

**Міністерство освіти і науки України**  
**Вінницький національний аграрний університет**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
**Кафедра машин та обладнання сільськогосподарського виробництва**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МОСГВ

д.т.н., проф. Н.Р.Веселовська

«           »   2024 р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГВИНТОВИХ З'ЄДНАНЬ У**  
**КУКУРУДЗОЗБИРАЛЬНИХ МАШИНАХ**

Пояснювальна записка  
до бакалаврської дипломної роботи  
зі спеціальності 208 Агроінженерія  
08-21ДП.041.00.000 ПЗ

Керівник роботи  
д.т.н., проф. Н.Р.Веселовська

Розробив ст.гр. 4 АІ  
Ножко А.Г.

Вінниця ВНАУ 2024

**Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний аграрний університет**

**Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра машин та обладнання сільськогосподарського виробництва**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри МОСГВ, д.т.н., професор

Н.Р.Веселовська

« 11 » 09 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
на бакалаврську дипломну роботу**

студенту **Ножко Анатолій Григорович**  
на тему «**Удосконалення конструкції гвинтових з'єднань у  
кукурудзозбиральних машинах**»

затверджену наказом № 212з від 11.09.2023 р.

Термін подання дипломної роботи на кафедру для попереднього захисту \_\_\_\_\_

Вихідні дані до дипломної роботи: схема.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

Вступ.

1. Аналіз відомих технічних рішень.
2. Конструкторський розділ.
3. Технологічна частина

Висновки.

Список використаної літератури.

Додатки.

---

Перелік графічного матеріалу:

- 1 Аналіз існуючих конструкцій .
2. Складальний кресленник.
- 3.Розрахункова схема.

Завдання видано 11.09.2023 р.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ А.Г.Ножко  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Н.Р.Веселовська , д.т.н., професор  
(підпис)

УДК 631.3

Удосконалення конструкції гвинтових з'єднань у кукурудзозбиральних машинах.  
*Кваліфікаційна бакалаврська дипломна робота.* Ножко Анатолій Григорович.  
Кафедра машин та обладнання сільськогосподарського виробництва. ВНАУ, 2024.

В роботі наведено удосконалення конструкції гвинтових з'єднань у кукурудзозбиральних машинах.. Розглянуто структуру технологічної операції механізованого складання різьбових з'єднань.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
ВСТУП.....	7
1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	10
1.1. Різьбові з'єднання. Загальні відомості .....	10
1.2. Коефіцієнти тертя в різьбових сполученнях .....	16
1.3. Аналіз причин і наслідків неточного (нерівномірного) затягування ГРС .....	19
1.4. Аналіз методів, способів і засобів контролю сили затяжки .....	23
1.5. Загальні висновки та задачі роботи .....	28
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНТРОЛЮ СИЛИ ЗАТЯЖКИ .....	30
2.1. Визначення коефіцієнту тертя в різь-бі	30
2.2. Теоретичне обґрунтування контролю сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчуван-ня	35
2.3. Висновки по розділу 41	ЗАТ
3. ЯЖКА ТА КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ	4
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.....	3
4.2. Лабораторно-виробничі випробування адаптивного різьбоскладального обладнання і порівняння технологічних процесів складання різьбових з'єднань з його застосуванням і застосуванням стандартного гайкокрута.....	4
4.3. Висновки по розділу.....	4
5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	4
5.1 Моделювання процесів виникнення аварій і травм.....	4
5.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм.....	5
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	3
ВИСНОВКИ.....	5
...	5

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ				08-21.ДП.133.002.00.000.ПЗ	Ажк.
ДЖЕРЕЛ.....					7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

	5
ДОДАТКИ.....	6
...	2
ДОДАТОК А.....	63

					08-21.ДП.133.002.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ВСТУП

Удосконалення конструкції гвинтових з'єднань у кукурудзозбиральних машинах 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.

					08-21.ДП.133.002.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

# 1 РОЗДІЛ

## СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Різьбові з'єднання. Загальні відомості

"Різьбове з'єднання - розбірне нерухоме з'єднання деталей машин за допомогою нарізі, у якому одна з деталей має зовнішню нарізь, а інша - внутрішню" [16].

#### Основні параметри різьби

**Виток різьби** - частина різьби, утвореної при одному повороті профілю навколо осі обертання (рис. 1.1).

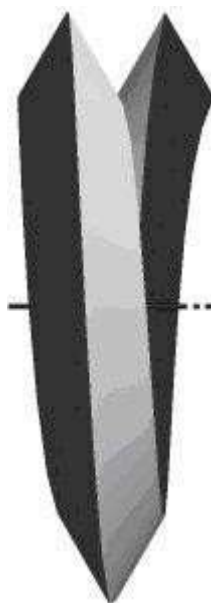


Рис. 1.1. Виток різьби

**Зовнішній діаметр різьби ( $d$ )** - діаметр уявлюваного циліндра, описаного навколо вершин зовнішнього різьби або вписаного в западини внутрішнього різьби (рис. 1.2).

**Номінальний діаметр різьби** - діаметр, що умовно характеризує розміри різьби й використовується при її позначенні.

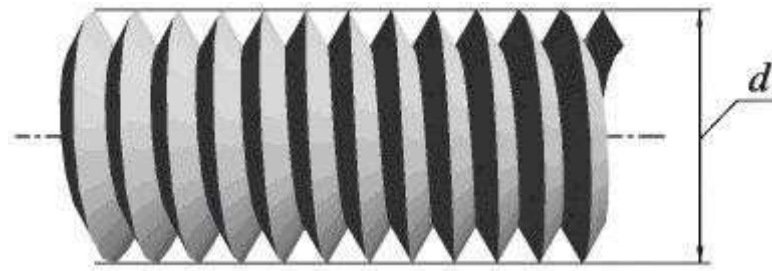


Рис. 1.2. Зовнішній діаметр різьби

**Внутрішній діаметр різьби ( $d_1$ )** - діаметр уявлюваного циліндра, вписаного в западини зовнішньої різьби або описаної навколо вершин внутрішньої різьби (рис. 1.3).

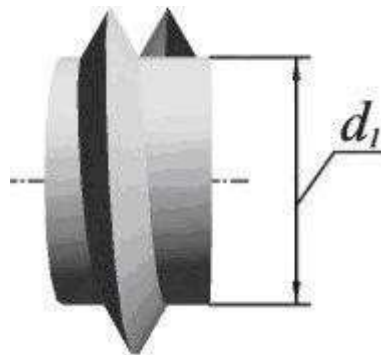


Рис. 1.3. Внутрішній діаметр різьби

**Профіль різьби** - плоска фігура, одержувана в площині, що проходить через вісь різьби.

**Висота профілю ( $H$ )** - радіально обмірювана висота основного розрахункового теоретичного профілю (висота вихідного трикутного профілю), загального для різьби на стрижні й в отворі.

**Кут профілю** - кут між бічними сторонами профілю, обмірюваний в осьовій площині різьби (рис. 1.4).



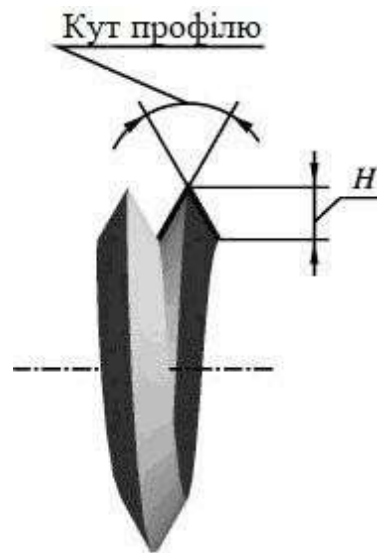


Рис. 1.4. Профіль різьби

**Крок різьби ( $P$ )** - відстань між сусідніми однойменними точками профілю в напрямку, паралельному осі різьби тієї ж гвинтової поверхні (рис. 1.5).

**Хід різьби ( $P_h$ )** - відстань по лінії, паралельній осі різьби, між вихідною середньою точкою на бічній стороні різьби й середньою крапкою, отриманою при переміщенні вихідної по гвинтовій лінії на кут  $360^\circ$ , в однозахідній різьбі хід дорівнює кроку, у багатозахідній - добутку кроку на число заходів  $n$ :  $P_h = nP$  (рис.1.5).

