

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Пристрій для випробування криволінійних зразків на розтяг

Виконав: студент 4 курсу, групи РВ-41

спеціальності 152 "Метрологія та інформаційно

вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Назаревич Т.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Дубиняк Т.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Наконечний Ю.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Паламар М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Дедів Л. Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра приладів і контрольно-вимірювальних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Паламар М.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 152 "Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Назаревичу Тарасу Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Пристрій для випробування криволінійних зразків на розтяг

Керівник роботи Дубиняк Тарас Степанович, к.т.н., доцент кафедри ПВ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 26 » 05 2026 року № 4/9-248

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20.06.2026

3. Вихідні дані до роботи авторське свідоцтво №761824

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Загальнотехнічна частина

Конструкторсько-технологічна частина

Спеціальна частина

Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів) 12
слайдів для кваліфікаційної роботи бакалавра

Зміст

ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Постановка задачі і характеристика об'єкту вимірювання	7
1.2 Літературний огляд по темі завдання	8
2 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	14
2.1 Вибір досліджуваної деталі	14
2.2 Вимоги до роботи пристрою	14
2.3 Конструкція та принцип роботи спроектованого пристрою	15
2.4 Силовий розрахунок пристрою	18
2.5 Опис гідравлічного приводу	21
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	24
3.1 Технічні вимоги до розроблюваного електронного блоку	24
3.2 Структурна схема блоку керування	25
3.3 Опис принципу роботи електронного блоку	26
3.4 Розрахунок елементів схеми електронного блоку	28
3.4.1 Вибір АЦП	28
3.4.2 Розрахунок схеми підключення тензомостів	29
3.4.3 Розрахунок елементів підсилювачів	29
3.4.4 Розрахунок похибок електронного блоку	30
3.4.5 Розробка програмного забезпечення	32
3.5 Математичне моделювання	33
3.5.1 Дослідження зміни опору тензодатчика від величини осьового навантаження	33
3.5.2. Ймовірностний і статистичний аналіз зміни опору тензодатчика від величини осьового навантаження	39
3.6 САПР-моделювання конструкції пристрою для випробування на розтяг криволінійних зразків	42
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	55

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		4

4.1 Охорона праці при роботі з електричним обладнанням.....	55
4.2 Забезпечення здорових та безпечних умов праці (БЖД).....	58
ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	62

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		5

ВСТУП

При дослідженні механічних характеристик конструктивних матеріалів зазвичай використовують розривні машини та зразки прямолінійної форми. Для вивчення механічних властивостей матеріалів конструкцій циліндричної форми (балонів, трубопроводів) бажано з метою розширення інформативності та більшої достовірності випробування на розтяг виконувати на криволінійних зразках, які вирізаються безпосередньо з таких деталей

Об'єктом дослідження в КРБ є створення автоматичних пристроїв, пришвидшене введення автоматизованих методів дослідження властивостей та якості досліджуваної продукції.

Предметом проектування є розробка конструкції автоматизованого пристрою для дослідження механічних властивостей матеріалів зразків з криволінійною поверхнею.

Принцип роботи пристрою запозичений з АС 836562. Розроблена оригінальна і відносно проста конструкція пристрою, яка дозволяє досліджувати механічні характеристики матеріалу зразків криволінійної форми при їх розтягуванні і одночасно в автоматичному режимі вимірювати деформацію робочої частини криволінійного зразка. Спеціально спроектований шаблон запобігає випрямленню криволінійного зразка при розтягуванні, що суттєво підвищує достовірність отриманих результатів. Пристрій автоматизований і може працювати в комплексі з гідравлічною розривною машиною.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		6

1 ЗАГАЛЬНОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Постановка задачі і характеристика об'єкту вимірювання

Об'єктом вимірювання в цій роботі є криволінійні зразки, розміри яких приведені на рис. 1.1.

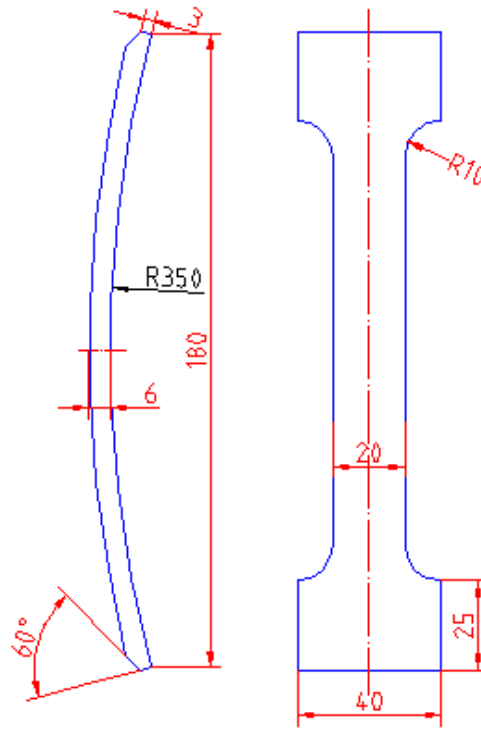


Рисунок 1.1 – Криволінійний зразок для дослідження механічних характеристик при розтягуванні

Згідно із технічним завданням потрібно розробити конструкцію пристрою для визначення границі пружності, пластичності та модуля пружності матеріалу трубчатих конструкцій. Зазвичай такі випробовування виконують на розривних машинах з допомогою прямолінійних зразків. Для вивчення механічних властивостей матеріалів конструкцій циліндричної форми (балонів, трубопроводів) бажано з метою розширення інформативності та більшої достовірності випробування на розтяг виконувати на криволінійних зразках, які вирізаються безпосередньо з таких деталей.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

При будівництві об'єктів, віддалених від промислових центрів (наприклад, магістральних трубопроводів), визначення механічних характеристик матеріалів, що застосовуються, а також зварних з'єднань необхідно проводити на місці будівництва, що дозволяє значно скоротити час на отримання результатів випробувань. Використання стаціонарних випробувальних машин є неможливим в польових умовах, оскільки їх маса і габарити досить значні. Тому доцільно спроектувати та виготовити спеціальний пристрій, який дозволить навантажувати криволінійний зразок та одночасно вимірювати деформацію його робочої частини.

1.2 Літературний огляд по темі завдання

Конструкції захватів.

Кріплення металевих зразків і конструкції захватів установок можуть бути дуже різноманітними. Сюди відносять способи кріплення зразків в самозатискних захватах, з допомогою різьбового з'єднання головки взірця із захватом, з допомогою штирів, які входять в отвори головок та захватів, а також з допомогою прямокутних буртів головок, які опираються на спеціальні поверхні захватів. Загальним у всіх перелічених способах кріплення взірця є необхідність достатнього (не менше поперечного розміру) віддалення місця кріплення від початку робочої довжини взірця. Це у відповідності з принципом Сен-Венана, забезпечує однорідність напруженого стану в робочій частині взірця. Найбільш надійним та універсальним способом кріплення взірців з подібного роду матеріалів є спосіб установки його в спеціальних захватах, які забезпечують передачу розтягуючого зусилля на бокові похилі поверхні головки. При цьому головки зразка виконуються у формі ромба. На рис. 1.2 показаний взірець прямокутного перерізу з ромбовидними головками.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		8

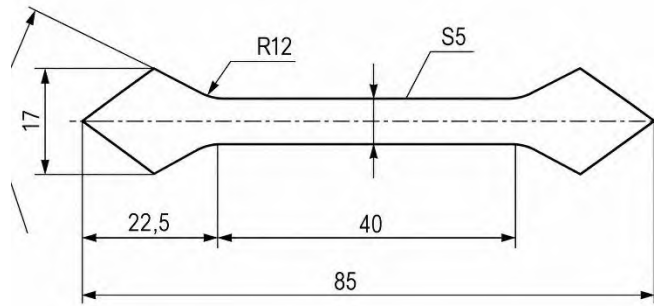


Рисунок 1.2 – Ромбовидний зразок

Перехід від головок до робочої частини плавний. Такі зразки можна отримати методом пресування в спеціальних прес-формах без додаткової механічної обробки, що є дуже важливим для отримання взірців з важко оброблюваних різанням матеріалів.

Як видно з рис. 1.2 та 1.3 такий спосіб передачі зусилля від захватів випробувальної машини до взірця не створює концентрації напружень в місцях переходу від головок до робочої частини.

Таке випробування має свої характерні особливості у порівнянні з випробуваннями звичних взірців. Сюди, перш за все, відносяться неможливість виконання кріпильних головок тієї або іншої форми. Закріплення кінців проволоки в стандартних захватах випробувальних машин не надійне. Відомий метод закріплення проволоки шляхом намотування навколо штирів, який можливий тільки при розтягуванні достатньо довгих взірців. Крім того, при цьому можливе.

Захвати для випробування тонкої проволоки на розтяг.

Таке випробування має свої характерні особливості у порівнянні з випробуваннями звичних взірців. Сюди, перш за все, відносяться неможливість виконання кріпильних головок тієї або іншої форми. Закріплення кінців проволоки в стандартних захватах випробувальних машин не надійне. Відомий метод закріплення проволоки шляхом намотування навколо штирів, який можливий тільки при розтягуванні достатньо довгих

взірців. Крім того, при цьому можливе випробування тільки м'якої проволоки, жорстка при такому способі кріплення ламається.

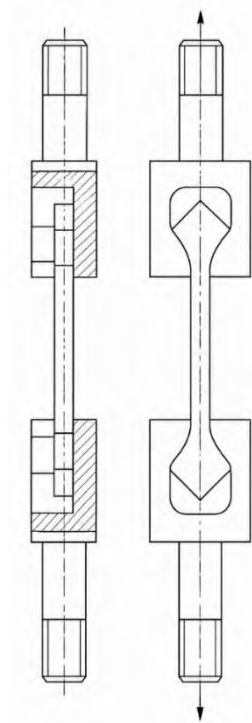


Рисунок 1.3 – Зразок із захватами у формі ромба

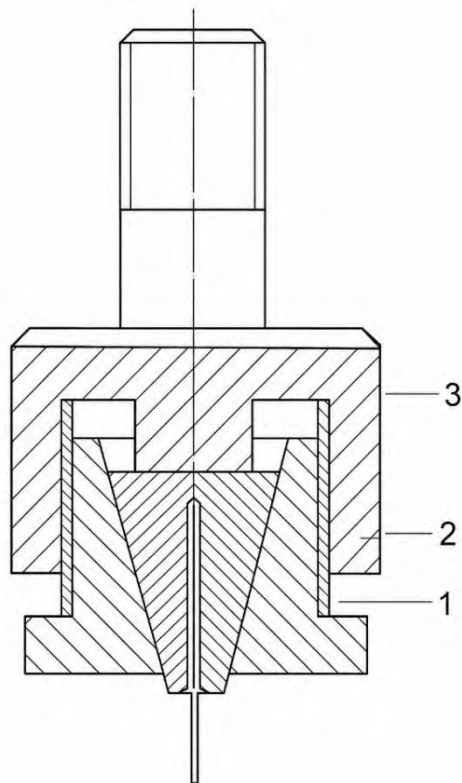


Рисунок 1.4 – Зразок для випробування зразків з тонкої проволоки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 034.00.00.000 ПЗ

Арк.

10

На рисунку 1.4 зображена схема захвату, яка дозволяє проводити розтяг коротких проволочних зразків. Зразки кріпляться між двома конічними губками 1, які знаходяться в основі захвату 2. Попередній зажим взірця здійснюється при вкручуванні перехідника 3 на основу. Верхня різьбова частина перехідника служить для встановлення описаного захвату в захватах випробувальної машини.

Основною відмінністю описаної схеми від застосованих захватів є те, що в даному випадку губки виконуються з матеріалу наперед меншої твердості, ніж досліджуваний взірець.

Конструкція захвату для механічних випробувань тонкостінних трубчатих взірців показана на рисунку 1.5.

Це цанга, яка складається з корпусу та конічних вкладишів, які мають на внутрішній поверхні різьбу, та з'єднуваної втулки для затягування взірця та з'єднання патрона із захватом машини. Для підвищення жорсткості взірця в місці закріплення в його торці встановлюється пробка. Недолік конструкції – невисока надійність кріплення взірця, особливо при його овальності та проведенні знакозмінного навантаження, а також складність розбирання, викликана заклинюванням вкладишів в корпусах, після закінчення експерименту. Захват складається з корпусу 5, гвинта 1, чотирьох зовнішніх конічних вкладишів 4, кільця 3, чотирьох внутрішніх вкладишів 2 та шпильки 11. Вкладиші розміщують всередину взірця, причому попередній їх прижим до стінок трубки здійснюється затягуванням гайки 6 на шпильці. При підніманні шпильки розжимаються внутрішні вкладиші. З допомогою штифтів 7 та 10 включаються повороти внутрішніх вкладишів та шпильки при закручуванні гайки.

