

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН  
ІМ. ПРОФЕСОРА О.Д. СЕМКОВИЧА

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„ Дослідження процесу механізованого складання  
різьбових з'єднань під час ремонту сільськогосподарської  
техніки ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-61  
Спеціальності 208 „Агроінженерія”  
(шифр і назва)

Щербатий Маркіян Ігорович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., в.о. проф. Кузьмінський Р.Д.

(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: \_\_\_\_\_

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2021

УДК 631.3

Дослідження процесу механізованого розбирання різьбових з'єднань під час ремонту сільськогосподарської техніки // Кваліфікаційна робота інженера-дослідника. Щербатий Маркіян Ігорович. – Кафедра експлуатації та технічного сервісу машин ім. професора О.Д.Семковича – Дубляни, Львівський НАУ – 2021. 70 с. – Рис. 20. - Табл. 4. – 44 джерела.

В магістерській роботі наведено основні відомості про різьби, наведена їх класифікація. Розглянуто структуру технологічної операції механізованого складання різьбових з'єднань.

Описано процес моделювання технологічних процесів наживлення різьбових деталей.

Описано програму і методику експериментальних досліджень, обладнання і пристосування, а також методика лабораторно-виробничих випробувань і порівняння технологічних процесів складання різьбових з'єднань.

Опрацьовано та описано результати експериментальних досліджень взаємного орієнтування і наживлення різьбових деталей адаптивним різьбоскладальним обладнанням в порівнянні з стандартним гайкокрутом.

Побудовано логіко-імітаційну модель процесу виникнення травми у працюючого при роботі із стендом для випробовування гайкових ключів. Пораховано ймовірність виникнення такої травми.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ РОЗБИРАННЯ І СКЛАДАННЯ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ.....	7
1.1 Основні відомості про різьби.....	7
1.1.1. Класифікація різьб.....	8
1.2. Структура технологічної операції механізованого, автоматизованого і автоматичного складання РЗ.....	9
1.3. Технологічні методи і засоби розбирання і складання різьбових з'єднань.....	12
1.4. Висновки по розділу.....	19
2. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НАЖИВЛЕННЯ РІЗЬБОВИХ ДЕТАЛЕЙ.....	20
2.1 Наживлення різьби.....	20
2.1.1 Початок наживлення, кут наживлення.....	20
2.2 Висновки по розділу.....	26
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ, ОБЛАДНАННЯ І ПРИСТОСУВАННЯ.....	27
3.1 Установка і методика експериментального дослідження умов гарантованого взаємного орієнтування і наживлення різьбових деталей за другою схемою базування.....	28
3.2. Методика лабораторно-виробничих випробувань і порівняння технологічних процесів складання різьбових з'єднань адаптивним різьбоскладальним обладнанням і стандартним гайкокрутом.....	33
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	38
4.1. Дослідження процесів взаємного орієнтування і наживлення різьбових деталей за другою схемою базування.....	38
4.1.1. Дослідження процесу взаємного орієнтування різьбових	

деталей.....	38
4.2. Лабораторно-виробничі випробування адаптивного різьбоскладального обладнання і порівняння технологічних процесів складання різьбових з'єднань з його застосуванням і застосуванням стандартного гайкокрута.....	44
4.3.Висновки по розділу.....	47
5. 5. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	48
5.1 Моделювання процесів виникнення аварій і травм.....	48
5.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм.....	51
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	53
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ.....	62
ДОДАТОК А.....	63

## ВСТУП

В процесі виготовлення і ремонту машин значний об'єм робіт припадає на виконання розбирально-складальних операцій, зокрема – різьбових з'єднань (РЗ). РЗ складають до 70-80% всієї з'єднань, що є в конструкції автомобіля. Трудомісткість відгвинчування і загвинчування гвинтів, болтів і гайок під час капітального ремонту автомобілів, тракторів і дорожньої техніки на ремонтних підприємствах складає 25-64% від загальної трудомісткості розбирально-складальних робіт [1]. За іншим джерелом [2] трудомісткість робіт під час розбирання і складання РЗ складає біля 45% від загальної трудомісткості ремонту машин. В машинобудуванні трудомісткість всіх складальних операцій у загальній трудомісткості виготовлення виробів також доволі значна і, залежно від типу виробництва, складає 20- 40% [3].

Отже підвищення продуктивності праці і якості виконання розбирально-складальних робіт значно скоротить терміни ремонту машин. Основним і значним резервом цього є механізація і автоматизація технологічних процесів розбирання і складання машин та агрегатів сільськогосподарської техніки. Для ремонтного виробництва ці процеси мають ряд особливостей, які важливо врахувати при автоматизації складання ремонтованих виробів (дрібносерійний характер виробництва, широка спеціалізація, невисокий рівень (біля 35%) механізації складальних робіт, неоднорідний склад потоків деталей” [3]. Під час складання РЗ найбільше відмов у роботі механізованого і автоматизованого різьбоскладального обладнання також припадає на початковий етап основної операції загвинчування, який прийнято називати на –живленням. Тому наживлення часто виконують вручну, а наступні етапи загвинчування і затягування – засобами механізації. Причина полягає у тому, що не завжди вдається забезпечити необхідну точність взаємного розташування різьбових деталей перед спряженням і це, або не дозволить їх з'єднати, або веде до заклинювання і руйнування наживної частини різьби.

Розбирання [5] і складання [6] РЗ механізованим і автоматизованим методами [7] під час ремонту машин мають деякі обмеження з двох причин:

1) недоступність механізованого обладнання і інструменту до окремих місць розташування РЗ;

2) наявність труднозбірних РЗ, які вимагають спочатку додаткових операцій для звільнення від затягування, або навіть руйнування їх кріпильних виробів.

Враховуючи ці причини, а також частіть обслуговуючого і ремонтного втручань, найбільшу перспективу застосування одно- і багатошпindelних адаптивних гайкокрутів мають наступні агрегати автомобілів і тракторів: головка блока, кріплення кришок корінних і шатунних шийок колінчастого валу, коробка передач, розподільна коробка, редуктор заднього моста, муфта зчеплення, кріплення маховика, кріплення коліс автомобіля тощо.

**Актуальність дослідження.** В сучасних конструкціях машин різьбові з'єднання, як правило, сягають 30-40% від загального числа з'єднань, а в окремих машинах, агрегатах і вузлах - до 80%. Трудомісткість розбирально-складальних робіт різьбових кріпильних виробів становить близько 45% від загальної трудомісткості ремонту машин. Тому підвищення продуктивності праці на розбиранні-складанні різьбових з'єднань скоротить тривалість технологічних операцій, що особливо актуально в напружені періоди виконання механізованих сільськогосподарських робіт. Цього можна досягнути засобами механізації і автоматизації виконання операцій розбирання-складання, що є важливою інженерно-технологічною задачею на сучасному етапі становлення та реорганізації ремонтної бази.

Відомі пневматичні і електричні гайкокрути не мають відповідних адаптивних можливостей, що звужує їх використання в механізованих і автоматизованих виробничих процесах..

Суть проблеми полягає в тому, що не розглянуто на елементному рівні структуру процесу загвинчування, зокрема, його початкової стадії – наживлення, на котрій виникає найбільше відмов у роботі різьбоскладального обладнання, що може спричинити пошкодження початкових витків заходження різьби. Це не дозволяє сформулювати технологічні вимоги до адаптивного різьбоскладального обладнання, його конструктивних параметрів і режимів роботи.

**Мета і завдання досліджень.** *Мета роботи* – підвищення продуктивності і якості різьбоскладальних операцій на основі адаптивних високоефективних технологій в умовах механоскладального і ремонтного виробництв.

Відповідно до поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- проаналізувати відомі технології, способи і засоби механізованого і автоматизованого складання різьбових з'єднань, проаналізувати вплив конструктивних і геометричних елементів різьбових деталей на можливість їх спряження;

- проаналізувати режими механізованого і автоматизованого складання різьбових з'єднань і необхідну для цього точність взаємного розташування різьбових деталей;

- диференціювати процес механізованого і автоматизованого складання різьбових з'єднань до елементарних операцій, встановити режими їх виконання і можливість використання існуючого обладнання.

*Об'єкт досліджень* – адаптивні технологічні процеси складання різьбових з'єднань та технічні засоби для їх реалізації.

*Предмет досліджень* – можливість спряження різьбових деталей залежно від точності взаємного розташування, режимів загвинчування, параметрів різьби і умов податливого базування.

## **1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ РОЗБИРАННЯ І СКЛАДАННЯ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ**

Різьбоскладальне обладнання, що застосовується для механізованого (автоматизованого) і автоматичного методів [7] розбирання і складання РЗ не забезпечує в достатній мірі надійного спряження різьбових деталей через відмови в роботі, які можуть пошкодити різьбу і зменшують продуктивність. Щоб створити надійне обладнання для виконання цих робіт необхідно проаналізувати відомі методи і засоби аналогічного призначення, уявити технологічні та конструктивні причини відмов їх функціонування і на основі цього вибрати напрями дослідження.

### **1.1. Основні відомості про різьби**

Гвинтові поверхні, у яких твірними є прямі лінії, називаються гелікоїдами [13]. Гелікоїди задаються гелісами (гвинтовими лініями) і твірними. Якщо твірна складає із віссю гвинтової поверхні прямий кут, то гелікоїд називають прямим закритим гелікоїдом, або гвинтовим коноїдом. У випадках, коли твірна гвинтової поверхні перетинається із віссю під гострим (тупим) кутом її називають скісним закритим гелікоїдом (рис.1.1).

Різьба є окремим випадком гвинтової поверхні з прямолінійною (гелікоїди), або криволінійною (гвинтові пари, гвинтові стовби) формою твірних. Залежно від форми поверхні, на якій вона утворена і напрямку гвинтового руху твірної профілю різьба може бути циліндричною і конічною, зовнішньою і внутрішньою, правою і лівою.



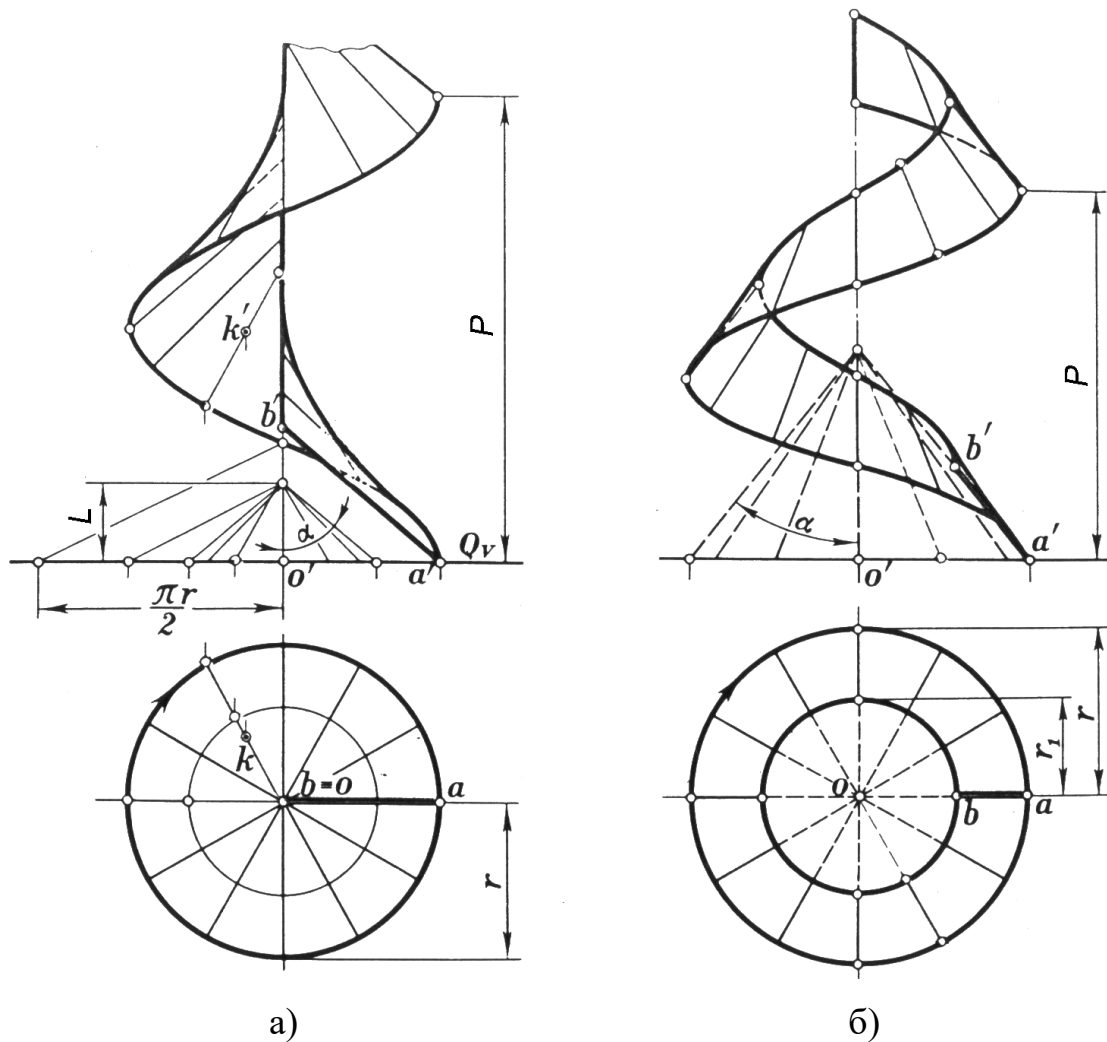


Рисунок 1.1 – Скісні гелікоїди правого ходу: а – закритий; б- закритий кільцевий;  $\alpha$ - кут нахилу твірної  $av$  до осі;  $P$  – крок;  $L$  – висота напрямного конуса поверхні.

### 1.1.1. Класифікація різьб

Різьбові з'єднання відносяться до групи рознімних з'єднань і можуть бути нерухомими і рухомими.

За призначенням різьби діляться на кріпильні (в нерухомих з'єднаннях) і ходові, або кінематичні (в рухомих з'єднаннях). Часто кріпильні різьби мають

ще іншу функцію – ущільнення різьбового з'єднання, забезпечення його герметичності.

Залежно від форми профілю розрізняють різьбу трикутну, трапецевидну, прямокутну, круглу, спеціальну.

За величиною кроку є різьби крупні, дрібні, спеціальні і за числом заходів – однозахідні, багато західні.

За наявністю стандарту є стандартні і спеціальні різьби. Стандартними є різьби: метрична, трубна циліндрична, трубна конічна, конічна дюймова, дюймова, трапецевидна, упорна кругла.

Є два види спеціальних різьб.

1. Різьба має стандартний профіль, а розміри діаметру або кроку відрізняються від стандартних. Перед стандартним позначенням таких різьб ставлять букви  $C_{\text{п}}$ .

2. Різьба має нестандартний профіль. На кресленнях зображення її профілю і розміри виконують за стандартами на зображення деталей і проставляння розмірів.

## **1.2. Структура технологічної операції механізованого, автоматизованого і автоматичного складання РЗ.**

Незалежно від методу [7] виконання (ручний, механізований, автоматизований, автоматичний) технологічної операції [6] складання РЗ її розділяють на дві частини – основну (основний час) і допоміжну (допоміжний час).

В багатьох дослідженнях [12,13,14,15] основну частину операції складання РЗ диференційовано на три етапи: наживлення, загвинчування і затягування. *Наживленням* [12] різьбової деталі вважається її загвинчування (нагвинчування на 1-2 витки).

В загальному випадку, з рахуванням основних і допоміжних переходів, процес складання виробу, що має РЗ, може складатися із наступних етапів:

- 1) подача деталей складуваного вузла;
- 2) їх установка;
- 3) подача кріпильних виробів;
- 4) їх установка;
- 5) підвід інструмента;
- 6) попереднє спряження різьбових деталей (наживлення, закручування, затягування);
- 7) відвід інструмента;
- 8) підвід інструмента;
- 9) стопоріння;
- 10) відвід інструмента;
- 11) контроль;
- 12) маркування;
- 13) транспортування складеного вузла на іншу позицію (склад).

У вказаному процесі тільки етапи 6, 9, 11 і 12 є власне робочим процесом складання, а решту – транспортні (переміщення, орієнтування).

Процес складання гвинтових РЗ складається з наступних фаз [10]:

- 1) підвід інструмента до гвинта;
- 2) удар інструмента об гвинт;
- 3) відносне орієнтування гвинта і гладкого отвору;
- 4) спряження гвинта з гладким отвором приєднуваної деталі;
- 5) удар гвинта з інструментом в базову деталь з різьбовим отвором;
- 6) відносне орієнтування гвинта і різьбового отвору;
- 7) наживлення;
- 8) згвинчування;
- 9) затягування;

10) відвід інструмента.

Наведені приклади послідовності процесу складання РЗ свідчать, що допоміжні етапи і (фази) залежно від конструкції РЗ, можуть мати неоднаковий зміст і черговість, а основні етапи – наживлення, загвинчування і затягування залишаються незмінними.

В багатьох дослідженнях [12,17,18] відзначається, що найбільше відмов (2-9%) у роботі механізованого і автоматичного обладнання для складання РЗ і пошкоджень наживних витків різьби відбувається під час наживлення.

У зв'язку з тим, що наживлення кріпильних виробів є найбільш складним етапом для механізованого і автоматичного виконання, його часто виконують вручну [3,14], а наступні – загвинчування і затягування, засобами механізації і автоматизації.

З точки зору технологічності складання різьбові деталі є недосконалими і з цієї причини деякі автори [19, с.58, п.7] подають сумнівні рекомендації “Соединение деталей свинчиванием при автоматической сборке нежелательно”.

Проведений огляд літературних джерел стосовно структури операції загвинчування показує, що для гарантованого складання РЗ необхідно забезпечити гарантоване наживлення його різьбових деталей. Отже необхідно мати вичерпну інформацію про умови надійного виконання процесу наживлення. Для цього потрібно диференціювати наживлення на найелементарніші операції і, окремо для кожної з них, обґрунтувати ці умови, тобто теоретичними і експериментальними дослідженнями виявити вплив технологічних, конструктивних і інших чинників на надійність виконання елементарних операцій процесу наживлення. На основі цього можна розробити технологію і створити надійне різьбоскладальне обладнання. Паралельно із розробкою технології і засобів механізованого чи автоматичного складання конкретних РЗ слід провести організаційні і технологічні заходи призначені для вдосконалення технологічності складання їх різьбових деталей.