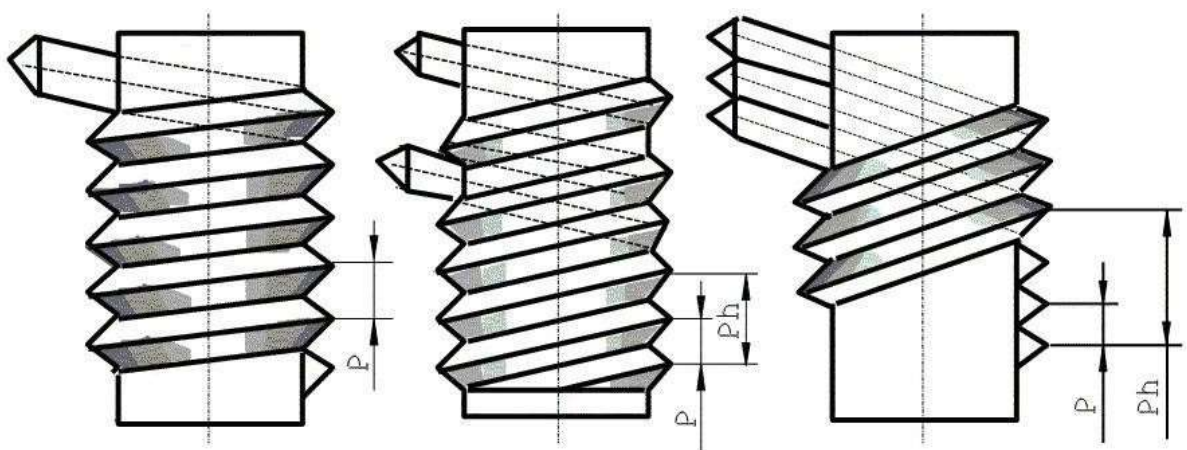


Рис. 1.5. Основні параметри різьби

**Робоча висота профілю ( $h$ )** - найбільша висота зіткнення сторін профілю різьбової пари, обмірювана радіально (рис. 1.6).

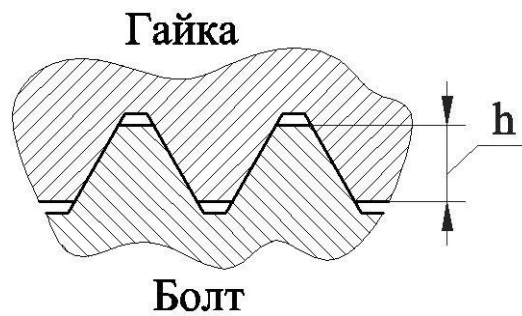


Рис. 1.6 Робоча висота профілю

### Класифікація різьб

Для класифікації різьби використовуються наступні основні ознаки (рис. 1.7):

- форма профілю;
- форма поверхні, на якій виконано різьби;
- розташування різьби;
- величина кроку;
- число й напрям заходів;
- експлуатаційне призначення.

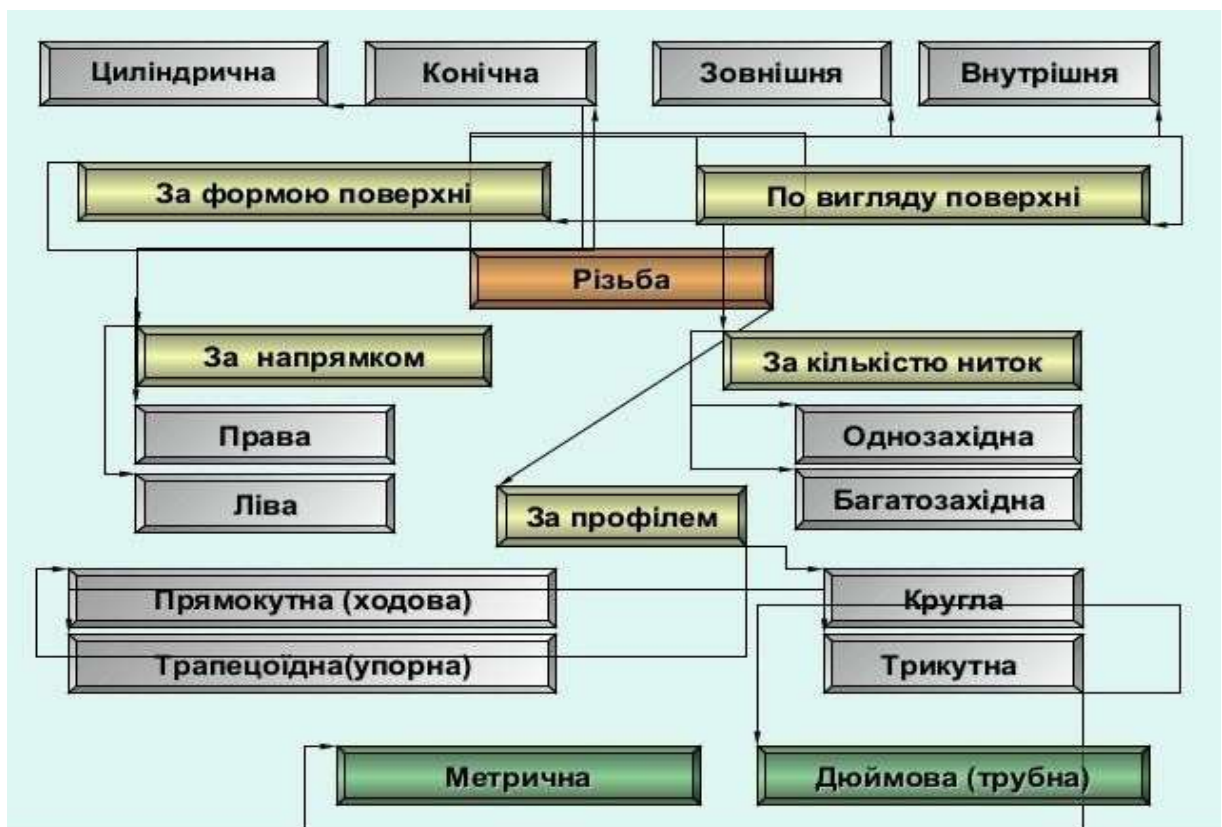


Рис. 1.7. Класифікації різьби

**Різьба метрична.** Профіль різьби встановлений ГОСТ 9150-81 і являє собою трикутник з кутом при вершині  $60^{\circ}$  (рис. 1.8 а).

Це основний вид кріпильного різьби, призначеної для з'єднання деталей безпосередньо один з одним або за допомогою стандартних виробів, що мають метричну різьбу, таких як болти, гвинти, шпильки, гайки.

**Різьба дюймова.** Сьогодні не існує стандарт, що регламентує основні розміри дюймової різьби. Раніше існуючий ОСТ НКТП 1260 відмінний, і застосування дюймової різьби в нових розробках не допускається.

Різьби трикутного профілю з кутом при вершині  $55^{\circ}$  (рис. 1.8 б).

**Трубна циліндрична різьба.** Відповідно до ГОСТ 6367-81 трубна циліндрична різьба має профіль дюймової різьби, тобто рівнобедрений трикутник з кутом при вершині, рівний  $55^{\circ}$ (рис. 1.8 в).

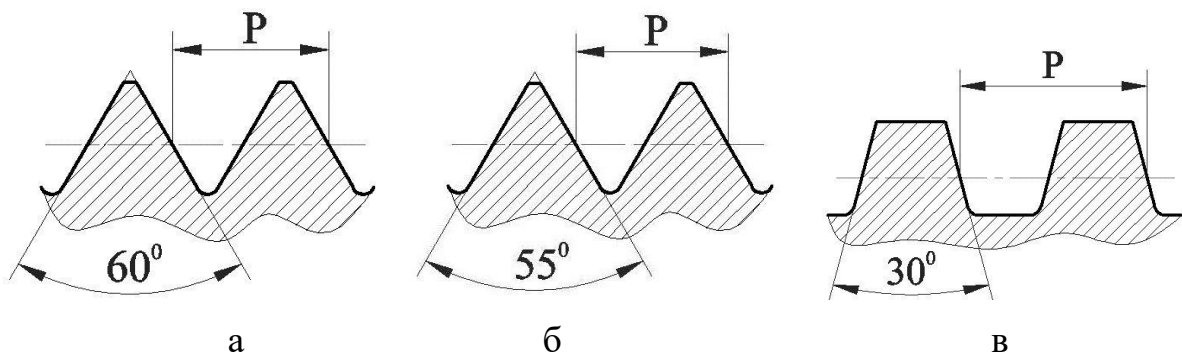


Рис. 1.8. Види різьби

**Кріпильні деталі** - деталі для нерухомого з'єднання частин машин і конструкцій. До них звичайно відносять деталі різьбових сполучень:

- болти,
- гвинти,
- шпильки,
- гайки,
- шурупи,
- шайби,
- шплінти, а також штифти.

**Болт** (рис. 1.9) - кріпильна деталь для роз'ємного з'єднання частин машин і споруджень у вигляді стрижня з різьбою на одному кінці й шести- або

чотиригранною головкою на іншому. Конструкції болтів досить різноманітні залежно від призначення болтового з'єднання. Болти виготовляють із вуглецевої, низьколегованої або спеціальної сталі, латуні й ін.

**Гвинт** (рис. 1.9) - виріб циліндричної або конічної форми з різбовою поверхнею. Розрізняють гвинти, з потайною, напівпотайною, напівкруглою, шестигранною, циліндричною й гладкою головками.