Плоскі пружини 8 служать для зручності установки внутрішніх вкладишів, а пружина 9 – для зручності збирання зовнішніх вкладишів. Зовнішні вкладиші притискаються до взірця при закручуванні гвинта в корпус зажиму.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		11

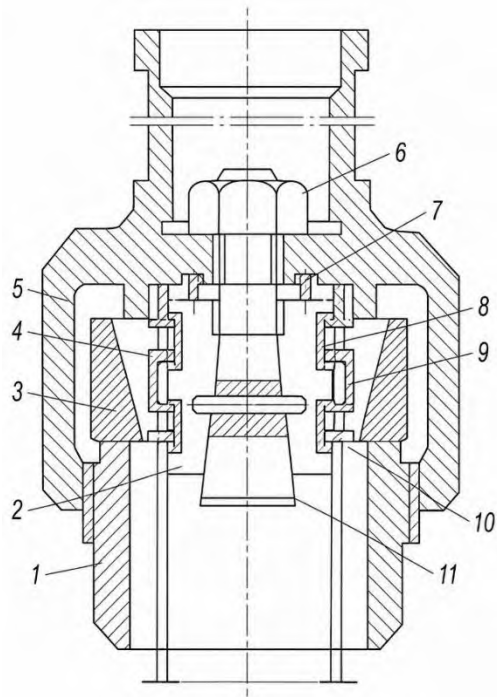


Рисунок 1.5 – Захват для випробування тонкостінних трубчастих зразків

Тензометр для одночасної реєстрації повздовжніх та поперечних деформацій плоских вірців (рис. 1.6) складається з двох основ 7 та 2, на яких закріплені базові голки-упори 1 та ножі 4 та 6. Ножі виконані з гнучких сталевих пластин, які мають форму, показану на рисунку 1.6, вид Б, та одночасно є гнучким чутливим елементом.

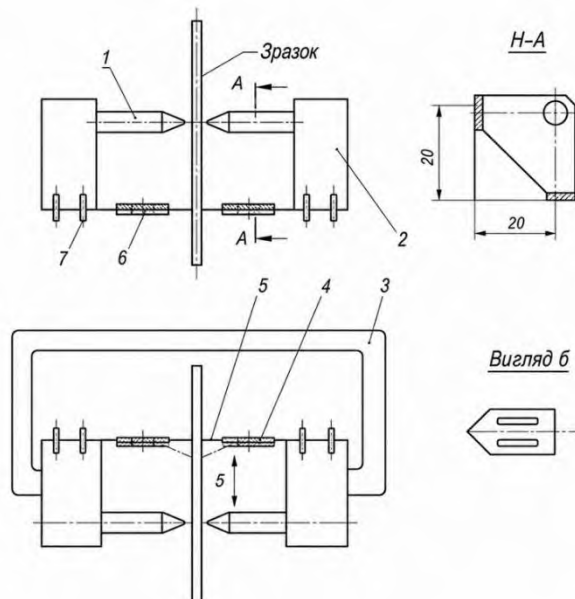


Рисунок 1.6 – Захват для випробування тонкостінних трубчастих зразків

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

На поверхню площин ножів наклеєні тензодатчики опору 5. Ліва та права частини тензометра на взірці встановлюється струбциною 3 (умовно показано на рисунку). Зчеплення кожної частини тензометра з поверхнею взірця здійснюється в трьох точках (жорстка голка, два гнучких ножі). При розтягуванні взірця відбувається згин гнучких елементів – ножів (штрихова крива). При цьому пружно деформуються тензодатчики, що приводить до зміни величин електричних сигналів, з допомогою яких реєструються величини деформації.

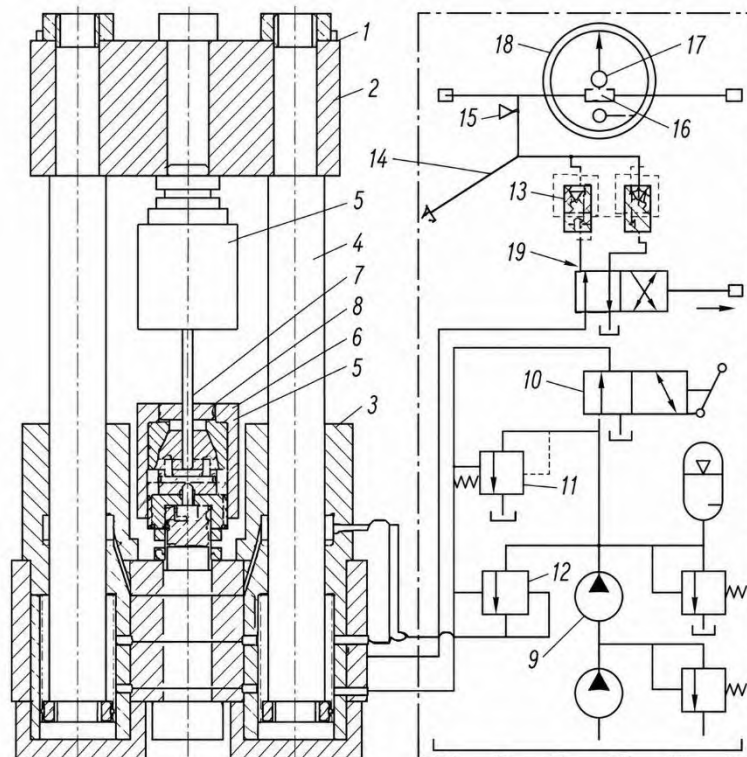


Рисунок 1.7 – Гідравлічна установка для випробування трубчастих зразків

Гідравлічна установка для випробування трубчастих зразків показана на рис 1.7. 1 — кріпильна втулка; 2 — верхня траверса; 3 — основа; 4 — напрямна колона; 5 — робочий гідроциліндр; 6 — робоча втулка; 7 — притиска кришка; 8 — центрувальний елемент; 9 — насос; 10 — гідророзподільник; 11 — запобіжний клапан; 12 — клапан тиску; 13 — керуючі клапани; 14 — лінія керування; 15 — дросель; 16 — контактний елемент; 17 — покажчик; 18 — манометр; 19 — клапан перемикавання потоку.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

2 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір досліджуваної деталі

Приймаємо для дослідження сталь прокатну для ножів землерийних машин (наприклад по ДСТУ 17152). Даний стандарт розповсюджується на сталеві профілі, призначені для ножів землерийних машин і бульдозерів, скреперів, грейдерів, а також для ножів землерийних машин бульдозерного та грейдерного обладнання екскаваторів.

Вибираємо профіль третього типу- жолобчатий. Він призначений для ножів автогрейдерів, грейдерів та бульдозерів. Нахил граней розміром S, не повинен перевищувати 5 мм. Місцева кривизна полоси 1 м профіля не повинна перевищувати: 5 мм – по ребру; 10 мм – по площині. Профіль для ножів землерийних машин повинен виготовлятися з сталі марки Ст.5.пс. по ДСТУ 1050-88.

2.2 Вимоги до роботи пристрою

Сконструйований пристрій призначений для випробування на розтяг ножів машини землерийної. Пристрій призначений для роботи в цехах та лабораторіях машинобудівних підприємств, а також в лабораторіях науково-дослідних інститутів з температурою навколишнього середовища від +10 С до +35 С та відносною вологістю від 50% до 80%. Для забезпечення достовірних результатів дослідження необхідно на обох кінцях зразка мати однакову розтягуючу силу. На пристрої не рекомендується проводити дослідження:

- неоднорідних по структурі сплавів (чавуну);

крихких виробів, які мають на поверхні раковини, сліди грубої обробки, інші дефекти;

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		14

- виробів, які можуть пружинити або дуже деформуватись під дією прикладеного навантаження;

- брудних, замаслених та запилених виробів.

Даний пристрій дозволяє проводити дослідження на зразках, площа поперечного перерізу яких не перевищує $F = 21,88 \text{ см}^2$.

2.3 Конструкція та принцип роботи спроектованого пристрою

Принцип роботи основного вузла спроектованого пристрою – механізму навантаження та вимірювання деформації досліджуваного криволінійного зразка – запозичені із АС 836562. Суттєвою перевагою такої конструкції є можливість одночасно із навантаженням зразка вимірювати його деформацію при розтягуванні. Вимірювання деформації криволінійного зразка на штатному діаграмному пристрої розривної машини значно знижує точність дослідження. Використання тензодавачів опору, які наклеюються на відкриту зовнішню сторону робочої частини зразка, недоцільно через велику складність підготовки поверхні зразка та наклеювання давача, невеликого діапазону вимірювання деформації та значного розкиду значень.

Конструкція вузла навантаження і одночасного вимірювання деформації приведена на рис. 2.1.

Пристрій складається з двох основних вузлів: пристрій для затиску досліджуваної деталі та розривної машини. Пристрій має два шарнірно зв'язаних між собою важеля 6 і 15. Між важелями передбачений зазор, в якому встановлений змінний шаблон 9 з криволінійною опорною поверхнею. Шаблон зв'язаний з важелем 6 шарніром 3. Дві тяги 4 з'єднуються з цанговими зажимами розривної машини.

Важіль 15 має форму сектора з двома напрямними радіальними пазами 12. В кожному пазі розміщений повзун 14 разом із змонтованою на ньому по осі паза гнучкою пластиною 13, яка виконана у вигляді гнучкої балки рівного опору

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

при згинанні. Пластина має гострий край 10 та наклеєний на неї тензодатчик опору 1. Повзун 14 має прижимний пристрій – гвинт 16 по осі паза 12.

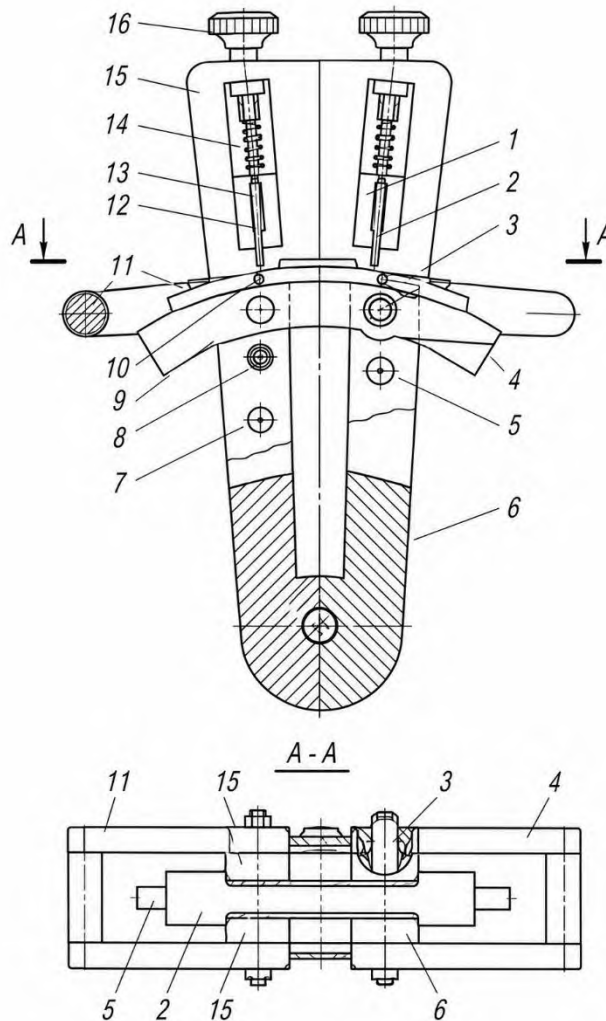


Рисунок 2.1 – Конструкція вузла навантаження криволінійних зразків

Порядок роботи на спроектованому пристрої наступний.

На зовнішній стороні важелів виконані спеціальні виступи, які контактують з двох сторін з головкою зразка 2 і забезпечують надійне притискання його до шаблону. Для приєднання до розривної машини передбачені тяги 4 і 11, шарнірно зв'язані з обома важелями.

Тяги 4 і 11 з'єднують із захватами розривної машини. На шаблоні 9 розміщують криволінійний зразок 2, який має спеціальні головки, таким чином, щоб ці на ці головки опиралися відповідні виступи обох важелів. При цьому повзуни 14 з гнучкими пластинами 13 повинні бути при допомозі гвинтів 16

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 034.00.00.000 ПЗ

Арк.

16

відведені від взірця, а їх гостра кромка повинна знаходитися на деякій віддалі від робочої частини взірця, не заважаючи його встановленню на шаблон. Закручуванням гвинтів підводять гнучкі пластини 13 в бік взірця так, щоб їх гострі кромки занурились у двох точках на поверхні робочої частини взірця без згинання. Віддаль між цими точками визначає величину вимірювальної бази. При розтягуванні на розривній машині важелі 6 і 15 взаємодіючи з зачіпками головки криволінійного зразка, розтягують його, а шаблон перешкоджає його вирівнюванню.

Кінематична схема пристрою показана на рис.2.2.

Пристрій складається з двох основних вузлів: пристрій для зажиму досліджуваної деталі та розривної машини. Тяги 7 з'єднуються з цанговими зажимами розривного механізму. На шаблон 18 подається криволінійний взірець 19, який має головки із зачіпками, таким чином, щоб ці зачіпки опиралися на зовнішні виступи важелів. При цьому повзуни 15 з вимірними гнучкими пластинами при допомозі гідравлічного механізму переміщення 11 повинні бути відведені від зразка та їх гостра кромка повинна знаходитися на деякій віддалі від робочої частини зразка, не заважаючи його встановленню на шаблон. Потім механізм переміщення 11 підводить повзуни в бік зразка так, щоб гострі кромки вимірних пластин зафіксувались у двох точках на поверхні робочої частини зразка.

Віддаль між цими точками визначає величину вимірювальної бази. При розтягуванні розривною машиною важелі 20 і 21 взаємодіючи з зачіпками взірця, розтягують його. Шаблон, не даючи вирівнятись взірцю, ковзає по обмежувачу 22.

Деформація зразка при розтягуванні приводить до збільшення віддалі між точками дотику кромки пластин, що в свою чергу приводить до їх згинання. Це змінює опір наклеєних на пластини тензодатчиків 16, що викликає появу в реєструючій апаратурі сигналів, які характеризують деформацію робочої частини взірця. При цьому величина деформації визначається по сумарній зміні опору тензорезисторів двох гнучких ножів 14. Радіальне розташування

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

направляючих пазів відповідає нормальному (перпендикулярному) розташуванню вимірних пластин відносно поверхні робочої частини взірця, що добре для надійного зчеплення їх кромки з матеріалами взірця в процесі налагодження та навантаження.