### 1.3. Технологічні методи і засоби розбирання і складання різьбових з'єднань.

Під час розбирання РЗ необхідно забезпечити економічно доцільне збереження придатності різьбових деталей [4] і деталей з'єднання. Основною умовою цього є обмеження величини крутного моменту відгвинчування, щоб не скрутити різьбовий стержень (РС), якщо з'єднання стало труднорозбірне.

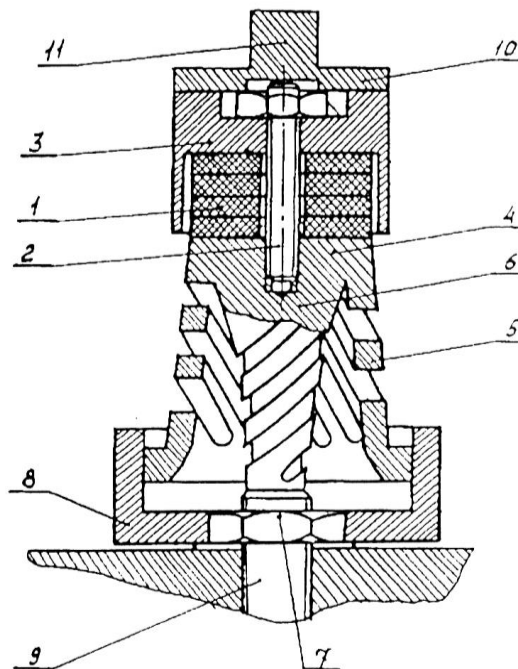


Рисунок 1.2 – Спосіб розбирання різьбових з'єднань: 1- п'єзокерамічний перетворювач; 2- шпилька; 3- корпус; 4- частотнопонижувальний елемент разом з торсіоном 5 і коцентратором 6; 7- відгвинчувальна гайка; 8- наконечник; 9- болт; 10, 11- перехідник і квадрат.

Для розбирання труднорозбірних РЗ застосовуються додаткові засоби і методи механічної і хімічної дії на окислені (заржавілі) різьбові деталі, аж до їх руйнування, або – тільки однієї із них. Аналіз цих додаткових методів і засобів і їх вдосконалення тут не розглядається, бо це є тема окремого дослідження. Подаємо тільки один із багатьох відомих способів [25] розбирання різьбових

з'єднань (рис 1.2). Підвищення ефективності розбирання різьбового з'єднання досягається за рахунок дії на гайку одно направлених крутильних коливань, на болт – подовжніх механічних коливань і додаткових крутильних, синфазних і протилежних відносно коливань гайки.

Основний метод складання РЗ полягає в забезпеченні контакту співвісно розташованих деталей різьбової пари і обертання однієї з них в напрямі загвинчування. Цей метод реалізується переважною більшістю відомих різьбоскладальних пристроїв і інструментів. Крім цього, для загвинчування застосовується і інші способи і засоби, зокрема такі, які базуються на різнопрямному обертанні деталей різьбової пари [23,24,26], що підвищує надійність складання РЗ.

Відомо фрикційно-інерційний спосіб складання РЗ [28], який полягає в тому, що різьбова деталь одержує обертання від пружно-еластичного елемента за рахунок сил тертя. Гайка 1 (Рис. 1.3,а) орієнтується відносно болта 2 за допомогою вертикального стержня 3, на якому вона базується внутрішнім діаметром [65].

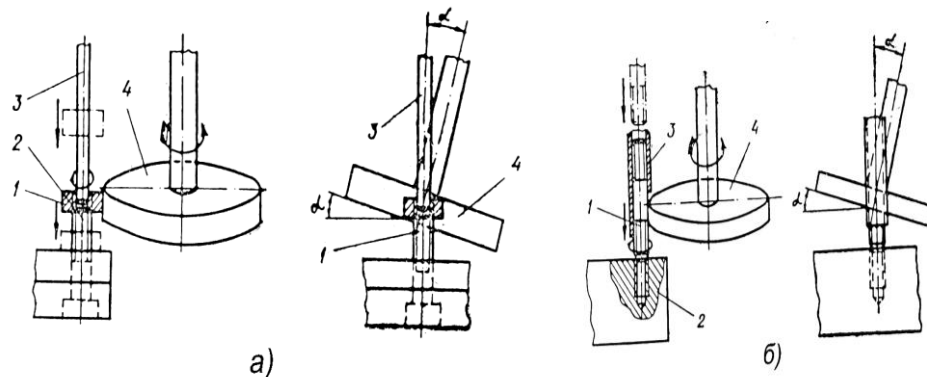


Рисунок 1.3 – Фрикційно-інерційний спосіб загвинчування: а- гайок: 1- гайка; 2-болт; 3- напрямний стержень; б-шпильок: 1- шпилька; 2- корпус; 3- напрямна втулка.

Вісь обертання фрикційного диска 4 нахилена до вертикалі на кут  $\alpha$ . Опускаючись по стержні 3 гайка контактує з диском, одержує від нього

обертання і нагвинчується на болт 2.

Фрикційно-інерційним способом можна виконувати тільки наживлення і попереднє загвинчування різьбової деталі, бо сила тертя між нею і пружним елементом недостатня для створення необхідного моменту затягування.

У пристроях [30,31] для орієнтування, наживлення і нагвинчування кріпильних деталей (рис.1.4) обертання робочої головки 12 хвостовика 11 і наживлення гайки 34 відбувається за рахунок несамогальмівної різьбової пари між хвостовиком 11 і гайками 18, 19, що мають ліву і праву гвинтові нарізки. Хвостовик 11 також має гвинтову нарізку лівого і правого напрямів. Гайки 18 і 19 можуть по чергово з'єднуватися з шпинделем 4 електромагнітними муфтами 20 і 21, котрі вмикаються кулачком 7 через перемикач.

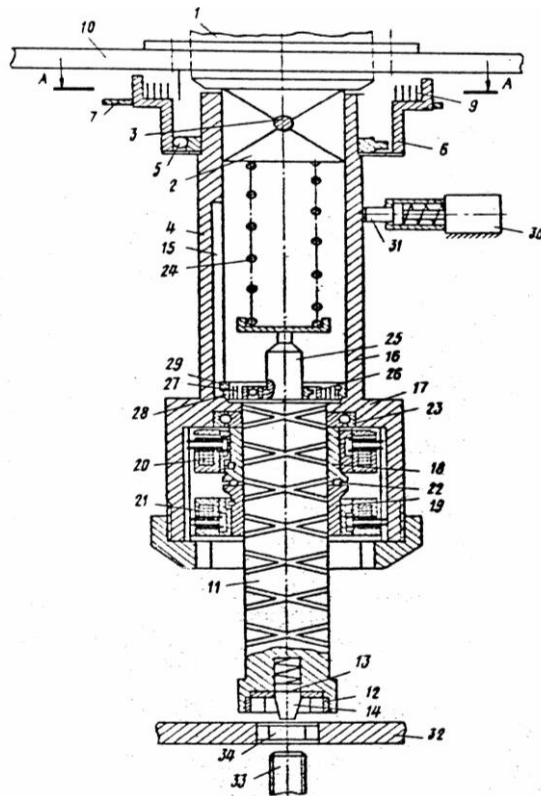


Рис 1.4 Пристрій для орієнтування, наживлення і нагвинчування кріпильних деталей.

Під час опускання пристрою загвинчується гайка 34 із механізму

утримування 32 попадає у гніздо головки 12, потім впирається в торець РС 33 і хвостовик 11 з головою 12 зупиняються. Шпindel 4 опускається далі і по лівій нарізці хвостовика 11 починає ковзати гайка 18, яка в цей час з'єднана із підгальмованим гальмом 31 шпindelю 4, обертає хвостовик 11 з головою 12 і гайка 34 наживляється на РС 33. Після цього вмикається привід шпинделя 4 і відбувається загвинчування і затягування гайки 34. Якщо загвинчена гайка 34 встановлена відносно РС 33 з перекосом або різьба забита, то крутний момент наживлення стане більшим від моменту гальмування і під час дальшого опускання пристрою шпindel 4 почне обертатися в напрямі відгвинчування і через гайку 19 з правою нарізкою поверне хвостовик 11 з головою 12 і загвинчуваною гайкою 34 і виведе її із заклиненого стану. Після цього відбувається повторна спроба загвинчування.

Щоб створити сприятливі умови для взаємного орієнтування і наживлення різьбових деталей пропонується пневмовихорний метод приводу шпинделя. Але його можна використати лише для випадків де не потрібно затягувати різьбу. В пристрої для автоматичного складання деталей [32] пневмовихорний метод взаємоорієнтування і наживлення суміщений із загвинчуванням і затягуванням різьбових деталей за допомогою спеціального патрона.

Автоматичний пристрій для загвинчування гайок [34] контролює положення гайки на початку загвинчування, яке здійснює з незначним крутним моментом (рис. 1.5). Якщо гайка нагвинчується з перекосом – двигун зупиняється і реверсується. Перекос гайки 7 в головці 6 фіксується за величиною розрідження в повітроканалах 10, 12. Після цього починається повторний цикл загвинчування. Такий принцип роботи різьбозагвинчувального пристрою вже має деякі ознаки адаптації.



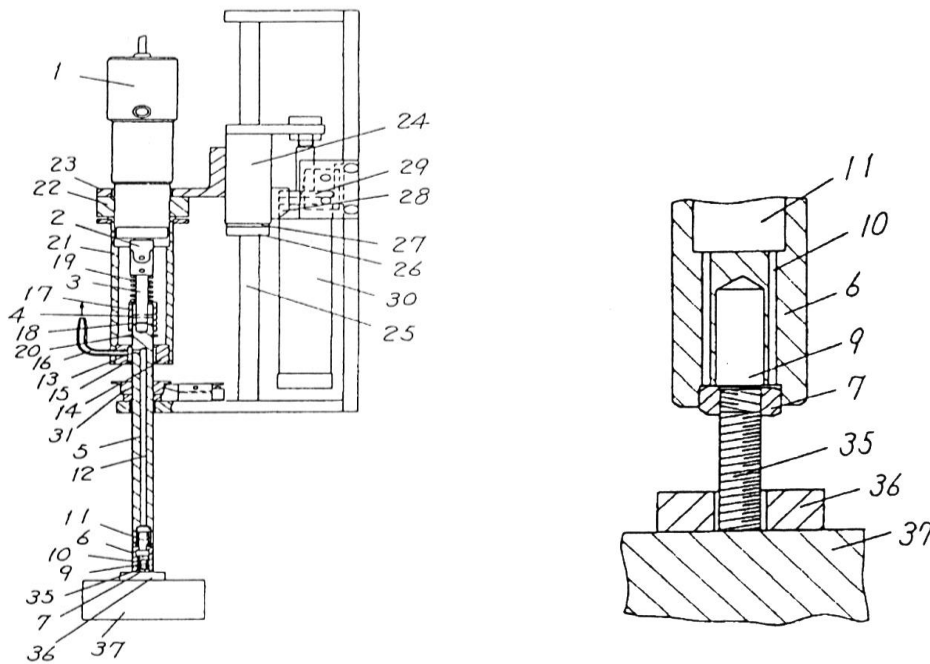


Рисунок 1.5 – Автоматичний пристрій для загвинчування гайок: 1- електропривід; 5- шпindelь; 6- головка; 7- нагвинчувана гайка; 10, 11, 12- повітроканали; 16- відсмоктувальний штуцер; 35- шпилька.

В роботах [81,82] сформульовано технологічні і конструктивні вимоги до адаптивного різьбоскладального обладнання, наведено приклади їх застосування і подано опис їх конструкцій.

Складання РЗ залежно від механізації можна розділити на п'ять ступеней [13,15]:

- 1) складання з'єднань за допомогою ручних інструментів (ключів, викруток, головок) універсальних і спеціальних, що враховують специфіку вузла;
- 2) складання різьбових з'єднань за допомогою різьбоzagвинчувальних машин, керування якими і допоміжні роботи виконуються вручну;
- 3) складання з'єднань за допомогою ручних машин, коли всі допоміжні операції включно із подачею різьбових деталей живниками, виконуються автоматично, а ручним способом – тільки керування різьбоzagвинчувальною машиною;

4) складання з'єднань на спеціальному стаціонарному обладнанні із ручною подачею різьбових деталей;

5) складання з'єднань і всі допоміжні операції виконують складальні автомати.

Розбирання РЗ також можна поділити на аналогічні складанням рівні механізації, за винятком останнього. Інформації про повну автоматизацію розбирання РЗ під час ремонту машин в доступних нам літературних джерелах немає. Хоч для створення розбиральних автоматів і напівавтоматів якихось технічних перепон ми не бачимо, якщо це стосується серійних об'ємів ремонту і вигідно із економічних міркувань.

Отже, розбирання і складання РЗ виконується однаковими інструментами і обладнанням і основними із них для ремонтного і інших виробництв є ручні ключі і викрутки.

Їх широке застосування обумовлене економічними причинами. Асортимент цих інструментів надзвичайно різноманітний – від універсального до спеціального виконання і призначення. Наприклад, ключі кільцеві з відкритим зівом – ГОСТ2839-80; ключі гайкові комбіновані (з відкритим зівом і кільцеві) – ГОСТ 16983-80; ключі кільцеві двосторонні колінчасті – ГОСТ2906-80; ключі ріжкові – ГОСТ6394-73; ключі гайкові розвідні – ГОСТ 7275-75; Змінні головки з внутрішнім шестигранником –ГОСТ3229-75.

За способом контролю моменту затягнення ключі можна розділити на:

Ключі динамометричні, які безперервно показують зміну крутного моменту під час затягнення [33,38,39];

Ключі граничні, які відключаються при досягненні заданого моменту затягнення [33,38,39];

Ключі , в яких не передбачено обмеження крутного моменту [33,38].

Підвищення продуктивності праці під час розбирання і складання РЗ досягається за рахунок широкого застосування різноманітних механізованих

інструментів. Їх застосування під час розбирання РЗ сприяє також збереженні значної кількості кріпильних виробів, які придатні для повторного використання [1].

Для розбирання і складання РЗ призначені ручні і автоматизовані, одно і багатошпиндельні гайкокрути з пневматичним, електричним і гідравлічним приводами, а також електромеханічні гайкокрути.

За принципом дії перетворювача моменту гайкокрути можна поділити на три групи [1,15]:

1) обертання від двигуна на шпиндель передається через редуктор і муфту обмеження крутного моменту;

2) обертання від двигуна передаються безпосередньо на шпиндель, тому вони оснащені тільки пневматичними двигунами, які не бояться перевантажень;

3) гайкокрути ударно-імпульсної дії, у яких спеціальна муфта перетворює обертовий рух в обертово-ударні імпульси. Ці гайкокрути застосовуються найчастіше бо в них невелика маса і відсутній реактивний момент.

В таблиці 1.1 [1] подано порівняльну характеристику відомих гайкокрутів залежно від типу двигуна.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика гайкокрутів

Показники	Електричні	Гідравлічні	Пневматичні
Питомий крутний момент, Нм	0,7-1,0	2,5-3,5	2,0-2,5
К.к.д.	40-50	55-65	7-11
Вага інструмента при однаковій потужності, кг	8-10	2,5-3,0	2,0-2,5
Споживана потужність електроенергії в Квт при $M_{кр} = 30$ Нм	0,75-1,0	0,7-0,8	4,0-6,0
Шумність роботи	Шум се-редньої сили і високої частоти	Шум відсутній	Різкий шум сили і високої частоти

Ефективність використання ручних механізованих інструментів не висока, коли попереднє нагвинчування кріпильних виробів на 1,5-2 витки виконують вручну. [1]. Цей недолік усувається застосуванням пристроїв для автоматичної подачі гайок, гвинтів, болтів.

#### **1.4. Висновки по розділу**

1. Найбільше відмов у роботі механізованого (автоматизованого) різьбоскладального обладнання виникає на першому етапі операції загвинчування – наживленні. Причиною цього є недостатня точність взаємного розташування РД перед складанням, що призводить до заклинювання і пошкодження різьби. Внаслідок цього зменшується продуктивність виконання операцій загвинчування і появляются додаткові затрати необхідні для відновлення пошкоджених деталей.

2. В даний час для розбирання і складання РЗ застосовується дуже багато різноманітних інструментів і обладнання. Це ручні ключі і викрутки, механізовані (автоматизовані) інструменти, автоматичні лінії, роботизовано складальні комплекси. Є пристрої з деякими ознаками адаптації, які можуть компенсувати лінійні похибки базування в межах, що більші від сумарної величини радіальних катетів фасок різьби, інші при заклинюванні різьби починають реверсивний рух шпинделя. Але ці пристрої призначені тільки для стаціонарного використання і мають складні конструкції. Їх неможливо використати в ручних механізованих інструментах і підвісних або пересувних багатошпindelних гайкокрутах. А якраз таке обладнання, з врахуванням дрібносерійного характеру і економічних міркувань, найбільш придатне для ремонтного виробництва в АПК.

## **2. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НАЖИВЛЕННЯ РІЗЬБОВИХ ДЕТАЛЕЙ**

### **2.1 Наживлення різьби**

Загальноприйнято називати наживленням загвинчування різьбової деталі на 1-2 витки. Вважаємо, що таке визначення не дає уявлення про суть цього процесу. Щоб уяснити як взаємодіють між собою початкові витки гвинта перед безпосереднім спряженням і на його початковому етапі необхідно виявити можливі варіанти геометричної форми західної (наживної) частини різьби і її параметрів.

#### **2.1.1 Початок наживлення, кут наживлення**

До даного часу загальноприйнято наживленням називати загвинчування різьбової деталі на 1...2 витки. Ми пропонуємо визначення, яке точніше відображає суть цього процесу, а саме: наживлення – це процес безпосереднього спряження гвинтових різьбових поверхонь першими неповними витками різьби [41]. Він починається після взаємного орієнтування різьбових деталей і відповідного суміщення слідів їх різьби, а закінчується після спряження перших неповних витків різьби. Наживлені різьбові деталі повинні зберігати початковий спряжений стан без допомоги будь-яких напрямних чи баз і, не обертаючи, їх неможливо роз'єднати осьовим або радіальним зусиллям без руйнування різьби.