**Гайка** (рис. 1.9) - деталь різбового сполучення або гвинтової передачі, що має отвір з різбою.

**Шпилька**, кріпильна деталь, що представляє собою металевий стрижень із різбою на обох кінцях (рис. 1.9). Кінець шпильки вгвинчується в одну з деталей, що з'єднуються, а інша деталь притискається до першої при нагвинчуванні гайки на інший кінець шпильки.

**Шайба** (рис. 1.9), деталь, що підкладається під гайку або головку болта для попередження зминання поверхонь, що з'єднуються, запобігання їх від подряпин при загвинчуванні гайок, гвинтів і для перекриття зазору між стрижнем болта й отвором у деталях.

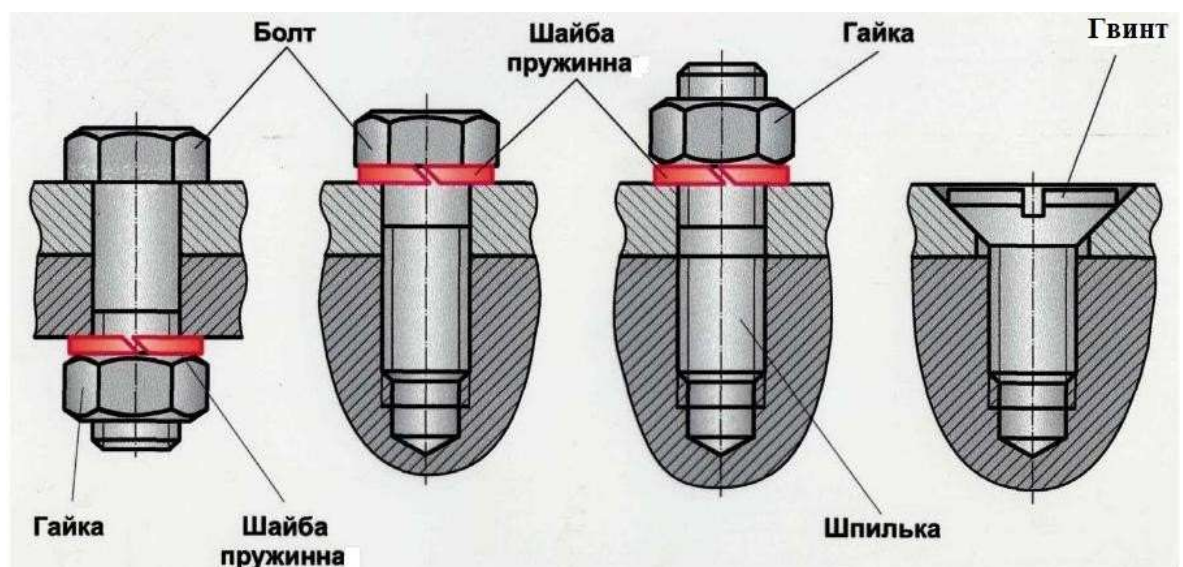


Рис. 1.9. Кріпильні деталі

Різьбові з'єднання складають близько 30 % від усіх з'єднань в машинах і механізмах (рис. 1.10). так за даними [17] на сільськогосподарській техніці встановлено близько 6000 різбових з'єднань.

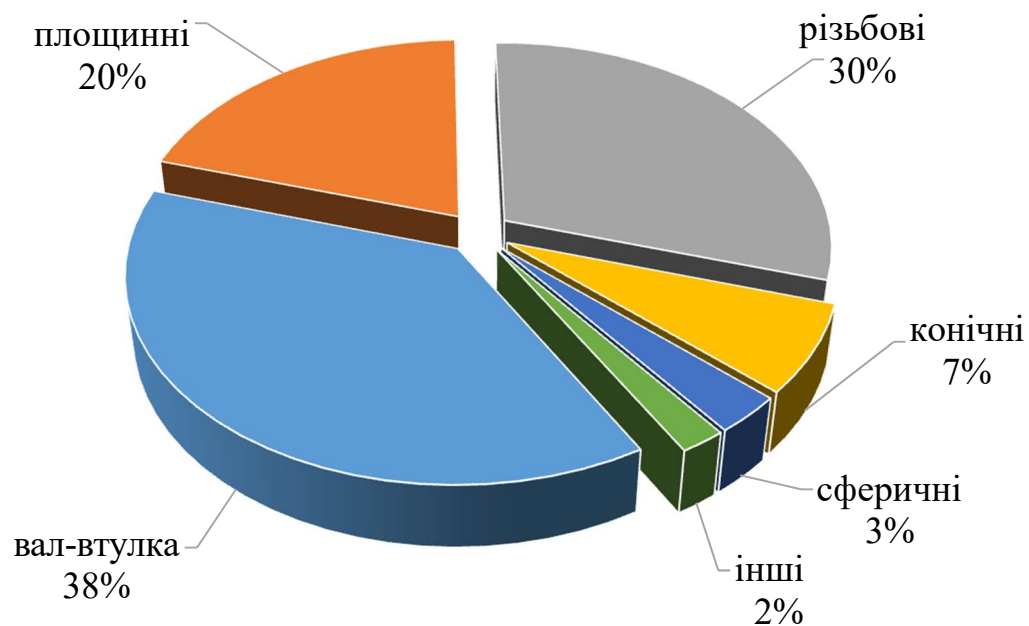


Рис. 1.10. Розподіл з'єднань машин

Відмови з'єднань наведено на рис. 1.11.

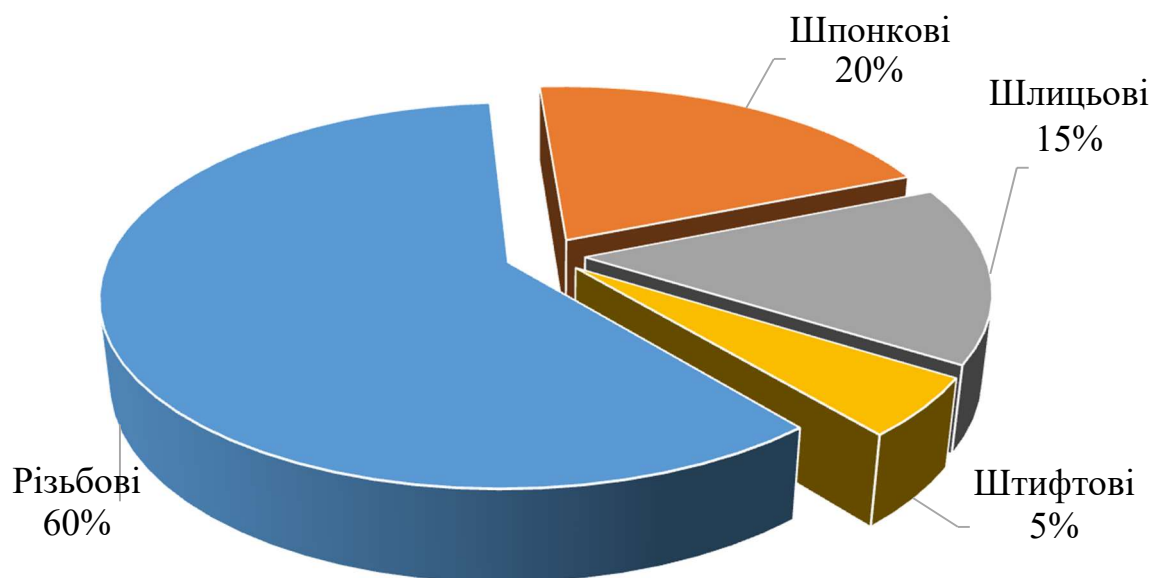


Рис. 1.11. Відмови з'єднань

## 1.2. Коефіцієнти тертя в різьбових сполученнях

По даним численних експериментальних досліджень [1, 2, 18, 19] коефіцієнти тертя в різьбових сполученнях у процесі експлуатації нестабільні

й залежать від цілого ряду факторів: шорсткості робочих різьбових поверхонь, наявності й виду змащення, наявності й виду покриття, наявності абразивних часток або корозії в зоні контакту, що сполучаються різьбових поверхонь, швидкості загвинчування і т.д.

Особливість експлуатації сільськогосподарської техніки в тому, що вона постійно піддана впливу агресивного середовища [8]. У міру наробітку стан різьбових сполучень змінюється (корозія, забруднення, зношування заводських покриттів і т.д.), при цьому коефіцієнти тертя різьбових поверхонь розсіюються в широкому діапазоні від 0.05 до 0.5 [15].

У роботі Алієва Ф. К. [20] розглянутий вплив атмосферної корозії на нарізні сполучення в процесі експлуатації сільськогосподарської техніки. У роботі підтверджується факт негативного впливу атмосферної корозії на складально-розбірні операції й надійність різьбових сполучень. Під впливом вібрацій і змінних навантажень у різьбових сполученнях виникають відносні мікропереміщення сполучених різьбових поверхонь, що є причиною їх зношування в умовах фреттинг-корозії. Корозія й абразивні частки, що попадають у різьбове сполучення, змінюють шорсткість робочих поверхонь, збільшують сили тертя, тим самим, впливають на точність затягування різьбових сполучень.

