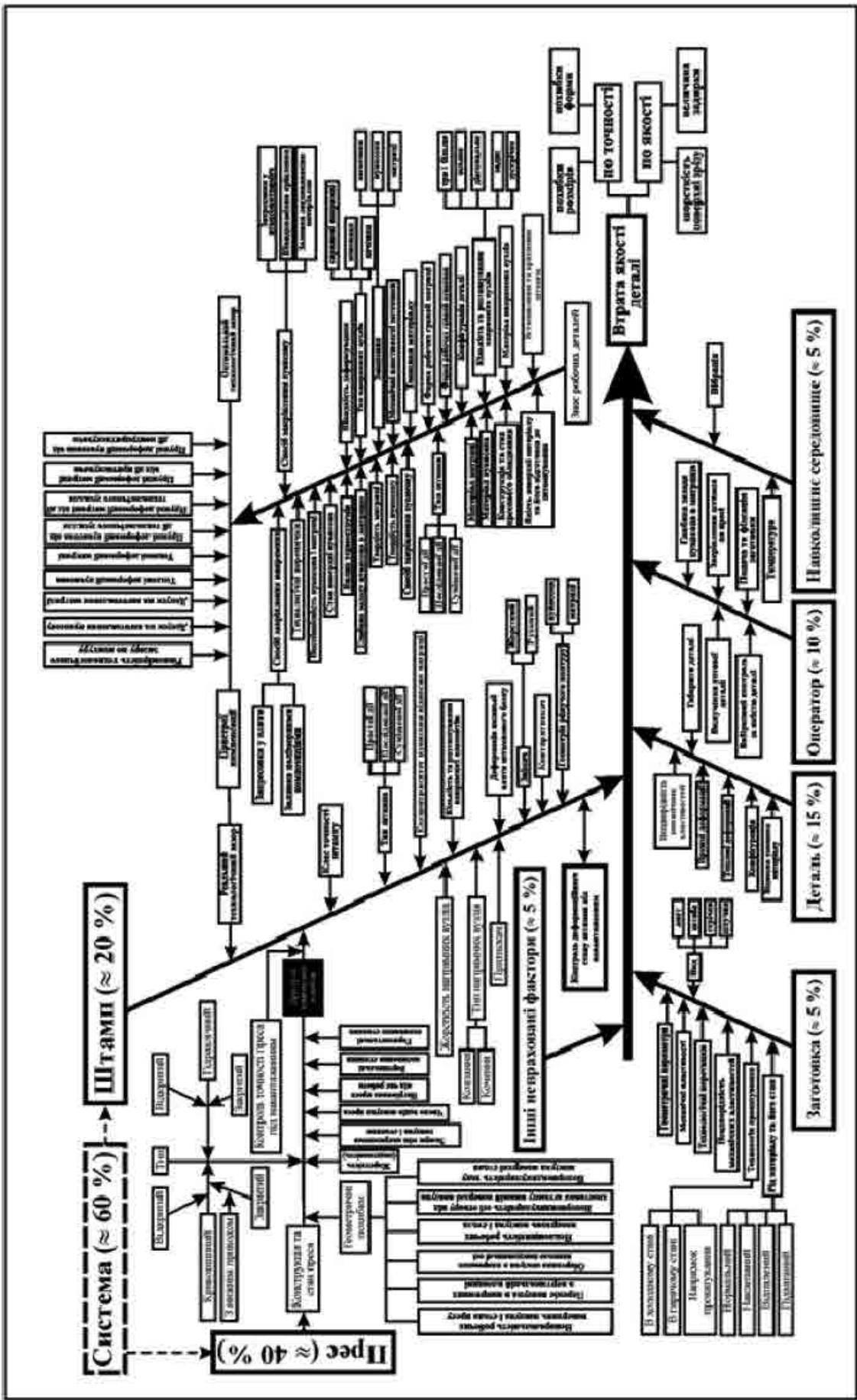


Рисунок 1.11 – Діаграма причинно-наслідкових зв'язків втрати якості

похибок, а також вказує на шляхи ефективного підвищення якості тонколистового розділового штампування, які розглядаються нижче. Із діаграми видно, що джерелом 60 % похибок, які впливають на якість тонколистового розділового штампування, є інструмент (штамп) та пов'язаний з ним прес. Вони утворюють систему «прес-штамп», що потребує компенсації похибок.

## **1.2 Аналіз засобів компенсації похибок системи «прес-штамп»**

З метою компенсації розглянутих вище похибок системи «прес-штамп» для розділових операцій розроблено різноманітну номенклатуру засобів та пристроїв, які відрізняються як за принципом дії, так і за розташуванням в даній системі.

Плаваючи хвостовики пропонується застосовувати на штампах підвищеної та високої точності. Найбільш поширена конструкція плаваючого хвостовика наведена в роботі [16]. Хвостовик має п'ять ступенів свободи, тобто має можливість значно знизити вплив кутових і горизонтальних зміщень повзуна преса при виконанні розділових операцій. Основні недоліки цієї конструкції – достатньо великі сили тертя між підп'ятником та поверхнею верхньої плити штампового блоку і неможливість виставити рівномірний зазор між бічною циліндричною поверхнею хвостовика і фланця при закріпленні штампа на пресі, що практично зводить нанівець його здатність до компенсації. В альтернативних конструкціях плаваючих хвостовиків була зроблена спроба усунути ці недоліки, але як правило за рахунок обмеження їх технологічних можливостей. Універсальної конструкції так і не було запропоновано, а методики вибору оптимального варіанту із великої кількості існуючих пристроїв не існує.

Для зменшення пружних деформацій у вузлах преса застосовуються пружні компенсатори похибок системи «прес-штамп» на основі еластомірів [17, 18], які розміщують між опорними поверхнями повзуна та верхньої плити

штампа. Їх конструкції відрізняються простотою та незначними матеріальними витратами на виготовлення. Але вони мають дуже обмежену область використання за технологічним зусиллям та технологічними операціями холодного листового штампування, а тому не є універсальними.

Механічні компенсатори похибок обладнання виконують теж призначення, що і плаваючі хвостовики, але істотно відрізняється по принципу дії і розташуванню в системі "прес-штамп". Якщо плаваючі хвостовики розміщуються на верхній плиті штампа, то компенсатори можуть розташовуватись на верхній і нижній плитах штампа та під нижньою плитою, вмонтовуватись в пакет, встановлюватись на стіл преса замість підштампової плити, або розміщатись між повзуном і верхньою плитою штампового блока. Тут також спостерігається велика різноманітність конструкцій, але більшість з них має спеціальне призначення. До універсальних слід віднести пристрої компенсації які встановлюються на стіл преса замість підштампової плити [19, 20]. Відзначається, що їх застосування підвищує стійкість штампового оснащення на розділових операціях в 2,5...3 рази [21]. Вважається, що пристрої компенсації також позитивно впливають на початкову точність штампованих деталей, але інформація про порівняльні дослідження в цьому напрямку практично відсутня. Крім того, є суттєві резерви поліпшення експлуатаційних показників існуючих конструкцій.

Таким чином, проведений аналіз засобів компенсації похибок системи «прес-штамп» дозволяє констатувати:

- питання керування експлуатаційними показниками штампового оснащення в умовах силової взаємодії підсистем «прес» та «штамп» на підприємствах різних галузей господарства досліджені недостатньо;

- потребується подальше вдосконалення засобів компенсації в напрямку обґрунтування вибору типу пристрою компенсації, оптимізації його геометричних параметрів із забезпеченням показників міцності робочих деталей та універсальності застосування.

## **Висновки і постановка задач**

Отже на основі аналізу вище наведеного матеріалу можна зробити наступні висновки:

- на штампове оснащення під час виконання технологічної операції діє велика кількість зовнішніх факторів (похибок), більшість з яких приходиться на пресове обладнання;

- існують засоби для компенсації цих похибок, але для підвищення ефективності своєї дії, вони потребують подальшого дослідження та вдосконалення;

- існуючі методики розрахунку пристроїв компенсації потребують подальшого вдосконалення. Крім того, в них не враховується жорсткість опорних нижніх плит.

На підставі викладеного вище, головним напрямком дослідження є підвищення експлуатаційних показників штампового оснащення в умовах його силової взаємодії з елементами обладнання.

З цією метою необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати вплив похибок системи “прес-штамп” на експлуатаційні показники штампового оснащення;

- виконати аналіз засобів компенсації похибок системи прес-штамп;

- розробити класифікатор схем компенсації похибок системи прес-штамп;

- розробити методику експериментального дослідження по виявленню напружено-деформованого стану штампа під дією технологічного зусилля;

- виконати експериментальне дослідження напружено-деформованого стану штампа під дією технологічного зусилля;

- виконати моделювання напружено-деформованого стану окремих елементів пристроїв компенсації похибок системи “прес-штамп” для відкритого кривошипного преса номінальним зусиллям 0,4 МН в САПР SolidWorks;

- розробити технічні рішення по модернізації компенсатора похибок системи "прес-штамп".

## **МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **2.1 Програма досліджень**

В відповідності до рішення поставлених задач програма досліджень формулюється наступним чином:

- дослідити зміщення осей інструмента при встановленні та закріпленні штампа на пресі для різних схем компенсації;
- визначити деформації напрямних і робочих деталей штампу в залежності від зусилля штампування і схеми компенсації;
- для обраної за ознакою мінімальної деформації вигину пуансону схеми провести випробування компенсатора з метою встановлення її оптимальної ступені рухомості.

### **2.2 Вибір методів досліджень**

Деформаційні та коливальні процеси в системі “прес-штамп” мають певну специфіку. Деталі і вузли системи працюють при змінних динамічних навантаженнях і мають складну геометричну форму. Теоретичні методи розрахунку деформацій та напружень засновані на ряді припущень і не відображають точної картини їх розподілу по елементам конструкції. Альтернативу їм складають експериментальні методи досліджень, які дозволяють встановити картину напруженого стану деталей з невеликими похибками.

Існує декілька експериментальних методів вимірювання напружень та деформацій, з яких найбільше розповсюдження отримали:

- метод прямого вимірювання напружень з допомогою приладів і пристроїв які називаються тензометрами (тензометричний метод);
- поляризаційно-оптичний метод;

- метод крихких покриттів;
- рентгенографічний метод;
- метод ділильних сіток.

Найбільш поширеними при дослідженнях ковальсько-штампувального обладнання та оснащення є перших три метода, останні два майже не використовуються.

Поляризаційно-оптичний метод відноситься до методів моделювання і полягає в використанні пружньо-пластичного ефекту для вимірювання механічних напружень в моделі з прозорого матеріалу, яка подібна деталі що досліджується. Метод дозволяє отримати безперервну картину розподілу напружень в деталі і використовується для вивчення напружень в деталях складної форми, знаходження послаблених участків, концентрацій напружень або складних епор напружень.

Метод крихких покриттів заснований на нанесенні на поверхню деталі ,що досліджується, тонкого шару спеціального покриття, на якому при деформації розтягнення створюються тріщини. Послідовність виникнення і розташування тріщин характеризує напружений стан поверхні деталі.

Тензометричний метод використовується для вимірювання деформацій та напружень з застосуванням тензорезисторів та струнних або індуктивних тензометрів.

Дротові, фольгові і плівкові тензорезистори використовуються для вимірювання відносних деформацій від 0,005...0,02 до 6...10%, напівпровідникові – до 0,1%.

До переваг тензорезисторів відносяться:

- невеликі розміри, які дозволяють використовувати їх в важкодоступних місцях і на невеликих поверхнях, де використання інших тензометрів неможливо;
- міцність з'єднання з деталлю, яка дозволяє використовувати їх в умовах вібрацій і ударів з частотою до 2000Гц;
- достатня для більшості досліджень чутливість;

– простота і низька вартість.

До недоліків тензорезисторів відноситься необхідність використання підсилюючої апаратури і одноразове використання.