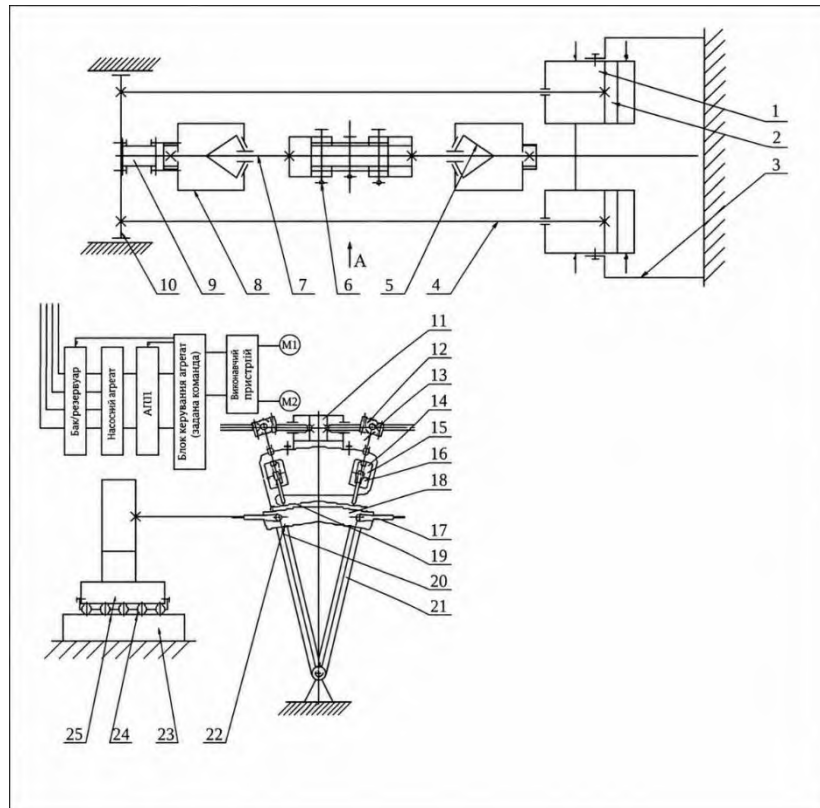


Рисунок 2.2 – Кінематична схема пристрою

2.4 Силевий розрахунок пристрою

Визначення максимального зусилля розривної машини.

Сила розтягу визначається з формули напруження розтягу:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F} \leq [\sigma_p] \quad , \quad (2.1)$$

де F - поперечне січення взірця;

σ_p - напруження розтягу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Звідси

$$P_p \leq [\sigma_p] \times F \quad (2.2)$$

Значення $[\sigma_p] = 145$ МПа.

Площа січення $F = a \times b = 6 \times 20 = 120$ мм², тоді

$$P_p = 290 \times 120 = 34800 \text{ Н} = 34,8 \text{ кН.}$$

Тягове зусилля одного гідроциліндра:

$$Q_{\tau} = \frac{P_p}{n} = \frac{34,8}{2} = 17,4 \text{ (кН)}, \quad (2.3)$$

де n - кількість гідроциліндрів.

Визначення діаметра поршня гідроциліндра.

Зусилля штоку гідроциліндра двосторонньої дії:

$$Q_{\text{ш}} = \frac{\Pi \times D^2}{4} \times p \times \eta, \quad (2.4)$$

де D - діаметр поршня гідроциліндра;

p - тиск масла, приймаємо $p = 16$ МПа;

η - к.к.д гідроциліндра, приймаємо $\eta = 0,85$;

З останньої формули визначаємо діаметр поршня:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\Pi \times p \times \eta}} = \sqrt{\frac{4 \times 17,4 \times 10^3}{3,14 \times 16 \times 0,85}} = 40,4 \text{ (мм)} \quad (2.5)$$

Приймаємо більший стандартний діаметр поршня (конструктивно):

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$D_y = D_n = 75 \text{ мм.}$$

Розрахунок з'єднання поршня і штока.

Різь в цьому з'єднанні буде працювати на зминання, тому виконаємо розрахунок за формулою:

$$\sigma_{з.м} = \frac{F}{\Pi \times d_2 \times h \times z} \leq [\sigma_{з.м}], \quad (2.6)$$

Де F - максимальне навантаження $F = Q = 8,7 \text{ кН}$;

d_2 - середній діаметр різі з'єднання;

h - висота профіля різі;

z - число робочих витків різі;

$[\sigma_{з.м}]$ - допустиме напруження на зминання.

Число робочих витків різі визначається за формулою:

$$Z = \frac{H}{p}, \quad (2.7)$$

де H - висота закручування;

p - крок різі.

В даній конструкції пристрою застосовуємо різь $M12 \times 1,5 \text{ мм}$. Вона має наступні розміри: $H=20 \text{ мм}$, $d_2=11,026 \text{ мм}$, $h=0,812 \text{ мм}$, $p=1,5 \text{ мм}$. Для сталі 45, з якої виготовляється з'єднання деталі, $[\sigma_{з.м}] = 150 \text{ мПа}$. Після підстановки даних отримуємо: $Z = 20/1,5 = 13,3$.

$$\sigma_{з.м} = \frac{8,7 \times 10^3}{3,14 \times 11,026 \times 0,812 \times 13,3} = 23,3 \text{ мПа} < [\sigma_{з.м}]$$

Отже умова міцності витримана.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2.5 Опис гідравлічного приводу

В розробленому стенді працює чотири гідроциліндри, два з яких працюють на розривний механізм, один на механізм подачі деталей та один на механізм переміщення вимірних ножів. Гідросистема служить для повздовжньої подачі рейок рейкової пари. Розглянемо роботу гідросистеми на два гідроциліндра розривного механізму. Вони працюють синхронно. Насос Н нагнітає робочу рідину - масло Р, температура якого $T^{\circ}\text{C}$, через гідророзподільник РГ в силові гідроциліндри Ц1 та Ц2, штоки яких навантажені силою F_p 12. Діаметр поршня D_n , штока D_u . К.к д гідроциліндра: механічний $\eta_m = 0,9$, об'ємний $\eta_o = 1$ маємо діаметри нагнітальних та зливних трубопроводів d_T .

Гідравлічна схема пристрою приведена на рис. 2.3.

Гідропривід складається з масляного бака 1, насоса 2, зворотного клапана 3, розподілювача 4, силових гідроциліндрів 5, трубопроводів 6, запобіжного клапана 7, фільтра 8.

Гідроприводи займають важливе місце в сучасному машинобудуванні, а також у вимірювальній техніці зокрема. До них необхідно віднести зворотно-поступальний (як для розробленого стенду) та обертальний гідроприводи. Зворотно-поступальний гідропривід перетворює рух рідини в корисний зворотно-поступальний рух робочого органу, а обертальний перетворює той же рух рідини в обертальний рух робочого органу, що забезпечує передачу крутного моменту без механічних передач. Що стосується зворотно-поступального переміщення в певній площині, або щоб зупинити робочий орган в певний момент гідроприводу, то він забезпечує роботу вузлів та механізмів, які автоматизують деякі процеси.

З допомогою цього гідроприводу можна одержувати великі зусилля при малих затратах потужності та негабаритному обладнанню.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

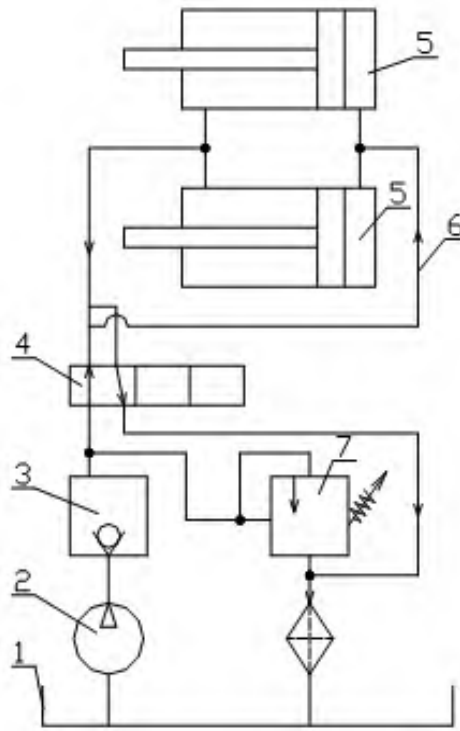


Рисунок 2.3 – Гідравлічна схема роботи циліндрів розривного вузла.

Швидкість переміщення штоків гідроциліндра:

$$V_{ш} = \frac{Q}{w_y}, \quad (2.8)$$

де Q - подача гідронасоса, м³/с (л/с);

w -площа поперечного січення трубопроводу по внутрішньому діаметру труби.

Задаючись певним значенням подачі Q (при $w_y = \text{const}$), ми можемо отримати будь-яку швидкість переміщення поршнів. В якості апаратури гідросистеми застосовують наступні прилади:

Гідроциліндр - це найпростіший гідродвигун, який використовується в якості виконавчого механізму гідроприводу з поступальним рухом вихідної ланки. По принципу дії та конструкції гідроциліндри досить різноманітні і використання того або іншого типу гідроциліндра диктується конкретними

умовами роботи, призначенням та конструкцією тієї машини, в якій він використовується. Наші гідроциліндри з одностороннім штоком.

Об'ємний насос. В ньому переміщення масла здійснюється шляхом витіснення його з робочих камер витискувачами. Під витискувачем мається на увазі робочий орган насоса, який безпосередньо здійснює роботу. За характером процесу витіснення масла об'ємні насоси діляться на поршневі та роторні.

Гідророзподільувач. Його основне призначення - зміна згідно зовнішньому управлінню рухів штоків масла в декількох гідролініях. Найбільш широке розповсюдження отримали золотникові гідророзподільувачі.

Клапан запобіжний- це пристрій, який здатний змінювати площу перерізу, що пропускає потік. Основне призначення- підтримувати в порожнинах гідросистем тиск рідини в заданих межах незалежно від розходу (напірний клапан), обмежити в безпечних межах підвищення тиску (запобіжний клапан).

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		23

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Технічні вимоги до розроблюваного електронного блоку

Електронний блок розробляється для виконання таких функцій:

- керування двома гідроциліндрами розривної машини;
- керування гідроциліндром рейкової передачі (переміщення вимірювальних ножів);
- керування електромагнітом вертикальної подачі заготовки;
- опитування тензомоста динамометра;
- опитування двох тензомостів, встановлених на щупах вимірювання переміщення;
- забезпечення обміну інформацією з ПК за допомогою послідовного інтерфейсу RS232;
- забезпечення виводу на рідкокристалічний індикатор результатів випробувань.

Конструкція електронного блоку повинна забезпечувати вільний доступ до плат та вузлів системи з метою їх заміни або ремонту, зручності в користуванні та обслуговуванні.

Необхідно забезпечити належний температурний режим всередині корпусу приладу.

Сумарна складова похибки електронного блоку не повинна перевищувати $\pm 0,5\%$.

Схема блоку повинна забезпечувати відображення вимірюваних параметрів в реальному часі.

Програмне забезпечення має забезпечити обмін інформацією між ПК та електронним блоком, для керування всіма виконавчими механізмами та вимірювальними вузлами. Необхідно забезпечити зберігання отриманих даних у виді бази даних.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		24

Для забезпечення виконання всіх перерахованих функцій використовується розроблений електронний блок під керуванням однокристальної мікроЕОМ DD2 1816BE51 (далі ОМЕОМ).

3.2 Структурна схема блоку керування

Структурна схема блоку керування стендом приведена на рис. 3.1.