У роботі Іосилевича Г.Б. [18] представлені приблизні значення коефіцієнтів тертя в різьбі й на опорній поверхні гайки (таблиця 1.1) залежно від виду покриття й мастильного матеріалу, отримані експериментальним шляхом.

З таблиці 1.1 видно, що мастильні матеріали зменшують на 20-40% і стабілізують коефіцієнти тертя (зменшують їхнє розсіювання). Однак користуватися на практиці табличними значеннями коефіцієнтів тертя для визначення необхідних моментів затягування недоцільно [21].

У цей час усе більше знаходять своє застосування в складальних операціях різьбові фіксатори або клеї-герметики [22].

Різьбові фіксатори (клеї-герметики) використовують для герметизації різьбової пари від вологи, а також для запобігання можливого мимовільного відгвинчування різьбової деталі в процесі роботи вузла. Клей-герметик наноситься на різьбову поверхню, після чого проводиться затягування різьбового сполучення. У затягнутому стані відбувається відкидання клею, у результаті чого в контактні витки різьби утворюється міцний адгезійний зв'язок. Наявність клею-герметика в контактних третюх різьбових поверхнях при затягуванні також впливає на значення коефіцієнтів тертя, що необхідно враховувати при контролі сили затягування по моменту.

При ручному затягуванні динамометричними ключами необхідно враховувати, що швидкість обертання ключа впливає на значення коефіцієнтів тертя, відповідно й на значення моменту на ключі. Зі збільшенням швидкості затягування коефіцієнти тертя зменшуються, і навпаки. Тому важливо дотримувати максимально рівномірного обертання інструмента при затягуванні кожного різьбового сполучення ГРС, крім затягування «ривками».

### 1.3. Аналіз причин і наслідків неточного (нерівномірного) затягування ГРС

Можна виділити дві групи факторів, що обумовлюють появу нерівномірності розподілу сил затягування в ГРС ремонтного вузла:

- технологічні (що мають місце безпосередньо в процесі складання);
- експлуатаційні (виникаючі в процесі роботи вузла).

До **технологічних факторів** відносяться похибка методів і засобів контролю сили затягування, невідповідність розрахункових параметрів фактичним (коефіцієнтів тертя, геометричних розмірів різьби, коефіцієнтів піддатливості тощо), перенапруги сил у ГРС при послідовному затягуванні, людський фактор.

У процесі складання технологічні фактори приводять до відхилення від необхідної величини сили зтягування в більшу або меншу сторону (перетягнене або недотягнуте з'єднання).

Найбільший вплив на точність зтягування виявляє похибка методів контролю [23]. Найпростішим і зручним у застосуванні є метод контролю сили зтягування по моменту. Однак даний контроль має велику похибку. У процесі складання різьбового сполучення ремонтovanого вузла відхилення створеної величини сили зтягування від необхідної, за різними оцінками може досягати +25...38% [16, 18, 19]. Величина такої похибки неприпустима при складанні ГРС вузлів ремонтovanої сільськогосподарської техніки [23].

Причиною даного відхилення (похибки) є невідповідність фактичних коефіцієнтів тертя сполучених у процесі зтягування різьбових поверхонь розрахунковим, що пояснюється зміною (нестабільністю) стану різьбових сполучень при експлуатації. Нестабільність стану різьбового сполучення обумовлена зміною шорсткості різьбових поверхонь, корозією й забрудненням, зношуванням заводських антикорозійних і противозадирних покриттів, застосуванням різних мастильних і розкислюючих матеріалів при роботі з різьбовими сполученнями й т.п. Тому при тому самому значенні моменту на ключі залежно від стану різьбового сполучення (коефіцієнтів тертя) сила зтягування може ухвалювати різні, що значно відрізняються один від одного значення.

Аналіз технологічного процесу ремонту на ремонтно-сервісних підприємствах ТОВ "Агротек" м. Дніпро, ТОВ "Істок" м. Марганець та базового підприємства ФГ "Ксенія Агро" м. Марганець, показав, що різьбові деталі (шпильки, болти, гайки) зазнають інтенсивного іржавіння після технологічної операції мийки вузлів (деталей). Приміром, на рис. 1.12 і 1.13 представлені шпильки ГБЦ двигунів ЯМЗ-238 і А-41, що пройшли мийку. Наявність деякої корозії на різьбових поверхнях шпильок (болтів) не означає їх непридатність до подальшої експлуатації, однак зміна стану поверхні необхідно враховувати.



Однією із причин нерівномірного затягування ГРС ремонтованих вузлів може стати наявність (відсутність) або відмінність виду змащення в окремих різьбових сполученнях групи. Для прикладу можна привести кріплення ГБЦ двигунів, де, як правило, середній ряд болтів ГРС конструктивно розташований під кришкою ГБЦ, що не виключає влучення моторного масла в з'єднання даного ряду, а інші болти ГРС конструктивно розташовані зовні й зазнають впливу корозії й забруднення при експлуатації.



Рис. 1.12. Шпильки ГБЦ перед складанням двигуна ЯМЗ-238 після мийки



Рис. 1.13. Шпильки ГБЦ перед складанням двигуна А-41 після мийки

**Експлуатаційні фактори** визначають причини зниження величини сили затягування в різьбовій групі в процесі роботи вузла. До них відносяться деформаційне згладжування мікронерівностей сполучених поверхонь у стику деталей і в самих різьбових сполученнях (осаду мікронерівностей), можливі залишкові деформації стрижня болта (шпильки), релаксація напруг затягування, самовідгвинчування і т.д. [15].

Відхилення від розрахункової величини сили затягування при складанні різьбового сполучення в меншу сторону (недотягнуте з'єднання) тягне до збільшення амплітуди вібрацій деталей у процесі роботи вузла, що у свою чергу сприяє процесу самовідгвинчування різьбового сполучення й може стати причиною передчасного руйнування з'єднання від втоми [15, 16].

При експлуатації може відбуватися зниження сили затягування в різьбовому сполученні через деформаційні процеси на поверхнях стиків, що з'єднуються деталей, у контакті витків різьби й на опорній поверхні гайки.

Наприклад, допуск на відхилення від циліндричності дзеркала гільзи двигунів ЯМЗ-238 – 0.025 мм, ЗИЛ-130 – 0.03 мм, OM904LA (Mercedes-Benz) – 0.012 мм, D0824LFL (MAN) – 0.008 мм, D4DC (Hyundai) – 0.03 мм [24, 25].

У роботі Утенкова В. Д. також відзначається, що нерівномірне затягування ГРС ГБЦ спотворює геометричну точність дзеркал циліндрів, овальність яких збільшується на 25-75%, конусність на 35-40%.

На основі вищевикладеного можна стверджувати - затягування ГРС вузлів при ремонті сільськогосподарської техніки повинна проводитися з максимальною точністю і рівномірністю.

#### 1.4. Аналіз методів, способів і засобів контролю сили затяжки

Одним з основних напрямків досліджень в області різьбових сполучень було й залишається вдосконалювання методів (способів) і засобів контролю сили затягування [17].

У цей час основними методами контролю сили затягування рис. 1.14[15, 17] є:

- контроль сили затягування по моменту;
- контроль сили затягування по куту повороту болта (гайки);
- контроль сили затягування по величині деформації стрижня болта (шпильки);
- контроль сили затягування по величині деформації шайби;
- комбінований метод контролю сили затягування по моменту й куту пороту.

Усі методи контролю мають похибку забезпечення необхідної величини сили затягування. Підвищення точності й рівномірності затягування ГРС ремонтіваних вузлів машин бачиться в зменшенні похибці контролю сили

затягування з урахуванням причин, що її обумовлюють.

Можна відзначити, що найпростішим способом обмеження крутного моменту при затягуванні різьбових сполучень є вибір відповідної довжини рукояті ключа [19]. Однак сила руки збирача й швидкість обертання ключа в процесі затягування можуть змінюватися в широких межах, що не забезпечить точне й рівномірне затягування ГРС. За даними роботи [26] при складанні ГРС даним способом розкид сил затягування може досягати 200%. Тому, даний спосіб застосовується тільки при ненормованому затягуванні маловідповідальних різьбових сполучень.



Рис. 1.14. Методи контролю сили затягування

**Метод контролю сили затягування по моменту.** Даний метод набув широкого застосування в складальних операціях, у тому числі при ремонті сільськогосподарської техніки. Переваги цього методу в простоті його здійснення, зручності контролю й великій номенклатурі інструмента - різні граничні і індикаторні динамометричні ключі (рис. 1.16).