Взаємне розташування слідів різьби, що створює умови для початку наживлення, залежить від геометрії західних частин різьби. Розглянемо процес наживлення метричної різьби з кутом конуса фаски рівним  $90^\circ$  у гвинта і  $120^\circ$  у гайки (рис.2.1).

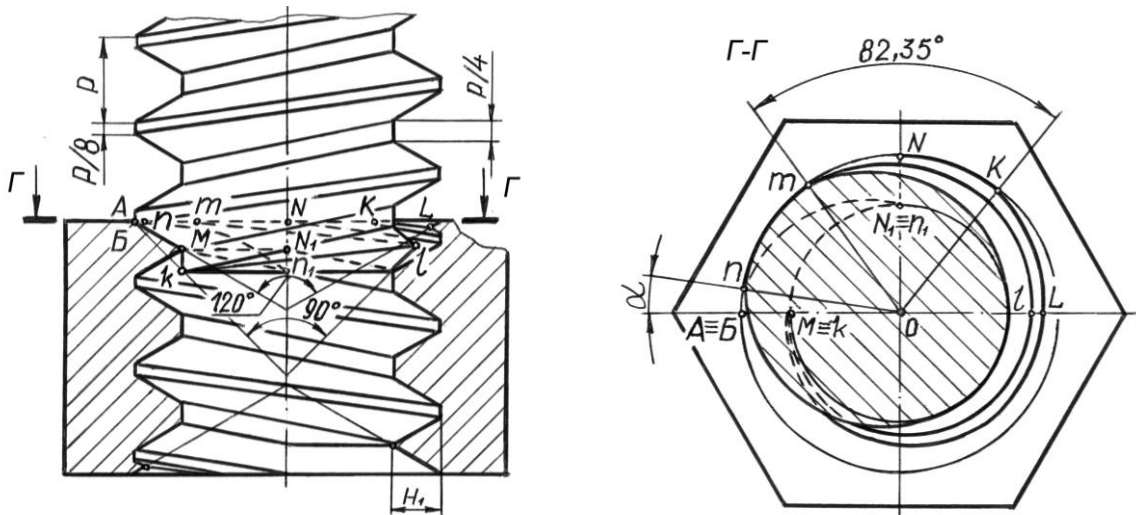


Рисунок 2.1 – Початок наживлення метричної різьби.

Початок наживлення характеризується тим, що в цей момент початок західного витка різьби гвинта, тобто точка  $k$ , розташована під початком повного по висоті витка різьби гайки – точкою  $M$ . Таке положення можна одержати обертаючи гвинт в контакт з гайкою в напрямі протилежному загвинчуванню після клацання. Клацання виникає, коли гвинт опуститься в отвір гайки на ширину впадини внутрішнього діаметру різьби. Під час подальшого обертання гвинта в напрямі загвинчування (при нерухомій гайці) точка  $k$  і решту точок кривої  $klm$  заходять у впадину різьби гайки, що характеризує фазу наживлення. Вона закінчується, коли точка  $m$  сліду різьби гвинта опиниться під точкою  $K$  сліду різьби гайки. В цьому положенні гвинт і гайка не піддаються роз'єднанню без обертання в напрямі розгвинчування внаслідок дії осьових і радіальних сил, що не спричиняють руйнування витків їх різьби. Кут повороту гвинта для здійснення наживлення в цьому випадку дорівнює:

$$\varphi_n = \angle mOn_1 \text{ (рис.2.8б)} + \angle NOK \text{ (рис.2.7 а)} = 37,35^\circ + 45^\circ = 82,35^\circ. \quad (2.1)$$

Розташування слідів метричної різьби з кутами конусів фасок рівними  $120^\circ$  у гвинта і  $-90^\circ$  у гайки перед початком наживлення буде іншим ніж в попередньому випадку.

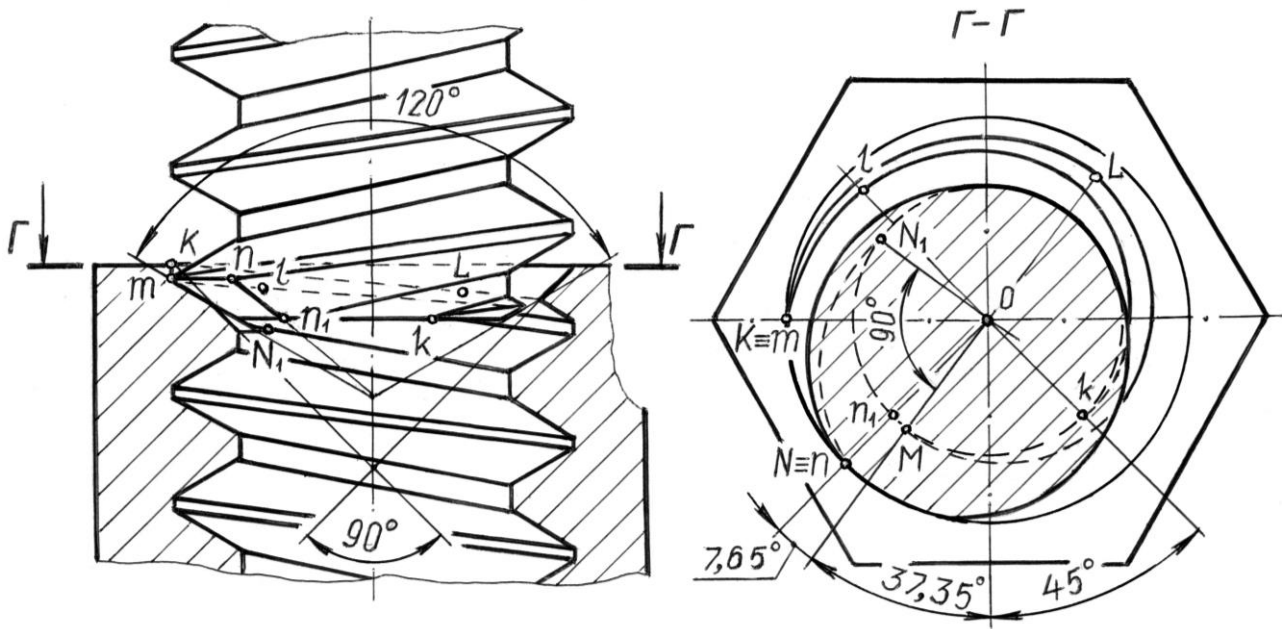


Рисунок 2.2 – Початок наживлення метричної різьби.

Наживлення (рисунок 2.2) почнеться після суміщення в осьовому напрямі точки  $m$  сліду різьби гвинта з точкою  $K$  сліду різьби гайки. Таке розташування слідів різьби можна одержати аналогічно попередньому випадку, обертаючи гвинт в контакт з гайкою в напрямі протилежному загвинчуванні, після клацання. Клацання виникає за рахунок опускання гвинта в отвір гайки на ширину впадини зовнішнього діаметру різьби. Під час наступного обертання гвинта в напрямі загвинчування (при нерухомій гайці) точка  $m$  і решта точок кривої  $mlk$  заходять у початкову впадину різьби гайки, що характеризує фазу наживлення. Вона закінчиться, коли точка  $k$ , тобто початок першого витка різьби гвинта, зайде у впадину різьби гайки під точку  $M$ . Кут повороту гвинта для здійснення наживлення для цього випадку також дорівнює:

$$\varphi_n = 37,35^\circ + 45^\circ = 82,35^\circ.$$

Із рисунків 2.1 і 2.2 можна зауважити два варіанти початку і закінчення наживлення

1. Першою у западину під точку  $M$  різьби гайки з повною висотою

профілю заходить початкова точка  $k$  витка гвинта, якщо центральний кут його різьби сліду більший від центрального кута сліду різьби гайки. Наживлення закінчиться після заходу точки  $m$  повної висоти профілю різьби гвинта під початкову точку  $K$  витка різьби гайки.

2. Першою у западину різьби гайки під початкову точку  $K$  її витка заходить точка  $m$  різьби гвинта з повною висотою профілю, якщо центральний кут сліду його різьби менший від центрального кута сліду різьби гайки. Наживлення закінчиться коли початок витка різьби гвинта (точка  $k$ ) підійде під точку  $M$  повної висоти профілю різьби гайки.

Кут наживлення не змінюється, якщо змінювати розташування різних за величиною кута фасок з гвинта на гайку і навпаки.

На основі цього визначаємо кути наживлення для комбінації різьби із фасками 45 і 60 із різьбою без фасок. Накладемо сліди різьби гвинта без фаски на сліди різьби гайки із фаскою 60. При суміщенні точки  $m$  із точкою  $K$  гвинт опуститься вниз на ширину зовнішньої смужки і це буде початок наживлення. Першою в заглибину різьби гайки при обертанні в сторону загвинчування заходить точка  $m$ . Точка  $k$  в цьому положенні віддалена від точки  $M$  різьби гайки на центральний кут  $\varphi_n$ , який буде кутом наживлення. Він дорівнює різниці центральних кутів слідів різьби гайки і гвинта

$$\varphi_n = 225 - 112,5 = 112,5 \quad (2.2)$$

Після повертання на цей кут точка  $k$  зайде під точку  $M$  і завершить процес наживлення різьби гвинта без фаски із різьбою гайки, що має фаску 60.

Параметри описаних процесів наживлення і значення кута  $\varphi_n$  стосується тільки метричної різьби з основними відхиленнями  $H, h$  рівними 0. Для метричної різьби з іншими основними відхиленнями, котрі регламентовані діючими стандартами, процес наживлення буде аналогічним, тільки його початок і закінчення обмежуватимуться іншими точками слідів різьби і кут наживлення змінюватиметься.



З врахуванням відхилення  $E$  внутрішнього діаметру різьби гайки точка  $M'$  (рис. 2.3 б) буде початком її повного витка. Центральний кут сліду різьби зменшиться на величину, що дорівнює

$$\varphi_E = 112,5 E / H_1, \quad (2.3)$$

$\varphi_E$  визначено із пропорції:  $225 / \varphi_E = H_1 / 0,5 E$ .

За рахунок відхилення  $e$  зовнішнього діаметру різьби гвинта (рис.2.3 б) початок її повного витка з точки  $m$  перенесеться в точку  $m'$  кривої сліду різьби. Її центральний кут у гвинта, що має різьбу з фаскою  $45^\circ$  (рис. 2.3 в) зменшиться на величину, що дорівнює

$$\varphi_e = 153,675 |e| / H_1, \quad (2.4)$$

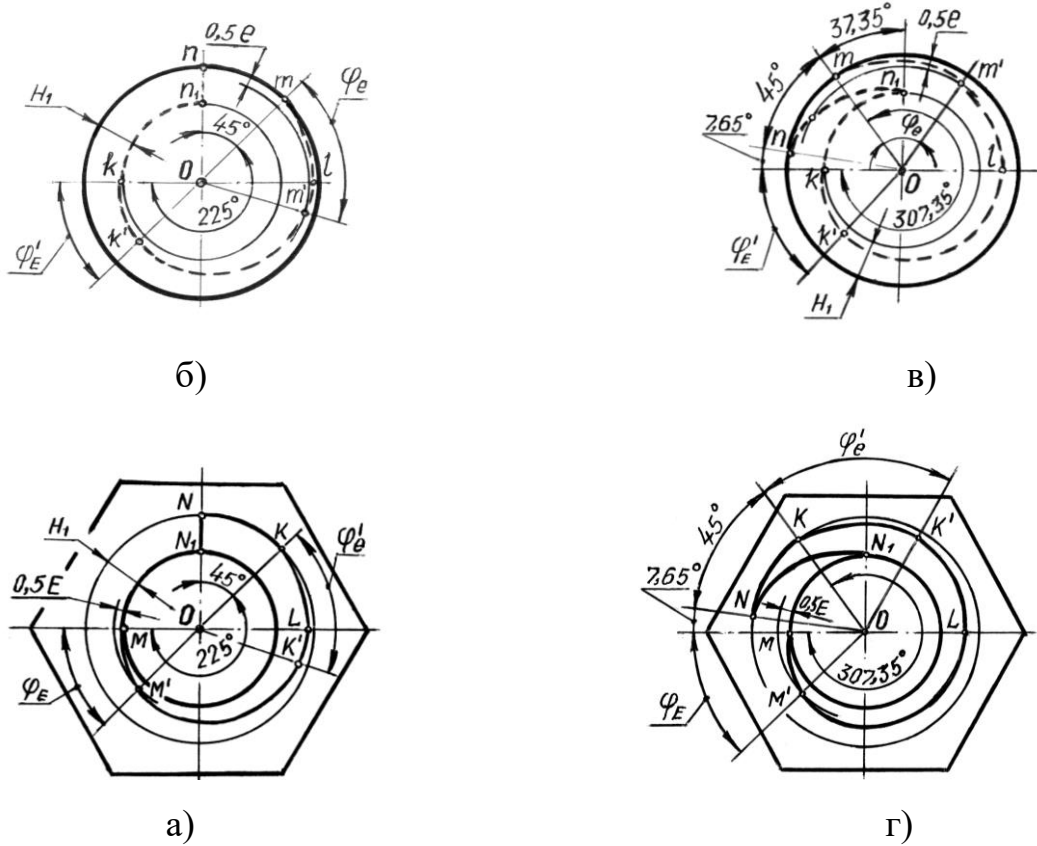


Рисунок 2.3 – Сліди метричної різьби з врахуванням відхилень зовнішнього і внутрішніх діаметрів: а, б – різьби з фасками  $60^\circ$ ; в, г - різьби з фасками  $45^\circ$ .

Наживлення різьби, котра має фаску 90 у гвинта і 120 у гайки почнеться від моменту розташування під точкою  $M'$ ; в) сліду різьби гайки такої точки  $k'$  сліду різьби гвинта, що матиме рівний з точкою  $M'$  радіус-вектор, тобто коли задовольниться наступна умова

$$\varphi_E' = 153,675^0 E/H_l , \quad (2.5)$$

Закінчиться наживлення після того, як точка  $m'$  (рис. 2.3в) сліду різьби гвинта розташується під точкою  $K'$  (рис. 2.3а) сліду різьби гайки, що має рівний з точкою  $m'$  радіус-вектор. Тому кут

$$\varphi_e' = 112,5 |e|/H_l , \quad (2.6)$$

Кути наживлення визначені для різьби з номінальними розмірами за рахунок кутів  $\varphi_E'$  і  $\varphi_e$  зменшаться, а за рахунок кутів  $\varphi_e'$  і  $\varphi_E$  збільшаться. В загальному випадку (враховуючи відхилення) кут наживлення різьбових деталей з фасками 120° у однієї із них, і 90° - у іншої дорівнює

$$\varphi_{Hl} = 82,35 + (\varphi_E - \varphi_E') + (\varphi_e' - \varphi_e) \quad (2.7)$$

Підставивши значення  $\varphi_E$  (2.49),  $\varphi_E'$  (2.51),  $\varphi_e'$  (2.6),  $\varphi_e$  (2.4) у вираз (2.7) одержимо:

$$\varphi_{Hl} = 82,35^0 - 76,074^0 \left( \frac{E + |e|}{P} \right) . \quad (2.8)$$

За такою методикою одержано вирази для підрахунку кутів наживлення різьбових деталей з різними виконаннями фасок і без фасок, які зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Кути наживлення різьбових деталей

Кути фасок, град.		Без врахування відхилень $d$ і $D_l$ , град.	З врахуванням відхилень $d$ і $D_l$ , град.
Гвинт	Гайка		
1	2	3	4
0	0	112,5	112,5

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
0 45	45 0	194,85	$194,85+180\left(\frac{E+ e }{P}\right)$
0 60	60 0	112,5	$112,5+103,926\left(\frac{E+ e }{P}\right)$
45 60	45 60	0	0
45 60	60 45	82,35	$82,35-76,076\left(\frac{E+ e }{P}\right)$

Хоча відхилення середнього діаметру метричної різьби не змінюють параметрів скісних гелікоїдів її гвинтової поверхні і тому не мінятимуться параметри кривих її слідів, але виникатимуть осьові і радіальні зазори, які збільшуватимуть кут наживлення.

## 2.2 Висновки по розділу

1. Початковий етап операції загвинчування, що починається після контакту РД і відомий під назвою “наживлення” слід диференціювати на наступні елементарні операції: взаємне орієнтування, суміщення слідів, власне наживлення.

2. Одержані математичні моделі можна також застосовувати для дослідження процесу взаємного орієнтування деталей гладкого циліндричного з’єднання, бо взаємодія їх торцями не залежить від наявності на їх боковій поверхні елементів різьби.

3. Запропоновано термін: наживлення – це спряження різьби неповними початковими витками, що забезпечує їм стійкий з’єднаний стан, котрий не можна порушити осьовим чи радіальним зусиллям.

4. У різьбової пари з номінальними розмірами кут наживлення лежить в межах  $0 - 194,85$ . Для визначення кута наживлення з врахуванням відхилень  $d$  і  $D_1$  і величини кута фаски одержано аналітичні вирази.

### **3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ, ОБЛАДНАННЯ І ПРИСТОСУВАННЯ.**

Результати і висновки будь-яких теоретичних досліджень, що стосуються реальних виробничих процесів мають пройти експериментальну і практичну перевірку. Це єдиний варіант їх впровадження у виробництво. Розробка експериментальної установки є першим кроком до створення роботоздатних зразків виробничого обладнання. Результатом наших теоретичних досліджень є математичні моделі процесу взаємного орієнтування гайки і різьбового стержня, що мають податливе базування, реальність яких потрібно підтвердити відповідними експериментами. Проте здійснення тільки процесу всамоорієнтування деталей різьбової пари за рахунок податливого базування не є повною гарантією їх спряження. Базування, що забезпечує лінійну і кутову податливість РД може надати їм співісне розташування тільки на якусь мить, а розташування слідів їх різьби в цей момент не відповідає умовам наживлення. А в наступну мить технологічна взаємодія між РД може змінити їх співісне розташування до межі, що не забезпечує їх спряження. Крім цього, математичні моделі подають тільки абстрактний зв'язок між режимами загвинчування і параметрами податливої бази під час взаємного орієнтування різьбових деталей. Експериментальними дослідженнями необхідно встановити реальні значення їх меж, які забезпечують взаємне орієнтування і наживлення конкретної різьбової пари.

Наші теоретичні дослідження процесу наживлення, його геометричні моделі (образи) і вирази для визначення кута наживлення одержані вперше і також вимагають експериментальної перевірки.