Струнні тензометри відрізняються постійністю нуля і стабільністю постійної приладу, нечутливістю до умов монтажу та експлуатації. З їх допомогою можуть вимірюватись динамічні деформації з частотами до 25 Гц.

Індуктивні тензометри засновані на вимірі малих переміщень (0,1...500 мкм) в частотному діапазоні до 5000 Гц., які пропорційні деформації. Вони бувають контактного і безконтактного типу.

Як встановлено в розділі 1 діапазон змін геометричних похибок обладнання та деформація робочих і напрямних елементів оснащення знаходиться в межах від декількох мікрометрів до часток міліметра, а частота коливань робочих органів обладнання після розділу матеріалу в вертикальному та горизонтальному напрямках становить 100-1500 Гц. Крім того, необхідність розміщення пристроїв вимірювання в робочій зоні під час виконання технологічної операції накладає додаткові умови на їх вибір, а саме: компактність, точність відображення результатів вимірювання, простоту тарування, можливість багаторазового використання. Тому, враховуючи характер наступних досліджень, пов'язаних з вивченням деформаційних процесів пресового обладнання та штампового оснащення і їх впливу на точність та якість штампованих виробів, був вибраний тензометричний метод з використанням дротових тензорезисторів.

Блок-схема тензометричної станції наведена на рисунку 2.1

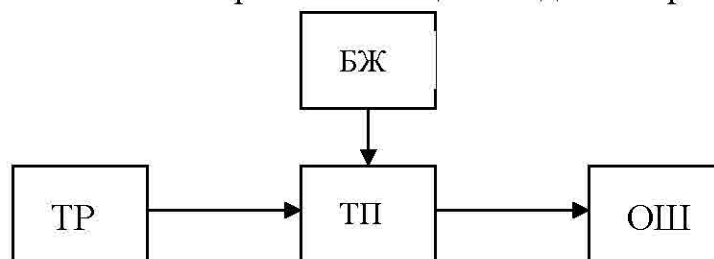


Рисунок 2.1 – Блок-схема тензометричної станції: ТР – тензорезистори (давачі); ТП – тензопідсилювач; БЖ – блок живлення; ОШ – осцилограф шлейфовий

В якості первинних перетворювачів використовувались дротові тензорезистори на паперовій основі типу 2ПКБ з базами 5, 10, 15, 20 мм з опором 100 і 200 Ом. Тензорезистори наклеювались клеєм БФ-2, БФ-4 або ціакриновим на станину преса, на поверхню робочих та напрямних елементів штампів по полумостовій і по мостовій схемах в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Схема розміщення тензорезисторів наведена на рисунку 2.2. Для живлення тензорезисторів і підсилення сигналу розбалансу моста використовувався промисловий тензопідсилювач “Топаз 3-02” з числом вимірювальних каналів 10. Регістрація вимірювань відбувалась шлейфовим осцилографом НО-41 з використанням гальванометрів з магнітним заспокоєнням на папір УФ-2.

### **2.3 Методика дослідження ефективності роботи схем компенсації**

Експерименти проводилися в лабораторії прецизійного штампування ЦНТУ. У якості устаткування використовувався однокривошипний двохстояковий прес із номінальним зусиллям 400 кН. Зазор між напрямними повзуна і станини складав 0.1 мм.

З метою встановлення ефективності роботи деяких з наведених схем компенсації, їх універсальності, обґрунтування подальшого напрямку робіт в лабораторії прецизійного штампування ЦНТУ були проведені відповідні експериментальні дослідження. Для цього була розроблена та виготовлена спеціальна експериментальна установка, яка реалізовувала базову схему компенсації 53 – 43 та схеми 00 – 00, 50 – 00, 53 – 00, 00 – 41, 00 – 43. Схема установки наведена на рис. 2.2. Вона складається з пробивного штампу 1 з осьовим розташуванням напрямних елементів котіння 13 та компенсатора. Верхня плита штампів кріпилася за допомогою хвостовика до повзуна преса, а нижня плита до верхньої плити 2 компенсатора. Нижня плита компенсатора

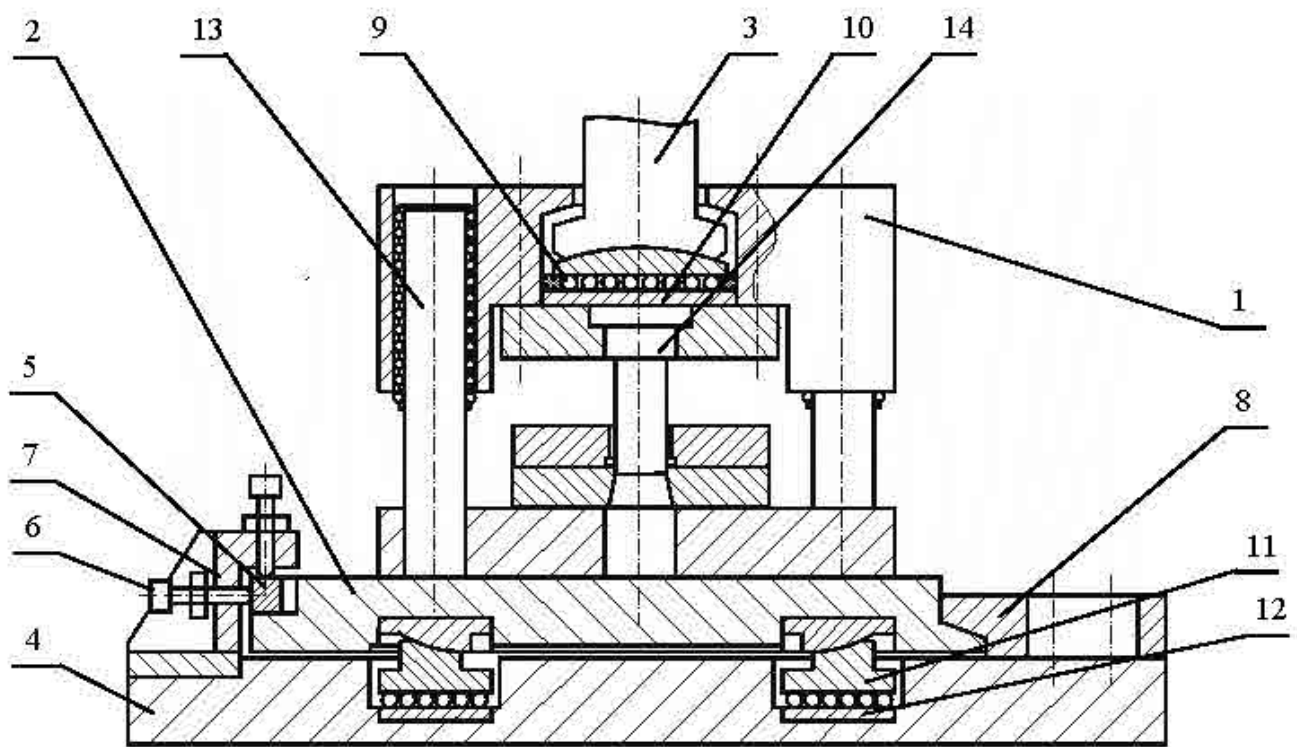


Рисунок 2.2 – Схема експериментального пристрою

кріпилася до стола пресу прихоплювачами. Металеві загартовані стрижні 5 встановлювались з чотирьох сторін в пазах верхньої плити компенсатора і виконували функцію пружних елементів, які повертали верхню плиту 2 в вихідне положення при її кутових і горизонтальних зміщеннях. Вигін стрижнів 5 та встановлення зазору здійснювалося гвинтами 6, які знаходились в різьбових отворах рухомого кронштейна 7.

Комплект змінних деталей давав можливість міняти схеми компенсації. Так наприклад, для встановлення штампку по схемі 00 – 00 в верхній плиті штампку замість плаваючого хвостовика 3 встановлювався жорсткий, а замість ланок 11 і 12 встановлювалось плоске металеве кільце і верхня плита 2 затискувачами 8 притискувалась до нижньої.

Для реалізації схеми 53 – 00 замість кульок 9 і підкладної плитки 10 встановлювалась циліндрична плитка, висота якої дорівнювала висоті плитки 10 плюс величина діаметру кульки, а ланки в компенсаторі замінювались на

металеве кільце, як в випадку схеми 00 – 00. Аналогічно отримувалась схема 00 – 53.

За критерії оцінки роботоздатності вибраних схем було прийнято:

– величину зміщення осей інструмента при встановленні штампа і при його роботі;

– величину бокового навантаження на пуансон при максимальному технологічному зусиллі, а також зручність в експлуатації та ступінь універсальності.

Для реєстрації деформаційних процесів елементів експериментального пристрою використовувався тензометричний комплекс у складі тензопідсилювача “Топаз 3-02” та шлейфового осцилографа НО-41. Тензодавачі марки ПКБ з базою 15 мм наклеювались на напрямні колонки та пуансон по лумостовій схемі, парами, в двох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 2.3, 2.4, 2.5.). Схема наклеювання тензодавачів на пуансоні крім того дозволяла одночасно реєструвати як стиснення пуансону під дією технологічного навантаження, так і деформацію вигину. Для тарування тензодатчиків використовувались індикатор годинникового типу з ціною поділу шкали 0.002 мм, динамометр ДОРМ-05, стягувальний гвинт та ручний гідронавантажувач. При штампуванні використовувались заготовки з листової сталі марки Ст 3 з товщинами 1.45, 1.98, 3.88, 5.26, 7.86 мм.

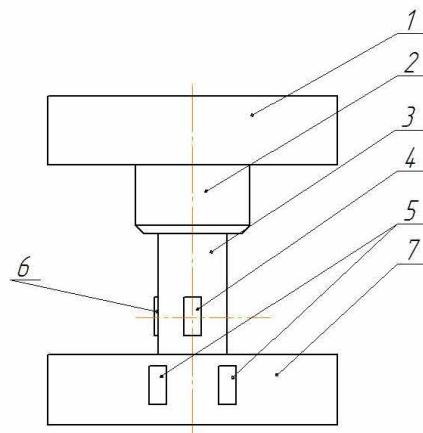


Рисунок 2.3 – Схема наклеювання тензодатчиків на колонки: 1- верхня плита штампа; 2-втулка; 3- колонка; 4,6- активні тензодатчики; 5- компенсаційні тензодатчики; 7- нижня плита штампа

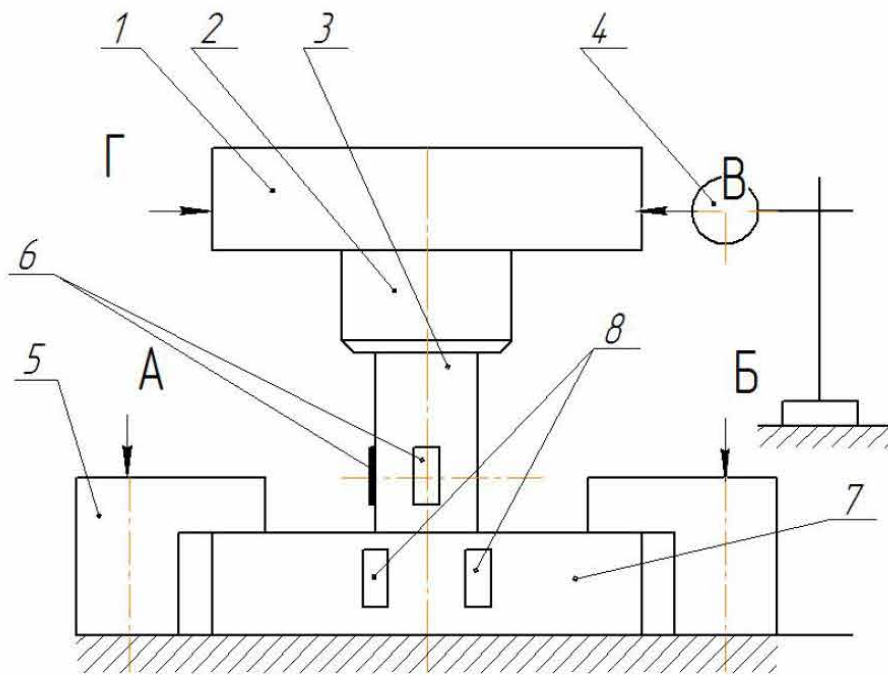


Рисунок 2.4 – Схема тарирування тензодатчиків: 1-верхня плита штампа; 2- втулка; 3- колонка; 4- індикатор годинникового типу; 5- прихоплювачи; 6- активні тензодатчики; 7- нижня плита штампа; 8- компенсаційні тензодатчики