Рис. 1.16. Динамометричні ключі

а - шкальний, б – електронний, в – індикаторний, г - граничний

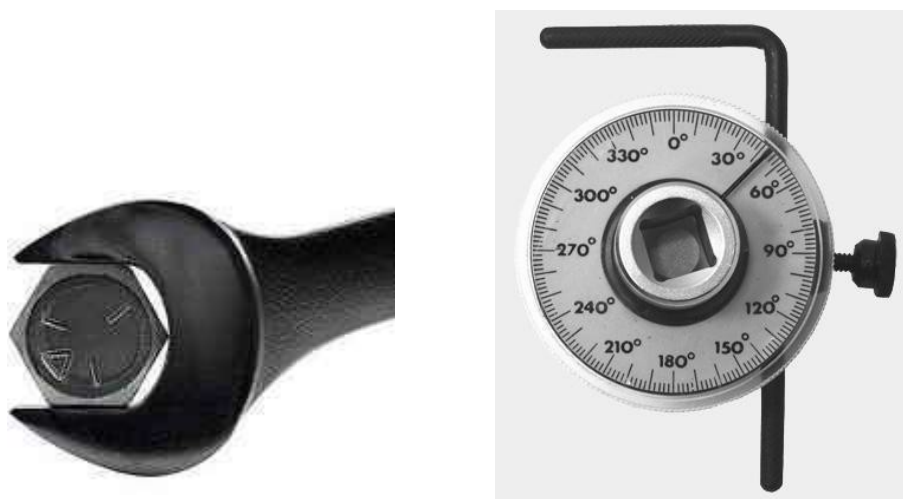


Рис. 1.17. Метод контролю сили затяжки по углу поворота болта (гайки)

На відміну від попереднього методу контролю, даний метод виключає вплив коефіцієнтів тертя, однак, він мало застосовуємо в практиці складання різьбових сполучень за рахунок труднощів у визначенні нульового кута повороту  $\varphi_0$ , при якому відбувається обтиснення стику й вибірка зазорів у з'єднанні. До того ж не представляється можливим визначити кут, на який необхідно повернути болти ГРС при перенапрузі сил затягування в процесі послідовного складання ГРС ручним інструментом.

Контроль сили затягування по куту повороту болта (гайки) здійснюється за допомогою транспортних ключів, шаблонів або кутомірів (рис. 1.17). При цьому похибка виміру кута звичайно становить 10-15 градусів [15], а точність забезпечення необхідної сили затягування не вище + 20-23% [15,18, 20].

Даний метод контролю непридатний при складанні твердих з'єднань із короткими болтами або шпильками тому, що величина розрахункового кута затягування при цьому мала й дорівнює похибці методу.

Метод контролю сили затягування по величині деформації болта. Даний метод вважається одним з найбільш точних методів контролю сили

затягування (точність + 5%) [15]. Його застосовують при контролі сили затягування особливо відповідальних з'єднань (наприклад, шатунних болтів). Метод заснований на вимірі величини подовження стрижня болта (шпильки) під дією сили затягування.

Сила затягування в цьому випадку визначається [27]:

$$F = \frac{\delta}{\lambda_B}$$

де  $\delta$  - відносне подовження болта, м.

Величина подовження болта визначається [27]:

$$\delta = F \cdot \lambda_B = F \cdot \frac{l_B}{E_B \cdot A_B}$$

$l_B$  - довжина болта, м;

$E_B$  - модуль пружності матеріалу болта, Н/м<sup>2</sup>;

$A_B$  - площа поперечного переріза болта, м<sup>2</sup>.

Даний метод застосовують, коли різьбова деталь має значну довжину, тому, що величина подовження в цьому випадку більш відчутна й може бути точніше обмірювана. Метод неприйнятний для коротких і твердих болтів (тому, що величина деформації болта мала (20...60 мкм) і дорівнює похибці виміру). Для виміру величини подовження болта звичайно використовують індикаторну скобу (рис. 1.18) якщо існує можливість двостороннього доступу до торців болта (шпильки).



Рис. 1.18. Індикаторна скоба

Найбільше точно проконтролювати силу з'ятування по подовженню стрижня болта можна за допомогою тензометричних датчиків, які наклеюються на гладку частину болта (шпильки) або заливаються в центральний отвір. Похибка забезпечення сили з'ятування близько + 2% [15]. Застосування такого способу складання при ремонті сільськогосподарської техніки виключене, тому що спосіб трудомісткий, вимагає наявності дорогої апаратури (підсилювач, осцилограф і т.д.) і високу кваліфікацію складальника.

На рис. 1.19 наведено можливості застосування різних способів з'ятування.



Рис. 1.19. Застосування різних способів з'ятування

### 1.5. Загальні висновки та задачі роботи

Аналіз стану проблеми показав, що нерівномірність з'ятування ГРС вузлів при ремонті сільськогосподарської техніки обумовлена низькою точністю (+ 25..38%) контролю сили з'ятування по моменту, внаслідок зміни стану різьбових сполучень при експлуатації.

Результатом неточної (нерівномірної) з'ятування ГРС може стати руйнування різьбових сполучень, деформація стягнутих деталей, деформація



або зрив витків різьби, розгерметизація стиків вузлів і т.д. Нерівномірне затягування болтів ГБЦ впливає на ресурс циліндропоршневої групи й двигуна в цілому.

Як показав аналіз способи, що існують і методи контролю сили затягування різьбових сполучень, які можуть бути застосовані в ремонтному виробництві сільськогосподарської техніки, недостатньо ефективні з погляду точності затягування і їх застосування не гарантує надійного з'єднання.

Для підвищення точності й рівномірності затягування ГРС ремонтованих вузлів машин необхідно враховувати фактичні стани різьбових сполучень.

**Метою роботи** є підвищення точності й рівномірності затягування групових різьбових сполучень вузлів машин, що ремонтуються.

Завдання досліджень:

1. Зробити аналіз проблеми неточності (нерівномірності) затягування ГРС ремонтованих вузлів, виявити причини виникнення нерівномірності затягування.

2. Теоретично обґрунтувати контроль сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування, на основі чого розробити методіку складання ГРС ремонтованих вузлів.

3. Експериментально досліджувати вплив стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту. Зробити експериментальну оцінку точності забезпечення необхідної сили затягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

4. Експериментально досліджувати рівномірність затягування ГРС при складанні ремонтованого вузла, зробити якісну оцінку рівномірності затягування ГРС при складанні за розробленою методикою.

5. Провести заходи з забезпечення безпеки праці.

6. Провести техніко-економічну оцінку роботи.

## РОЗДІЛ 2

### КОНТРОЛЬ СИЛИ ЗАТЯЖКИ

#### 2.1. Визначення коефіцієнту тертя в різьбі

При закручуванні гайки різьбового з'єднання з боку ключа на гайку передається крутний момент  $T_{заг}$ , який перевищує момент в різьбі  $T_p$  й на торці гайки  $T_m$  (рис. 2.1).

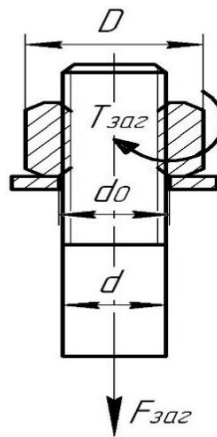


Рис. 2.1. Схема параметрів різьбового з'єднання

Визначаємо крутний момент [1]:

$$T_{заг} = T_p + T_m \quad (2.1)$$

Витрата крутного моменту розподіляється наступним чином рис. 2.2.:

- тертя в різьбі 30-40%;
- тертя між гайкою і деталлю 40-50%;
- зусилля затягування 10-20%.