На основі сказаного сформулюємо завдання експериментальних досліджень:

1. Дослідити процеси взаємного орієнтування і наживлення за першою схемою базування.
2. Дослідити процеси взаємного орієнтування і наживлення різьбових деталей за другою схемою базування.
3. Дослідити процес наживлення різьби за допомогою різьбових моделей.
4. Експериментально перевірити відомі вирази.
5. Провести виробничі випробування адаптивного гайкокрута і касети.

### **3.1 Установа і методика експериментального дослідження умов гарантованого взаємного орієнтування і наживлення різьбових деталей за другою схемою базування.**

Для виконання цих експериментів розроблено і виготовлено спеціальну експериментальну установку, що забезпечує податливе базування гайки в спеціальній головці (рис.3.1, рис.3.2). В радіальному напрямі податливість гайки забезпечує пружинне кільце 6, що взаємодіє із напрямною 5 і базою гайки 9 через штифти 7, 11. Останні передають зусилля пружинного кільця 6 на базу гайки 9 через саму гайку і за рахунок цього утримують її у гнізді бази 9. Напрямна 5 встановлена в пази корпусу 1 заокругленими виступами 10, що дає їй три ступені вільності: прямолінійний рух і обертання навколо двох взаємно-перпендикулярних осей. База гайки 9 встановлена в пазу напрямної 5 і може здійснювати в ньому прямолінійний рух. Таким чином гайці забезпечена можливість виконувати чотири рухи автопошуку. В початковому положенні рухомі елементи головки разом з гайкою утримуються пружинним кільцем 6 у зрівноваженому стані. Щоб забезпечити заплановані рівні радіальної жорсткості ( $c=0,6$  Н/мм,  $c=0,9$  Н/мм і  $c=1,2$  Н/мм) виготовлено три гумових пружинних кільця 6 із необхідними розмірами поперечного перерізу.

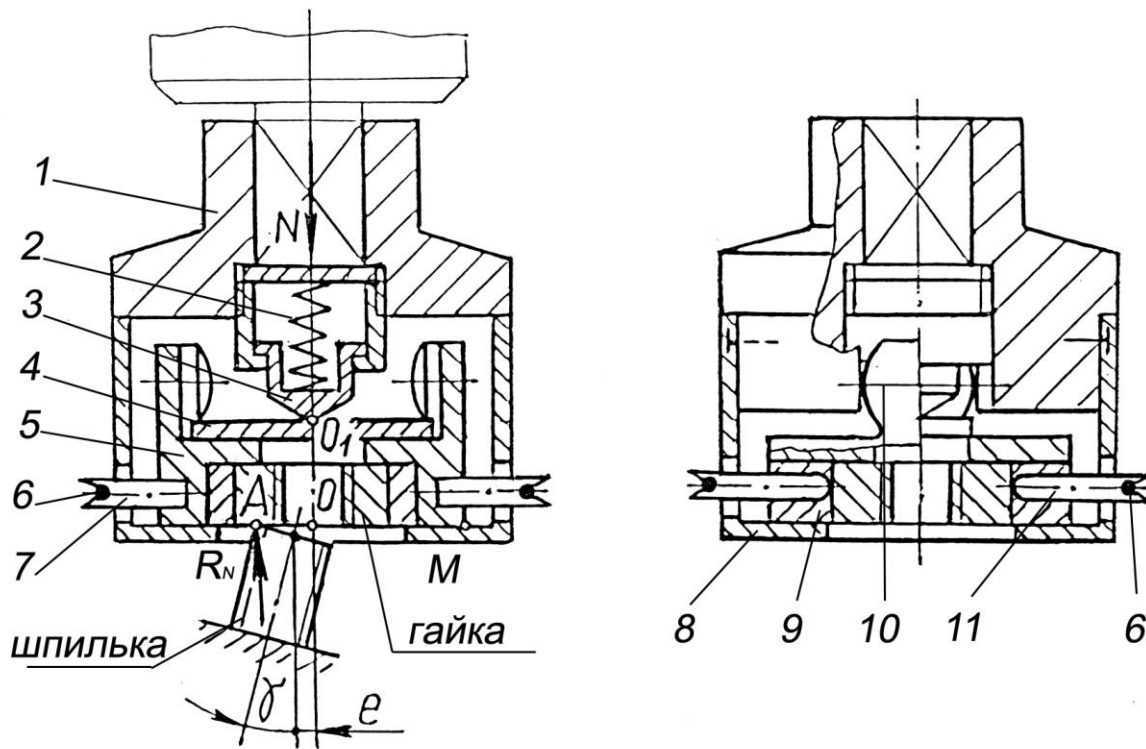


Рисунок 3.1 – Головка з податливим базуванням гайки: 1- корпус; 2- осьова пружина; 3- втулка; 4- шайба проміжна; 5- напрямна бази гайки; 6 – кільце пружинне; 7, 11 – штифти; 8 – обмежувальна втулка; 9 – база гайки; 10 – заокруглені виступи напрямної 5.

Під дією осьового зусилля  $N$  пружина 2, під час контакту шпильки і гайки в точці  $A$ , деформується в певних межах, втулка 3 піднімається вгору і напрямна 5 за рахунок крутного моменту  $T = R_N \cdot AM - N \cdot OM$  повернеться навколо точки  $M$ , що забезпечить контакт гайки і шпильки торцевими площинами і їх наступне взаємне центрування.

Експериментальна установка представлена на рис. 3.3 і рис. 3.4. Податлива головка 5 (рис. 3.1) встановлена на шпинделі адаптивного пневмогайкокрута, котрий розроблений і виготовлений на основі наших досліджень.

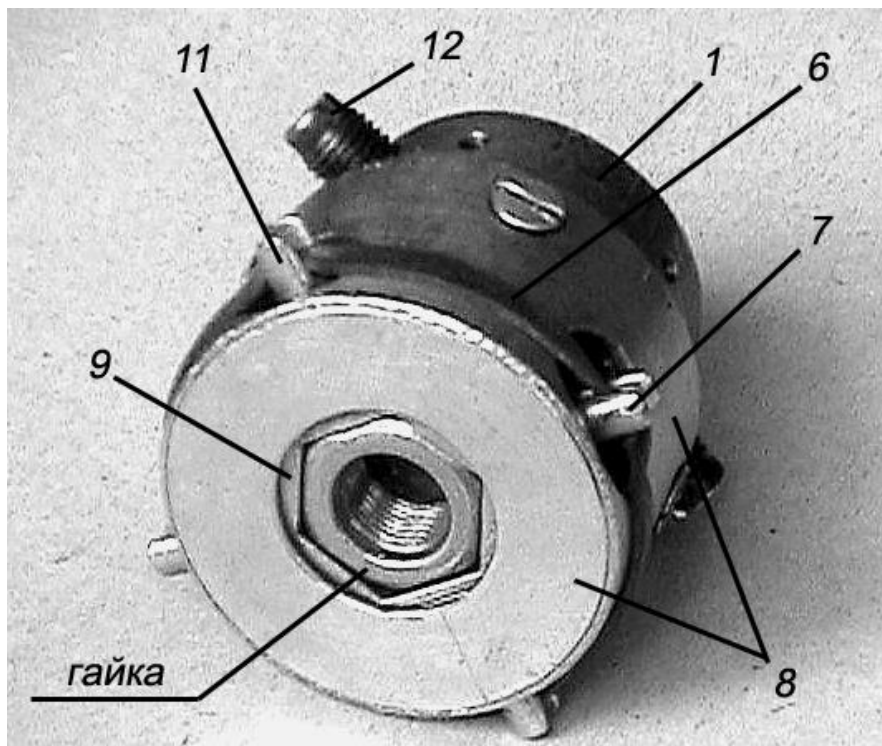


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд головки із податливим базуванням гайки:  
 1- корпус; 6 – кільце пружинне; 7,11 - штифти; 8 – обмежувальна втулка; 9 – база гайки; 12- гвинти фіксації головки на шпинделі гайкокрута.

Швидкість обертання шпинделя разом з головкою 5 встановлюється регулюванням тиску повітря, що подається до пневмогайкокрута 4. Величину цієї швидкості можна встановити за числом, що висвітлюється на шкалі частотоміра 7 (ЧЗ-32, рис. 3.4). Він з'єднаний екранованим провідником із електронною схемою оптоелектронного давача зупинки шпинделя гайкокрута 4. За один оберт шпинделя на частотомір подається два електроімпульси і для визначення його обертів за секунду необхідно покази шкали частотоміра зменшити у два рази.

Осьове зусилля  $N$  задається тягарцями 11. Шпилька жорстко базується в хомуті 2.1 (рис.3.4) пристрою 2 (рис.3.3), який крім цього призначений для надання їй лінійного і кутового зміщень, передбачених планом експерименту.

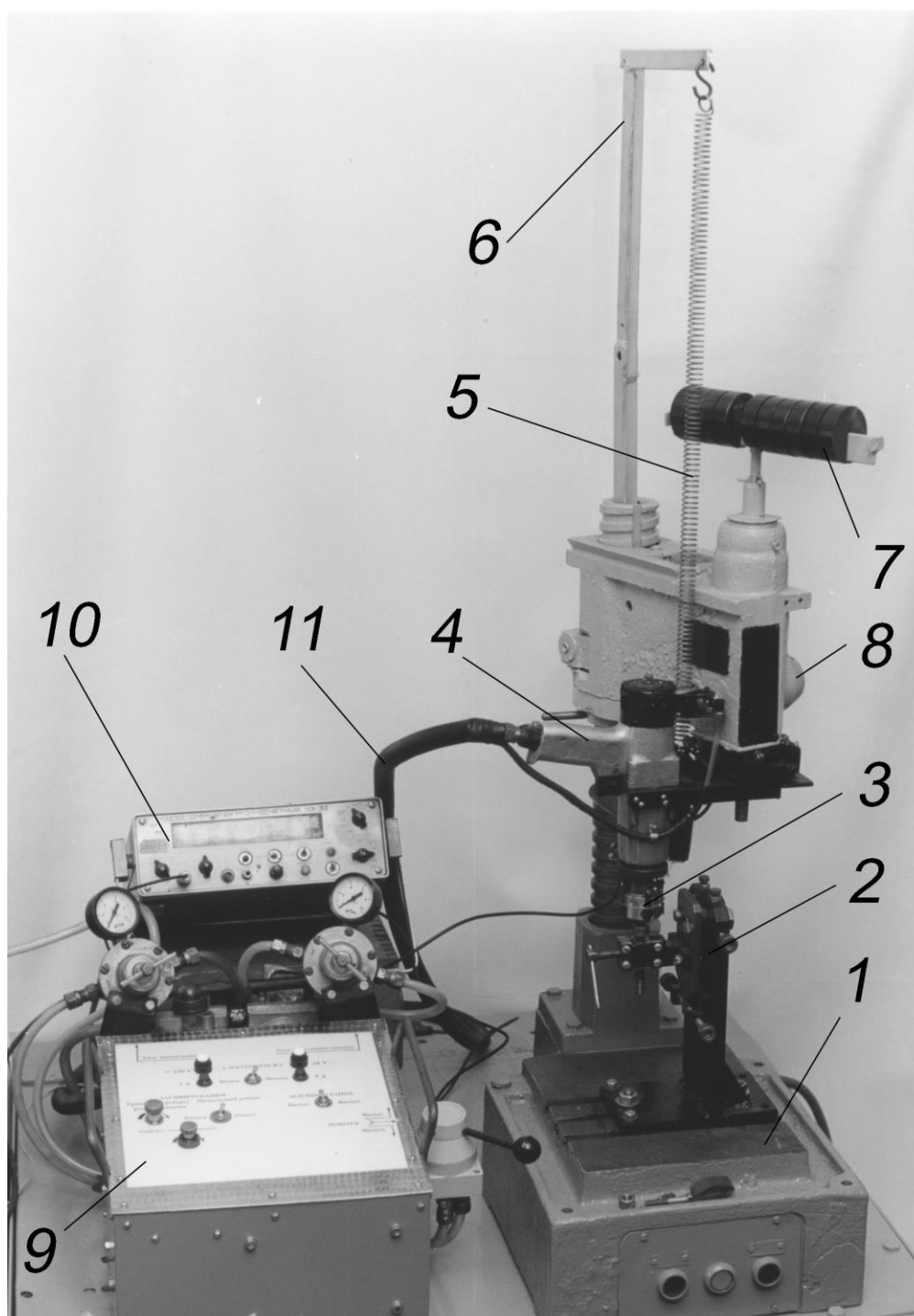


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд експериментальної установки: 1- станина; 2- пристрій для базування шпильки; 3- головка з податливою базою гайки; 4- пневматичний адаптивний гайкокрут; 5- зрівноважувальна пружина; 6- кронштейн пружини; 7- тягарці; 8- механізм ручного переміщення гайкокрута; 9- пулт керування; 10- частотомір; 11- джгут із пневмоелектропроводів.



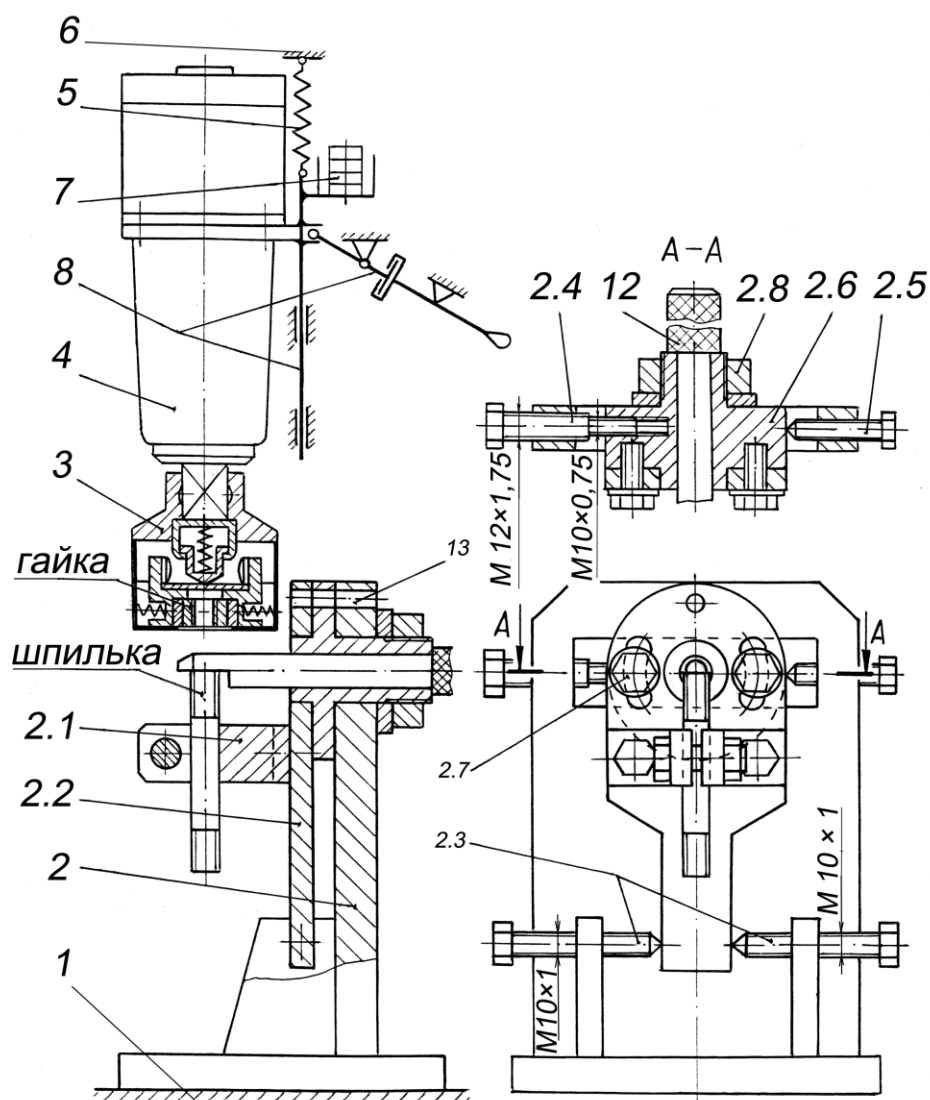


Рисунок 3.4 – Схема експериментальної установки: 1- станина; 2 – пристрій для базування шпильки; 2.1. – хомут шпильки; 2.2. – плита поворотна; 2.3. – гвинти регулювання кута перекосу  $\gamma$ ; 2.4, 2.5 – гвинти регулювання лінійного зміщення  $e$ ; 2.6. – повзун; 2.7.- болти; 2.8.- гайка; 3- головка з податливою базою гайки; 4- адаптивний пневматичний гайкокрут; 5 - зрівноважувальна пружина; 6 – кронштейн пружини; 7- тягарці; 8 - механізм ручної подачі гайкокрута; 12 – оправка; 13- отвори для фіксації співісності гайки і шпильки.

Хомут 2.1 закріплений на плиті 2.2, котра базується отвором на шийці повзуна 2.6, фіксується болтами 2.3 і притискається до нього через кільцеві пази болтами 2.7. Повзун 2.6 розташований у горизонтальному пазу корпусу пристрою 2, може пересуватися в ньому за допомогою болта 2.4, фіксуватися болтом 2.5 і затискатися гайкою 2.8. Болт 2.4 має дві різьбові ступені з різними розмірами різьб. Ступінь з різьбою M12×1,75 загвинчена в отвір корпусу пристрою 2, а ступінь з різьбою M10×0,75 – у тіло повзуна 2.6. Повертанням болта 2.4 на один оберт можна пересунути повзун 2.6 вліво чи вправо на 1 мм. Одночасно пересунеться хомут 2.1. разом із шпилькою. Кут перекошу  $\gamma$  осі шпильки відносно осі гайки регулюється поворотом плити 2.2 за допомогою болтів 2.3. Величина кута повороту проградуєвана за величиною їх ходу в один чи інший бік. Наприклад, хід болта 2.3 на 1,75 мм повертає плиту 2.2 на  $1^\circ$ .

Початкове розташування шпильки і гайки фіксується співвісним розташуванням отворів 13 у плиті 2.2, фланці повзуна 2.6 і корпусі пристрою 2 за допомогою циліндричного штифта (на рис.3.4 не зображений). Особливістю і перевагою даного пристрою є можливість розташувати торцеву площину шпильки на осі, навколо якої вона повертається під час регулювання кута її перекошу відносно гайки. Це забезпечує незалежне одне від одного регулювання лінійного і кутового зміщення осей гайки і шпильки. В потрібне положення по висоті шпилька встановлюється за допомогою оправки 12.