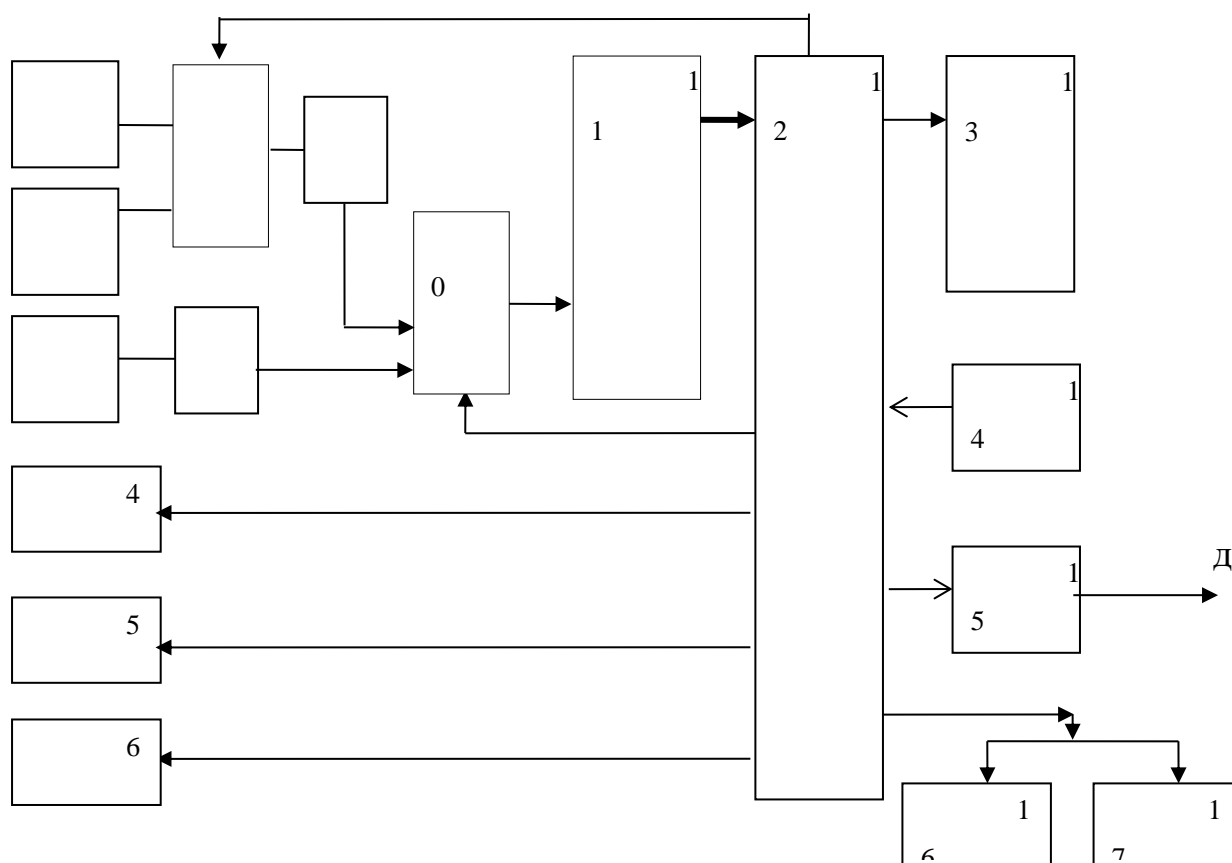


Рисунок 3.1 - Структурна схема блоку керування

На структурній схемі позначено: 1,2 – тензомости, встановлені на щупах вимірювання переміщення; 3 – тензоміст динамометра; 4 - схема керування електромагнітом вертикальної подачі заготовки; 5 - схема керування гідроциліндром подачі деталей з касети; 6 - схема керування гідроциліндром рейкової передачі; 7,10 – аналогові комутатори DA4 .. DA6; 8,9 – диференціальні підсилювачі; 11 - аналогово- цифровий перетворювач DA10; 12 - ОМЕОМ DD3;

13 – рідкокристалічний індикатор DD4; 14 - генератор тактових імпульсів для ОМЕОМ $f=12\text{МГц}$; 15 – схема узгодження виходів ОМЕОМ та послідовного інтерфейсу RS232; 16,17 - схеми керування гідроциліндрами розривної машини.

3.3 Опис принципу роботи електронного блоку

Електронний блок керування роботою стенду працює наступним чином.

За допомогою програмного забезпечення, що зберігається в постійній пам'яті ОМЕОМ 1816BE51 проводиться опитування всіх датчиків, керування роботою всіх виконавчих механізмів, обробка результатів випробувань та їх вивід на індикацію. Крім цього, інформація передається по послідовному інтерфейсу на ПК. Стенд може працювати як в автоматичному режимі, так і в напівавтоматичному, виконуючи команди, що посилаються з ПК.

Внаслідок деформування тензобалок, на які наклеєні тензорезистори на виходах тензомостів виникає напруга розбалансу, пропорційна деформації балки. Цей сигнал з трьох тензомостів поступає на входи підсилювачів, зібраних на операційних підсилювачах DA1..DA3 та DA7..DA9. Підсилювачі забезпечують максимально допустимий рівень сигналу, що дозволяє досягнути найкращої чутливості аналогово-цифрового перетворювача (далі АЦП).

За допомогою трьох аналогових комутаторів забезпечується по чергове підключення тензомостів до АЦП.

В залежності від комбінації керуючих сигналів K1,K2 (див. табл.3.1) на входах 10 та 15 комутаторів, що поступають з виходів портів P3.3 та P3.4 ОМЕОМ до входу аналого-цифрового перетворювача (далі АЦП) підключається один з трьох мостів.

АЦП 1113ПВ1 забезпечує перетворення вхідного аналогового сигналу 0..10В в паралельний цифровий 10-розрядний код.

З виходу АЦП цифровий сигнал передається через порт P2 в пам'ять ОМЕОМ для обробки.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		26

Керування гідроциліндрами та електромагнітом здійснюється ОМЕОМ через порти P1.0 .. P1.4.

Таблиця 3.1

K1	K2	Тензоміст
0	0	RT7..RT8
0	1	RT5..RT6
1	0	RT1..RT4
1	1	RT1..RT4

Для кожного пристрою використовується транзисторний ключ на p-n-p транзисторах VT1 .. VT5.

Транзисторні ключі керують пускачами, до яких безпосередньо підключаються виконавчі механізми.

Для передачі необхідної керуючої інформації в ОМЕОМ з ПК використовується послідовний інтерфейс RS232. Це дозволяє отримати зв'язок з електронним блоком не вносячи жодних змін в апаратне забезпечення ПК. Необхідно лише розробити відповідне програмне забезпечення для обміну інформацією.

У випадку непередбачених ситуацій чи збою програмного забезпечення схема має кнопку „RESET”, при натисканні якої проводиться скид програмного забезпечення в початковий стан і тестування зв'язку з ПК.

Для виводу інформації використовується символний 16x1 ЖКІ ВС 1601В (виробник BOLYMIN) із вбудованим контролером індикації KS0066U, який забезпечує вивід 256 різних знаків, в тому числі кирилиці.

Даний індикатор має світлодіодну підсвітку.

Крім того, інформація передається в ПК де відображається у вікні керуючої програми.

Для забезпечення роботи електронного блоку використовується блок живлення, що забезпечує подачу на блок напруги $\pm 15\text{В} \pm 5\%$, $\pm 12\text{В} \pm 5\%$ + $5\text{В} \pm 5\%$.

3.4 Розрахунок елементів схеми електронного блоку

Вихідні дані для розрахунків:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Максимальна деформація тензорезисторів динамометра ε_1 | 0,0025 |
| 2. Максимальна деформація тензорезисторів щупів вимірювання переміщень ε_2 | 0,0015 |
| 3. Похибка вимірювання деформацій $\delta_{\Sigma\varepsilon}$, % | ± 1 |
| 3. Складова похибки електронного блоку в $\delta_{\Sigma\varepsilon}$ $\delta_{\Sigma\varepsilon}$, % | ± 0.5 |

Технічна характеристика тензорезистора ПКП 5-400:

- | | |
|---|-----|
| 1. Коефіцієнт тензочутливості K_t | 2,2 |
| 2. Номінальний опір R_0 , Ом | 400 |
| 3. Сумарна похибка тензорезистора $\delta_{\text{тензо}}$, % | 0,1 |

3.4.1 Вибір АЦП

Критерієм вибору АЦП є забезпечення необхідної величини похибки перетворення сигналу в цифрову форму. Обрахунок ведеться за формулою

$$N \geq \log_2 (1 / \delta_{\Sigma\varepsilon}), \quad (3.1)$$

де N – число розрядів АЦП.

Підставивши дані, отримаємо

$$N \geq \log_2 (1 / 0.005) \geq 7,64 .$$

Виберемо АЦП 1113ПВ1 з такою характеристикою:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Число розрядів P | 10 |
| 2. Нелінійність δ_L , % | $\pm 0,1$ |
| 3. Диференційна нелінійність δ_{LD} , % | $\pm 0,1$ |
| 4. Час перетворення $t_{\text{АЦП}}$, мкс | 30 |
| 5. Діапазон допустимого вхідного сигналу $U_{\text{вх}}^{\text{АЦП}}$, В | 0 .. 10 |
| 6. Напруги живлення, В | |
| U_{CC1} | +5 |
| U_{CC2} | -15 |

3.4.2 Розрахунок схеми підключення тензомостів

Зміна опору тензорезистора при його деформуванні визначається за формулою

$$\Delta R_{\text{тр}} = R_0 \cdot \varepsilon_{\text{max}} \cdot K_T \quad (3.2)$$

Підставивши вихідні дані для розрахунків, отримаємо

- для тензорезисторів динамометра

$$\Delta R_{\text{тр1}} = 400 \cdot 0,0025 \cdot 2,2 = 2,2 \text{ Ом};$$

- для тензорезисторів щупів

$$\Delta R_{\text{тр2}} = 400 \cdot 0,0015 \cdot 2,2 = 1,32 \text{ Ом}.$$

Напряга на виході моста із чотирьох активних тензорезисторів обраховується за формулою

$$U_{\text{вх1}}^{\text{max}} = (U_{\text{ж}} \cdot \Delta R_{\text{тр1}}) / R_0, \quad (3.3)$$

а із двох активних тензорезисторів

$$U_{\text{вх2}}^{\text{max}} = (U_{\text{ж}} \cdot \Delta R_{\text{тр2}}) / (2 \cdot R_0), \quad (3.4)$$

де $U_{\text{ж}}$ – напруга живлення тензомоста, В.

Підставивши дані у формули (3), (4), отримаємо

$$U_{\text{вх1}}^{\text{max}} = (30 \cdot 2,2) / 400 = 0,17 \text{ В},$$

$$U_{\text{вх2}}^{\text{max}} = (30 \cdot 1,32) / 400 = 0,10 \text{ В}.$$

3.4.3 Розрахунок елементів підсилювачів

Принципові схеми підсилювачів приведені на схемі електричній принципівій.

Коефіцієнт підсилення підсилювача по напрузі розраховується за формулою

$$K_U = \frac{U_{\text{вх}}^{\text{АЦП}}}{U_{\text{вх}}^{\text{max}}}, \quad (3.5)$$

де $U_{\text{вх}}^{\text{АЦП}}$ - максимальний вхідний сигнал для АЦП, В.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		29

$$K_{U1} = \frac{10}{0,17} = 58,8$$

$$K_{U2} = \frac{10}{0,10} = 100$$

Знайдемо номінали опорів R7..R12,R14 для забезпечення необхідного K_{u1} .

R7..R12,R14 повинні забезпечувати умову

$$K_3 = \frac{R12}{R10} = \frac{(R12 + R10)R14}{(R14 + R11)R10}; \quad R9 = R7. \quad (3.6)$$

Тоді,

$$K_U = K_3 \left(1 + 2 \frac{R7}{R8} \right) = \frac{R12}{R10} \left(1 + 2 \frac{R7}{R8} \right) \quad (3.7)$$

З формули (7)

$$R10 = \frac{R12}{K_U} \left(1 + 2 \frac{R7}{R8} \right) \quad (3.8)$$

Задамо такі номінали опорів

$$R9=R7=5,1 \text{ кОм}; R8=1,1 \text{ кОм}; R12=1,8\text{кОм}.$$

Тоді,

$$R_{10} = \frac{1,8 * 10^3}{58,8} \left(1 + 2 \frac{5,1 * 10^3}{1,1 * 10^3} \right) = 310 \text{ Ом}$$

Для підсилювача на DA7..DA9:

$$R20 = \frac{R22}{K_U} \left(1 + 2 \frac{R17}{R18} \right) \quad (3.9)$$

Задамо такі номінали опорів

$$R19=R17=5,1 \text{ кОм}; R18=1,1 \text{ кОм}; R22=1,8\text{кОм}.$$

Тоді,

$$R_{20} = \frac{1,8 * 10^3}{100} \left(1 + 2 \frac{5,1 * 10^3}{1,1 * 10^3} \right) = 185 \text{ Ом}$$

3.4.4 Розрахунок похибок електронного блоку

Похибка вимірювального каналу обраховується за формулою

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{(\delta_{\text{тензо}})^2 + (\delta_{II})^2 + (\delta_{\text{АЦП}})^2}, \quad (3.10)$$

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

де $\delta_{тензо}$ - сумарна похибка тензорезистора, %;

$\delta_{П}$ - сумарна похибка підсилювача, %.

$\delta_{АЦП}$ - сумарна похибка АЦП, %.

Похибка тензодатчика $\delta_{тензо} = \pm 0,1\%$ (3.11)

Похибка підсилювача обраховується за формулою

$$\delta_{П} = \sqrt{(\delta_{U_{зм}}(t))^2 + (\delta_{U_{зм}}(t^\circ))^2 + (\delta_{U_{сф}})^2 + (\delta_{U_{жс}})^2}, \quad (3.12)$$

де $\delta_{U_{зм}}(t)$ - часовий дрейф нуля операційного підсилювача, %;

$\delta_{U_{зм}}(t^\circ)$ - температурний дрейф нуля операційного підсилювача, %;

$\delta_{U_{сф}}$ - похибка від впливу синфазного сигналу, %;

$\delta_{U_{жс}}$ - похибка від впливу зміни напруги живлення, %.

Похибку $\delta_{U_{зм}}(t^\circ)$ можна визначити за формулою

$$\delta_{U_{зм}}(t^\circ) = \frac{\Delta U_{зм}(t^\circ) \cdot \Delta t^\circ}{U_{R0}^{max}} 100\%, \quad (3.13)$$

де Δt° - діапазон температур експлуатації, $^\circ C$;

$\Delta U_{зм}(t^\circ)$ - дрейф напруги зміщення нуля, $V/^\circ C$.

Для операційного підсилювача К140УД9 [1]:

$$\Delta U_{зм}(t^\circ) = 20 \cdot 10^{-6} V/^\circ C;$$

$$\Delta t^\circ = 40 - 10 - 30^\circ C.$$

Тоді, $\delta_{U_{зм}}(t^\circ) = \frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot 30}{0.24} 100\% = 0.025\%$.

Похибка $\delta_{U_{сф}} = 0$ оскільки живлення мостів з двополярне.

Похибка $\delta_{U_{жс}}$ обраховується за формулою

$$\delta_{U_{жс}} = \frac{\Delta U_{жс} \cdot K_{жс}}{U_{R0}^{max}} 100\%, \quad (3.14)$$

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

де $\Delta U_{жс}$ - коливання напруги живлення, В;

$K_{ж}$ – коефіцієнт впливу нестабільності живлення, мкВ/В.