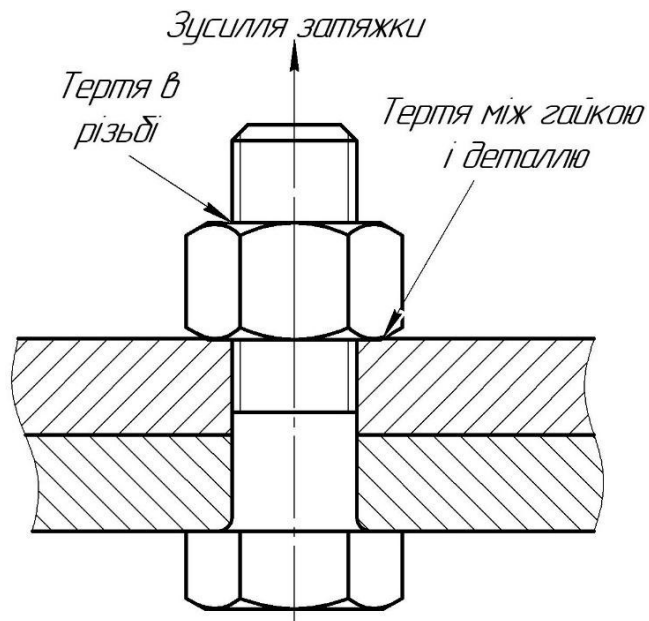


Рис. 2.2. Витрата прикладеного оберտального моменту на подолання сил тертя

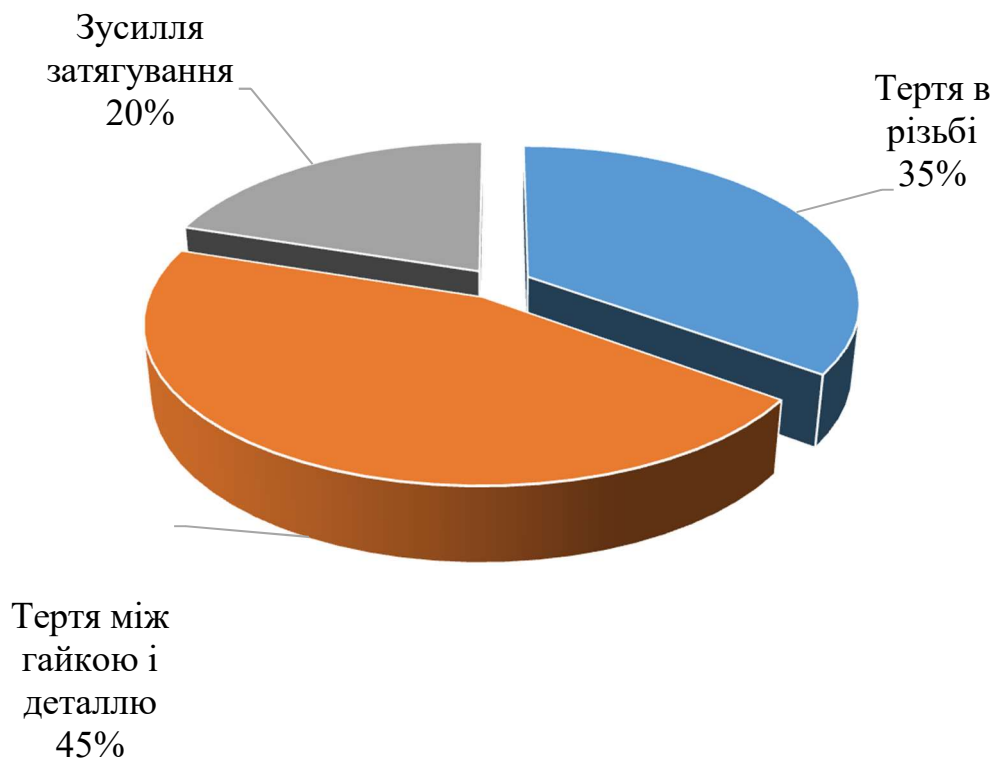


Рис. 2.3. Витрата прикладеного зусилля

Для більш точного визначення відношення  $M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$  нами було запропоновано технологічний прийом (рис. 2.3), що полягає в попередньому навантаженні різьбового сполучення 1, нанесенні розмітки положення гайки (головки болта) щодо корпусу деталі 2, вимірі моменту загвинчування 3, поверненні гайки в розмічене положення 4, вимірі моменту відгвинчування 5. На-

вантаження проводиться затягуванням різьбового сполучення до величини рекомендованого (технічними умовами на складання вузла) моменту.

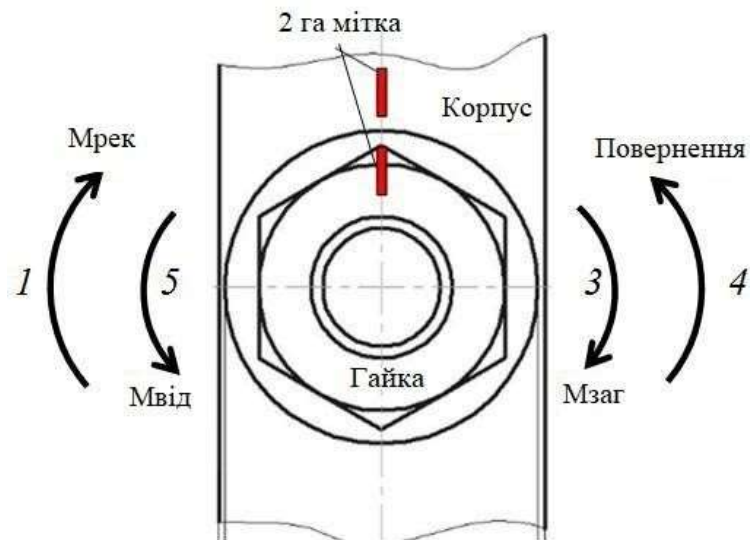


Рис. 2.5. До виміру моментів загвинчування й відгвинчування

Тобто перед виконанням вимірів моментів необхідно затягти (навантажити) різьбове сполучення (при цьому в різьбовому сполученні створюється деяка сила затягування й розподіл контактних тисків) і нанести розмітку положення гайки щодо корпусу деталі.

## РОЗДІЛ 3

### ЗАТЯЖКА КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ

#### 3.1. Аналіз дефектів різьбових з'єднань

Як зазначалось раніше різьбові з'єднання займають левову долю всіх з'єднань машини. І як всі деталі поступово або раптово виходять з ладу. Стосовно різьбових сполучень основна причина їх виходу з ладу, не правильне складання або розбирання, дуже часто складаючи вузол слюсарі не користуються рекомендаціями на складання вузлів і затягують різьбові сполучення з запасом, тим самим перетягуючи їх. Слюсарі які складають з'єднання з обережністю недотягують з'єднання, що призводить також до поломки з'єднання. Нижче наведено основні дефекти різьбових з'єднань.



Рис. 3.1. Руйнування шатунного болта внаслідок виникнення мікротріщини, яка в свою чергу виникла із-за перетягування з'єднання

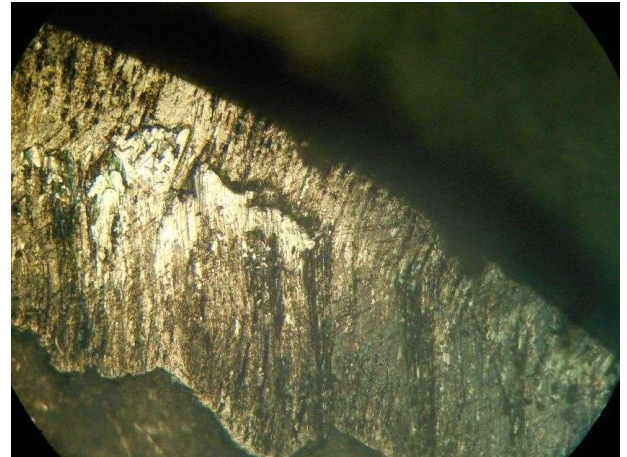


Рис. 3.2. Відламана головка шатунного болта та зона початку розвитку мікротріщини



Рис. 3.3. Знос різьби болта кріплення колеса внаслідок недотягування



Рис. 3.4. Злам шпильки



Рис. 3.5. Стан болтових з'єднань

**3.2. Вибір технічних засобів, інструментів і матеріалів для проведення експериментальних досліджень**

При виконанні експериментів використовувалися наступні прилади, інструменти й матеріали:

- тарований динамометричний ключ (довжина важеля ключа 600 мм,



ціна розподілу індикаторної головки ключа 0.001 мм);

- лабораторна установка для випробування різьбових сполучень ДМ-27(ціна поділки індикаторної головки динамометричної пружини 0.001 мм);

- різемір;

- моторне масло Castrol Magnatec 5W-40;

- розчин WD — 40;

- молібденове змащення Hi-Gear 5531;

- спирт технічний;

- кислота азотна;

- вода дистильована;

- ватман (формат А2);

- копіювальний папір.

## **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  $c_0 = 8000 \text{ Н/м}$  і під час експериментальних досліджень не мінлася. 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).