### **3.2. Методика лабораторно-виробничих випробувань і порівняння технологічних процесів складання різьбових з'єднань адаптивним різьбоскладальним обладнанням і стандартним гайкокрутом.**

Для дослідження вибрано технологічний процес складання різьбових з'єднань кріплення головки блока двигуна ЗМЗ-402210. З'єднання складається

із трьох кріпильних виробів: шпильки і гайки з різьбами M11×1, шайби 11. Кріплення головки блока імітується спеціальним кронштейном, в якому закріпленні шпильки M11×1 (рис.3.5).

Дослідженню і порівнянню підлягають два технологічні процеси механізованого складання різьбових з'єднань, які відрізняються ручним і механізованим виконанням наживлення.

Технологія механізованого складання різьбових з'єднань з ручним наживленням наступна:

- 1) ручне укладання шайб 11 в тару після дефектування;
- 2) ручне укладання гайок M11×1 в тару після дефектування;
- 3) перенесення шайб 11 рукою з тари і встановлення на шпильки;
- 4) перенесення гайок M11×1 рукою з тари і ручне наживлення на шпильки;
- 5) механізоване загвинчування і затягнення ручним пневматичним гайкокрутом.

Технологія повністю механізованого складання різьбових з'єднань має такі операції:

- 1) ручне встановлення шайб 11 на базові штифти касети (рис.3.6) після дефектування;
- 2) ручне встановлення гайок M11×1 на базові штифти касети після дефектування;
- 3) захоплення гайки M11×1 разом з шайбою з касети спеціальною головкою (рис.3.7) гайкокрута, перенесення до шпильки, наживлення, загвинчування і затягування ручним адаптивним пневматичним гайкокрутом.

Дефектування кріпильних виробів властиве для ремонтного виробництва, що дозволяє повторне використання придатних деталей. За рахунок суміщення операції дефектування з операцією укладання кріпильних виробів у касету і

наступного механізованого наживлення гайок з шайбами адаптивним гайкокрутом очікуємо скорочення часу загвинчування в порівнянні з ручним наживленням і загвинчуванням стандартним гайкокрутом.

Головка блока двигуна ЗМЗ-4022.10 кріпиться десятима шпильками і тому хронометрування операцій загвинчування гайок ведемо для партій кріпильних виробів в кількості десяти штук. Число повторень приймаємо рівним дванадцяти.

В умовах автомобілебудування в технологічному процесі кріплення головки блока двигуна відсутні операції дефектування кріпильних виробів. В цьому випадку підвищення продуктивності загвинчування можна очікувати лише за рахунок менших затрат часу на заповнення касети шайбами, гайками і їх механізованого наживлення, ніж на ручне надівання шайб на шпильки і ручне наживлення гайок.

Результати хронометрування операцій двох технологічних процесів нагвинчування гайки М11×1 на шпильку записуємо у таблицю 4.1 і 4.2.

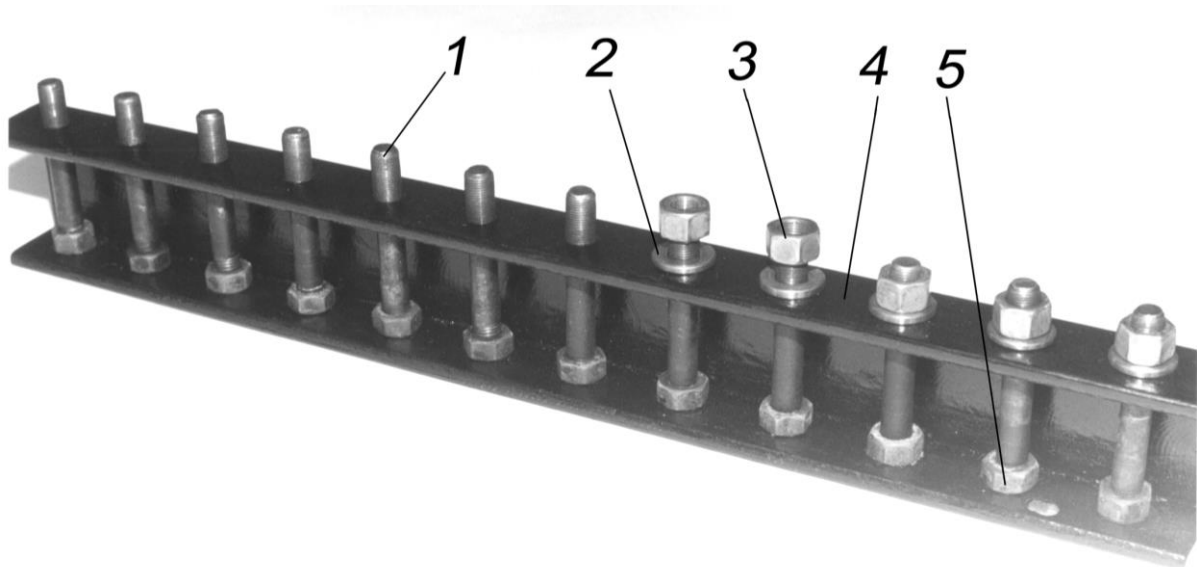


Рисунок 3.5 – Імітатор кріплення головки блока двигуна ЗМЗ-4022.10: 1 – шпилька кріплення головки блока; 2 – шайба 11; 3 – гайка М11×1 ; 4 – кронштейн; 5 – гайка М11.

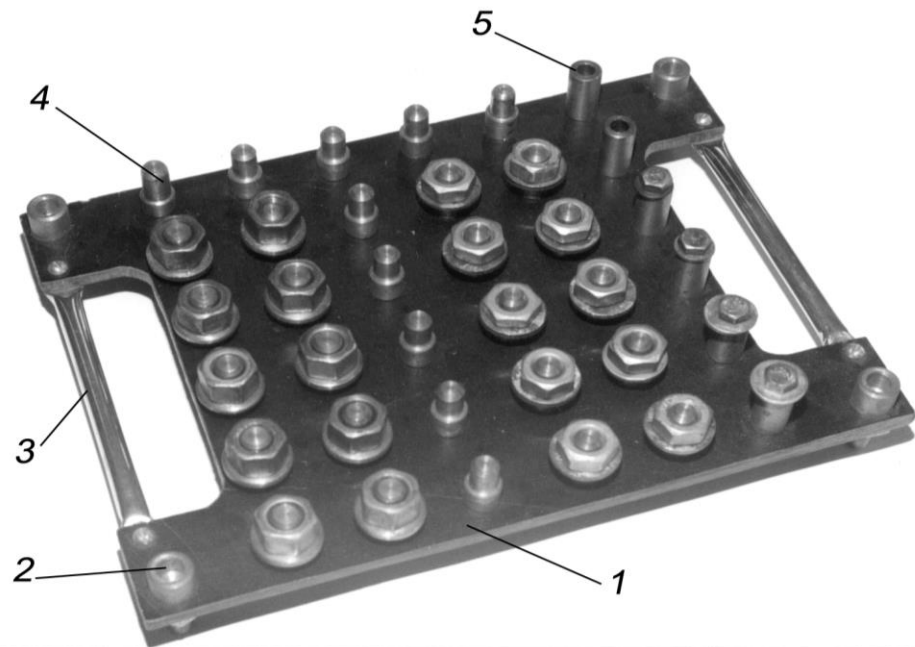


Рисунок 3.6 – Касета для кріпильних виробів: 1 – плита; 2- ніжки; 3 – ручка; 4- базові штирі для шайб і гайок; 5 – базові гнізда для болтів з шайбами.

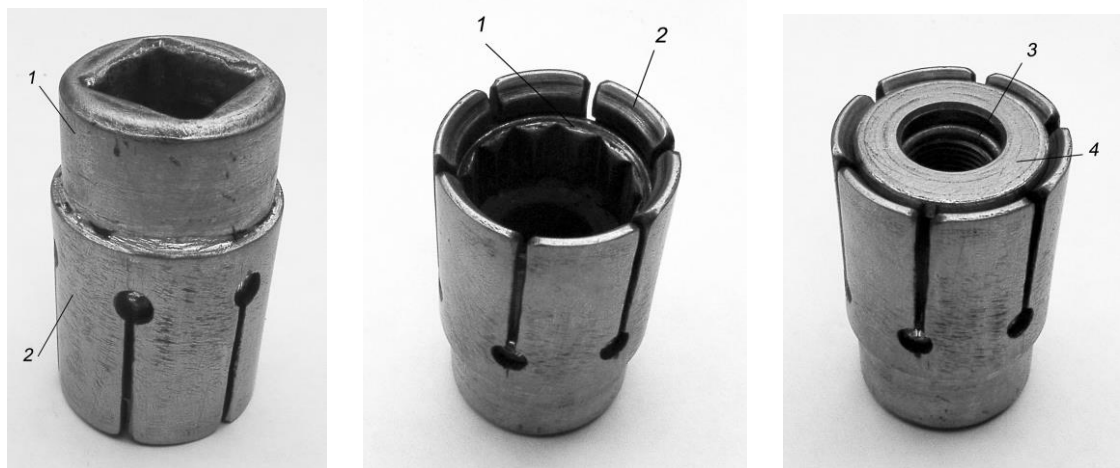


Рисунок 3.7 – Головка для захоплення гайки з шайбою із касети: 1 – стандартна головка; 2 – цанговий тримач шайби; 3 – гайка М11×1; 4 – шайба 11.

Час механізованого складання десяти різьбових з'єднань стандартним гайкокрутом із ручним наживленням становить

$$\Sigma T_M = T_{шт} + T_{гт} + T_{шв} + T_{гн} + T_{мз} \quad (3.1)$$

де  $T_{шт}$  – час ручного укладання шайб в тару;

$T_{гт}$  – час ручного укладання гайок в тару;

$T_{шв}$  – час перенесення і ручного встановлення шайб на шпильки;

$T_{гн}$  – час перенесення і ручного наживлення гайок на шпильки;

$T_{мз}$  – час механізованого загвинчування пневматичним гайкокрутом.

Для складання десяти різьбових з'єднань адаптивним гайкокрутом, що здійснює механізоване наживлення і загвинчування, необхідно затратити час:

$$\sum T_a = T_{шк} + T_{гк} + T_{аз} \quad (3.2)$$

де  $T_{шк}$  – час ручного встановлення шайб на базові штифти касети;

$T_{гк}$  – час ручного встановлення гайок на базові штифти касети;

$T_{аз}$  – час захоплення гайки з шайбою із касети головкою ручного адаптивного пневматичного гайкокрута, перенесення до шпильки, наживлення і загвинчування;

Затрати часу на кріплення головки блоки двигуна в умовах ремонтного виробництва зменшуються у  $q$  разів:

$$q = \frac{\sum T_m}{\sum T_a} \quad (3.3)$$

Лабораторні випробування адаптивного різьбоскладального обладнання виконані в умовах лабораторії кафедри експлуатації та технічного сервісу машин ім. проф. О.Д.Семковмча.

Випробування адаптивного гайкокрута в комплекті з касетою і головкою з цанговим утримувачем шайби і гайки проведено на складанні різьбових з'єднань кріплення головки блока двигуна ЗМЗ-53 (автомобіль ГАЗ-3307).

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дослідження виконані на основі методики і експериментальних установок, котрі описані в розділі 3.

### 4.1. Дослідження процесів взаємного орієнтування і наживлення різьбових деталей за другою схемою базування.

Експериментальні дослідження процесу наживлення виконані за методикою і експериментальним обладнанням, що описані в розділі 3. Результати цих досліджень приведені в таблиці А.3 (додаток А) і графічно представлені на рис. 4.1, рис. 4.2, рис.4.3 і рис. 4.4.

#### 4.1.1. Дослідження процесу взаємного орієнтування різьбових деталей.

За допомогою спеціальної програми (додаток А) виконано розв'язок (таблиці А1 і А2) математичної моделі, котра описує процес взаємного орієнтування гайки і шпильки (М11×1) за другою схемою базування.

Графічні залежності, що зображені на рис. 4.1. побудовані за результатами фізичного і машинного експериментів, котрі подані в таблицях А.2, А.3 додатку Б. Ці криві показують мінімальні значення осьової сили, що забезпечують процес взаємного орієнтування гайки і шпильки для трьох фіксованих рівнів кутової швидкості шпинделя і радіальної жорсткості пружинного кільця податливої бази. Жорсткість осьової пружини податливої бази прийнята рівною  $c_0 = 8000$  Н/м і під час експериментальних досліджень не мінялася. Максимальні значення цих сил, що гарантують процес взаємного орієнтування, можуть бути на 1-2 порядки більші від мінімальних (таблиці А.1, А.2.). При збільшенні лінійної похибки збільшується і осьова сила, що необхідна для здійснення взаємного орієнтування.

При фіксованій кутовій швидкості осьове зусилля збільшується із підвищенням радіальної жорсткості пружинного кільця податливої бази. Для фіксованого значення радіальної жорсткості цього кільця під час збільшення кутової швидкості шпинделя від 30 до 150 рад/с осьове зусилля спочатку зменшується ( $\omega = 90$  рад/с), потім знову зростає, але не сягає початкового рівня. Виняток складає процес взаємоорієнтування при  $c_1=c_2=600$  Н/м (рис.4.1).

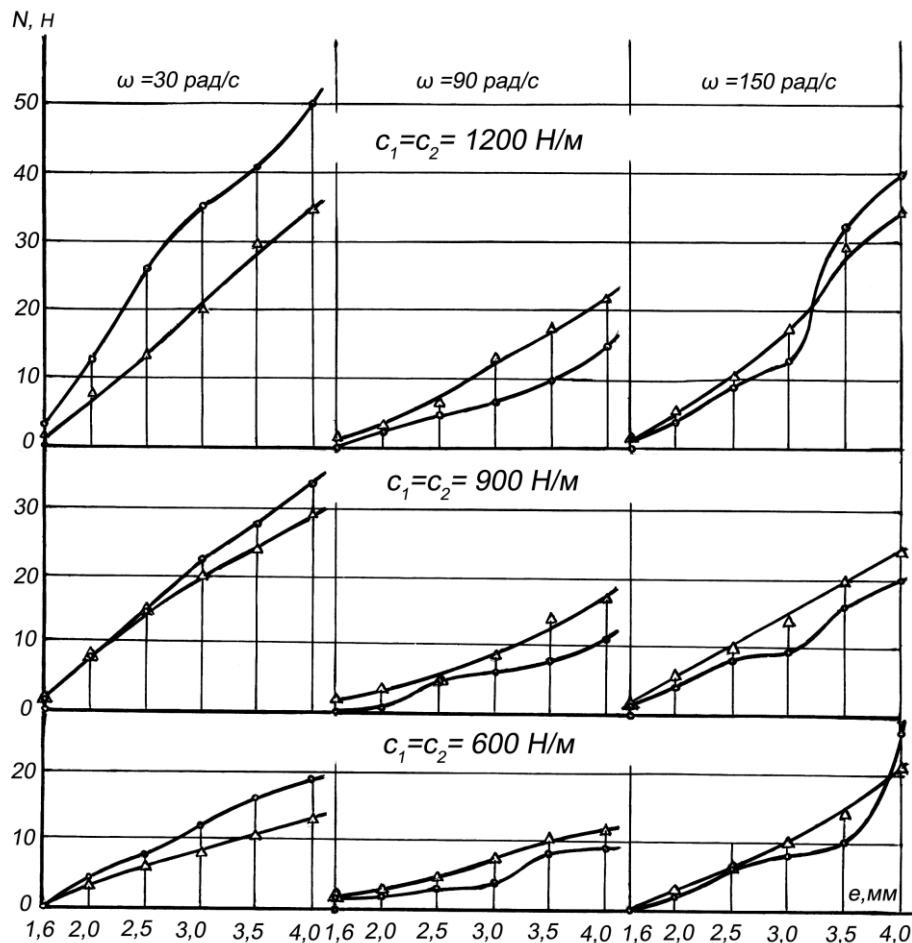


Рисунок 4.1 – Залежність режимів взаємного орієнтування і наживлення гайки на шпильку (М11×1) від лінійної похибки їх базування:  $c_1, c_2$  – радіальна жорсткість пружинного кільця податливої бази;  $c_0 = 8000$  Н/м – осьова жорсткість пружини податливої бази;  $\circ$  – точки машинного експерименту;  $\Delta$  – точки фізичного експерименту.



Різниця між значеннями осьової сили одержаними за результатами машинного і фізичного експериментів іноді сягає 34%. Зокрема, для максимальних значень лінійної похибки  $e = 4$  мм. Це пояснюється нестабільним значенням коефіцієнта тертя на торцевих поверхнях гайки і шпильки, якими вони взаємодіють під час взаємоорієнтування. Розв'язок математичної моделі виконаний при двох значеннях згаданого коефіцієнтів тертя:  $f_0 = 0,15$  (табл. А.1) і  $f_0 = 0,18$  (табл. А.2). Значення  $f_0 = 0,15$  ми прийняли враховуючи рекомендації приведені в роботі [28] (табл. 25, с.195). Але результати цих розрахунків (табл. А.1) значно відрізняються від результатів фізичного експерименту (табл. А.3). Більш прийнятним значенням є  $f_0 = 0,18$ , що зближує результати машинного і фізичного експериментів.

Слід взяти до уваги, що математична модель і програма її розв'язку (додаток Б) на ЕОМ також мають свої межі наближених результатів розрахунку до реального процесу. Математична модель одержана для умов абсолютного жорсткого базування шпильки і ідеального обертання (без радіального биття) шпинделя гайкокрута, разом з яким обертається податлива база гайки. В реальному процесі радіальне биття шпинделя неминуче за рахунок зазору в посадці, воно накладається на сканування гайки при податливому базуванні і разом із непостійністю коефіцієнтів тертя  $f_0$  показує згадану розбіжність результатів.

Незважаючи на це, результати наших: машинного і фізичного експериментів оцінюємо позитивно – як такі, що підтверджують надійність роботи розробленої конструкції податливої бази гайки. Для будь-якого значення лінійної похибки у вибраних межах (для гайки  $M11 \times 1$   $e_{\max} = 4.0$  мм) є мінімальне значення осьової сили, що гарантує процес взаємного орієнтування і на живлення для фіксованого значення кутової швидкості шпинделя. Максимальні значення обмежуються тільки міцністю різьби з'єднаних різьбових деталей. Тобто точність забезпечення необхідної осьової сили не обмежує технічних

можливостей різьбоскладального обладнання, що оснащено вказаною податливою базою гайки  $\gamma$ .