Для К140УД9 $K_{жс} = 20$ мкВ/В.

Для живлення $\pm 15\text{В} \pm 5\%$ зміна напруги живлення можлива в межах $\pm 14,25..15,75\text{В}$, тобто $\Delta U_{жс} = \pm 0,75\text{В}$.

$$\text{Тоді, } \delta_{U_{жс}} = \pm \frac{0.75 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{0.24} 100\% = 0.007\% .$$

Підставивши результати у формулу (13) отримаємо

$$\delta_{II} = \pm \sqrt{(0.025)^2 + (0.025)^2 + 0^2 + (0.007)^2} = \pm 0.036\%$$

Похибка АЦП обраховується за формулою

$$\delta_{АЦП} = \sqrt{(\delta_L)^2 + (\delta_{LD})^2 + (\delta_{KB})^2} , \quad (3.15)$$

де δ_{KB} - похибка квантування, %.

$$\delta_{KB} = \pm \frac{1}{2} \frac{1}{2^N} 100\% , \quad (3.16)$$

де N – число розрядів АЦП.

Підставивши дані у формули (15,16, 10) отримаємо

$$\delta_{KB} = \pm \frac{1}{2} \frac{1}{2^{10}} 100\% = \pm 0,05\%$$

$$\delta_{АЦП} = \pm \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,05^2} = \pm 0,15\%$$

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{0,1^2 + 0,036^2 + 0,15^2} = \pm 0,18\%$$

Отже, електронна частина похибки стенду задовольняє технічне завдання.

3.4.5 Розробка програмного забезпечення

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		32

Для керування роботою електронного блоку розроблено програмне забезпечення, оформлене у виді окремих підпрограм, кожна з яких виконує свою функцію:

- АСР – підпрограма зчитування результатів перетворення на АЦП;
- АСР_ALL – підпрограма керування комутаторами для вибору одного із трьох тензомостів;
- INIT_IND – підпрограма ініціалізації індикатора.

Апаратне підключення необхідних для написання підпрограм виводів елементів схеми наступне:

АЦП:

- T – запуск АЦП – порт P1.6;
- R0 – сигнал готовності даних – порт P1.7;
- Q2..Q9 – перетворений цифровий код поступає на шину даних ОМЕОМ (8 біт) - порти P2.0...P2.7.
- K1..K2 – сигнали для комутаторів – P3.3, P3.4.

Загальна блок-схема роботи керуючої програми приведена на рис. 3.1.

3.5 Математичне моделювання

3.5.1 Дослідження зміни опору тензодатчика від величини осьового навантаження

Розглянемо з рис. 3.2 деформацію вимірювальних щупів 1 і 2 під дією осьового навантаження P , що діє на досліджуваний зразок 3. Під дією навантаження досліджуваний зразок деформується і відповідно вимірювальні щупи будуть деформуватись у осьовому напрямку по осі y (під дією осьового навантаження відбувається деформація стиску) і у поперечному напрямку прогинатись на кут φ (внаслідок деформації прогину досліджуваного зразка відбувається деформація згину вимірювального щупа). Відповідно до цього

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		33

деформуються наклеєні на вимірювальні щупи 1 і 2 тензорезистори і внаслідок чого змінюється їх опір.

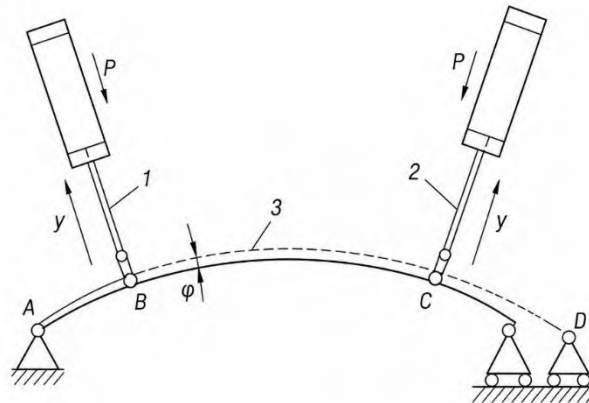


Рисунок 3.2 - Схема деформації контрольованого зразка (балки) під дією навантаження.

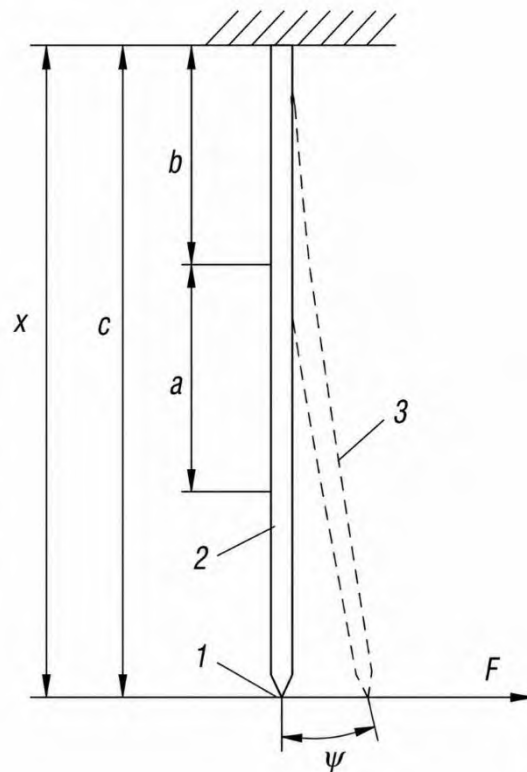


Рисунок 3.3 – Схема деформації тензорезистора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Розглянемо коротко деформацію самого тензорезистора при згинанні вимірювального щупа (рис.3.3). Під час деформації контрольованого зразка 1 вимірювальний щуп 3 так само як і контрольований зразок (балка) прогинається на кут ψ і відповідно наклеєний на нього тензорезистор 2 довжиною a , що наклеєний на відстані b від основи щупа, розтягується.

Зміну опору тензорезистора ΔR при деформації Δa можна зв'язати співвідношенням:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta a}{a}, \quad (3.17)$$

де ΔR – зміна опору тензорезистора при деформації щупа,

Δa – абсолютна деформація тензорезистора,

R – номінальний опір тензорезистора,

a – довжина тензорезистора.

Абсолютна деформація тензорезистора складається з 2-х складових:

$$\Delta a = \Delta a_1 + \Delta a_2 \quad (3.18)$$

де Δa_1 - деформація тензорезистора при згині вимірювального щупа;

Δa_2 - деформація тензорезистора при стиску вимірювального щупа.

Деформацію тензорезистора Δa_1 ми можемо знайти з формули:

$$\Delta a_1 = \int_b^{a+b} \psi(x) dx, \quad (3.19)$$

де h – товщина щупа, на якій розташовані тензорезистори;

b – положення тензорезистора відносно защемленого кінця щупа;

$\psi(x)$ – кут прогину вимірювального щупа по координаті x .

Прогин щупа на кут $\psi(x)$ можемо знайти за формулою:

$$\psi(x) = \frac{F \cdot x}{2 \cdot E \cdot J} \cdot (2 \cdot c - x) \quad (3.20)$$

де F - величина поперечного навантаження на щуп;

E - модуль пружності матеріалу щупа;

J - момент інерції сичення щупа;

c - довжина щупа.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

З іншого боку кут прогину кінця щупа буде рівним куту прогину контрольованого зразка (балки) φ , тобто $\psi_{x=c}=\varphi$. Отже формулу кута прогину кінця вимірювального щупа можна записати у такому вигляді:

$$\varphi = \frac{F \cdot c^2}{2 \cdot E \cdot J} \quad (3.21)$$

Виразимо $\psi(x)$ через прогин φ з рівняння:

$$\frac{\psi(x) \cdot 2 \cdot E \cdot J}{x \cdot (2 \cdot c - x)} = \frac{\varphi \cdot 2 \cdot E \cdot J}{c^2} \quad (3.22)$$

Отже маємо:

$$\psi(x) = \frac{\varphi}{c^2} \cdot (2 \cdot c \cdot x - x^2) \quad (3.23)$$

Тоді деформацію тензорезистора Δa_1 ми можемо знайти з формули:

$$\begin{aligned} \Delta a_1 &= \int_b^{a+b} \frac{\varphi}{c^2} \cdot (2 \cdot c \cdot x - x^2) dx = \frac{\varphi}{c^2} \cdot \int_b^{a+b} (2 \cdot c \cdot x - x^2) dx = \\ &= \frac{\varphi}{c^2} \cdot \left(c \cdot x^2 - \frac{x^3}{3} \right) \Big|_b^{a+b} = \frac{\varphi}{c^2} \cdot \left(c \cdot (a+b)^2 - \frac{(a+b)^3}{3} - c \cdot b^2 + \frac{b^3}{3} \right) \end{aligned} \quad (3.24)$$

Для того, щоб визначити кут прогину кінця вимірювального щупа φ розглянемо деформацію контрольованого зразка (балки) при його згині. Вісь зразка (балки) під дією осьової сили P зі сторони вимірювальних щупів вигинається, а поперечні січення балки повертаються також на кут φ і одночасно дістають поступальне переміщення.

При деформації контрольованого зразка (балки) його довжина залишається постійною, тобто $L=\text{const}$, а кривизна та кут згину змінюється. Тому маємо, що:

$$\varphi = L \cdot \rho \quad (3.25)$$

З курсу опору матеріалів нам відомо, що:

$$\rho = \frac{M}{E_1 \cdot J_1} \quad (3.26)$$

де ρ – зміна кривизни осі зразка (балки) під навантаженням;

M - крутний момент, що згинає зразок (балку);

E_1 - модуль пружності матеріалу зразка (балки);

J_1 - момент інерції січення зразка (балки).

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Тоді маємо:

$$\varphi = L \cdot \frac{M}{E_1 \cdot J_1} \quad (3.27)$$

Визначимо кут прогину контрольованого зразка в точці В (рис. 1) – точці контакту 1-го вимірювального щупа. Крутний момент, що згинає зразок (балку) складається з двох складових:

$$M = M_1 + M_2 \quad (3.28)$$

де M_1 – крутний момент, що створюється зусиллям прижиму 1-го щупа;

M_2 – крутний момент, що створюється зусиллям прижиму 2-го щупа.

Крутний момент M_1 знаходимо за формулою:

$$M_1 = P \cdot r \cdot \sin \frac{l}{r} \quad (3.29)$$

де l – довжина дуги АВ;

r – радіус зразка (балки);

P – навантаження, що діє на зразок (балку).

Крутний момент M_2 знаходимо за формулою:

$$M_2 = P \cdot r \cdot \sin \frac{L-l}{r} \quad (3.30)$$

де L – довжина дуги АД (довжина зразка).

Тоді маємо:

$$M = P \cdot r \cdot \sin \frac{l}{r} + P \cdot r \cdot \sin \frac{L-l}{r} = P \cdot r \cdot \left(\sin \frac{l}{r} + \sin \frac{L-l}{r} \right) \quad (3.31)$$

Кут прогину φ_1 буде:

$$\varphi_1 = \frac{l \cdot P \cdot r}{E_1 \cdot J_1} \cdot \left(\sin \frac{l}{r} + \sin \frac{L-l}{r} \right) \quad (3.32)$$

Тоді деформацію Δa_1 ми можемо записати:

$$\Delta a_1 = \frac{l \cdot P \cdot r}{c^2 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \left(\sin \frac{l}{r} + \sin \frac{L-l}{r} \right) \cdot \left(c \cdot (a+b)^2 - \frac{(a+b)^3}{3} - c \cdot b^2 + \frac{b^3}{3} \right) \quad (3.33)$$

Деформацію при стиску вимірювального щупа Δa_2 ми можемо знайти з формули:

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		37

$$\Delta a_2 = \frac{P \cdot c}{E \cdot S} \quad (3.35)$$

де S – площа поперечного січення вимірювального щупа.

Отже тепер ми можемо визначити залежність зміни опору 1-го тензодатчика від величини осьового навантаження:

$$\Delta R_1 = \frac{P \cdot R}{a} \cdot \left(\frac{l \cdot r}{c^2 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \left(\sin \frac{l}{r} + \sin \frac{L-l}{r} \right) \cdot \left(c \cdot (a+b)^2 - \frac{(a+b)^3}{3} - c \cdot b^2 + \frac{b^3}{3} \right) + \frac{c}{E \cdot S} \right) \quad (3.36)$$

Аналогічним чином шукаємо залежність зміни опору 2-го тензодатчика від величини осьового навантаження:

$$\Delta R_2 = \frac{P \cdot R}{a} \cdot \left(\frac{(L-l) \cdot r}{c^2 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \left(\sin \frac{l}{r} + \sin \frac{L-l}{r} \right) \cdot \left(c \cdot (a+b)^2 - \frac{(a+b)^3}{3} - c \cdot b^2 + \frac{b^3}{3} \right) + \frac{c}{E \cdot S} \right) \quad (3.37)$$

де P – навантаження, що діє на зразок (балку);

R – номінальний опір тензорезистора;

a – довжина тензорезистора;

l – довжина дуги АВ (рис. 1);

L – довжина дуги АД (довжина зразка);

r – радіус зразка (балки);

c – довжина щупа;

h – товщина щупа, на якій розташовані тензорезистори;

b – положення тензорезистора відносно защемленого кінця щупа;

E_1 – модуль пружності матеріалу зразка (балки);

E – модуль пружності матеріалу щупа;

J_1 – момент інерції січення зразка (балки):

$$J_1 = \frac{d \cdot h_1^3}{12} \quad (3.38)$$

де h_1 – товщина січення зразка (балки), (рис. 3);

d – ширина січення зразка (балки);

S – площа поперечного січення вимірювального щупа:

$$S = h \cdot b_1 \quad (3.39)$$

де h – товщина січення вимірювального щупа;

									КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
										38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат						

b_1 – ширина січення вимірювального щупа.