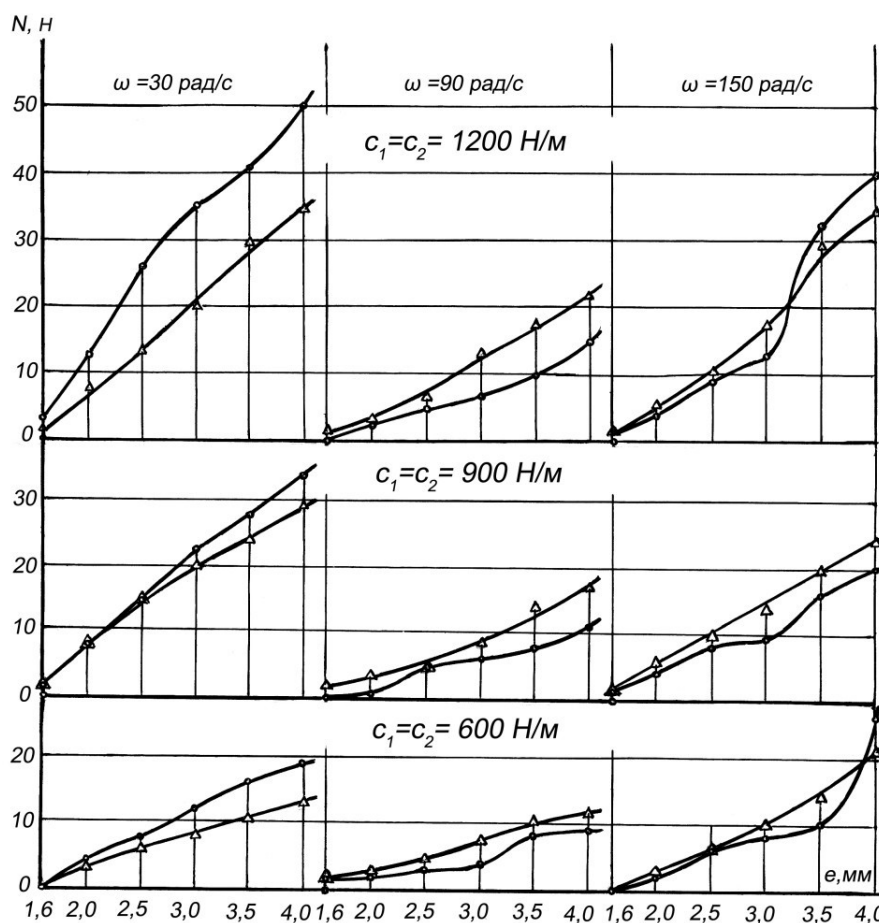


Рисунок 4.1 – Залежність режимів взаємного орієнтування і наживлення гайки на шпильку (M11×1) від лінійної похибки їх базування:  $c_1, c_2$  – радіальна жорсткість пружинного кільця податливої бази;  $c_0 = 8000$  Н/м – осьова жорсткість пружини податливої бази;  $\circ$  – точки машинного експерименту;  $\Delta$  – 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  $\gamma$ .

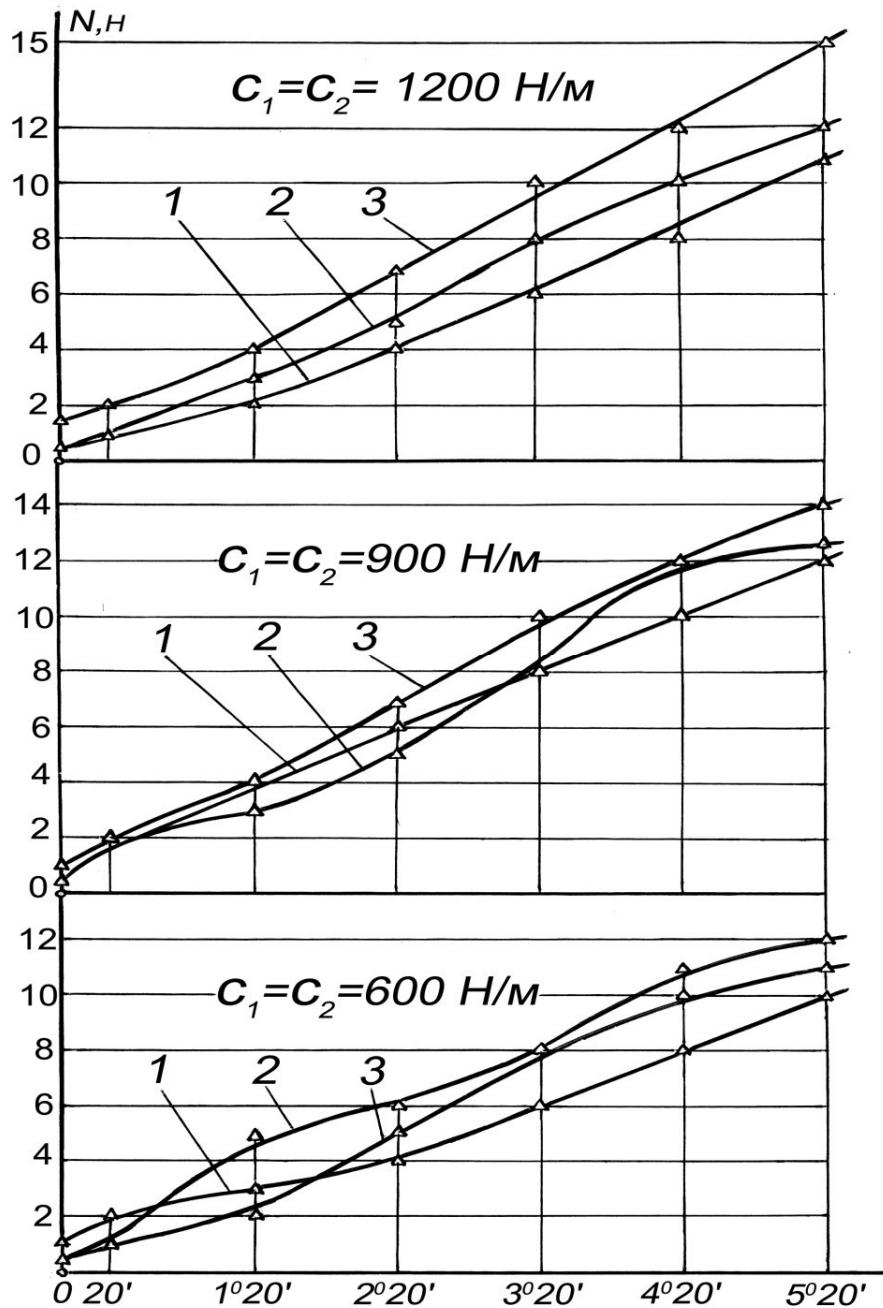


Рисунок 4.2 – Залежність режимів взаємного орієнтування і наживлення гайки на шпильку (M11×1) від кутової похибки їх базування:  $c_1, c_2$  – радіальна жорсткість пружинного кільця податливої бази; жорсткість осьової пружини податливої бази  $c_0=8000$  Н/м; 1-  $\omega=30$  рад/с, 2-  $\omega=90$  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).