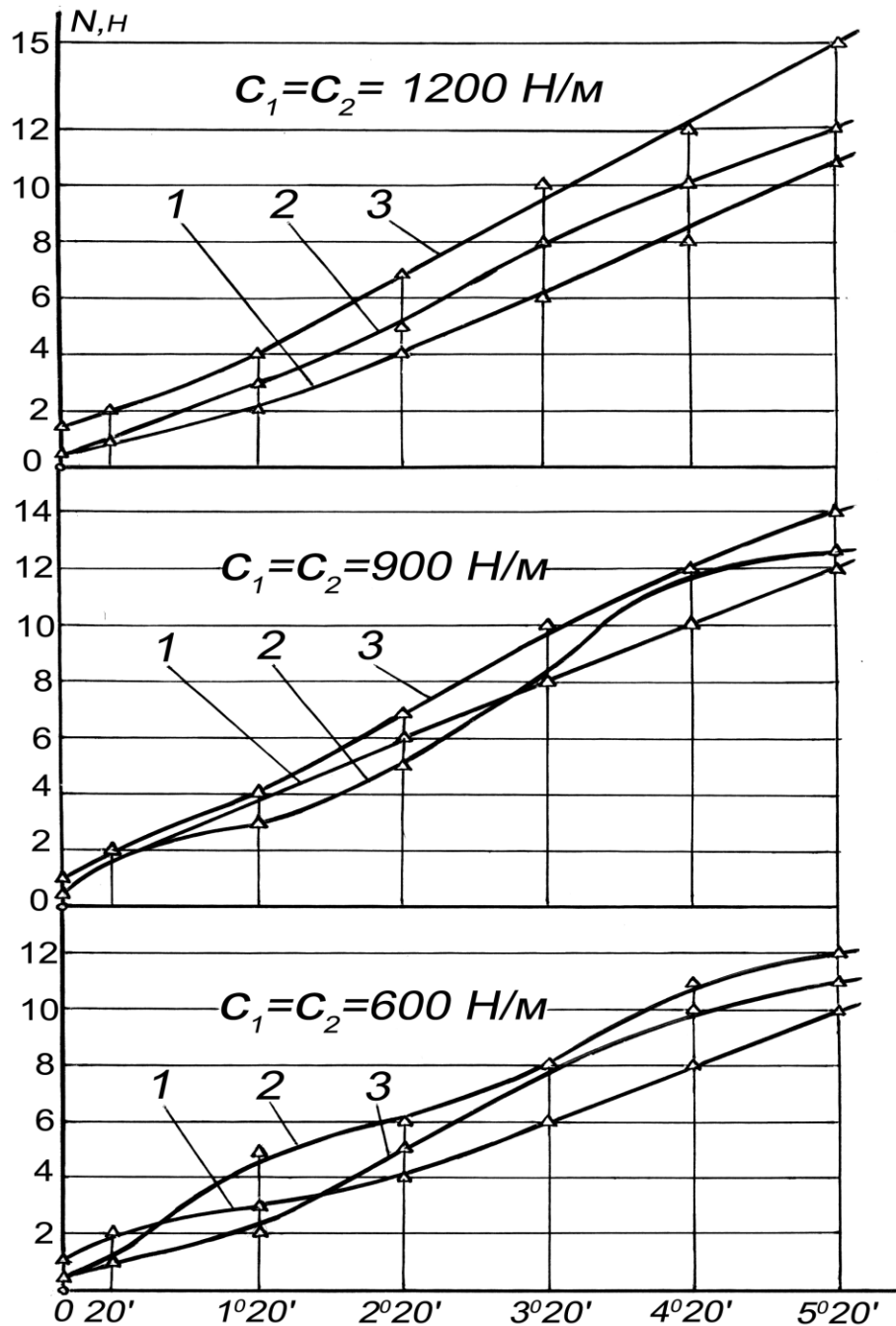


Рисунок 4.2 – Залежність режимів взаємного орієнтування і наживлення гайки на шпильку (M11×1) від кутової похибки їх базування:  $c_1, c_2$  – радіальна жорсткість пружинного кільця податливої бази; жорсткість осьової пружини податливої бази  $C_0 = 8000$  Н/м; 1-  $\omega = 30$  рад/с, 2-  $\omega = 90$  рад/с, 3-  $\omega = 150$  рад/с.

За наявності тільки кутової похибки в розташуванні гайки відносно шпильки гарантоване взаємоорієнтування і наживлення також відбувається тільки при певних мінімальних значеннях осьової сили для фіксованих значень радіальної жорсткості пружинного кільця, жорсткості осьової пружини податливої бази і кутових швидкостей шпинделя.

Як видно із рис. 4.2. радіальна жорсткість пружинного кільця і кутова швидкість суттєво не впливають на мінімальне значення осьової сили. Її значення в основному залежить тільки від величини кутової похибки. Більша кутова похибка відносно розташування гайки і шпильки вимагає більшої осьової сили для забезпечення їх взаємоорієнтування і наживлення.

Режими гарантованого взаємоорієнтування і наживлення гайки на шпильку при наявності лінійної і кутової похибок в системі трьох координат зображаються комбінованою криволінійною поверхнею із плоскими ділянками (рис.4.3).

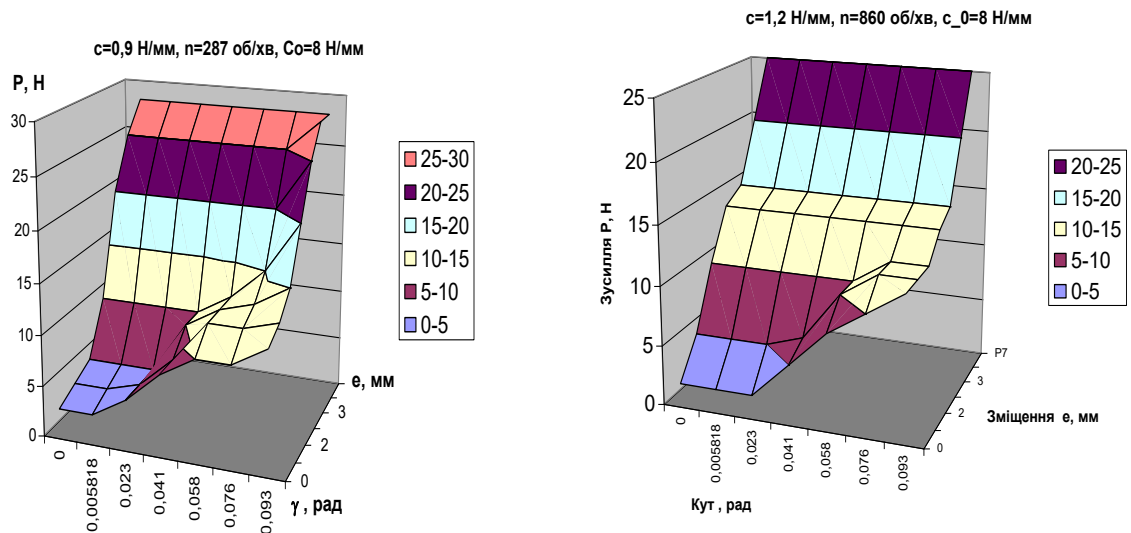
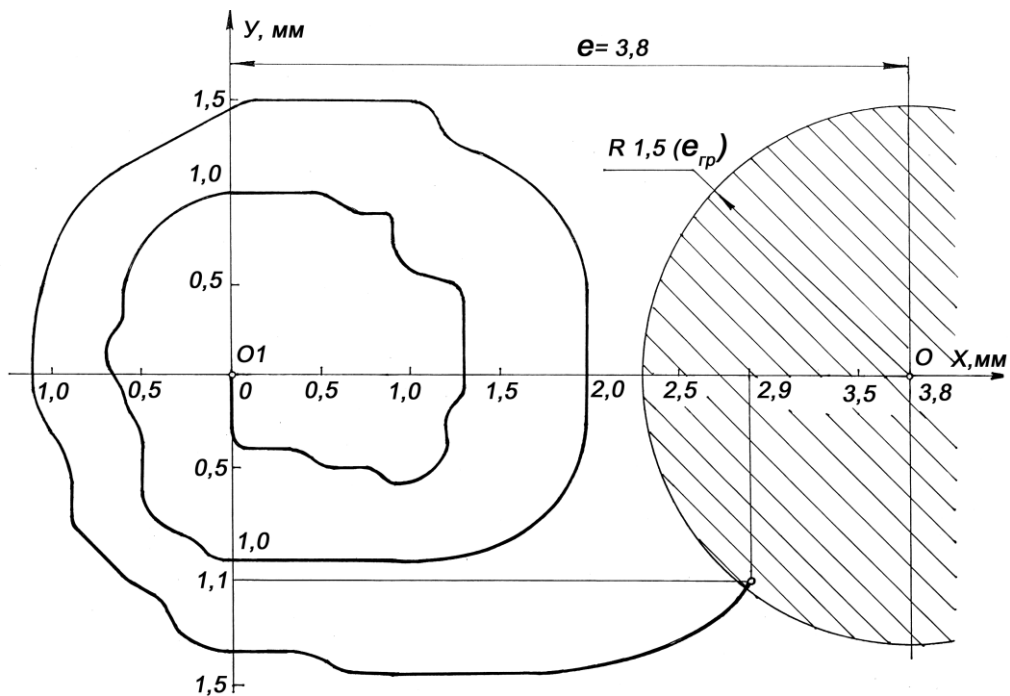
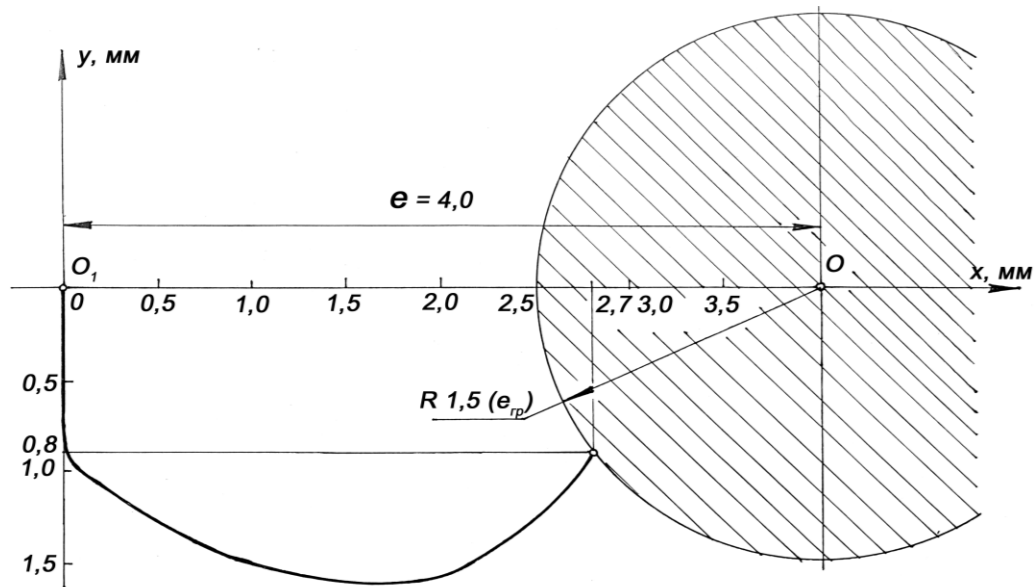


Рисунок 4.3 – Залежність режимів гарантованого взаємоорієнтування і наживлення від взаємодії похибок базування ( $e$ ,  $\gamma$ ).



а) – вихідні дані (приклад 1):  $R_1 = 4,5$  мм;  $R_2 = 6,0$  мм;  $e = 3,8$  мм;  $\omega = 30$  рад/с;  $N = 150$  Н;  $c_1 = c_2 = 1,2$  Н/мм;  $f = 0,08$ ;  $f_0 = 0,15$ ;  $m_1 = 0,038$  кг;  $m_2 = 0,08$  кг.



б) – вихідні дані (приклад 2):  $R_1 = 4,5$  мм;  $R_2 = 6,0$  мм;  $e = 4,0$  мм;  $\omega = 150$  рад/с;  $N = 165$  Н;  $c_1 = c_2 = 0,6$  Н/мм;  $f = 0,08$ ;  $f_0 = 0,15$ ;  $m_1 = 0,038$  кг;  $m_2 = 0,08$  кг.

Рисунок 4.4 – Траєкторії осі гайки під час взаємного орієнтування:  $O_1$  – вісь гайки;  $O$  – вісь шпильки.

Траєкторія руху осі гайки під час взаємного орієнтування відносно нерухомої шпильки (гвинта) нагадує спіраль Архімеда (рис.4.4.,а, рис. 4.4, б).

Відхилення цієї траєкторії від спіралі Архімеда пояснюється обмеженням руху бази гайки двома взаємно перпендикулярними напрямними.

Доцентрові сили в площі контакту гайки і шпильки мають неоднакові напрями дії відносно цих напрямних і ці напрями під час обертання шпинделя весь час змінюються. Тому пересування осі гайки до осі шпильки є неоднаковим у цих напрямках, що і спричиняє таку траєкторію руху.

#### **4.2. Лабораторно-виробничі випробування адаптивного різьбоскладального обладнання і порівняння технологічних процесів складання різьбових з'єднань з його застосуванням і застосуванням стандартного гайкокрута.**

Адаптивний пневматичний гайкокрут (рис. 4.5) випробуваний в лабораторії кафедри експлуатації та технічного сервісу машин Львівського національного аграрного університету. Перед цим відрегульовано тиск повітря, що підведене до системи керування гайкокрута –  $P_1 = 0,18$  МПа (наживлення),  $P = 5$  МПа (загвинчування). Вмикаючи гайкокрут 1 в роботу штучно гальмували і зупиняли обертання головки. При тиску  $P_1 = 0,18$  МПа це було безпечно виконати рукою. Ударний механізм при цьому не працював. Відразу після зупинки обертання головки автоматично вмикався короткочасний реверс із збільшеними обертами, бо для реверсивної роботи гайкокрута подається повітря з тиском  $P=5$ МПа. Тривалість реверсу регулювалася за допомогою реле часу 25.

Випробувано перемикання роботи гайкокрута із режиму “наживлення” в режим “загвинчування” за допомогою мікроперемикача 26 і ручки 36 з кулачком. Випробувано роботу гайкокрута з початковим реверсом шпинделя і

роботу з постійним реверсом, який необхідний при розбиранні різьбових з'єднань.

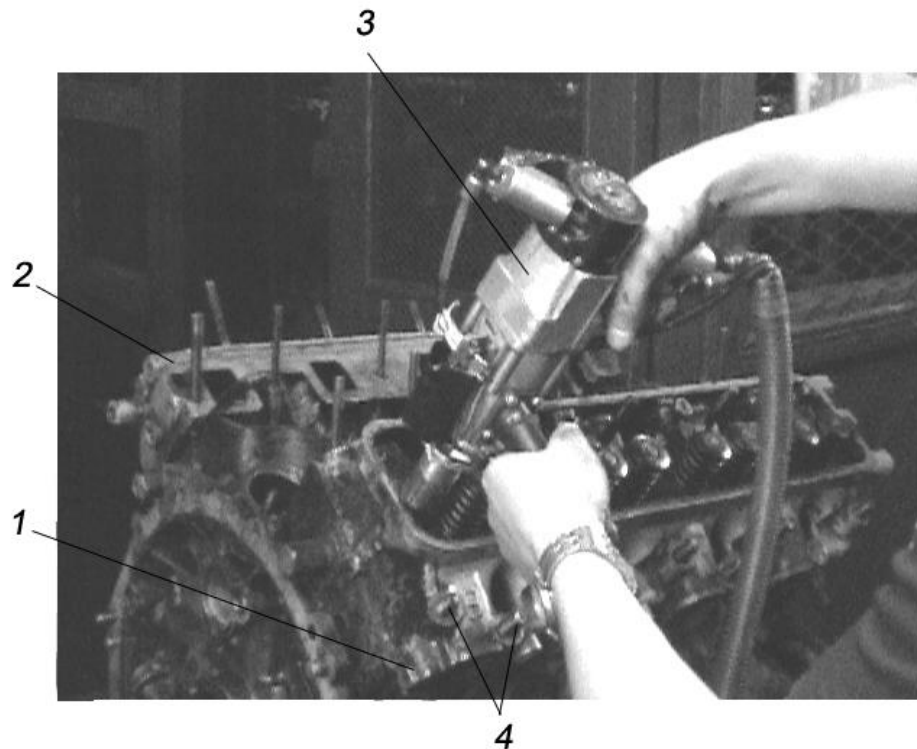


Рисунок 4.5 – Складання різьбових з'єднань кріплення головок блока двигуна ЗМЗ-53: 1,2 ліва і права головки блока; 3 – адаптивний гайкокрут; 4 – шпильки М11×1 кріплення головки блока.

Об'єктом випробуванням вибрано складання 10-ти різьбових з'єднань М11×1 кріплення головки блока двигуна ЗМЗ-402210. З багаторазовим повторенням реалізовано два варіанти технологічного процесу їх складання:

- з ручним наживленням і механізованим загвинчуванням стандартним гайкокрутом;
- з механізованим наживленням і загвинчуванням адаптивним гайкокрутом.

Тривалість операцій для обох технологічних процесів записувалися у таблицю 4.1. і таблицю 4.2.