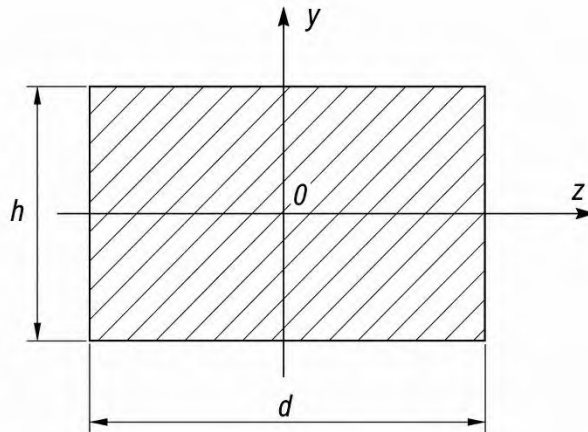


Рисунок 3.4 - Січення зразка (балки).

3.5.2. Ймовірностний і статистичний аналіз зміни опору тензодатчика від величини осевого навантаження

Проведемо аналіз ймовірностей залежності зміни опору тензодатчика від величини осевого навантаження P , якщо величина P є рівномірно розподіленою в діапазоні $[P_0; P_0 + \Delta P]$. Якщо P рівномірно розподілена величина, то ймовірність появи її в заданому діапазоні рівна 1:

$$F_P = \int_{P_0}^{P_0 + \Delta P} f_P \cdot dP = 1 \quad (3.40)$$

де F_P – ймовірність появи величини P ;

f_P – густина розподілу величини P .

Знайдемо густину розподілу f_P з інтегралу:

$$\int_{P_0}^{P_0 + \Delta P} f_P \cdot dP = 1 \quad (3.41)$$

$$\int_{P_0}^{P_0 + \Delta P} f_P \cdot dP = f_P \cdot (P_0 + \Delta P - P_0) = f_P \cdot \Delta P = 1 \quad (3.42)$$

$$f_P = \frac{1}{\Delta P} \quad (3.43)$$

Густина розподілу зміни опору тензодатчика ми можемо знайти за формулою:

$$f_{\Delta R} = f[\psi(\Delta R)] \cdot |\psi'(\Delta R)| \quad (3.44)$$

де $f_{\Delta R}$ – густина розподілу зміни опору тензодатчика;

$\psi(\Delta R)$ – функція обернена до функції $\Delta R=f(P)$.

Знайдемо обернену функцію $\psi(\Delta R)$, якщо пряма функція буде:

$$\Delta R = \frac{P \cdot R}{a} \cdot \left(\frac{l \cdot r}{c^2 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \left(\sin \frac{l}{r} + \sin \frac{L-l}{r} \right) \cdot \left(c \cdot (a+b)^2 - \frac{(a+b)^3}{3} - c \cdot b^2 + \frac{b^3}{3} \right) + \frac{c}{E \cdot S} \right) \quad (28)$$

Для спрощення виразу введемо заміни:

$$A = \frac{R}{a} \cdot \left(\frac{l \cdot r}{c^2 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \left(\sin \frac{l}{r} + \sin \frac{L-l}{r} \right) \cdot \left(c \cdot (a+b)^2 - \frac{(a+b)^3}{3} - c \cdot b^2 + \frac{b^3}{3} \right) + \frac{c}{E \cdot S} \right) \quad (3.45)$$

$$\Delta R = A \cdot P \quad (3.46)$$

Тоді маємо:

$$\psi(\Delta R) = \frac{\Delta R}{A} \quad (3.47)$$

Знайдемо похідну функції $\psi(\Delta R)$:

$$\psi'(\Delta R) = \frac{1}{A} \quad (3.48)$$

Отже тепер ми можемо знайти густина розподілу зміни опору тензодатчика:

$$f_{\Delta R} = \frac{1}{\Delta P \cdot A} \quad (3.49)$$

Ймовірність появи величини ΔR в заданому діапазоні ми можемо знайти за формулою:

$$F_{\Delta R} = \int_0^{\Delta R} f_{\Delta R} \cdot d\Delta R \quad (3.50)$$

$$F_{\Delta R} = \frac{1}{\Delta P \cdot A} \cdot \int_0^{\Delta R} d\Delta R = \frac{\Delta R}{\Delta P \cdot A} \quad (3.51)$$

Отже ми знайшли формули густини розподілу та ймовірності розподілу зміни опору тензодатчика від величини осьового навантаження P , якщо величина P є рівномірно розподіленою в діапазоні $[P_0; P_0 + \Delta P]$.

$$f_{\Delta R} = \frac{1}{\Delta P \cdot A}$$

$$F_{\Delta R} = \frac{\Delta R}{\Delta P \cdot A}$$

Математичне сподівання величини ΔR буде:

$$\begin{aligned} M(\Delta R) &= \int_0^{\Delta R} \Delta R \cdot f(\Delta R) \cdot d\Delta R = \int_0^{\Delta R} \Delta R \cdot \left(\frac{1}{\Delta P \cdot A} \right) \cdot d\Delta R = \frac{1}{\Delta P \cdot A} \cdot \int_0^{\Delta R} \Delta R d\Delta R = \\ &= \frac{1}{\Delta P \cdot A} \cdot \frac{\Delta R^2}{2} \Big|_0^{\Delta R} = \frac{\Delta R^2}{2 \cdot \Delta P \cdot A} \end{aligned} \quad (3.52)$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$\begin{aligned} A &= \frac{500}{0.01} \cdot \left(\frac{0.03 \cdot 0.3}{0.02^2 \cdot 3.7 \cdot 10^7 \cdot 1.6 \cdot 10^{-9}} \cdot \left(\sin \frac{0.03}{0.3} + \sin \frac{0.18 - 0.03}{0.3} \right) \times \right. \\ &\times \left. \left(0.02 \cdot (0.01 + 0.005)^2 - \frac{(0.01 + 0.005)^3}{3} - 0.02 \cdot 0.005^2 + \frac{0.005^3}{3} \right) + \frac{0.02}{2.1 \cdot 10^9 \cdot 10^{-5}} \right) = 6.1 \cdot 10^{-2} \left[\frac{\text{Ом}}{\text{Н}} \right] \\ M(\Delta R) &= \frac{15^2}{2 \cdot 2 \cdot 6.1 \cdot 10^{-2}} = 922.1 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Дисперсія величини ΔR буде:

$$\begin{aligned} D(\Delta R) &= \int_0^{\Delta R} \Delta R^2 \cdot f(\Delta R) \cdot d\Delta R - [M(\Delta R)]^2 = \int_0^{\Delta R} \Delta R^2 \cdot \left(\frac{1}{\Delta P \cdot A} \right) \cdot d\Delta R - [M(\Delta R)]^2 = \\ &= \frac{1}{\Delta P \cdot A} \cdot \int_0^{\Delta R} \Delta R^2 \cdot d\Delta R - [M(\Delta R)]^2 = \frac{1}{\Delta P \cdot A} \cdot \frac{\Delta R^3}{3} \Big|_0^{\Delta R} - [M(\Delta R)]^2 = \\ &= \frac{1}{\Delta P \cdot A} \cdot \frac{\Delta R^3}{3} - [M(\Delta R)]^2 \end{aligned} \quad (3.53)$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$D(\Delta R) = \frac{1}{2 \cdot 6.1 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{15^3}{3} - [0.092]^2 = 27663.3 \text{ Ом}^2$$

Тоді середнє квадратичне відхилення для ΔR буде рівне:

$$\delta = \sqrt{D(\Delta R)} \quad (3.54)$$

									Арк.
									41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$\delta = \sqrt{27663.3} = 166.3 \text{ м.}$$

3.6 САПР-моделювання конструкції пристрою для випробування на розтяг криволінійних зразків

Сучасне проектування випробувальних пристроїв доцільно виконувати із застосуванням систем автоматизованого проектування, оскільки вони дозволяють не лише побудувати геометричну модель виробу, а й перевірити взаємне розташування деталей, робочий хід рухомих вузлів, наявність можливих зіткнень, відповідність основних розмірів розрахунковим даним та технологічність виготовлення елементів конструкції.

У даній роботі САПР-частина використовується для узагальнення результатів конструкторсько-технологічного та спеціального розділів дипломного проєкту. Об'єктом комп'ютерного моделювання є пристрій для випробування на розтяг криволінійних зразків, який забезпечує навантаження зразка, його утримання на криволінійному шаблоні та одночасне вимірювання деформації робочої частини за допомогою гнучких вимірювальних пластин з тензодатчиками.

До складу САПР-моделі входять криволінійний зразок, змінний шаблон з опорною поверхнею, два шарнірно зв'язані важелі, тяги для з'єднання з розривною машиною, повзуни з гнучкими пластинами, регулювальні гвинти, шарнірні осі, елементи гідравлічного приводу та умовна модель електронного блоку обробки сигналу. Таке представлення дозволяє перевірити не тільки форму деталей, а й принцип взаємодії механічної, гідравлічної та вимірювальної частини стенда.

Мета та задачі САПР-моделювання

Метою САПР-моделювання є створення параметричної комп'ютерної моделі пристрою для випробування криволінійних зразків, яка дає змогу перевірити працездатність конструкції до виготовлення дослідного зразка. Параметрична модель повинна дозволяти змінювати радіус кривизни шаблону,

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

довжину вимірювальної бази, положення повзунів, робочий хід гідроциліндрів та основні посадочні розміри деталей.

Основними задачами САПР-моделювання є: побудова 3D-моделей основних деталей; формування складальної одиниці; задання шарнірних, співвісних, контактних та обмежувальних спряжень; перевірка встановлення криволінійного зразка на шаблоні; контроль руху важелів при навантаженні; перевірка переміщення повзунів з вимірювальними пластинами; аналіз відсутності критичних перетинів деталей; підготовка робочих креслень та специфікації.

Таблиця 3.6.1 – Вихідні дані для САПР-моделювання пристрою

Параметр	Значення	Примітка
Тип контрольованого зразка	криволінійний зразок	Призначений для дослідження механічних характеристик при розтягуванні
Радіус кривизни робочої поверхні	$R = 350$ мм	Приймається за кресленням криволінійного зразка
Товщина зразка	6 мм	Використовується під час побудови тіла зразка
Ширина робочої частини	20 мм	Враховується при побудові поперечного перерізу
Площа поперечного перерізу	$F = 120$ мм ²	Прийнята у силовому розрахунку
Максимальне зусилля розтягу	$P_p = 34,8$ кН	Визначає навантаження у моделі
Кількість силових гідроциліндрів	2 шт.	Циліндри працюють синхронно
Тягове зусилля одного гідроциліндра	$Q_T = 17,4$ кН	Половина загального зусилля
Тиск робочої рідини	$p = 16$ МПа	Використовується при підборі гідроциліндра
Розрахунковий діаметр поршня	$D = 40,4$ мм	Отриманий за силовим розрахунком
Прийнятий діаметр поршня	$D_y = 75$ мм	Прийнято більший стандартний розмір
Різь з'єднання поршня і штока	M12×1,5	Перевіряється за умовою міцності

Параметр	Значення	Примітка
Похибка електронного блоку	не більше $\pm 0,5$ %	Враховується при оцінюванні вимірювального каналу

Структура САПР-моделі пристрою

Структура САПР-моделі формується відповідно до конструкції вузла навантаження криволінійних зразків. Базовими елементами моделі є два важелі, які шарнірно зв'язані між собою та сприймають зусилля від розривної машини через тяги. Між важелями розміщується змінний шаблон з криволінійною опорною поверхнею, на яку встановлюється досліджуваний зразок. Шаблон у моделі повинен бути виконаний окремою деталлю, оскільки його геометрія може змінюватися залежно від радіуса кривизни та типорозміру зразка.

Вимірювальна частина моделі складається з повзунів, установлених у радіальних пазах важеля, та гнучких пластин, на які умовно наносяться тензодатчики. Гострі кромки пластин контактують із робочою частиною зразка у двох точках. Відстань між цими точками утворює вимірювальну базу. Під час розтягу зразка ця база збільшується, що викликає згин гнучких пластин і зміну опору тензодатчиків.

Гідравлічна частина у САПР-моделі може подаватися у вигляді спрощених циліндричних моделей гідроциліндрів, штоків і кронштейнів кріплення. Для повної деталізації достатньо задати габарити, осі переміщення та граничні положення штоків. Електронний блок обробки сигналу доцільно зобразити умовно, оскільки у складальній моделі важливими є місця підведення сигналів від тензомостів, розміщення кабельних вводів та зв'язок із ПК.