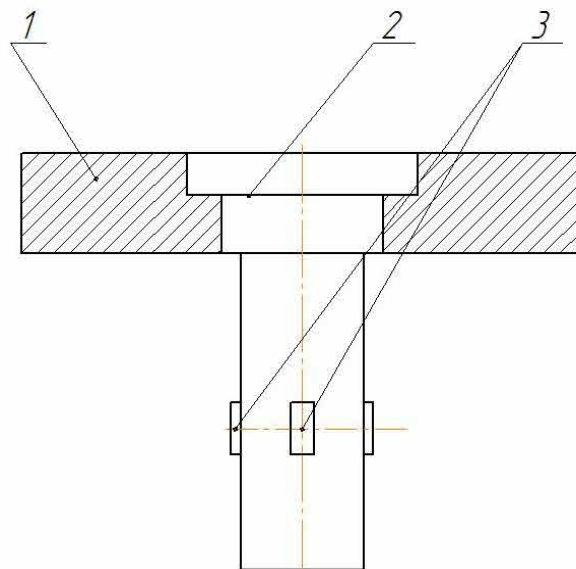


Рисунок 2.5 – Схема наклеювання тензодатчиків на пуансон: 1 – пуансонотримач; 2 – пуансон; 3 – тензодатчики

Загальний вигляд експериментальної установки наведений на рис. 2.6.

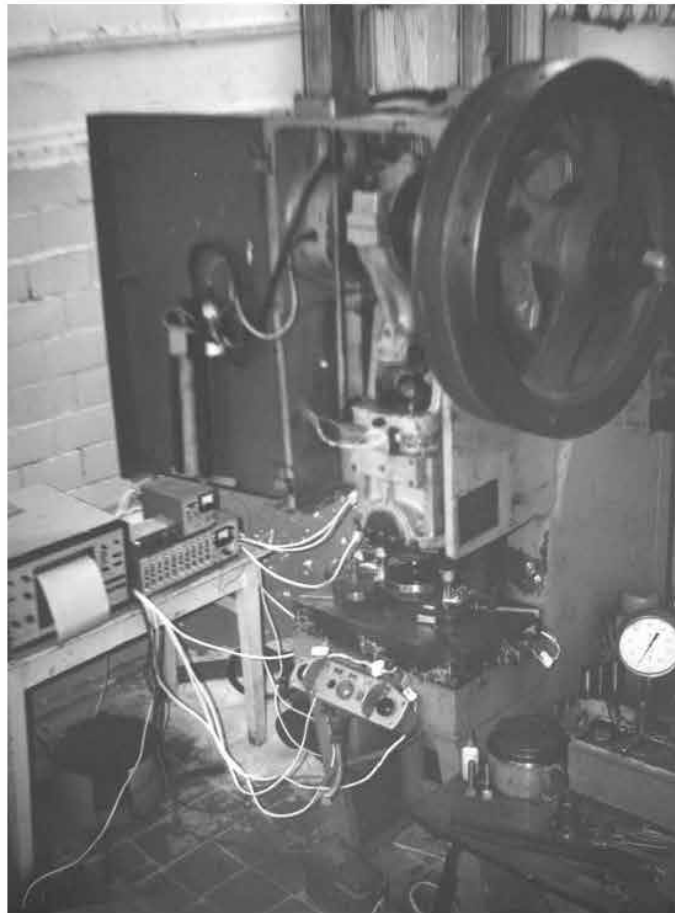


Рисунок 2.6 – Експериментальна установка

#### 2.4 Оцінка достовірності отриманих даних

Оцінка достовірності отриманих даних проводилась за критерієм Стьюдента, для чого необхідно:

а) обчислити середнє квадратичне відхилення  $S$  за формулами:

$$\bar{E}_k = \sqrt{\frac{(E_{k1} - \bar{E}_k)^2 + (E_{k2} - \bar{E}_k)^2 + \dots + (E_{kn} - \bar{E}_k)^2}{n-1}}. \quad (2.1)$$

$$\bar{E}_n = \sqrt{\frac{(E_{n1} - \bar{E}_n)^2 + (E_{n2} - \bar{E}_n)^2 \dots + (E_{nn} - \bar{E}_n)^2}{n-1}}. \quad (2.2)$$

де

$E_{k1}, E_{k2}, E_{kn}, E_{n1}, E_{n2}, E_{nn}$  – результати вимірів деформацій колонок та пуансона;

$\bar{E}_k, \bar{E}_n$  – середні арифметичні значення величин;

$n$  – кількість вимірів;

б) перевірити достовірність результатів, що різко відхиляються за формулами:

$$\frac{|(E_{k \max(\min)} - \bar{E}_k)|}{S_k} \leq t \quad (2.3)$$

$$\frac{|(E_{n \max(\min)} - \bar{E}_n)|}{S_n} \leq t \quad (2.4)$$

де  $t$  – критерій Стьюдента.

## **2.5 Техніка безпеки при виконанні навчальних та науково-дослідних робіт [24]**

### **2.5.1 Вимоги безпеки перед початком роботи**

Перед початком роботи потрібно:

- одягнути та привести до ладу передбачений для виконання роботи спецодяг, спецвзуття та ЗІЗ;
- оглянути і привести в належний стан робоче місце, прибрати зайве;
- оглянути інструмент, інвентар, пристосування, перевірити їх справність;
- переконатися в достатній освітленості робочого місця; при необхідності використання переносного світильника переконатися в його справності, при цьому напруга для його живлення не повинна перевищувати 42 В.
- гідравлічний прес має бути закріплений на підлозі і відповідати таким вимогам:
  - корпус преса (станина) не повинен мати тріщин та інших ушкоджень;
  - манометр робочого тиску гідравлічного преса має бути справним;

- робоча зона, спрямована у бік проходів або в сторону іншого обладнання, має бути відгороджена захисним екраном;
- пристосування для випресовування повинні підходити за розміром і не мати схильності до руйнування (розтріскування);
- підставки під оброблювану деталь повинні відповідати розмірам деталі і мати можливість фіксації деталі на пресі;
- гідравлічні шланги не повинні мати ушкоджень, вони повинні бути надійно закріплені на штуцерах;
- гідроциліндр не повинен пропускати робочу рідину через ущільнення.
- при виявленні загрози безпечному проведенню роботи, необхідно доповісти про це безпосередньому керівнику і до роботи не приступати. Дозволяється приступати до роботи тільки після усунення виявлених недоліків.

### ***2.5.2 Вимоги безпеки під час роботи***

Під час роботи працівники повинні:

- бути уважними, не відволікатися на сторонні справи та розмови, не відволікати інших працівників;
- постійно підтримувати чистоту та порядок на робочому місці, тримати в чистоті і справності всі вузли і механізми преса;
- стежити за справністю роботи електрообладнання та електроприладів; у разі раптового припинення подачі електроенергії прес необхідно відключити від електричної мережі;
- стежити за справністю всіх контрольно-вимірювальних приладів; при виявленні несправностей необхідно вжити заходи щодо зупинки преса та повідомити про це безпосереднього керівника;
- стежити за тим, щоб не було витоків робочої рідини в місцях приєднання шлангів;
- при пресуванні деталі стежити, щоб вона була міцно закріплена, а спеціальне пристосування було встановлене без перекосів. Робочі деталі встановлювати стійко на підручних пристосуваннях так, щоб унеможливити їх

зміщення під час роботи. Обробляти деталі, що знаходяться в підвішеному стані або які утримуються руками, не допускається.

**Забороняється:**

- допускати до управління пресом сторонніх осіб;
- проводити регулювання та ремонт обладнання під час роботи преса;
- працювати на несправному пресі;
- працювати з несправними контрольно-вимірювальними приладами та гідравлічною магістраллю;
- доторкатися до рубильників та іншого електроустаткування без гумових рукавичок;
- залипати прес, який працює, без нагляду.

***2.5.3 Вимоги безпеки після закінчення роботи***

- вимкнути прес. Закрити вентиль (клапан) на масляній магістралі;
- привести робоче місце в належний стан, зібрати та перенести у відведені місця залишки матеріалів, їх відходи, інструменти тощо;
- ретельно протерти і очистити пристосування і інструмент від стружки, тирси, пилю тощо;
- зняти спеціальний одяг, спецвзуття, інші засоби індивідуального захисту та помістити їх до місця зберігання;
- вимити руки, обличчя, переодягнутися у чистий одяг;
- доповісти керівнику про виявлені під час роботи недоліки.

***2.5.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях***

В процесі роботи можуть виникнути наступні аварійні ситуації:

- загоряння обладнання або матеріалів, виникнення пожежі;
- пошкодження ізоляції електрообладнання, виникнення напруги дотику та крокової напруги;
- заклинювання рухомих частин обладнання;
- розрив частин механізмів, що рухаються або обертаються;
- виліт матеріалів, що обробляються.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно:

- обгородити небезпечну зону і не допускати в неї сторонніх осіб;
- якщо обстановка не загрожує життю і здоров'ю працівників і не повинна призвести до більш тяжких наслідків, необхідно її зберегти такою, якою вона була на момент настання події, для проведення розслідування;
- повідомити про те, що сталося, керівника робіт;
- у випадку виникнення пожежі приступити до її ліквідації; якщо погасити пожежу своїми силами неможливо, викликати пожежну команду.

У разі настання нещасного випадку:

- негайно звільнити потерпілого від дії вражаючого фактору;
- перенести його в безпечне місце;
- визначити стан потерпілого, при необхідності надати йому домедичну допомогу, а у тяжких випадках викликати екстрену медичну допомогу.
- при ліквідації аварійної ситуації виконувати вказівки керівника робіт.

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ КОМПЕНСАЦІЇ ПОХИБОК СИСТЕМИ "ПРЕС-ШТАМП"

### 3.1 Аналіз існуючих схем компенсації

Точність та якість штампованих деталей, стійкість штампового інструменту в значній мірі залежать від стану пресового обладнання і способу його встановлення та кріплення на пресі. В штампувальних цехах різних галузей народного господарства використовуються два способи кріплення штампового інструменту:

– жорстке кріплення верхньої та нижньої плит штампів до повзуна і стола пресу відповідно;

– кріплення за допомогою плаваючого хвостовика верхньої плити штампів до повзуна преса і (або) встановлення нижньої плити штампів на спеціальні компенсуючі пристрої.

Існує досить велике різноманіття конструкцій відмічених пристроїв, що значно утруднює їх вибір при конструюванні штампового оснащення (див. розд. 1). Деякі, найбільш розповсюджені конструкції, наведені в таблиці 3.1.

Не всі резерви також вичерпані і в розробці нових варіантів таких пристроїв. Тому є актуальною потреба провести системний аналіз існуючих схем пристроїв компенсації, розробити рекомендації по їх ефективному використанню.