Таблиця 4.1 – Затрати часу на механізоване загвинчування гайок з шайбами (10 комплектів) на шпильки при ручному наживленні, с

№ операції	Поз. часу	Повторення операцій		1	2	3	4	5	6
		Назва операцій							
1	$T_{шт}$	Ручне укладання шайб в тару		12	11	12	11	13	12
2	$T_{гт}$	Ручне укладання гайок в тару		11	12	12	11	12	12
3	$T_{шв}$	Перенесення з тари і ручне встановлення шайб на шпильки		17	18	19	17	20	18
4	$T_{гн}$	Перенесення з тари і ручне наживлення гайок		52	50	51	53	54	50
5	$T_{мз}$	Механізоване загвинчування ручним пневматичним гайкокрутом		41	40	42	39	39	41
6	$\Sigma T_m$	Сумарний час загвинчування		133	131	136	131	138	133

Таблиця 4.2 – Затрати часу на повністю механізоване загвинчування гайок з шайбами (10 комплектів), с

№ операції	Познач. часу	Повторення операцій		1	2	3	4	5	6
		Назва операцій							
1	$T_{шк}$	Ручне встановлення шайб на базові штифти касети		13	13	13		15	14
142	$T_{гк}$	Ручне встановлення гайок на базові штифти касети		13	13	14	13	14	13
3	$T_{аз}$	Захоплення гайки разом з шайбою з касети, перенесення до шпильки, наживлення і загвинчування ручним адаптивним пневматичним гайкокрутом		88	86	89	86	89	85
4	$\Sigma T_a$	Сумарний час загвинчування		114	112	116	114	117	112
5		Зростання продуктивності у q разів		1,16	1,15	1,17	1,15	1,18	1,18

Після підрахунку затрат часу окремо на виконання кожного технологічного процесу встановлено, що тривалість загвинчування адаптивним гайкокрутом в порівнянні із стандартним скорочує цей час на 18 %.

Такі ж випробування були виконані в умовах виробничої майстерні «Контінентал Фармерз Груп» під час складання аналогічних різьбових з'єднань кріплення головок блока двигуна. За результатами випробувань встановлено, що тривалість операцій складання різьбових з'єднань адаптивним різьбоскладальним обладнанням також скорочується на 15-18 % в порівнянні із складанням стандартним гайкокрутом.

### **4.3.Висновки по розділу**

1. Якщо база гайки має тільки радіальну податливість, а неспіввісність і перекіс осей проявляються одночасно, то збільшення кутової швидкості загвинчування зменшує значення цих похибок, котрі можна усунути взаємоорієнтуванням і забезпечити гарантоване наживлення.

2. Для другої схеми базування при тих же вимогах до  $\omega$  і  $c$  усунення неспіввісності обмежується тільки мінімальним осьовим зусиллям, а його максимальне значення – величиною, що не призведе до завальцьовування західних витків різьби.

3. Для нагвинчування гайки на шпильку з різьбами М8-М11 гарантованими режимами взаємоорієнтування і наживлення є наступні: кутова швидкість 24-150  $\text{с}^{-1}$ , осьове зусилля 20-60 Н, радіальна жорсткість податливої бази 0,9-2,5 Н/мм, жорсткість осьової пружини 5-10 Н/мм.



## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Моделювання процесів виникнення аварій і травм

Для моделювання виникнення аварій і травм при роботі із стендом для випробовування комбінованих гайкових ключів застосуємо метод логічного моделювання процесів формування виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків [15].

За допомогою цього методу будемо мати можливість шляхом побудови "дерева" відрізків і помилок операторів різних систем вести математичну обробку моделі ("дерева") з метою одержання ймовірності виникнення таких випадкових подій, як травма, аварія і катастрофа. Обчислення рівня небезпеки спрямуємо на удосконалення конструкцій стенда для випробовування комбінованих гайкових ключів, на зниження їх небезпеки, а також вживати термінових заходів для першочергового усунення небезпек з більш високим рівнем.

Метод "дерева", "дерева несправностей" або "дерева несправностей і помилок оператора" застосовують для аналізу складних систем.

Процеси формування та виникнення обставин та причин різних аварій, виробничих травм можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови "дерева" відмов та помилок оператора людино-машинних систем у сільському господарстві. Побудуємо логіко-імітаційну модель травм при роботі із стендом для випробовування комбінованих гайкових ключів.

При роботі із стендом для випробовування комбінованих гайкових ключів найнебезпечнішим явищем є ураження електричним струмом. Приймаючи подію "ураження" як головну і зв'язуючи цю подію шляхом логічного аналізу з наступною подією, що обумовлює її виникнення за допомогою логічних операторів "І", "АБО" та інших, приходимо до кінцевих подій, з яких і починає формуватися головна подія: "ураження". За своєю формою така модель нагадує

крону дерева, тому вона і одержала назву "дерево відмов і помилок". Кінцеві події називають базовими.

Як правило, побудова моделі починається з головної події – ураження електричним струмом, а наступні розміщують зверху вниз ,аж до базових подій (рис. 5.1.). Кожен блок рисунка, позначений відповідним номером, означає подію (у загальному вигляді) або окремий етап побудови моделі:

- відмова (травма) системи – головна подія;
- послідовність подій, що призводять до відмови системи;
- послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів "І", "АБО" та інших;
- прямокутник – подія, що виникає як результат дії символа-оператора;
- базові події зображають у вигляді кружечків із написами в середині, вони є межею аналізу побудованої моделі ("дерева помилок");
- ромб – нерозкрита подія (подія, яка вимагає проведення відповідних досліджень).

Головною подією є ураження електричним струмом під номером 13, вона виникає внаслідок події номер 11 – пробивання на корпус і внаслідок нерозкритої події номер 12 – до стенда в цей момент торкався працівник. Подія 11 пробивання на корпус стенда виникає через подію номер 7 – пошкоджена ізоляція, або подію номер 10 – неправильне під'єднання стенда до мережі. Подія номер 7 – пошкоджена ізоляція виникає внаслідок події номер 3 – перегрів дроту, або події номер 6 – механічне пошкодження. Подія номер 10 – неправильне під'єднання до мережі виникає внаслідок базової події номер 8 – стан контролю, або базової події номер 9 професійний рівень працівників. Подія номер 3 перегрів дроту виникає внаслідок базової події номер 1 – стан контролю, або базової події номер 2 – професійний рівень працівників. Подія номер 6 – механічне пошкодження виникає внаслідок події номер 4 – стан контролю, або базової події номер 5 – професійний рівень працівників [15].

Базова подія номер 1 – „стан контролю” для події 3 „перегрів дроту” буде

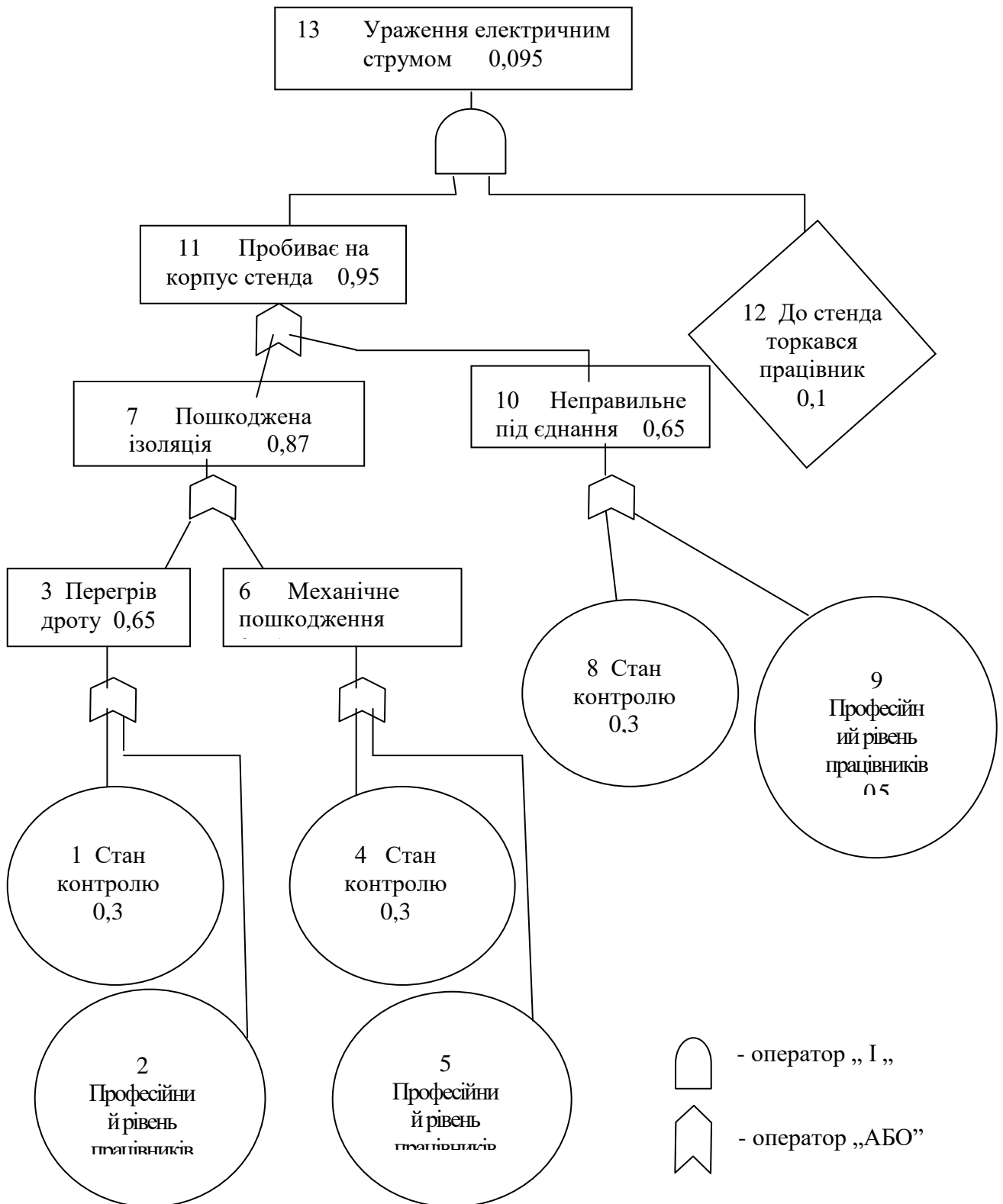


Рисунок 5.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми у працюючого при роботі із стендом для випробування комбінованих гайкових ключів: 1,2,3,...,12,13 – номери подій; 0,3; 0,5... – ймовірності подій.

контроль за станом ізоляції силового дроту, базова подія 2 – „ професійний рівень” це неправильний розрахунок діаметру дроту при конструюванні стенда. Базова подія 4 – „ стан контролю” для події 6 – „ механічне пошкодження” це контроль за станом ізоляції силового дроту, базова подія 5 – для події 6 це буде професійність проведених робіт в зоні силового кабелю і можливість його пошкодити. Базова подія 8 – „ стан контролю” для події 10 – „ неправильне під’єднання” це контроль за станом стенда (ЩТО), базова подія 9 „ проф. рівень” для події 10 це проведення правильного включення стенда працівником.

## **5.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм**

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварій або травм залежно від досліджуваного явища.

Для оцінки рівня небезпеки стенда для випробовування комбінованих гайкових ключів можна застосувати метод обчислення ймовірності виникнення будь-якого випадкового явища, який широко застосовують в закордонній інженерній практиці.

Ймовірність базових подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія "стан контролю з охорони праці". Для визначення ймовірності ми повинні встановити, наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об'єкті. Якщо прийmemo, що такий рівень контролю становить 30 %, то ймовірність відповідно дорівнює 0.3. При відсутності контролю ймовірність "не здійснення контролю" становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідно ймовірність дорівнює 0.

Для базових подій 1; 4; 8 „стан контролю” ймовірність приймаємо 0,3, для базових подій 2; 5; 9 „ професійний рівень” ймовірність приймаємо 0,5.

На цьому можна вважати, що певна модель (рис.5.1.) підготовлена до математичної обробки. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують формули.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування:

Ймовірність події  $P_3$ :

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 . \quad (5.1)$$

Умовно прийmemo, що ймовірність базових подій  $P_1 = 0.3$  , а  $P_2 = 0.5$ . Підставивши дані ймовірностей базових подій, одержимо:

$$P_3 = 0.3 + 0.5 - 0.3 \cdot 0.5 = 0.65$$

Слід зауважити, що обчислення ймовірностей випадкових подій проводяться відповідно до положень булевої алгебри.

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера.

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0.65; \quad (5.2)$$

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 = 0.87; \quad (5.3)$$

$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9 = 0.65; \quad (5.4)$$

$$P_{11} = P_7 + P_{10} - P_7 \cdot P_{10} = 0.95;$$

$$(5.5)$$

$$P_{13} = P_{11} \cdot P_{12} = 0.095. \quad (5.6)$$

Таким чином, на робочому місці під час роботи станда для випробовування гайкових ключів при наявності тих недоліків з охорони праці, відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 9,5 травми.

На даному робочому місці можуть бути й інші недоліки, які призведуть до травми з інших причин. Але складовими причинами іншої травми також можуть бути такі недоліки, як неефективний контроль чи низький професійний рівень

знань працюючих. Тоді треба побудувати відповідну модель і виконати необхідні обчислення.

### **5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Для запобігання виникненню пожеж кожен працівник зобов'язаний суворо дотримуватись встановлених правил щодо їх попередження як у побуті, так і на підприємствах та в інших місцях.

На об'єктах народного господарства, встановлюється протипожежний режим і розробляються інструкції як для всього об'єкта, так і для окремих цехів, дільниць, бригад. Потрібно знати, що для гасіння вогню не завжди можна користуватися водою. Не можна направляти водяний струмінь на електропровід, що горить, або на електрообладнання, бо людину може вразити струм, оскільки вода є провідником. Ефективним засобом гасіння загорянь є вогнегасник.

У задимлене приміщення слід заходити обов'язково удвох. Йти, тримаючись за стіни, щоб не втратити орієнтир. Працювати в ізольованих або фільтрувальних протигазах, але з гопкалітовим патроном. Двері в палаюче приміщення відкривати обережно і користуватися ними як прикриттям. Людей із задимленого, палаючого приміщення вивести назовні, попередньо накинувши їм на голову вологу тканину або одяг.

В разі виникнення виробничої аварії начальник цивільної оборони об'єкта терміново організовує оповіщення керівництва і всіх працівників підприємства про небезпеку. Якщо трапилося витікання СДОР, то оповіщається також населення, яке мешкає поблизу об'єкта і в напрямі об'єкта і в напрямі можливого поширення отруйних газів. Населення повинно слухати повідомлення штабу ЦО і діяти за його вказівкою. Організовується розвідка, котра встановлює місце аварії, вид СДОР, ступінь зараження території та

повітря, стан людей у зоні зараження, кордони зон забруднення, напрям і швидкість вітру в приземному шарі, напрям поширення зараженого повітря. Уражених після надання їм допомоги доставляють у незаражений район, а в разі необхідності — до лікувального закладу.

Дії населення під час радіоактивного забруднення місцевості. Радіоактивне зараження може виявитися місцевість не тільки після ядерного вибуху, а й внаслідок аварії на атомній електростанції, на інших об'єктах, що виробляють або використовують розщеплені матеріали. Характерна особливість радіоактивного зараження місцевості після ядерного вибуху – швидкий спад рівнів радіації через безперервний розпад радіоактивних речовин. Так, через 7 годин після вибуху рівень радіації на місцевості зменшується у 10 разів, через добу – приблизно у 40 разів, через 49 годин – у 100 разів. У тих населених пунктах і районах, де виявлено радіоактивне зараження, мешканці повинні надягнути респіратори, протипилові тканинні маски, ватно-марлеві пов'язки або протигази. Взяти документи, запас їжі і води, медикаменти, предмети першої необхідності й піти до захисної споруди.

Із службових приміщень і житлових будинків треба виходити швидко, не заважаючи іншим. Виведення населення у безпечні місця проводиться організовано, з урахуванням обстановки.

Під час землетрусу не можна залишатися поблизу об'єктів, що мають легкозаймисті і сильнодіючі отруйні речовини, на мостах і шляхопроводах. Якщо сильні підземні поштовхи застали вас на вулиці, слід якнайдалі відійти від будинків. Не можна триматися за високі стовпи і паркани, ховатись на нижніх поверхах та в підвальних приміщеннях будинків. Усі транспортні засоби зупиняються. Пасажири залишають їх і відходять на безпечну відстань. Особливу організованість варто проявити, виходячи з вокзалів, театрів, магазинів.

## ВИСНОВКИ

1. У магістерській роботі наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-практичної задачі, що виявляється в розробці, теоретичному дослідженні і практичній реалізації технологій адаптивного складання різьбових з'єднань машин із захистом від пошкодження у випадку порушення умов взаємоорієнтування за рахунок створення математичних моделей процесу взаємного орієнтування гайки та різьбового стержня для схеми податливого базування різьбових деталей і створення адаптивного різьбоскладального обладнання, що в кінцевому підсумку дозволяє підвищити продуктивність і якість механізованих та автоматичних складальних операцій під час виготовлення і ремонту машин.

2. Вперше розроблено математичні моделі процесу взаємного орієнтування гайки і різьбового стержня для двох схем податливого базування. Складено програми для їх рішення на ПК, що дозволяє розрахувати режими загвинчування і параметри податливої бази залежно від очікуваної похибки взаємного розташування різьбових деталей перед спряженням.

3. Для зниження втрат продуктивності, які на існуючому різьбоскладальному обладнанні сягають 9%, сформульовано нові принципи адаптації до умов автоматизованого складання різьбових з'єднань. Зокрема, обмежена величина крутного моменту і обертів шпинделя на початку загвинчування, що попереджує пошкодження різьби під час заклинювання, на яке адаптивний гайкокрут реагує реверсом шпинделя і наступною спробою загвинчування. Після наживлення частота обертання і крутний момент збільшуються, що забезпечує прискорене загвинчування і задану ступінь затягування різьби. Головка гайкокрута оснащена податливою базою, що дозволяє компенсувати лінійні і кутові похибки взаємного розташування різьбових деталей і створити умови для їх з'єднання.



4. Експериментальні дослідження, проведені відповідно до розроблених програми і методики, підтвердили адекватність теоретичних і експериментальних значень раціональних режимів механізованого складання різьбових з'єднань і параметрів податливої бази. Порівняльний аналіз значень осьової сили, кутової швидкості і радіальної жорсткості податливої бази, отриманих багатofакторними експериментальними дослідженнями і машинним моделюванням, показав достатню точність розрахунків, похибка яких знаходиться в межах 5-20%.