Узагальнена САПР-модель пристрою для випробування

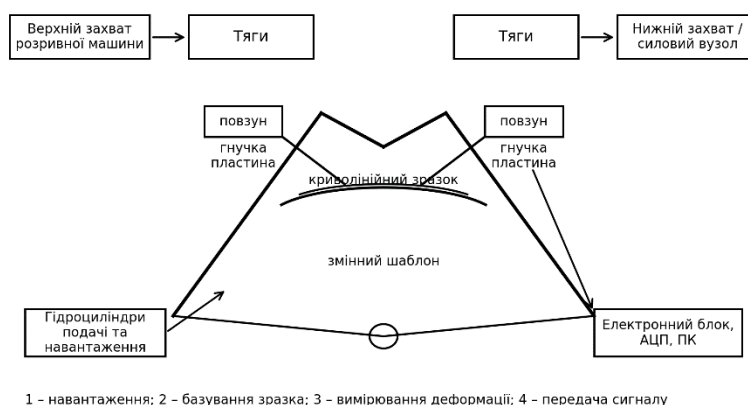


Рисунок 3.6.1 – Узагальнена САПР-модель пристрою для випробування на розтяг криволінійних зразків

Послідовність виконання САПР-моделювання

Процес створення моделі доцільно виконувати послідовно. На першому етапі задаються вихідні параметри: радіус кривизни зразка, робоча довжина, поперечний переріз, розрахункове зусилля, габарити шаблону, розташування шарнірів, хід повзунів та гідроциліндрів. На другому етапі будуються окремі 3D-моделі деталей. Після цього деталі об'єднуються у складальну одиницю, де задаються потрібні спряження та обмеження руху.

Після формування складання виконується перевірка працездатності: аналіз взаємного переміщення важелів, відсутність перетину деталей, правильність положення криволінійного зразка на шаблоні, достатність ходу повзунів і можливість встановлення вимірювальних пластин перпендикулярно до поверхні зразка. За результатами перевірки вносяться коригування у геометрію деталей або у взаємне розташування елементів складання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

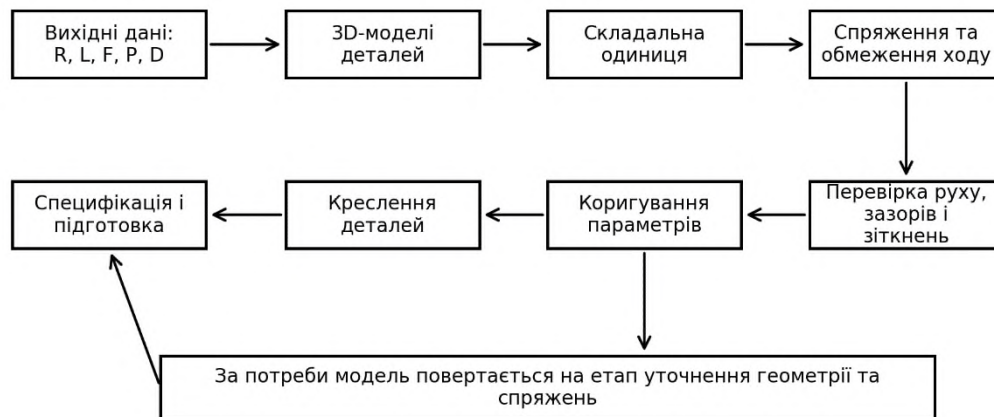


Рисунок 3.6.2 – Алгоритм виконання САПР-моделювання пристрою

Найважливішим елементом САПР-моделі є вузол навантаження і одночасного вимірювання деформації. Він повинен відображати взаємодію криволінійного зразка, шаблону, важелів та вимірювальних пластин. Під час побудови моделі необхідно забезпечити, щоб зразок у робочому положенні опирався на шаблон, а виступи важелів контактували з головками зразка. Це дозволяє передати розтягуюче зусилля без втрати стійкості зразка і без його випрямлення.

Таблиця 3.6.2 – Основні етапи побудови деталей у САПР

	Етап	Операції САПР	Результат
	Побудова криволінійного зразка	Ескіз профілю, задання радіуса R, витягування тіла, формування головок	Отримується модель досліджуваного зразка
	Моделювання змінного шаблону	Побудова криволінійної опорної поверхні, витягування, отвори під шарнір	Забезпечується збереження кривизни зразка під час розтягу
	Побудова важелів	Ескіз контуру, отвори під шарніри, радіальні пази, фаски	Формуються основні силові елементи пристрою
	Моделювання тяг	Тіла обертання або витягування, отвори під пальці, спряження з захватами	Забезпечується передача зусилля від розривної машини
	Побудова повзунів	Ескіз, витягування, пази та отвори під гвинт	Забезпечується регулювання положення вимірювальних пластин
	Моделювання гнучких пластин	Тонкостінна деталь, гостра кромка, умовна зона тензодатчика	Відображається чутливий елемент вимірювання
	Побудова гідроциліндрів	Корпус, шток, вушка кріплення, обмеження ходу	Задається робота виконавчих механізмів
	Формування складання	Шарнірні, співвісні, контактні та дистанційні спряження	Отримується повна модель пристрою
	Оформлення документації	Креслення деталей, складальне креслення, специфікація	Підготовка моделі до виготовлення

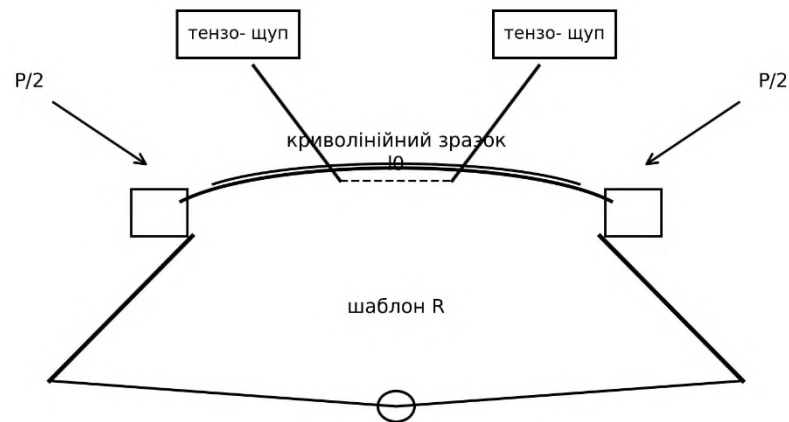
Параметрична модель вузла навантаження та вимірювання

Параметрична модель повинна містити зв'язки між радіусом шаблону R, положенням криволінійного зразка, кутовим положенням важелів та положенням вимірювальних пластин. Для спрощення подальшого коригування доцільно задати основні розміри як змінні параметри: радіус кривизни R, відстань між шарнірами, довжину важелів, ширину радіальних пазів, довжину вимірювальних пластин, положення тензодатчиків та вимірювальну базу l₀.

Особливу увагу під час моделювання потрібно приділити положенню гнучких пластин. Їхні гострі кромки повинні торкатися робочої частини зразка у двох контрольних точках без початкового згинання. У моделі це можна задати за допомогою контактного або дистанційного спряження. При зміні довжини зразка в процесі розтягу відбувається зміна відстані між точками контакту, що в

реальному пристрої викликає згин пластин та формування електричного сигналу тензодатчиків.

Параметрична схема вузла навантаження і вимірювання



Параметри моделі: R – радіус шаблону; l_0 – вимірювальна база; P – зусилля розтягу; Δl – зміна бази під час деформації.

Рисунок 3.6.3 – Параметрична схема вузла навантаження і вимірювання

Таблиця 3.6.3 – Параметри, які доцільно задати у САПР-моделі

Параметр	Позначення	Призначення у моделі
Радіус кривизни шаблону	R	Визначає форму опорної поверхні для криволінійного зразка
Вимірювальна база	l_0	Відстань між точками контакту гнучких пластин із зразком
Зміна вимірювальної бази	Δl	Величина, пов'язана з деформацією робочої частини зразка
Зусилля розтягу	P	Основне навантаження, яке передається через важелі
Хід гідроциліндра	S _ц	Граничне переміщення виконавчого механізму
Кутове переміщення важелів	φ	Використовується для перевірки роботи шарнірного механізму
Хід повзунів	S _п	Забезпечує підведення вимірювальних пластин до зразка
Товщина гнучкої пластини	h	Впливає на жорсткість і чутливість вимірювального щупа

Математична модель вимірювального каналу

Вимірювальний канал пристрою можна подати як послідовність перетворень. Розтягуюче зусилля, прикладене до зразка, викликає його деформацію. Збільшення відстані між контрольними точками на поверхні зразка призводить до згину гнучких пластин. На цих пластинах розміщуються тензодатчики опору, які змінюють свій електричний опір пропорційно деформації. Далі сигнал від тензомостів надходить до підсилювача, аналого-цифрового перетворювача та електронного блоку, після чого результати передаються на ПК.

У спрощеному вигляді вимірювальний канал можна описати залежністю між деформацією зразка, деформацією гнучкої пластини та зміною опору тензодатчика. Для тензорезистора справедлива залежність $\Delta R/R = K \cdot \epsilon$, де ΔR – зміна опору тензорезистора, R – початковий опір, K – коефіцієнт тензочутливості, ϵ – відносна деформація чутливого елемента. У САПР ця залежність використовується не для електричного розрахунку, а для пояснення зв'язку між механічною деформацією та сигналом вимірювального блоку.

Математична модель вимірювального каналу



Рисунок 3.6.4 – Математична модель вимірювального каналу пристрою

Перевірка працездатності САПР-моделі

Після побудови складальної одиниці виконується перевірка працездатності моделі. У САПР задаються граничні положення механізму: початкове положення для встановлення зразка, положення контакту вимірювальних пластин із поверхнею зразка та робоче положення під час прикладання розтягуючого

зусилля. Для рухомих деталей необхідно задати тільки ті ступені вільності, які потрібні для роботи пристрою. Інші переміщення мають бути обмежені спряженнями.

Основними перевітками є: відсутність перетину важелів, тяг, повзунів і шаблона; достатність зазорів між рухомими деталями; правильність контакту зразка із шаблоном; відсутність перекосу гідроциліндрів; можливість підведення гнучких пластин до поверхні зразка; відповідність прийнятого діаметра гідроциліндрів розрахунковому навантаженню. Окремо перевіряється технологічність деталей: наявність доступу для обробки поверхонь, можливість свердління отворів, виконання пазів, встановлення пальців, гвинтів і кріпильних елементів.

Перевітка працездатності САПР-моделі

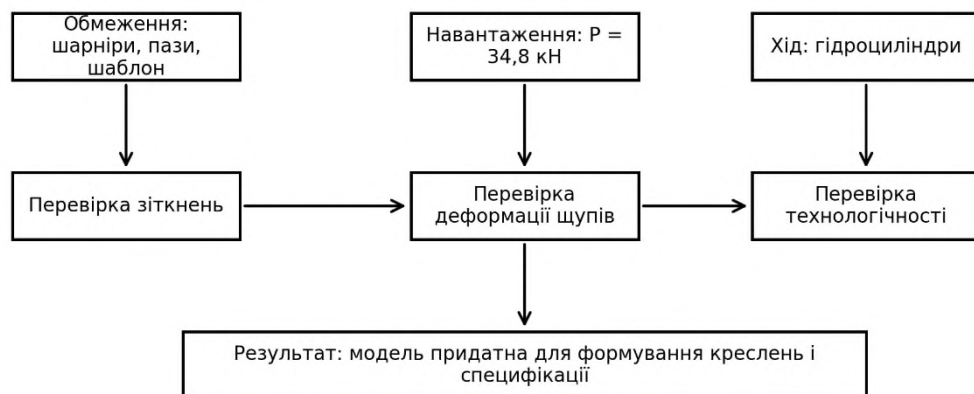


Рисунок 3.6.5 – Схема перевірки працездатності САПР-моделі

Таблиця 3.6.4 – Перевірка працездатності САПР-моделі

Параметр перевірки	Критерій	Результат
Встановлення зразка	Зразок повинен повністю опиратися на криволінійну поверхню шаблона	Умова забезпечується геометрією шаблона
Передача навантаження	Зусилля $P_p = 34,8$ кН передається через тяги та важелі	Силова схема відповідає принципу роботи пристрою
Робота гідроциліндрів	Два циліндри працюють синхронно; $Q_T = 17,4$ кН на один циліндр	Прийнятий діаметр 75 мм має запас
Хід повзунів	Гнучкі пластини мають підводитись до зразка без перешкод	Задається обмеження руху у радіальних пазях
Контакт вимірювальних пластин	Кромки пластин повинні торкатися зразка у двох точках	Забезпечується регулювальними гвинтами
Відсутність зіткнень	У робочому ході не допускаються критичні перетини деталей	Перевіряється у складальній моделі
Технологічність	Деталі мають площинні, циліндричні та пазові поверхні	Можливе виготовлення стандартними операціями
Обслуговування	Повинен бути доступ до гвинтів, шарнірів, повзунів і тензодатчиків	Забезпечується відкритим компоуванням вузла

САПР-моделювання гідравлічного приводу

Гідравлічний привід у розробленому стенді використовується для створення робочого зусилля та переміщення окремих механізмів. У САПР-моделі гідросистему доцільно відображати на двох рівнях деталізації. Перший рівень – кінематичний, де гідроциліндри зображаються у вигляді корпусу, штока та елементів кріплення. Другий рівень – компоувальний, де показуються основні елементи гідросистеми: бак, насос, розподільник, запобіжний клапан, трубопроводи, фільтр та силові циліндри.

Під час моделювання гідроциліндрів необхідно врахувати розрахункові значення: загальне зусилля розтягу становить 34,8 кН, а тягове зусилля одного силового гідроциліндра – 17,4 кН. За тиску робочої рідини 16 МПа та коефіцієнта корисної дії 0,85 розрахунковий діаметр поршня становить 40,4 мм. У конструкції приймається більший стандартний діаметр 75 мм, що забезпечує запас за зусиллям та надійну роботу вузла.