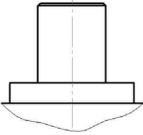
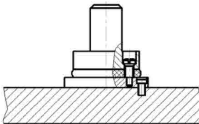
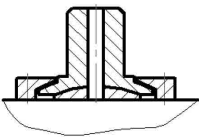
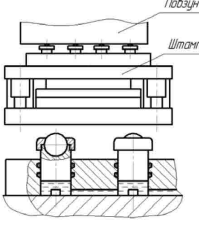
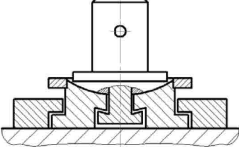
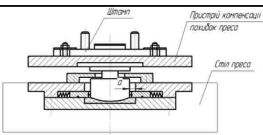
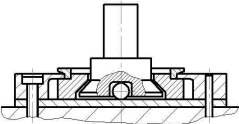
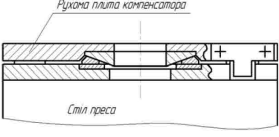
При розгляді існуючих конструкцій пристроїв компенсації проглядається наступне:

– місце розташування окремих ланок, які зв'язують систему "повзун-штамп-стіл пресу"

– використання базових однотипних елементів типу комбінованих шарнірів, сферичних опор, плоских шарнірів, пружних елементів через які

Таблиця 3.1 – Найбільш поширені схеми пристроїв кріплення

штампового оснащення на пресах

№ п/п	Схема пристрою	Опис	№ п/п	Схема пристрою	Опис
1.		Жорсткий хвостовик по ГОСТ 16715-71	5.		Хвостовик з контактом з верхньою плитою штампа через гуму або поліуретан.
2.		Плаваючий хвостовик по ГОСТ 16719-71	6.		Пристрій з контактом з повзуном преса і верхньою плитою штампа через плаваючі гідроопори)
3.		Модернізована конструкція плаваючого хвостовика	7.		Пристрій з розташуванням між нижньою плитою штампа та столом преса на гідроподушці
4.		Модернізована конструкція плаваючого хвостовика	8.		Пристрій з розташуванням між нижньою плитою штампа та столом преса (механічний компенсатор похибок)

передається технологічне навантаження під час виконання штампувальних операцій;

– застосування різноманітних допоміжних елементів які виконують функції центрування рухомих деталей, обмеження їх переміщення, демпфування рухомих мас, змащення і т. і.

Тобто мова іде про певні схеми компенсації які складаються з розташованих в певному порядку ланок. На рис. 3.1 показані найбільш розповсюджені типи ланок з присвоєними їм порядковими номерами та можливими напрямками переміщень. В даному випадку розглядаються тільки ланки які передають технологічне навантаження.

### 3.2 Розробка класифікатора схем компенсації похибок системи "прес-штамп"

З метою спрощення класифікаційної схеми пропонується виконувати наступні припущення:

- між повзуном і штампом та штампом і столом преса може знаходитись не більше двох ланок з тих, що пропонуються,
- напрямок розташування ланок повинен бути зверху вниз, тобто від повзуна до стола пресу,
- під еластичним середовищем розуміється будь яке пружне середовище (гума, повітря, рідина, їх комбінації і т.і.).

Формування конкретної схеми компенсації наведено на рис. 3.2 а. Одна або дві ланки встановлюються між повзуном і штампом і ще, одна або дві, між штампом і столом пресу. Код такої схеми складається з набору чисел які відповідають номерам використаних ланок. Числа записуються в послідовності розташування ланок в схемі, починаючи від повзуна пресу.

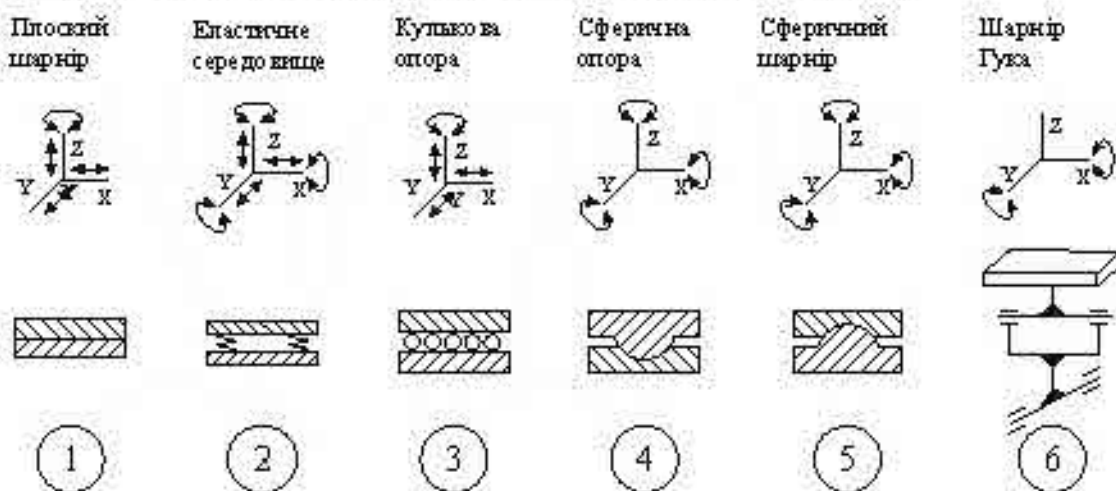


Рисунок 3.1 – Типи ланок в конструкціях компенсуючих пристроїв

При відсутності ланок між елементами системи "прес-штамп-стіл" використовується цифра нуль, тобто припускається жорстке кріплення елементів. Набори цифр верха і низу розділяються тире. Приклад кодування

жорсткого кріплення штампа до повзуна і стола преса наведено на рисунку 3.2 б). Схема закодована комбінацією чотирьох цифр 00–00.



Рисунок 3.2 – До формування схеми компенсації: а) – загальна структурна схема; б) – приклад кодування схеми жорсткого кріплення штампа

При конструюванні штампового оснащення підвищеної та високої точності використовуються схеми компенсації наведені на рисунку 3.3.

Схема 50 – 00 використовується найчастіше, але ефективність її невисока, що встановлено попередніми дослідженнями авторів. Схема 20 – 00 майже зі всіма видами середовищ має певні обмеження по технологічному навантаженню та дає ще, крім того, наднормативний захід пуансона в матрицю і значно утруднює процес налагодження штампугу. Кращий результат по компенсації геометричних похибок пресового обладнання з групи плаваючих хвостовиків має схема 53 – 00, але як і схема 20 – 00 має обмеження по технологічному зусиллю внаслідок малого контактного навантаження кульок, а в випадку їх збільшення суттєво зменшує закриту висоту пресу. Схема 00 – 20 має ті ж вади, що і схема 20 – 00. Схему 00 – 41 доцільно використовувати при великих технологічних зусиллях (кривошипні або гідравлічні преса 1,6...4,0 МН). Схема 00 – 43 використовується при прецизійному штампуванні із тонколистового матеріалу. Залишаються мало вивченими, з точки зору

ефективності компенсаційної дії, комбіновані схеми компенсації, які поєднують плаваючі хвостовики і компенсатори (схема 53 – 43).

Наведені вище схеми далеко не вичерпують всієї різноманітності варіантів побудов компенсаційних пристроїв. Число комбінацій ланок теоретично може досягати декількох тисяч, тому необхідно проведення подальших досліджень в цьому напрямку.

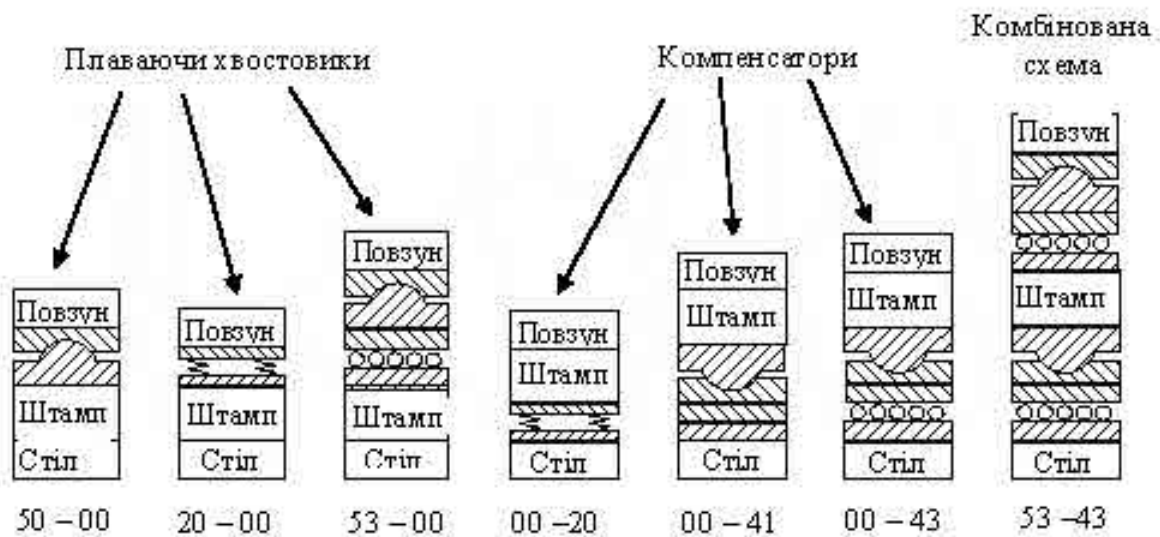


Рисунок 3.3 – Варіанти схем компенсації для оснащення підвищеної тависокої точності

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ СХЕМ КОМПЕНСАЦІЇ ПОХИБОК СИСТЕМИ "ПРЕС-ШТАМП"**

### **4.1 Дослідження зміщення осей інструмента при встановленні та закріпленні штампа на пресі для різних схем компенсації**

Дослідження зміщення осей інструмента при встановленні та закріпленні штампа на пресі для різних схем компенсації проводилось в наступній послідовності:

- штамп кріпився до повзуна пресу згідно обраних схем;
- при ввімкнутому осцилографі починалось затягування кріпильних елементів нижньої плити штампу;
- величина деформацій напрямних колонок реєструвалась після закінчення встановлення штампу при десятикратних повтореннях.

Результати середніх значень загальної деформації колонок наведені на рис. 4.1.

Найбільше зміщення осі інструменту спостерігалось при жорсткому кріпленні (схема 00 – 00). Але для десятиох замірів діапазон коливань складав від 8 до 43 мкм, що свідчить про випадковий і суб'єктивний характер процесу. Для схеми 53 – 43 зміщення осі теж достатньо суттєве внаслідок нестабільності системи. Схеми 50 – 00 та 53 – 00 показали близьки між собою значення і знаходяться у середньому діапазоні зміщення осі. Для схем 00 – 41 та 00 – 43 зміщення осі мінімальні і, в значній мірі, залежать від жорсткості стрижнів 5 (див. рис.2.2.). При мінімальній жорсткості величина зміщення знижується до 5 мкм. Для всіх схем крім схеми 00 – 00 розкид величин зміщення складав  $\pm 2$  мкм.

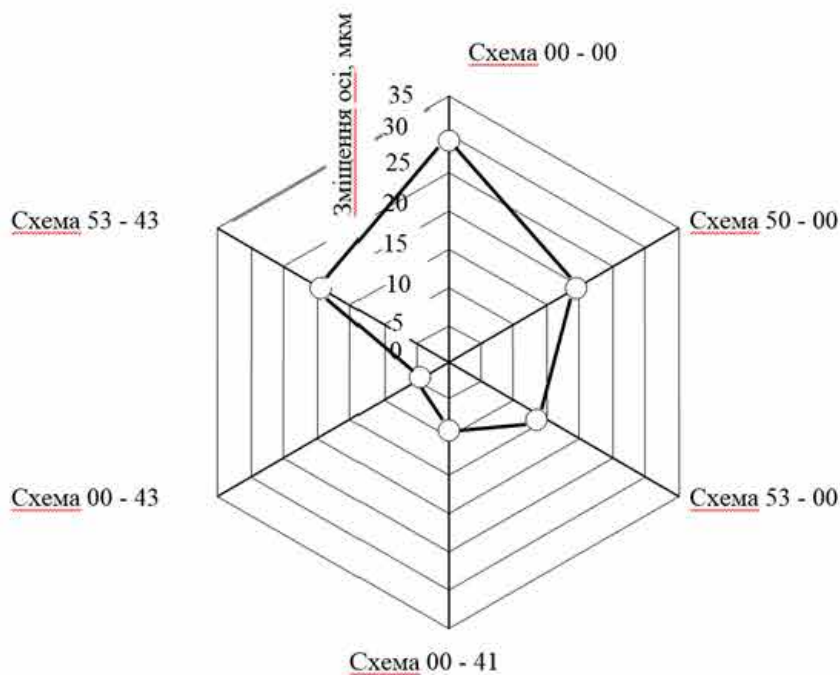


Рисунок 4.1 – Діаграма зміщення осі інструменту

#### 4.2 Дослідження деформації напрямних і робочих деталей штампу в залежності від зусилля штампування і схеми компенсації

Результати досліджень по другому пункту програми експериментів наведені на рис.4.2.