5. На основі отриманих результатів теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано інженерну методику проектування адаптивних технологічних процесів. Випробувано комплект адаптивного різьбоскладального обладнання для механізованого складання різьбових з'єднань.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абелевич Л.А., Попов В.Я., Теплов А.Г., Шахнес М.М. Механизация и автоматизация капитального ремонта колесных и гусеничных машин. Москва: Машиностроение, 1972. 415 с.
2. Черкун В.Е., Забелин В.В. Разборочные и сборочные работы при ремонте машин. Учебное пособие. Москва: Колос, 1971. 144 с.
3. Чухрай В., Кулинич І. Обґрунтування умов наживлення різьбових деталей. Машинознавство, 2002. № 9. С.42-45.
4. Климовицкий М.А. Механизация и автоматизация ремонта сельскохозяйственной техники. Москва: Росагропромиздат, 1989. 192 с.
5. ГОСТ 23887 – 79.
6. ГОСТ 3.1109 – 82.
7. ГОСТ 23004-78.
8. Андреев А.Г. Автоматизация сборки на основе использования типовых модульных узлов. Вестник машиностроения. 1991. № 7. С.39-41.
9. Бубенников А.В. Громов М.Я Начертательная геометрия: Учебное пособие. 2-е изд. Москва: Высшая школа, 1973. 416 с.
- 10.Стикін Г.М., Ревнівцев М. П., Берізко М.М. Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням: Навчальний посібник. Львів: Оріяна-Нова, 2002. 208 с.
- 11.Петраков Ю.В., Мельничук П.П. Автоматизація технологічних процесів у машинобудуванні засобами мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ, 2001. 194 с.
- 12.Романов Г.И. Автоматизация сборки резьбовых соединений. Вестник машиностроения, 1963. №8. С.55-57.

- 13.Технология и оборудование механосборочного производства: Автоматизация процессов механосборочного производства. Москва, 1975. Т.4. 241 с.
- 14.Власов В.П. Механизация сборки резьбовых соединений. Механизация и автоматизация производства, 1978. №11. С.15-17.
- 15.Гельфанд М.Л., Ципенюк Я.К., Кузнецов О.К. Сборка резьбовых соединений. Москва: Машиностроение, 1978. 110 с.
- 16.Новиков М.П. Основы технологи сборки машин и механизмов. Москва: Машиностроение, 1980. 5 с.
- 17.Сукацкий М.Е.,Фишман Ф.Г., Мандриков В.М. Сборочное оборудование КамАЗа. Москва: Машиностроение, 1985. 120 с.
- 18.Коганов И.А., Семин В.В., Мигай С.Ю. Проблемы автоматизированной сборки резьбовых соединений. Тезисы докладов “1 Всесоюзный съезд технологов-машиностроителей”. Москва, 1989. С.172-173.
- 19.Лебедевский М.С., Федотов А.И. Автоматизация сборочных работ. Ленинград: Лениздат, 1970. 448 с.
- 20.Житников Ю.З. Определение скорости наживления резьбовых деталей // Станки и инструмент. 1992. №5. С.8-9.
- 21.І.Я.Кулинич, І.О.Ніщенко. Моделювання процесу взаємного орієнтування різьбових деталей. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Львів: Держ. ун-т “Львівська політехніка”,1995. Випуск 32. С.84-89.
- 22.І.Я.Кулинич, І.О.Ніщенко. Умови взаємного орієнтування різьбових деталей. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Львів: Держ. ун-т “Львівська політехніка”, 2003. Випуск 37. С.28-32.

23. Лизунов А.Б., Шнейдер А.Ю. Адаптивные алгоритмы сборки резьбовых соединений. Управляемые механические системы. Иркутск, 1985. С.142-148.
24. Мегедь Л.В., Шевцов Л.Н. Устройства для сборки резьбовых соединений. Технология и организация применения промышленных роботов. Куйбышев: Политехнический ин-т, авиационный ин-т, – 1977. С.47-53.
25. Пат. 2114728 С1 Российской Федерации, МПК В25 В21/00. Способ разборки резьбовых соединений: Пат. 2114728 С1 Российской Федерации, МПК В25 В21/00/ Колокольцев В.М., Шуваев В.П. (РФ); Самарский государственный технический университет. № 95105106/28; Заявл. 05.04.1995; Оpubл. 10.07.1998. 2 с. ил.
26. Способ сборки резьбовых соединений: А.С. 654382 СССР, МКИ В23Р 19/06./ А.Г. Герасимов, Ю.М. Будников (СССР). №2193524/25-08; Заявлено 28.11.75; Оpubл.30.03.79, Бюл. №12. 1 с.
27. Способ соединения резьбовых деталей: А.С. 193845 СССР, Кл. 47а, 6 МПК F 06В. /А.Н. Рабинович, В.С. Матвейчук, Л.А. Мещеряков, З.Г. Емен, В.А. Шабайкович (СССР). №1038968/25-27; Заявлено 22.11.1965; Оpubл.13.3.1967, Бюл. №7. 1 с.
28. Яхимович В.А., Головащенко В.Е., Кулинич И.Я. Автоматизация сборки резьбовых соединений. – Львов: изд-во при Львовском государственном университете издательского объединения “Вища школа”, 1982. 158 с.
29. Боечко Б.Ю., Рудометкин АВ.П., Кулинич И.Я. Автоматический питатель для гаек. Механизация и автоматизация производства. 1973. № 7. С. 18-19.
30. Устройство для ориентации, наживления и навинчивания крепежных деталей: А.С. 806392 СССР, М.кл. В 25 В 21/00. / Б.А. Левин (СССР). № 2604240/25-28; Заявлено 04.04.78; Оpubл. 23.02.81, Бюл. №7. 4 с.ил.

31. Устройство для ориентации, наживления и навинчивания крепежных деталей: А.С. 1017487 А СССР, МКИ В 25 В 21/00. / Б.А.Левин (СССР). №3323890/25-08; Заявлено 03.08.81; Оpubл. 15.05.83, Бюл.№18. 5 с.ил.
32. Устройство для автоматической сборки деталей: А.С. 570475 СССР, М.Кл. В23 Р 19/06. / Д.М. Левчук, А.Ф. Хромилин и В.А. Зубов (СССР). - №2054028/08; Заявлено 16.08.74; Оpubл. 30.08.77, Бюл. №32. 2 с. ил.
33. Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник в 2 т. / Ред. Совет: П.П. Алексеенко, В.С. Демин, В.К. Замятин, М.П. Новиков, В.С. Корсаков (пред.). Т.1: Сборка изделий машиностроения / Под.ред. В.С. Корсакова, В.К. Замятина. Москва: Машиностроение, 1983. 480 с.
34. Пат. 58-40882 Японії, МПК В23Р 19/06. Автоматичний пристрій для загвинчування гайок: Пат. 58-40882 Японії, МПК В23Р 19/06/ Ханакура Моріхіро, Якумо Такахіде (Японія); Мацусіта денкі Санге К.К. № 59-166431; Заявл. 11.03.83; Оpubл.19.04.84
35. І.Я.Кулинич І.Я. Адаптивні системи керування різьбоскладальними комплексами. Праці 3-ї української конференції з автоматичного керування “Автоматика 96”. Том 3. Севастополь: Вид. центр СевГТУ. 1996. С.123-124.
36. Iwan Kulnicz. Adaptacyjne urzadzenia do montozu polanczen qwintowych // Technologia i automatyzacja montazu. Kwartalnik naukowo-techniczny. №4. 1997. С.21-23.
37. И.А. Нищенко, О.А. Курылло, И.Я. Кулинич, Е.М. Яремко. Разработка, исследование и изготовление макетов адаптивных переналаживаемых технологических модулей для сборки резьбовых соединений: Отчет о НИР (заключительный) / Львовский с.-х. ин-т; № ГР 01820082796; Инв. №0286.0052855. Дубляны, 1985. 83 с.
38. Семенов В.М. Нестандартный инструмент для разборочно-сборочных работ: Учебное пособие. 2-е изд. Москва: Агропромиздат, 1985. 287 с.

39. Пат. 2015868 С1 Российской Федерации, МПК В25В 21/00. Цифровой динамометрический ключ: Пат. 2015868 С1 Российской Федерации, МПК В25В 21/00 /Устинов В.В., Жаров С.В (РФ); Малое предприятие “Мехсборка”. №4906529/28; Заявл. 30.01.1991; Оpubл. 15.07.1994. 7 с. ил.
40. Лурье Г.Б. Сокращение ручного труда при сборке резьбовых соединений: Учебное пособие. Москва: Машиностроение, 1984. 32 с.
41. Чухрай В., Кулинич І. Обґрунтування умов наживлення різьбових деталей: Машинознавство, 2002. № 9. С.42–45.
42. Пат. 29891А України, МПК В23Р19/06. Автоматичний гайковерт: Пат. 29891А України, МПК В23Р19/06/ Кулинич І.Я., Хлистун Б.Т.(Україна); Кулинич Іван Якович №97104925; Заявл. 07.10.1997; Оpubл. 15.11.2000, Бюл.№6-11. 10 с. іл.
43. Пат. 40759А України, МПК В25В21/00. Пневматичний гайковерт: Пат. 40759А України, МПК В25В21/00/ Кулинич І.Я., Чухрай В.Є.(Україна); Львівський держ. аграр. ун-т. №99073826; Заявл. 06.07.1999; Оpubл. 15.08.2001, Бюл. №7. 5 с. іл.
44. Пат. 50407А України, МПК В25В21/00. Пневматичний гайковерт: Пат. 50407А України, МПК В25В21/00/ Кулинич І.Я., Сиротюк В.М., Чухрай В.Є. (Україна); Львівський держ. аграр. ун-т. №2002010092; Заявл. 03.01.2002; Оpubл. 15.10.2002, Бюл. №10. 3 с.іл.
45. Пат. 67920 А України, МПК В25В21/00, В23Р19/06. Пневматичний гайковерт: Пат. України, МПК В25В21/00, В23Р19/06/ Кулинич І.Я., Чухрай В.Є.(Україна); Львівський держ. аграр. ун-т.-№2003054198; Заявл. 12.05.03; Оpubл. 15.07.2004, Бюл. №7. 6 с. іл.

# ДОДАТКИ

### Результати експериментальних досліджень

Таблиця А.1.

**Режими взаємного орієнтування гайки і шпильки М11×1 за результатами машинного експерименту з математичною моделлю**

$R_1 = 4,5 \text{ мм}; R_2 = 6,0 \text{ мм}; m_1 = 38 \text{ г}; m_2 = 80 \text{ г}; f = 0,08; f_0 = 0,15;$

№ досліду	e, мм	c = 0,6 Н/м	c = 0,9 Н/м	c = 1,2 Н/м	$\omega$ , рад/с
		Осьове зусилля $N_{\min} - N_{\max}$ , Н			
1	2	3	4	5	6
1	1,6	2-	2-	3-	8 $n = 76,4$ об/хв
2	2,0	8-	10-	12-	
3	2,5	15-	20-	25-	
4	3,0	25-	30-	35-	
5	3,5	33-	35-	50-	
6	4,0	45-	50-	60-	
7	4,5	50-	60-	100-	
1	1,6	2,5-	3-	5-	16 $n = 152,8$ об/хв
2	2,0	12-	15-	18-	
3	2,5	23-	25-	30-	
4	3,0	35-	40-	45-	
5	3,5	55-	60-	65-	
6	4,0	80-	85-	95-	
7	4,5	87-	98-	100-	
1	1,6	3,2-	4-	5-	24 $n = 230$ об/хв
2	2,0	15-	18-	20-	
3	2,5	30-	35-	40-	
4	3,0	50-	55-	60-	
5	3,5	74-	77-	80-	
6	4,0	110-	116-	120-	
7	4,5	130-	135-	145-	
1	1,6	4-	5-	5-	30 $n = 287$ об/хв
2	2,0	18-	20-	22-	
3	2,5	32-	38-	41-	
4	3,0	54-	60-	60-	
5	3,5	83-	97-	95-	
6	4,0	135-	137-	144-	
7	4,5	149-	153-	155-	



продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6
1	1,6	15 - > 1000	1 - > 2000	1 - > 2000	90  n = 860 об/хв
2	2,0	50-360, 480 - > 1000	47 - 357, 490 > 2000	50 - > 2000	
3	2,5	66 - 410, 600 - 700	76 - 393, 495 > 2000	75 - 384, 445 - > 2000	
4	3,0	74 - 500, 700 - 900	108 - 746, 760 - 1700	125 - > 2000	
5	3,5	100 - 430, 800 - 900	165 - 174, 190 - 450, 520 - 790, 820 - > 2000	211 - > 2000	
6	4,0	305 - 500, 650 - > 1000	295 - 660, 900 - > 2000	311 - 744, 851 - > 2000	
7	4,5	340 - 700, 930 - > 1000	370 - 2000	405 - > 2000	
1	1,6	8 - > 2000	12 - > 2000	15 - > 2000	150  n = 1433 об/хв
2	2,0	20 - > 2000	45 - > 2000	50 - > 2000	
3	2,5	15 - > 2000	81 - > 2000	116 - 680	
4	3,0	10 - > 2000	75 - 87, 89 - > 2000	35 - 825	
5	3,5	10 - > 2000	32 - 98, 101 - > 2000	55 - 75, 221 - > 2000	
6	4,0	15 - 148, 172 - 246, 254 - 367, 411 - 809	405 - > 2000	438 - > 2000	
7	4,5	75 - 156	570 - 1300	560 - > 2000	

**Режими взаємного орієнтування гайки і шпильки М11×1 за результатами  
машинного експерименту з математичною моделлю**

Постійні чинники:  $R_1 = 4,5$  мм;  $R_2 = 6,0$  мм;  $m_1 = 38$  г;  $m_2 = 80$  г;  $f = 0,08$ ;  $f_0 = 0,18$ ;

№ досліду	e, мм	c = 0,6 Н/м	c = 0,9 Н/м	c = 1,2 Н/м	$\omega$ , рад/с n, об/хв
		Осьове зусилля $N_{\min} - N_{\max}$ , Н			
1	1,6	1-310,391-	2-308,386	3-	30  n = 287 об/хв
2	2,0	4-344,404-	8,5-344, 354-	13-344, 400-	
3	2,5	7,5-	15-	26-	
4	3,0	12-	22-	36-	
5	3,5	16-	28-	41-	
6	4,0	19-	34-	51-	
7	4,5	24-	41-	61-94, 101-	
1	1,6	2-	0,5-	0,5-	90  n = 860 об/хв
2	2,0	2-	1-	2-	
3	2,5	3-	5-	5-	
4	3,0	4-	6-	7-18, 28-	
5	3,5	8-	8-	10-	
6	4,0	9-	11-	15-	
7	4,5	10-	17-	24-	
1	1,6	0,5-	2-	1-	150  n = 1433 об/хв
2	2,0	2-	4-	4-	
3	2,5	6-60,148-	8-65, 139-	9-74, 126-	
4	3,0	8-59, 146-	9-55, 95-	12-62, 86-	
5	3,5	11-	16-	33-	
6	4,0	27-	20-49, 51-	40-	
7	4,5	61-	49-	46-	

**Експериментальні режими гарантованого наживлення гайки і шпильки  
M11×1 для різних поєднань лінійної  $e$  і кутової  $\gamma$  похибок базування**

№ досліду	$e, \gamma$ мм	0'	20'	1° 20'	2° 20'	3° 20'	4° 20'	5° 20'	$c,$ Н/мм	$\omega,$ рад/с	
		Мінімальна осьова сила $N, Н$									
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	
1	0	1	2	3	4	6	8	10	0,6	150	
2	1,6	1	2	3	5	7	9	10			
3	2,0	3	3	4	6	8	10	10			
4	2,5	6	6	7	8	10	12	12			
5	3,0	10	10	12	12	13	14	16			
6	3,5	15	15	16	16	17	18	20			
7	4,0	22	22	23	23	24	24	25			
1	0	1	2	4	7	10	13	14	0,9		n = 1433 об/хв
2	1,6	2	3	5	7	10	12	15			
3	2,0	6	6	8	10	12	15	15			
4	2,5	10	10	11	13	14	15	16			
5	3,0	15	15	22	22	23	24	24			
6	3,5	20	20	26	26	27	28	30			
7	4,0	25	25	26	26	27	28	30			
1	0	1,5	2	4	7	10	12	15	1,2	n = 1433 об/хв	
2	1,6	2	3	5	5	10	12	13			
3	2,0	5	5	6	8	10	12	13			
4	2,5	10	10	12	14	16	18	20			
5	3,0	18	18	21	22	22	23	25			

## продовження таблиці А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	3,5	30	30	32	32	34	34	35		
7	4,0	35	35	37	37	38	40	40		
1	0	0,5	7	5	6	8	11	12	0,6	90
2	1,6	2	3	5	6	8	11	12		
3	2,0	3	3	5	7	9	11	12		
4	2,5	5	5	7	8	10	12	12		
5	3,0	8	8	9	9	10	12	13		
6	3,5	11	11	12	12	13	14	15		
7	4,0	12	12	13	13	14	16	16		
1	0	0,5	2	3	5	8	12	12,5	0,9	n = 860 об/хв
2	1,6	2	3	4	6	9	13	13		
3	2,0	4	4	6	8	11	13	13		
4	2,5	5	5	8	10	12	14	14		
5	3,0	9	9	11	13	14	15	16		
6	3,5	14	14	16	16	17	18	19		
7	4,0	18	18	19	20	20	22	22		
1	0	0,5	1	3	5	8	10	12	1,2	
2	1,6	2	2	4	6	10	12	12		
3	2,0	3	3	6	7	10	12	13		
4	2,5	7	7	9	10	12	14	14		
5	3,0	10	10	11	13	14	15	15		
6	3,5	18	18	19	19	19	20	20		
7	4,0	21	21	22	22	23	25	25		
1	0	0,5	1	2	5	8	10	11	0,6	30
2	1,6	1	2	3	5	8	10	11		

продовження таблиці А.3.

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
3	2,0	3	3	4	5	8	10	12		n = 287 об/хв
4	2,5	6	6	7	7,5	9	10	12		
5	3,0	8	8	8,5	9	10	11	13		
6	3,5	10	10	11	11	12	12	14		
7	4,0	13	13	14	14	15	16	16		
1	0	0,5	2	4	6	8	10	12		
2	1,6	2	3	5	8	12	12	13		
3	2,0	8	8	9	10	12	13	15	0,9	
4	2,5	15	15	16	17	18	20	20		
5	3,0	20	20	21	22	24	25	25		
6	3,5	24	24	25	26	27	28	28		
7	4,0	30	30	31	31	33	34	34		
1	0	0,5	1	2	4	6	8	11		
2	1,6	2	2	4	5	8	10	11		
3	2,0	8	8	9	10	11	12	12	1,2	
4	2,5	14	14	15	16	18	20	20		
5	3,0	20	20	21	23	24	25	25		
6	3,5	30	30	31	32	34	35	35		
7	4,0	35	35	36	36	37	38	38		