Таблиця 3.6.5 – Елементи гідравлічного приводу для відображення у САПР

Елемент	Спосіб подання у моделі	Призначення
Силкові гідроциліндри	Корпус, шток, вушка кріплення, вісь переміщення	Створення розтягуючого зусилля
Гідроциліндр подачі деталей	Спрощена циліндрична модель з обмеженням ходу	Подача заготовки у робочу зону
Гідроциліндр переміщення вимірювальних ножів	Корпус і шток з напрямком руху	Підведення щупів до поверхні зразка
Трубопроводи	Умовні лінії або 3D-траси	Подача та злив робочої рідини
Насос і бак	Спрощені корпусні моделі	Забезпечення циркуляції робочої рідини
Розподільник і клапани	Умовні блоки на схемі або в компонованні	Керування напрямком руху циліндрів

Формування креслень та специфікації

Після завершення перевірки складальної моделі у САПР формуються робочі креслення деталей і складальне креслення пристрою. На складальному кресленні необхідно показати загальний вигляд пристрою, положення криволінійного зразка, шаблон, важелі, тяги, шарнірні осі, повзуни, гнучкі пластини, регульовальні гвинти та місця встановлення гідроциліндрів. Окремо потрібно показати напрямок прикладання розтягуючого зусилля та напрямок переміщення вимірювальних пластин.

На кресленнях деталей вказуються габаритні та приєднувальні розміри, отвори під кріплення, посадочні поверхні, радіуси заокруглень, пази, фаски, допуски та шорсткість. Для деталей, які взаємодіють з криволінійним зразком, важливо точно показати форму контактних поверхонь. Для змінного шаблону обов'язково задається радіус кривизни, який відповідає досліджуваному зразку.

Таблиця 3.6.6 – Комплект документації, що формується засобами САПР

Документ	Зміст
Складальне креслення пристрою	Загальний вигляд, позиції деталей, напрямок навантаження, основні розміри
Креслення криволінійного зразка	Радіус R, товщина, ширина, головки, робоча частина
Креслення змінного шаблону	Криволінійна опорна поверхня, отвори під шарнір, базові площини
Креслення важелів	Контур, радіальні пази, отвори під осі, виступи для контакту з головками зразка
Креслення тяг	Довжина, отвори під пальці, поверхні з'єднання із захватами розривної машини
Креслення повзунів	Габарити, напрямні поверхні, отвір під регулювальний гвинт
Креслення гнучких пластин	Довжина, товщина, форма кромки, зона встановлення тензодатчика
Креслення кронштейнів гідроциліндрів	Посадочні місця, отвори, базові поверхні
Специфікація	Перелік деталей, стандартних виробів, гідроциліндрів, тензодатчиків і кріплення

Висновок до підрозділу

У результаті виконання САПР-частини було сформовано підхід до побудови комп'ютерної моделі пристрою для випробування на розтяг криволінійних зразків. Визначено основні елементи моделі, наведено послідовність її побудови, розглянуто параметричну схему вузла навантаження та вимірювання, описано математичну модель вимірювального каналу, а також наведено таблиці вихідних параметрів, етапів побудови деталей, перевірок працездатності та комплекту конструкторської документації.

Застосування САПР дозволяє перевірити працездатність конструкції до виготовлення, зменшити ризик помилок під час проєктування, уточнити взаємне розташування важелів, тяг, шаблона, повзунів і гнучких вимірювальних пластин, а також перевірити робочий хід гідроциліндрів та відсутність критичних зіткнень. Отримана САПР-модель є основою для подальшого створення робочих креслень, специфікації, виготовлення дослідного зразка пристрою та проведення експериментальних випробувань.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		54

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Основні поняття охорони праці визначаються ст.1 Закону України "Про охорону праці" і рядом інших законів та нормативно-правових актів.

Спроектований в КРБ пристрій містить ряд вузлів і механізмів, які можуть створити потенційну небезпеку для персоналу, що їх обслуговує (електродвигуни, редуктори, тощо).

4.1 Охорона праці при роботі з електричним обладнанням

Проходячи через організм людини електричний струм здійснює термічну, електролітичну механічну і біологічну дію:

термічна дія струму проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів;

— електролітична дія струму проявляється в розкладанні органічних рідин, у тому числі і крові;

— механічна (динамічна) дія струму проявляється у розриві, розшаруванні та інших пошкодженнях тканин організму;

— біологічна дія струму проявляється в подразненні й порушенні живих тканин організму, а також у порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, що протікають при нормальному функціонуванні організму.

За допомогою експериментальних досліджень було встановлено, що людський організм починає відчувати подразнюючу дію змінного струму промислової частоти силою 0,6-1,6 мА і постійного струму 5-7 мА. Такі струми не є серйозною небезпекою для діяльності організму людини.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		55

Дослідження з визначення впливу роду струму на небезпеку ураження людини показали, що змінний струм частотою 50 Гц є найбільш несприятливим.

Види електротравм

Розрізняють три види електротравм: місцеві, загальні і змішані. До місцевих електротравм належать електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, електрофтальмія і механічні ушкодження, пов'язані з дією електричного струму чи електричної дуги. На місцеві електротравми припадає біля 20% електротравм, загальні - 25% і змішані - 55%.

Електричні опіки - найбільш розповсюджені електротравми, біля 85% яких припадає на електромонтерів, що обслуговують електроустановки.

Загальні електричні травми або електричні удари - це порушення діяльності життєво важливих органів чи всього організму людини як наслідок збурення живих тканин організму електричним струмом, яке супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів. Результат негативної дії на організм цього явища може бути різний: від судомного скорочення окремих м'язів до повної зупинки дихання і кровообігу. При цьому зовнішні місцеві ушкодження можуть бути відсутні.

Крім електричних ударів, одним із різновидів загальних електротравм є електричний шок - тяжка нервово-рефлекторна реакція організму на подразнення електричним струмом. При шоку виникають значні розлади нервової системи і, як наслідок цього, розлади систем дихання, кровообігу, обміну речовин, функціонування організму в цілому, а життєві функції організму поступово затухають. Такий стан організму може тривати від десятків хвилин до доби і закінчитись або одужанням при активному лікуванні, або смертю потерпілого.

Перша допомога людині, яка уражена електричним струмом

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		56

Перша допомога при ураженні електричним струмом складається з двох етапів: звільнення потерпілого від дії струму та надання йому медичної допомоги.

Звільнення потерпілого від дії струму може бути здійснено декількома шляхами. Найбільш простий спосіб – відключення відповідної частини електроустановки. Якщо відключення не можна провести швидко (наприклад вимикач далеко розміщений), можна при напрузі до 1000 В перерубати провід сокирою з дерев'яною рукояткою чи відтягнути потерпілого від струмоведучої частини, взяти його за одяг, якщо він сухий, відкинути від нього провід за допомогою дерев'яної палки.

При напрузі більше 1000 В слід застосовувати діелектричні рукавиці, черевики і, в разі необхідності, ізолюючу штангу або ізолюючі кліщі.

Заходи першої медичної допомоги потерпілому від електричного струму залежать від його стану. Якщо потерпілий в свідомості, але до цього був непритомним або впродовж тривалого часу знаходився під струмом, йому необхідно забезпечити цілковитий спокій до прибуття лікаря або негайно доставити в лікувальний заклад. При відсутності свідомості, але без втрати дихання необхідно рівно і зручно укласти потерпілого на м'яку поверхню, забезпечити притік свіжого повітря. Слід дати понюхати нашатирний спирт, полити водою.

При відсутності ознак життя потрібно зробити штучне дихання та непрямий масаж серця. Штучне дихання повинно розпочинатись негайно після звільнення потерпілого від дії струму і виявлення його стану. Воно повинне проводитись методами відомими під назвою “з рота в рот” і “з рота в ніс”. При відновленні в потерпілого самостійного дихання деякий час слід продовжувати штучне дихання до повного приведення потерпілого до свідомості. Зовнішній масаж серця штучно підтримує в організмі кровообіг і відновлює самостійну діяльність серця.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		57

4.2 Забезпечення здорових та безпечних умов праці (БЖД)

Забезпечення здорових та безпечних умов праці у виробничій сфері досягається за рахунок дотримання діючих нормативних документів для існуючих об'єктів шляхом встановлення таких фактичних значень факторів, які не суперечать нормативним.

Вимоги до мікроклімату

Трудова діяльність людини завжди проходить у визначених метеорологічних умовах, які визначаються поєднанням температури повітря, швидкості руху повітря, його відносною вологістю, барометричним тиском, тепловим випромінюванням від нагрітих поверхонь. Якщо праця здійснюється в приміщенні, то ці показники в сукупності (крім барометричного тиску) прийнято називати мікрокліматом приміщення. Мікроклімат виробничих приміщень або метрологічні умови визначаються такими параметрами:

- а) температурою повітря t , °С;
- б) відносною вологістю ϕ , %;
- с) швидкістю руху повітря на робочому місці V , м/с.

Параметри мікроклімату, вмісту шкідливих речовин на робочих місцях повинні відповідати вимогам, що наведені у відповідних стандартах.

Вимоги до освітлення

Для оцінки освітлення використовують такі величини: люкс (лк) – рівень освітленості поверхні площею 1 м^2 , на яку падає, рівномірно розподіляючись світловий потік в 1 люмен; люмен – світловий потік від еталонного точкового джерела в одну міжнародну свічку, розташованого у вершині тілесного кута в 1 стерadian; нит – яскравість поверхні, що світиться і від якої в перпендикулярному напрямку поширюється світло силою в 1 свічку з 1 м^2 ; кандела – сила світла точкового джерела, яке випромінює світловий потік в 1 лм, який рівномірно розподілений в середині тілесного кута в 1 стерadian.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		58

Відчуття світла при дії на око людини викликають електромагнітні хвилі так званого оптичного діапазону. Область оптичних електромагнітних випромінювань розташована між областю рентгенівського випромінювання та областю радіовипромінювання.

Гігієнічні вимоги до виробничого освітлення ґрунтовані на психофізичних особливостях сприйняття світла і його впливу на організм людини.

Освітлення в робочих приміщеннях може здійснюватися природнім та штучним освітленням. При недостатньому природному освітленні використовують загальне освітлення. Останнє представляє собою освітлення, при якому водночас використовують природне і штучне освітлення. Загальним називають освітлення, світильники якого освітлюють всю площу приміщення. Місцевим називають освітлення, призначене для освітлення певного робочого місця.

Природне освітлення повинно проникати через бічні світло прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5%. Розрахунки проводять згідно СНіП 11-4-79.

При виробничій потребі дозволяється експлуатувати ЕОМ у приміщеннях без природного освітлення за узгодженням з органами державного нагляду за охороною праці та органами і установами санітарно-епідеміологічної служби.

Вікна приміщення повинні мати регульовальні пристрої для відкривання та жалюзі, штори, зовнішні шторки.

Для запобігання появи відблисків на екранах моніторів забороняється використовувати світильники без розсіювачів та екранних сіток.

Рівень освітленості на робочому столі в зоні розташування документів має бути в межах 300-500 лк. У разі неможливості забезпечити даний рівень освітленості системою загального освітлення допускається застосування світильників місцевого освітлення.

Також необхідно передбачити обмеження прямої близькості від джерела природного та штучного освітлення. Необхідно обмежувати нерівномірність

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		59

розподілу яскравості в полі зору осіб, що працюють з моніторами, при цьому відношення яскравості робочих поверхонь не повинно перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколишніх предметів (стін, обладнання) - 5:1.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		60

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розроблено пристрій для випробування на розтяг криволінійних зразків, які вирізаються з деталей циліндричної форми, зокрема трубчастих конструкцій. Необхідність створення такого пристрою пов'язана з тим, що стандартні прямолінійні зразки не завжди дають можливість достовірно оцінити механічні властивості матеріалів, які в реальних умовах працюють у криволінійній формі.

У роботі було розглянуто існуючі способи закріплення зразків та конструкції захватів для випробування матеріалів на розтяг. На основі проведеного аналізу запропоновано конструкцію пристрою, яка забезпечує надійне закріплення криволінійного зразка, передачу розтягувального зусилля та запобігання його випрямленню під час навантаження. Для цього у конструкції передбачено спеціальний шаблон з криволінійною опорною поверхнею.

Було виконано силовий розрахунок основних елементів пристрою, визначено необхідне розтягувальне зусилля, розраховано параметри гідроциліндра та перевірено різьбове з'єднання на міцність. Також розглянуто гідравлічний привід, який забезпечує створення необхідного навантаження та плавну роботу механізму.

У спеціальній частині розроблено електронний блок для вимірювання деформації зразка за допомогою тензодатчиків. Використання тензометричного методу дозволяє автоматизувати процес вимірювання та підвищити точність отриманих результатів. Проведене математичне моделювання підтвердило можливість визначення деформації зразка за зміною електричного опору тензодатчика.

Отже, розроблений пристрій дозволяє проводити випробування криволінійних зразків на розтяг із одночасним вимірюванням деформації. Його використання підвищує точність, інформативність та достовірність дослідження механічних характеристик матеріалів і може бути застосоване в лабораторних умовах та на машинобудівних підприємствах.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунку деталей машин. - Львів: Афіша, 2003.-560с.
2. Малащенко В.О., Янків В.В. Деталі машин. Курсове проектування. – Львів: «Новий Світ – 2000», 2010. – 252с.
3. Паламар М.І. Особливості конструювання елементів приладів та мехатронних систем: навчальний посібник / Паламар М.І., Наконечний Ю.І., Стрембіцький М.О., Апостол Ю.О. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. –203с.
4. Заблонський К.І. Деталі машин. Підручник. – Одеса: Астропринт, 1999.-404с.
5. Мархель І. І. Деталі машин : навчальний посібник. – Київ : Алерта, 2005. – 368 с.
6. Деталі машин і основи конструювання : конспект лекцій / укладач В. В. Стрелец. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 120 с.
7. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. / Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Тернопіль : ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. 344с.
8. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
9. Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.

					КБР 034.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		62