Встановлено, що напружено-деформований стан напрямних колонок і пуансону при однакових схемах компенсації не співпадає. Так при схемі 53-43 деформація колонок (рис.4.2, а) мінімальна, тоді як бічне зусилля на пуансоні (рис. 4.2, б) близьке до максимального з шести схем, що розглядаються.

Схеми 00-00, 50-00 та 53-00 показують схожі результати як по деформації напрямних колонок, так і по бічному зусиллі на пуансоні, тобто застосування плаваючих хвостовиків не дає відчутного результату по компенсації геометричних похибок пресового обладнання.

До зусилля приблизно 80 кН (25%  $P_H$ ) бічне навантаження на пуансоні для всіх схем компенсації залишається відносно стабільним з переходом до зростання в подальшому. Для напрямних колонок ця тенденція проглядається

не так чітко. Найменші деформації вигину пуансону дає застосування схеми 00-43, яка і може бути рекомендована для прецизійних операцій холодного штампування.

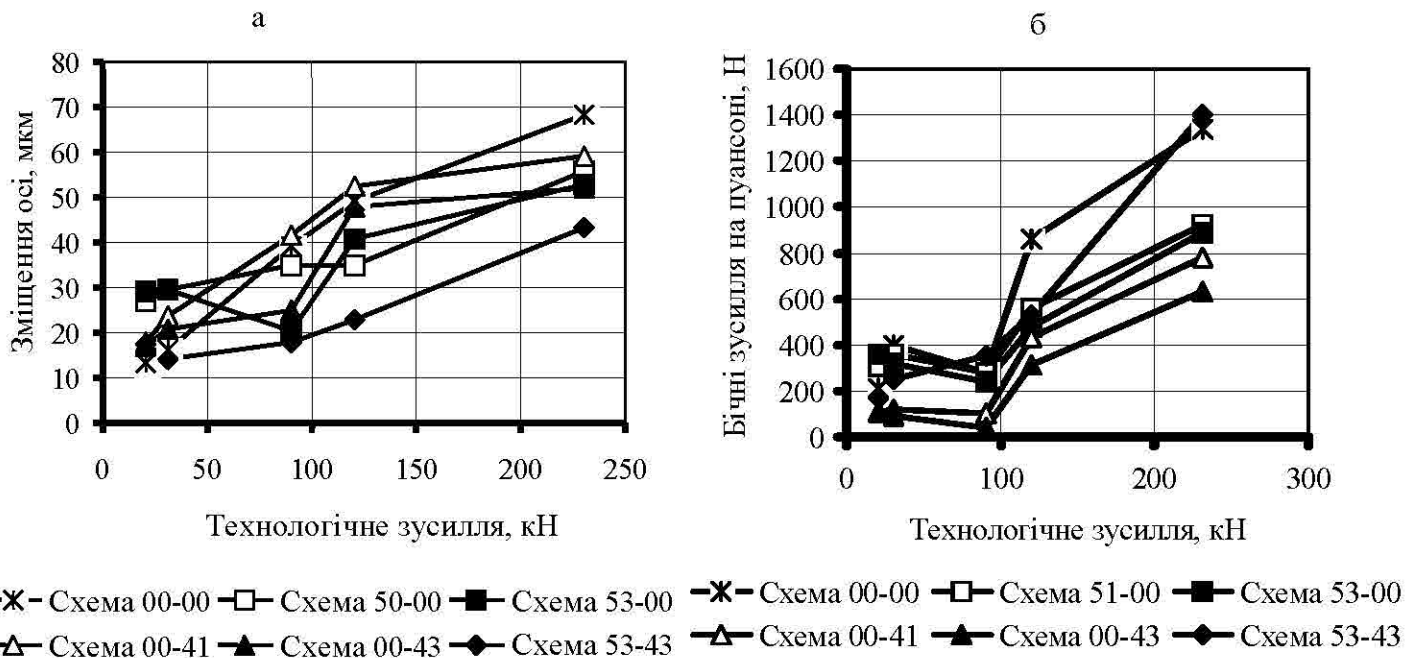


Рисунок 4.2 – Деформації колонок а) і зусилля вигину на пуансоні б)

### 4.3 Дослідження по встановленню оптимальної ступені рухомості компенсатора

Методика проведення експериментальних робіт по третьому пункту програми була наступною:

- експериментальний пристрій складався по схемі 00 – 43;
- після встановлення і закріплення штампу на верхній плиті 2 компенсатора (див. рис. 2.2) між стрижнями 5 і гвинтами 6 встановлювався рівномірний зазор, який послідовно змінювався в діапазоні 0...3 мм з інтервалом 1 мм. Виміри проводились при відпущених притискувачах 8.

Результати експериментів наведені на рис. 4.3, 4.4. Оптимальна ступінь рухомості компенсатора з точки зору деформації напрямних колонок (рис.4.3.,

а) та пуансону (рис.4.4) визначена при зазорі 1 мм. При збільшенні зазору зростає вплив сил інерції рухомих деталей системи, а при зменшенні обмежується можливість підстроювання компенсатора при зміщенні повзуна.

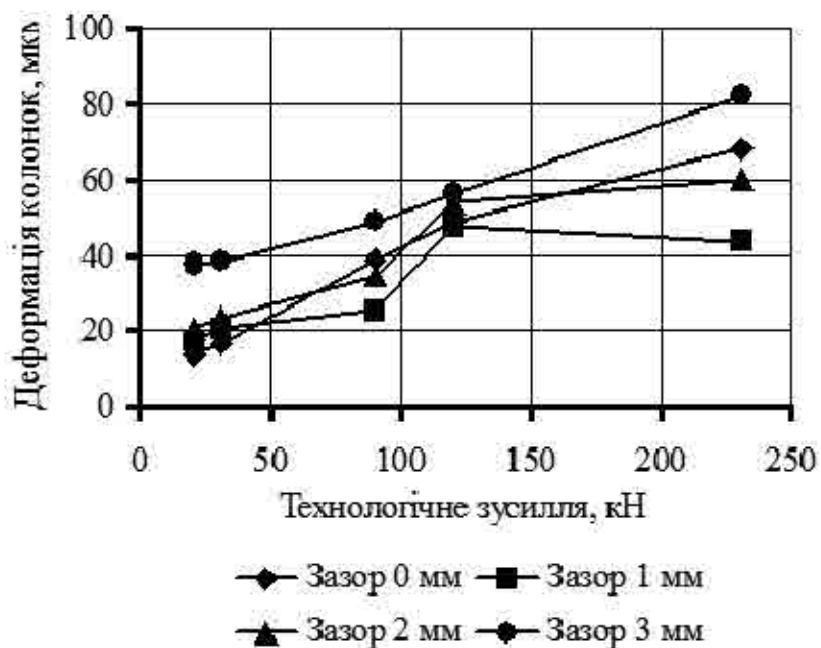


Рисунок 4.3 – Деформації напрямних колонок в залежності від величини зазору та технологічного зусилля

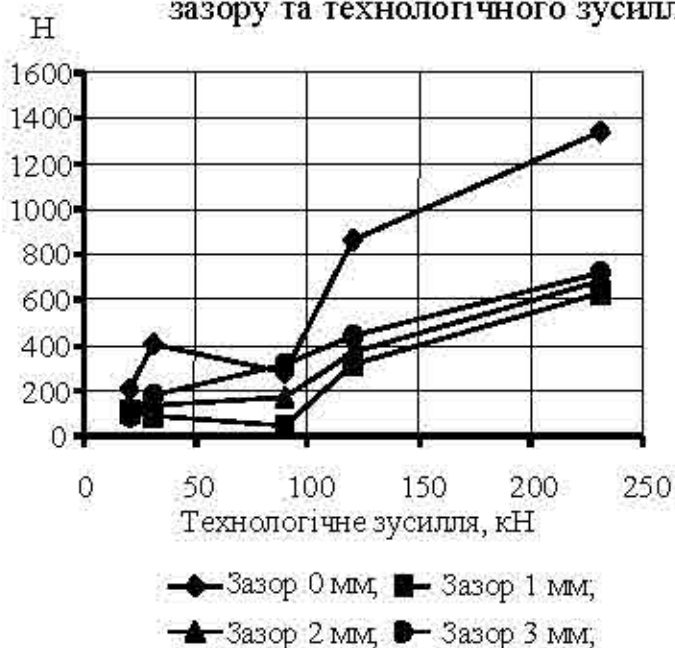


Рисунок 4.4 – Зусилля вигину на пуансоні в залежності від величини зазору та технологічного зусилля

По результатам проведених досліджень розроблено креслення модернізованого компенсатора, де врахований оптимальний зазор між рухомими і нерухомими деталями компенсатора та застосовані мікрометричні регульовальні упорні гвинти.

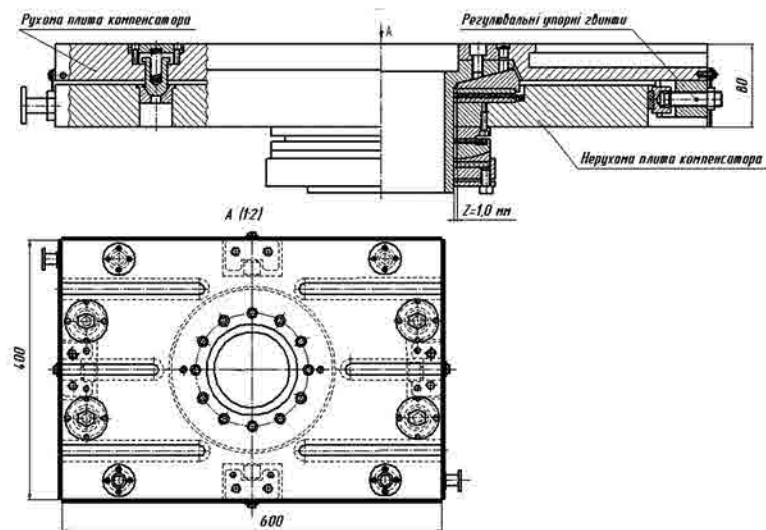


Рисунок 4.5 – Модернізований компенсатор похибок системи «прес-штамп»

#### 4.4 Моделювання напружено-деформованого стану елементів пристроїв компенсації

У існуючих конструкціях механічних пристроїв компенсації (далі компенсатор), які встановлюються на прес замість підштампової плити, є суттєва вада. Товщина нижньої (нерухомої) плити компенсатора вдвічі менша, ніж стандартної підштампової плити преса. Але вона так само, як і підштампова плита, повинна витримувати повне технологічне навантаження, яке може дорівнювати номінальному зусиллю преса, а її жорсткість має бути достатньою. Тому була поставлена задача перевірити та порівняти напруження і деформації у центральній частині обох плит методами комп'ютерного моделювання. В якості інструменту було обрано САПР SolidWorks, а саме її розрахунковий модуль Simulation, який працює на базі методу кінцевих елементів (МСЕ) [22].

Основною задачею моделювання МСЕ в даній роботі було встановлення напружень і деформацій центральної частини підштампової плити та нижньої нерухомої плити компенсатора в умовах силової взаємодії елементів оснащення та обладнання під дією максимального технологічного зусилля.

За робочий варіант була обрана статична задача з припущеннями, що рекомендуються, а саме:

- навантаження прикладаються поступово, не різко і з часом не змінюються, а також мають бути постійними за напрямком і розподілом;
- характер взаємодії між навантаженнями і реакціями на них відбувається у лінійній області;
- для всіх матеріалів у моделі діє закон Гука.

Попередньо були створені:

- тверdotільні параметричні моделі деталей стола пресу і нижньої плити компенсатора (рис. 4.6);



Рисунок 4.6 – Тверdotільні моделі деталей стола пресу та нижньої плити компенсатора в САПР SolidWorks

- тверdotільна параметрична модель збірки нижньої плити компенсатора та стола пресу з призначенням матеріалів елементам штампа з бібліотеки матеріалів (рис. 4.7.), з деякими спрощеннями, а саме: з конструкції були вилучені елементи, які не впливають на жорсткість деталей;

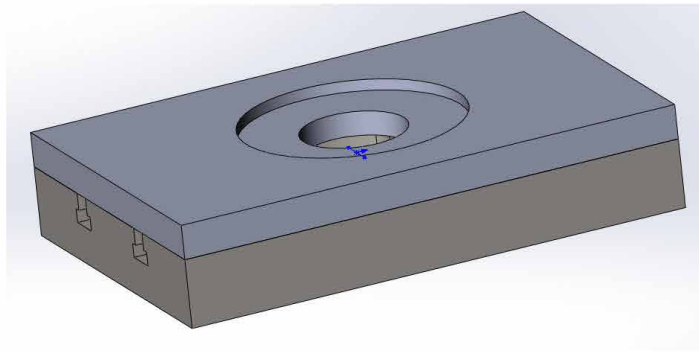


Рисунок 4.7 – Моделі збірки стола та нижньої плити компенсатора в САПР SolidWorks

В налаштуваннях програми були обрані:

– умови фіксація елементів збірки (рис. 4.8);

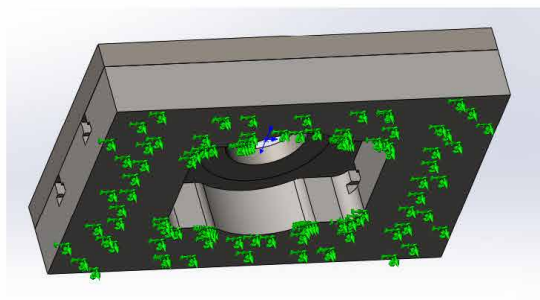


Рисунок 4.8 – Фіксація стола пресу в розрахунковому модулі Simulation САПР SolidWorks

– на нижню плиту компенсатора прикладалось зовнішнє вертикальне навантаження 0,4МН (рис. 4.9);

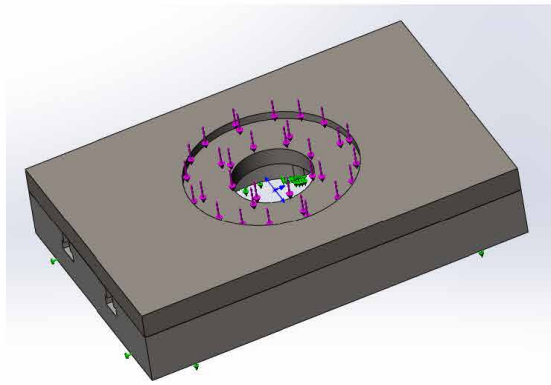


Рисунок 4.9 – Схема дії зовнішнього навантаження в Simulator CAEP SolidWorks

– створювалася сітка кінцевих елементів для моделі збірки та налаштовувались параметри сітки з врахуванням можливостей обчислювальної техніки (рис. 4.10).

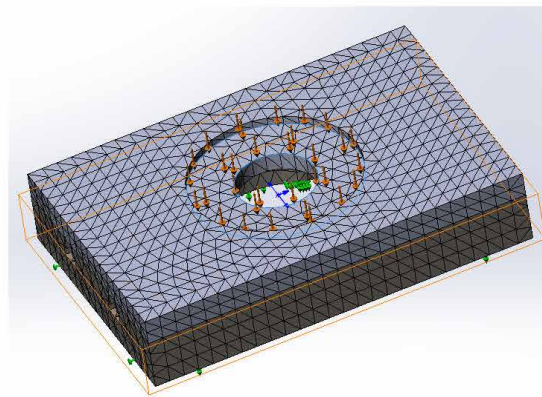


Рисунок 4.10 – Нанесення сітки на модель збірки в розрахунковому модулі Simulation CAEP SolidWorks

Далі давалася команда на пуск процесу обчислення. Після завершення обчислення з'являлась можливість обрати результати – епюри напружень, епюри переміщень та епюри коефіцієнту запасу міцності, а також отримати цифрові результати у конкретній області за допомогою інструменту зондування

Вибіркові результати розрахунку програми наведені на рис. 4.11– 4.21.

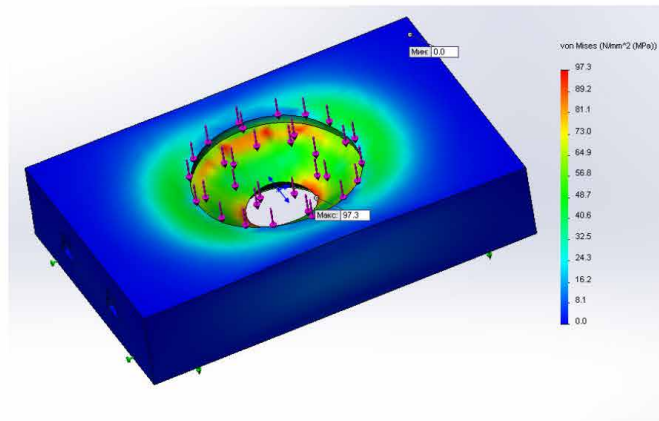
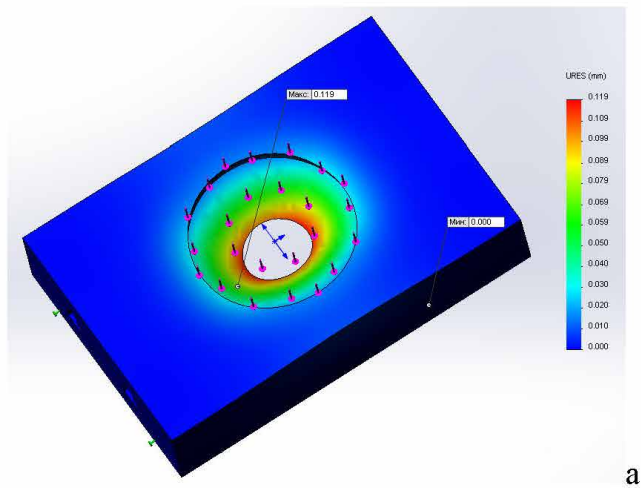
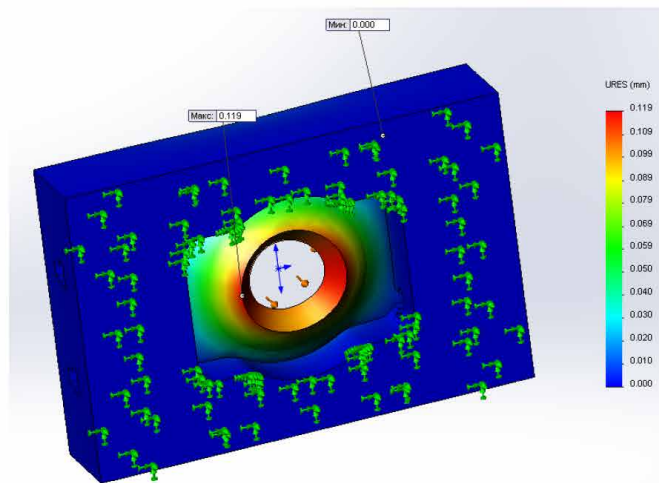


Рисунок 4.11 – Візуалізація епюри напружень нижньої плити компенсатора під дією номінального зусилля пресу



а



б

Рисунок 4.12 – Візуалізація епюри переміщень нижньої плити компенсатора під дією номінального зусилля пресу: а – вид зверху; б – вид знизу

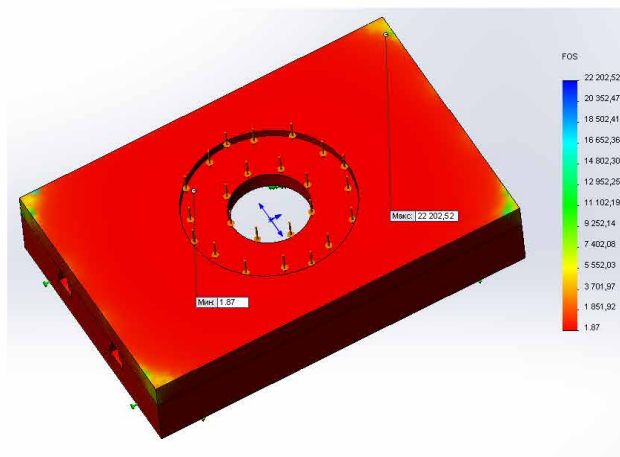


Рисунок 4.13 – Візуалізація епюри коефіцієнту запасу міцності нижньої плити компенсатора під дією номінального зусилля пресу

Так само були скомпоновані збірки з додаванням деталі опорного підп'ятника та варіанту стіл-підштампова плита. Для них також була проведена процедура симуляції в САПР SolidWorks.

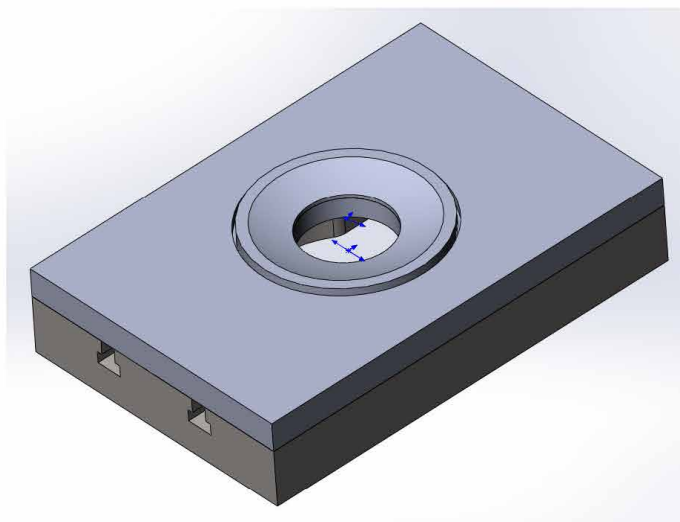


Рисунок 4.14 – Модель збірки стола, нижньої плити компенсатора та підп'ятника в САПР SolidWorks

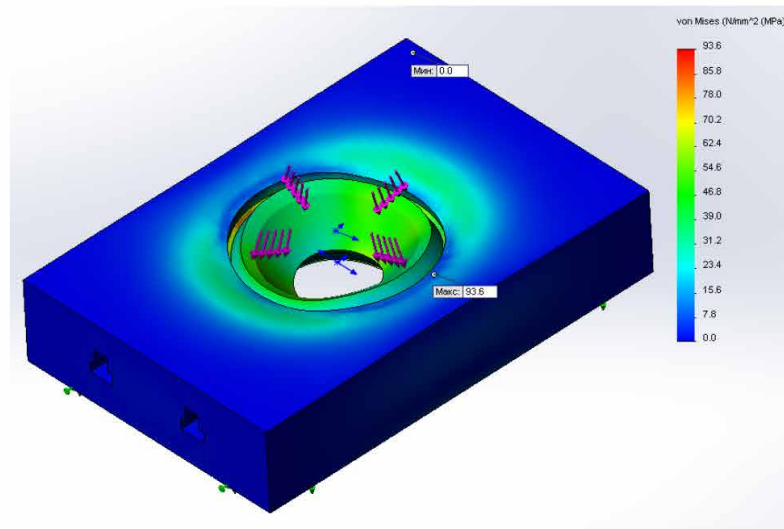


Рисунок 4.15 – Візуалізація епюри напружень стола, нижньої плити компенсатора та підп’ятника під дією номінального зусилля пресу

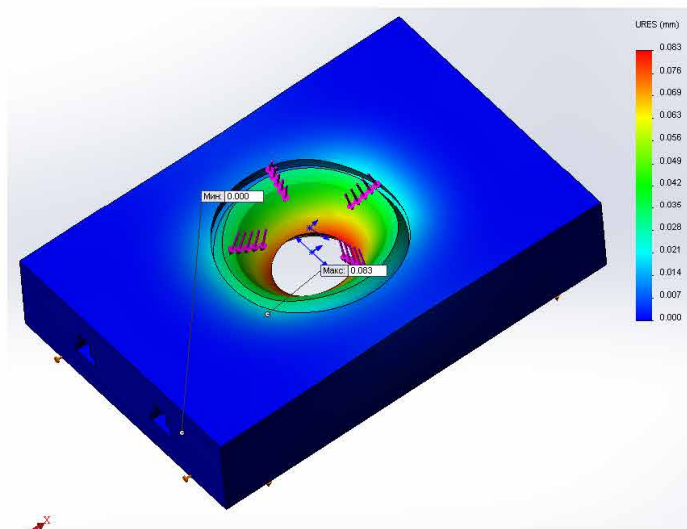


Рисунок 4.16 – Візуалізація епюри переміщень стола, нижньої плити компенсатора та підп’ятника під дією номінального зусилля пресу

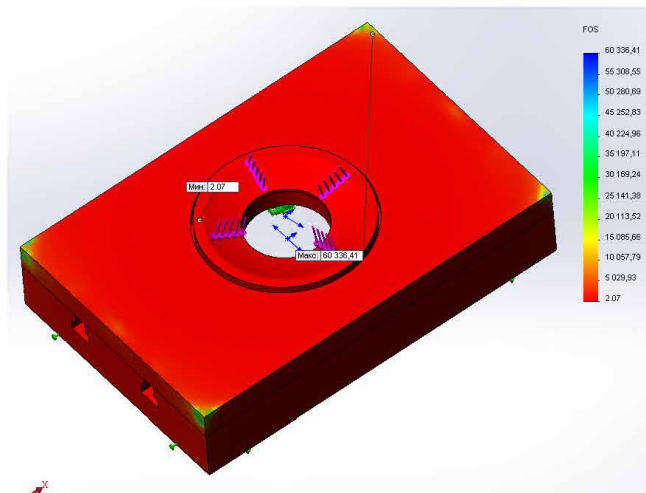


Рисунок 4.17 – Візуалізація епюри коефіцієнту запаса міцності стола, нижньої плити компенсатора та підп’ятника під дією номінального зусилля пресу

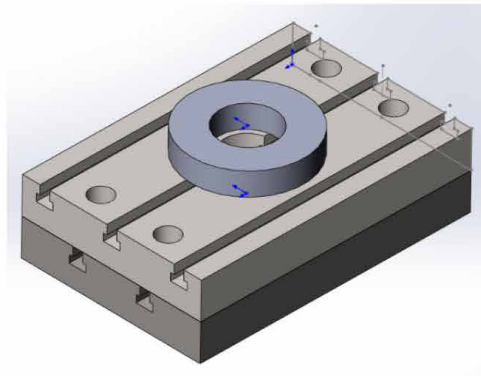


Рисунок 4.18 – Модель збірки стола, підштампової плити та кільця для імітації навантаження через підп’ятник в САПР SolidWorks

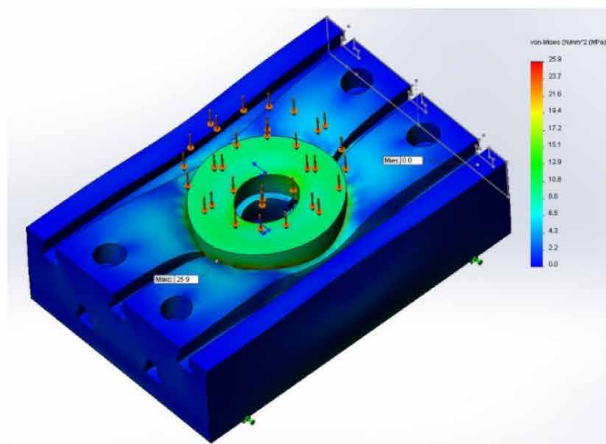


Рисунок 4.19 – Візуалізація епюри напружень стола та підштампової плити під дією номінального зусилля пресу

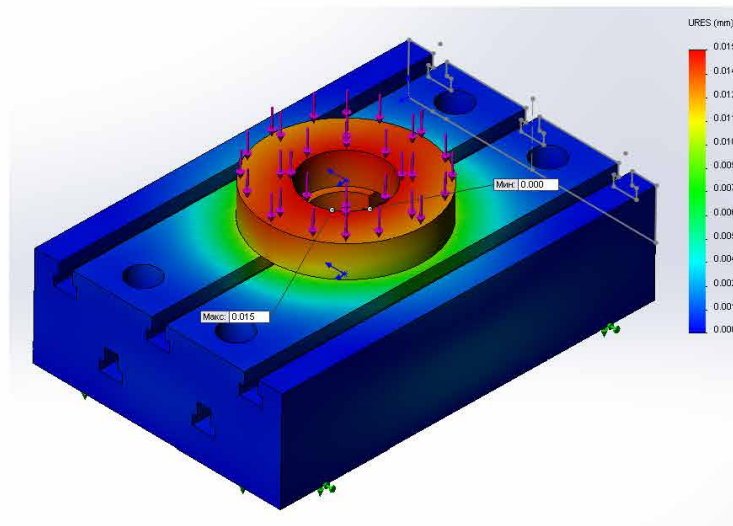


Рисунок 4.20 – Візуалізація епюри переміщень стола та підштампової плити під дією номінального зусилля пресу

Аналіз отриманих результатів (рис. 4.21) показує, що прогин та напруження нерухомої плити компенсатора, при силовій взаємодії елементів системи «прес-штамп» значно більші, ніж з підштамповою плитою. Це приводить до більшого заходу пуансона в матеріал на завершальній стадії виконання розділових операцій. Тому було запропоновано застосувати в зоні інтенсивних деформацій силовий підпір, в межах половини номінального зусилля преса. Це дає змогу наблизити деформаційні показники плити компенсатора та підштампової плити. (рис. 4.21).

На основі отриманих результатів досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Встановлено вплив закріплення штампу на деформації його напрямних та робочих деталей;
2. Найменше бічне зусилля на пуансоні спостерігається при встановленні штампу на компенсатор і жорсткому кріпленні верхньої плити до повзуна пресу (схема 00 – 43);
3. Оптимальний зазор між рухомими і нерухомими деталями компенсатора складає 1 мм.
4. Для забезпечення прийнятної жорсткості нерухомої плити компенсатора під технологічним навантаженням потрібно в зоні максимальних

деформацій здійснювати силовий підпір, якій повинен бути в межах половини номінального зусилля.

**Результати моделювання силової взаємодії елементів системи  
"прес-штамп" при виконанні технологічної операції в САПР SolidWorks  
(навантаження на плиту - 0,4 МН, протитиск - 0,2 МН)**

Результати досліджень	Стіл преса - нижня плита компенсатора	Стіл преса - нижня плита компенсатора - під'ятник	Стіл преса - підшампова плита	Стіл преса - нижня плита компенсатора - під'ятник з протитиском
Максимальні напруження за Мізесом, МПа	98,4	94,7	26,9	31,8
Максимальні переміщення нижньої плити, мм	0,120	0,085	0,017	0,027
Коефіцієнт запасу міцності	1,89	2,09	6,44	5,52

Рисунок 4.21 – Порівняльна таблиця результатів силової взаємодії елементів системи «прес-штамп»

**ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА****5.1 Розрахунок витрат на виконання госпрозрахункової науково-дослідної роботи**

Витрати на виконання НДР щодо дослідження силової взаємодії штампового інструменту і обладнання під час здійснення технологічної операції розраховуються шляхом складання калькуляції кошторисної вартості НДР за наступними статтями [23]:

- витрати на оплату праці;
- відрахування на соціальні заходи;
- витрати на матеріали;
- витрати на використання комп'ютерної техніки;
- витрати на використання спеціального обладнання для наукових (експериментальних) робіт;
- накладні витрати;
- інші витрати.

**5.1.1 Розрахунок витрат на оплату праці**

Вихідні дані наводяться у таблиці 5.1., розрахунок витрат у таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – До розрахунку витрат на оплату праці

№ п/п	Посада виконавців	Місячний оклад, грн.	Середньоденна ставка, грн/дн
1	Керівник МКР, головний науковий співробітник	11630,00	484,58
2	Старший науковий співробітник, 0,5 ставки	10256	427,33
3	Науковий співробітник 0,5 ставки	8243	343,46
4	Провідний фахівець 0,5 ставки	7732	322,17
5	Технік I кат. 0,5 ставки	5527	230,29

Таблиця 5.2 – Витрати на оплату праці

№ п/п	Посада виконавців	Час розробки, дні	Денна заробітна плата, грн	Витрати на розробку, грн
1	Керівник МКР, головний науковий співробітник	150	484,58	72687,50
2	Старший науковий співробітник, 0,5 ставки	150	213,67	32050,00
3	Науковий співробітник 0,5 ставки	150	171,73	25759,38
4	Провідний фахівець 0,5 ставки	150	161,08	24162,50
5	Технік I кат. 0,5 ставки	150	115,15	17271,88
Разом				171931,25

### **5.1.2 Відрахування у єдиний соціальний внесок**

Відрахування у єдиний соціальний внесок складають 22 % від суми заробітної плати.

$$\Phi_{\text{есв}} = 171931,25 \times 0,22 = 37824,88 \text{ грн}$$

### **5.1.3 Розрахунок витрат на матеріали**

У таблиці 5.3 наведено куплені матеріали і розраховані витрати на них.

### **5.1.4 Витрати на використання комп'ютерної техніки**

Витрати складаються з наступних компонентів:

- амортизації комп'ютерної техніки;
- користування програмним забезпеченням;
- витрати на електроенергію.

Приймаємо середню вартість години роботи комп'ютера – 16 грн. Згідно діючих норм з охорони праці, середній щоденний час роботи на комп'ютері – 4 години. Розраховані дані зводимо у таблицю 5.4.

Таблиця 5.3 – Розрахунок витрат на матеріали

№ п/п	Найменування купованих виробів	Одиниця виміру	Ціна на одиницю виміру, грн	Кількість купованих виробів	Сума, грн	Транспортні витрати (10% від суми)	Загальна сума, грн
1	Папір (формат А4)	уп	234	5	1170,00	117,00	1287,00
2	Ручка кулькова	шт	10,98	10	109,80	10,98	120,78
3	Олівець простий	шт	6	10	60,00	6,0	66,00
4	Флеш-пам'ять	шт	245	4	980,00	98,00	1078,00
5	Зошит, 48 арк	шт	180	4	720,00	72,00	792,00
6	Тонер для принтера	уп	459	1	459,00	45,90	504,90
7	Штангенциркуль	шт	847	1	847,00	84,70	931,70
8	Магніт канцелярський (набір)	шт	115	1	115	115,00	230,00
9	Ніж канцелярський	шт	260	2	520	52,00	572,00
Разом							5582,38

#### ***5.1.5. Витрати за статтею “Спеціальне обладнання”***

В даній НДР не передбачається використання спеціального обладнання.

#### ***5.1.6 Накладні витрати***

Накладні витрати проектних організацій включають три групи видатків: витрати на управління, загальногосподарські витрати, невиробничі витрати. Приймаємо 15% від заробітної плати.

$$171931,25 \times 0,15 = 25789,69 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.4 – Розрахунок витрат на використання комп'ютерної техніки

№ п/п	Назва етапів робіт, при виконанні яких використовується комп'ютер	Час використання комп'ютера		Витрати на використання комп'ютера,  грн.
		днів	годин	
1	Проведення досліджень та оформлення їх результатів	110	440	7040
2	Розробка проекту	20	80	1280
3	Оформлення технічної документації	10	40	640
4	Підготовка презентації	10	40	640
Разом		150	600	9600

#### **5.1.7 Інші витрати**

Приймаємо в розмірі 7000 грн.

#### **5.1.8 Податок на додану вартість (ПДВ)**

За українським законодавством, оподаткування податком на додану вартість здійснюється за ставкою 20 відсотків від загальної суми витрат.

#### **5.1.9 Кошторис витрат на виконання НДР**

Складається калькуляція планової собівартості НДР і зводиться в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5. – Кошторис витрат на виконання НДР

№ п/п	Найменування елементів витрат	Сума витрат, грн
1	Витрати на оплату праці	171931,25
2	Нарахування єдиного соціального внеску	37824,88
3	Витрати на матеріали	5582,38
4	Витрати на використання комп'ютерної техніки	9600,00
5	Накладні витрати	25789,69
6	Інші витрати	7000,00
Всього		257728,20
ПДВ (20 %)		51545,64
Всього з ПДВ		309273,84

## 5.2 Розрахунок договірної ціни та прибутку НДР

Договірна ціна НДР попередньо розраховується за формулою:

$$Ц = C \cdot (1 + p), \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де Ц – договірна ціна, грн.;

С – собівартість проведення НДР, грн.;

р – рівень рентабельності витрат у виконавця НДР.

Очікуваний прибуток від реалізації НДР складає:

$$П = Ц - C \text{ грн.}, \quad (5.2)$$

де П – очікуваний прибуток від виконання НДР.

Оскільки ЦНТУ, де передбачається виконання госпрозрахункової науково-дослідної роботи, є неприбутковою організацією, рівень рентабельності і очікуваний прибуток дорівнюють нулю. Таким чином договірна ціна буде дорівнювати собівартості виконаних робіт разом з ПДВ.

$$Ц = 309274,00 \text{ грн.}$$

## **Висновки**

У цьому розділі проведено розрахунки собівартості НДР та планового прибутку від її реалізації.

Дослідження, які проведені у роботі, спрямовані на підвищення якості тонколистового розділового штампування. У разі успіху у проведенні досліджень їх результати дадуть змогу розробити ефективні заходи по зменшенню впливу похибок системи «прес-штамп» на якість штампованих виробів з тонколистового матеріалу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основні результати магістерської роботи полягають у наступному:

1. В галузях точного машинобудування, приладобудування, радіо та електроніки найбільша частина деталей виготовляється з матеріалів товщиною до 1 міліметра. При цих товщинах технологічний процес розділення матеріалу стає надто чутливим до впливу зовнішніх та внутрішніх чинників і вимагає постійного контролю для своєчасного втручання.

Висока ефективність у вдосконаленні технологічних процесів розділення матеріалу досягається при масовому виробництві. Наймасовішими деталями з жорсткими допусками на розміри та високими вимогами до якості є різноманітні пластини магнітопроводів у вузлах електромашин. З урахуванням сучасного стану інструментального виробництва вдається виготовляти високоточні штампи, але їхні технічні та якісні параметри не завжди стабільні. Великий відсоток браку, надмірне використання металу на оснащення, потреба у частому ремонті штамів та необхідність, в деяких випадках, обробки деталей на металорізальних верстатах після штампування – це проблеми з якими часто стикаються у виробничому середовищі.

Оскільки підсистема "штамп" входить у склад системи "прес-штамп", на неї впливають як внутрішні, так і зовнішні фактори. Внутрішні фактори, в основному пов'язані з проблемами інструментального виробництва і не є об'єктом дослідження в даній роботі. Основним джерелом зовнішніх факторів є інша підсистема - "прес", на яку припадає приблизно 40% впливу всіх інших факторів. Як правило, ці фактори є результатом силової взаємодії штампового інструменту і обладнання під час здійснення технологічної операції.

Існують різні методи зменшення (компенсації) впливу різноманітних похибок на штампове оснащення, такі як застосування пристроїв, які ми називаємо компенсаторами похибок системи "прес-штамп". Однак ці пристрої також не є ідеальними з точки зору ефективності. Їхнє різноманіття вимагає подальшого уточнення особливостей їх застосування та класифікації. Таким чином, дослідження в цьому напрямку є актуальним і має практичне значення;

2. Проаналізовано вплив похибок системи “прес-штамп” на експлуатаційні показники штампового оснащення. Встановлено, що на штампове оснащення під час виконання технологічної операції діє велика кількість зовнішніх факторів (похибок), більшість з яких приходиться на пресове обладнання;

3. Виконаний аналіз засобів компенсації похибок системи прес-штамп; Запропонована оригінальна класифікація та методика вибору компоновок елементів компенсаторів;

4. Розроблено методику експериментального дослідження по виявленню напружено-деформованого стану елементів штампку під дією технологічного зусилля і різних варіантах його закріплення і налагодження;

5. Виконано експериментальне дослідження напружено-деформованого стану штампку під дією технологічного зусилля і різних варіантах його закріплення і налагодження. Встановлено, що найменший вигин пуансону відбувається при закріпленні нижньої частини штампку на пристрої компенсації, який використовується замість підштампової плити (схема 00-43). Оптимальна ступінь рухомості компенсатора (зазор між його рухомими і нерухомими елементами), з точки зору деформації напрямних колонок та пуансону визначена при зазорі 1 мм;

5. Виконано моделювання напружено-деформованого стану окремих деталей компенсатора похибок системи “прес-штамп” для преса 0,4 МН, в умовах його номінального зусилля, методом кінцевих елементів в розрахунковому пакеті Simulation CAIP SolidWorks. Встановлено, що прогин та напруження нижньої плити компенсатора з підп’ятником, при номінальному зусиллі навантаження преса (0,4 МН) в 5,00 та 3,52 рази більше ніж на підштамповій плиті, відповідно;

6. Розроблено технічні рішення по модернізації компенсатора похибок системи "прес-штамп". Запропоновано модернізовану конструкцію компенсатора похибок системи «прес-штамп», яка відрізняється тим, що

забезпечений оптимальний зазор між рухомими та нерухомими деталями компенсатора та застосовані мікрометричні упорні гвинти. Запропоновано спосіб зменшення прогину нижньої нерухомої плити компенсатора над провальним фігурним отвором в столі преса, шляхом накладення в зону інтенсивних деформацій зустрічного зусилля підпору.

7. Основні результати дослідження доповідалися на науково-технічній конференції студентів ЦНТУ у 2023 році. Тема доповіді: Використання САПР SolidWorks при проектуванні елементів штампового оснащення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Підвищення якості тонколистового розділового штампування механічним компенсатором похибок системи "прес-штамп": автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Мірзак Володимир Якович ; Кременчуц. нац. ун-т ім. Михайла Остроградського. - Кременчук, 2017. - 24 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 17-21.
2. Шепельський М. В. Теорія та проектування процесів холодного штампування. Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ, 2005, – 262 с.
3. Стеблюк В. И., Марченко В. Л., Белов В. В. и др. Технология листовой штамповки. Курсовое проектирование. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 280 с.
4. Гусихин Г. П. О влиянии зазора и геометрии инструмента на точность и усилия при вырубке / Г. П., Гусихин, А. П. Лисин // Прогрессивные методы современной штамповки. – Кишинев: 1973. – С. 23-26.
5. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / Романовский В. П. – [6-е изд.]. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1979. – 530 с.
6. Шенкар В. С. Исследование точности линейных размеров пластин при листовой штамповке / В. С. Шенкар, Ф. М. Шустичский // Кузнечно-штамповочное производство. – 1975. – № 9. – С. 24-27.
7. Зубцов М. Е. Листовая штамповка : учеб. / М. Е. Зубцов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
8. Noike Kazuhiro, Kasuga Naoki "Сосэй то како, J. Jap. Soc. Nechnol Plast.", 1972, 13, № 136, 339-347.
9. Титаренко, Н. И. Точность системы пресс-штамповый блок / Н. И. Титаренко. – Киев : Наукова думка, 1980. – 135 с.
10. Bruin N. de, Krempen M. Van, Remmerswaal Ir.II. Use and behaviour of eccentric type power presses. "Proc.Int. Ionf.Prod.Eng. New.Deher, 1977, vol.2, Calcutta, IV/60-IV/67.

11. Петров С. С. Влияние некоторых параметров вырубного прессы и заготовки на колебания исполнительного механизма / С. С. Петров, В. А. Мельник // Оборудование и технология кузнечно-штамповочного производства. 1975. – С. 76-82.

12. Tomselt W. Now to ineredse press and press to liefе factorg and Plaut, 1963, 51, N5, 307-312.

13. Фролов С. А., Попов С. В., Муравьев В. В., Агарков В. В. Вдосконалення універсально-складальних переналагоджувальних штампів оптимізацією конструктивних параметрів компонентів в умовах машинобудівного виробництва: монографія. Харків : Планета-Прінт, 2021. 167 с.

14. Mikkers I.C. Punch dispracements during blanking "Shcet Metal Inds" 1969, 46, N9, 761-763, 766-768, 771-773.

15. Hiyink I.A.W., Wolf A.C.H. Vander on the design of dic-sefs "CJRP", 1975, 24, N1, 357-360.

16. Хвостовики плавающие для штампов листовой штамповки. Конструкция и размеры: ДСТУ ГОСТ 16719:2008. – Введ. 2008-07-01. – Київ. : ДП «УкрНДНЦ», 2008. – 10 с.

17. Диамантопуло, К. К. Компенсация несоосности системы «пресс-штамп» изношенного штамповочного оборудования / К. К. Диамантопуло, В. В. Кухарь, А. И. Евтеев // Metallurgicheskie процессы и оборудование. – 2005. – № 2. – С. 31–34.

18. Кухарь, В. В. Снижение погрешности в системе пресс-штамп и безручьеовое профилирование заготовок на прессах / В. В. Кухарь // Вестник НТУ "ХПИ". – 2009. – № 37. – С. 54 – 62.

19. Качанов А. П. Исследование влияния упругих деформаций системы пресс-штамп на стойкость инструмента при вырубке-пробивке: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением» / А. П. Качанов. – Краматорск, 1978. – 19 с.

20. Спосіб тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп» з беззazorним напрямком рухомої частини штампа відносно нерухомої. Патент 70346 Україна, МПК В26F1/40 / Мірзак В. Я., Боков В. М.; власник Кіровоградський національний технічний університет. – № u201113040; заявл. 07.11.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.

21. Мірзак В. Я. Компенсатори похибок пресів: [монографія] / В. Я. Мірзак, В. М. Боков. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. – 148 с. ISBN 978-617-7079-52-0.

22. Автоматизація інженерних розрахунків в машинобудуванні : метод. вказ. до викон. лаб. робіт / [уклад. : О. І. Скібінський, В. М. Селєхова] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 64 с.

23. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних робіт з предмету Менеджмент організацій, НУ ЛП. URL: <https://ua.kursoviks.com.ua/metodychki/81-vkazivki-do-vikonannya-ekonomichnoi-chastini-diplomnikh-robit-menedzhment-organizatsiy-nu-lp> (дата звернення: 15.11.2023).

24. Вимоги безпеки при виконанні навчальних та науково-дослідних робіт. URL: [https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_Tender/Admin\\_diyalnist/stvnz\\_20\\_5-0.pdf](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Tender/Admin_diyalnist/stvnz_20_5-0.pdf) (дата звернення: 17.11.2023).