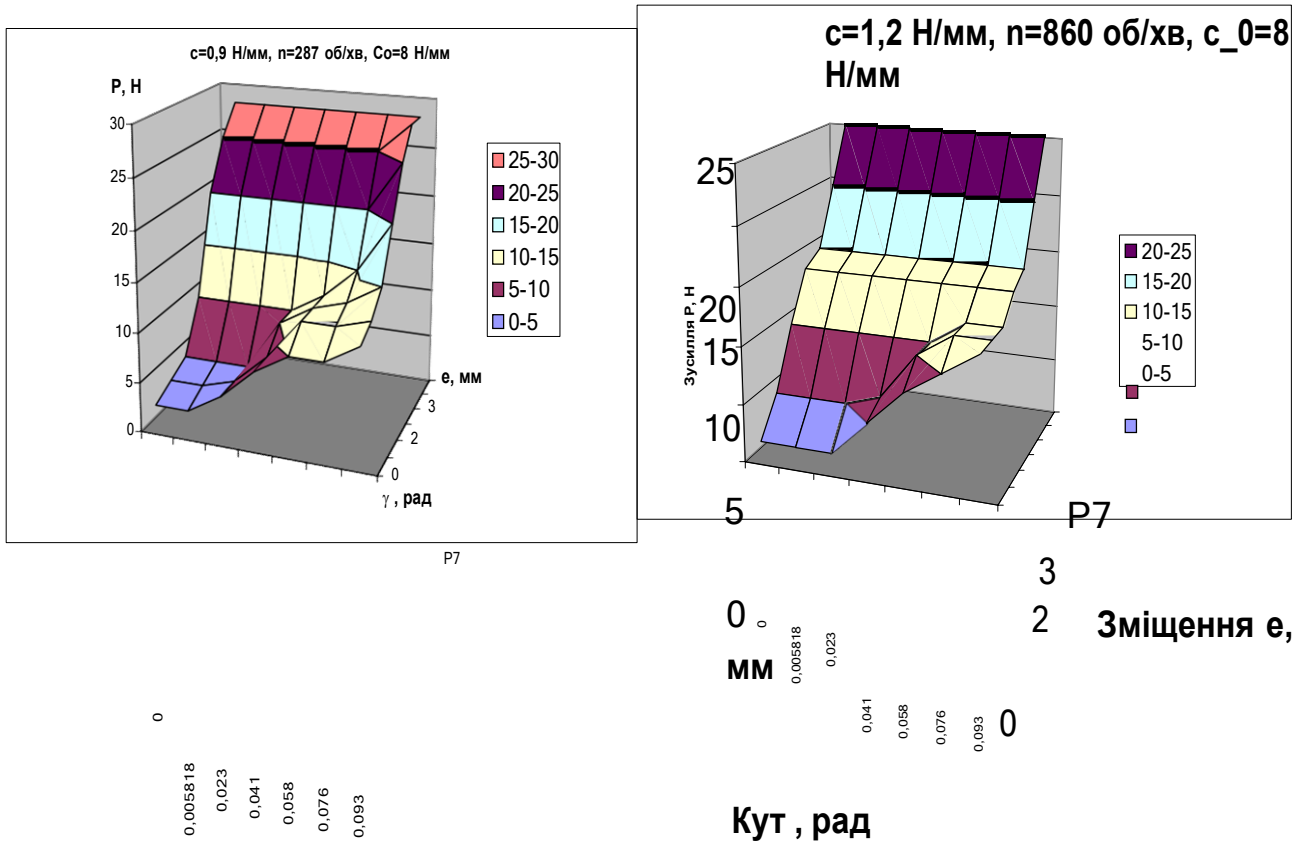
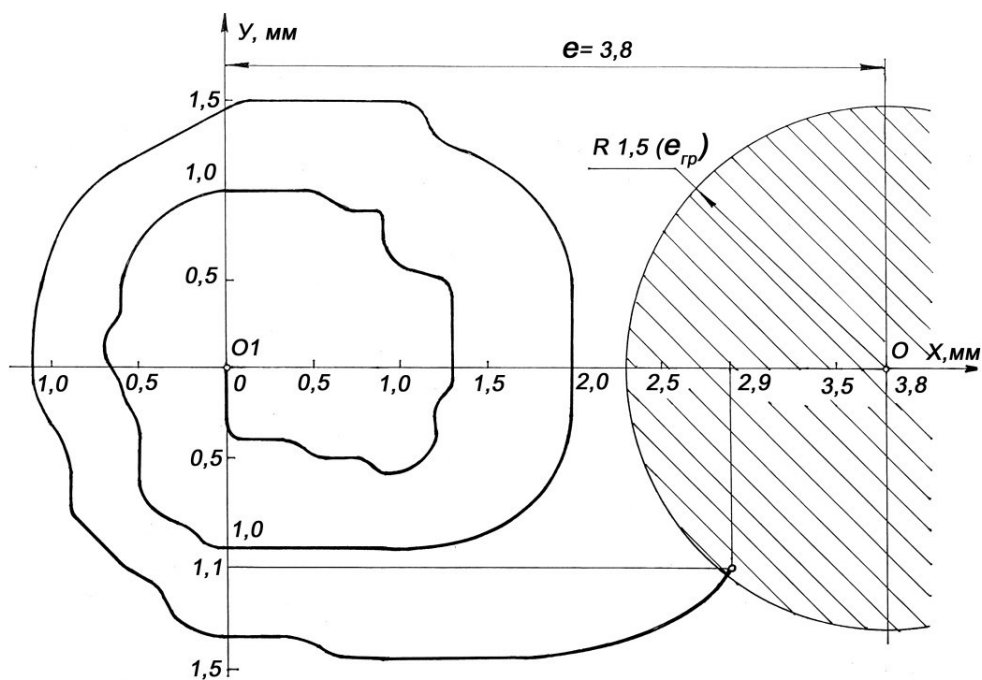
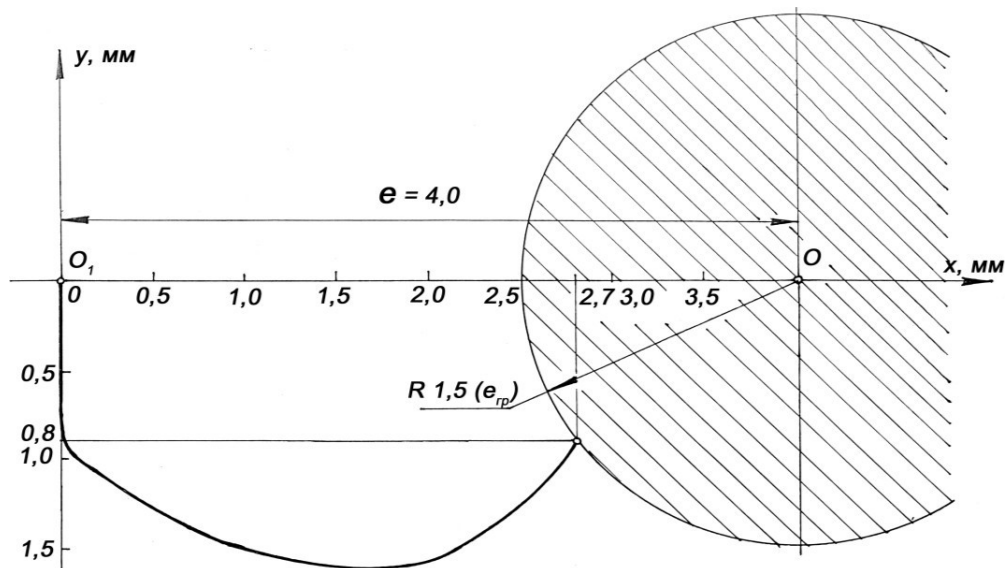


Рисунок 4.3 – Залежність режимів гарантованого взаємоорієнтування і наживлення від взаємодії похибок базування ( $e, \gamma$ ).



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.

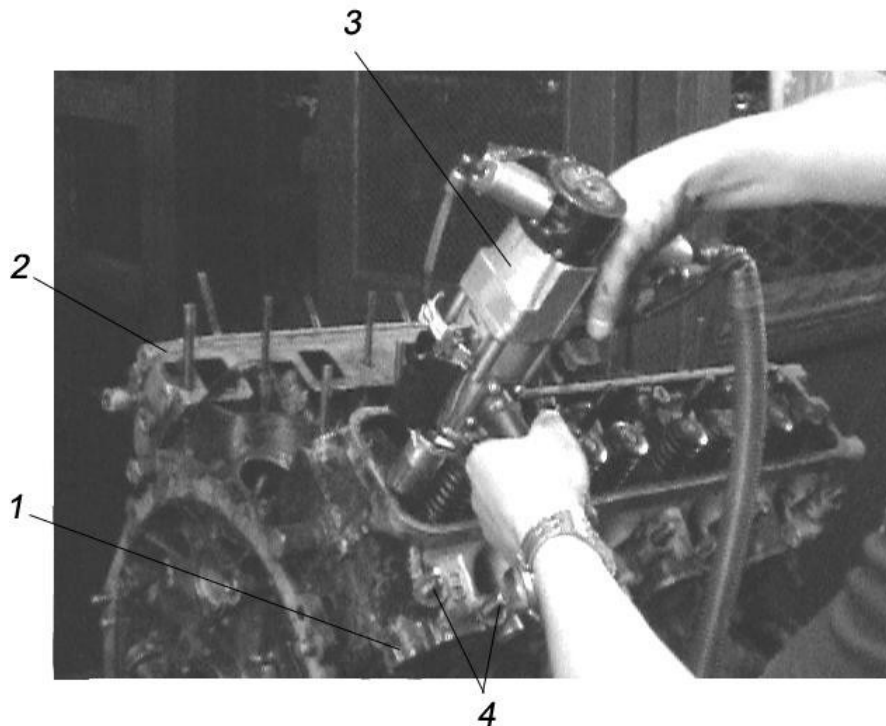


Рисунок 4.5 – Складання різьбових з'єднань кріплення головок блока двигуна ЗМЗ-53: 1,2 ліва і права головки блока; 3 – адаптивний гайкокрут; 4 – шпильки М11×1 кріплення головки блока.

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 Назва операцій	1	2	3	4	5	6
			1	T <sub>шт</sub>	Ручне укладання шайб в тару	12	11	12
2	T <sub>гг</sub>	Ручне укладання гайок в тару	11	12	12	11	12	12
3	T <sub>шв</sub>	Перенесення з тари і ручне встановлення шайб на шпильки	17	18	19	17	20	18
4	T <sub>гн</sub>	Перенесення з тари і ручне наживлення гайок	52	50	51	53	54	50
5	T <sub>мз</sub>	Механізоване загвинчування ручним пневматичним гайкокрутом	41	40	42	39	39	41
6	$\sum$ T <sub>м</sub>	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 Назва операцій	1	2	3	4	5	6
			1	T <sub>шк</sub>	Ручне встановлення шайб на базові штифти касети	13	13	13
142	T <sub>гк</sub>	Ручне встановлення гайок на базові штифти касети	13	13	14	13	14	13
3	T <sub>аз</sub>	Захоплення гайки разом з шайбою з касети, перенесення до шпильки, наживлення і загвинчування ручним адаптивним пневматичним гайкокрутом	88	86	89	86	89	85
4	$\sum$ T <sub>а</sub>	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  $s$  усунення неспіввісності обмежується тільки мінімальним осьовим зусиллям, а його максимальне значення – величиною, що не призведе до завальцювання західних витків різьби.

3. Для нагвинчування гайки на шпильку з різьбами М8-М11 гарантованими режимами взаємоорієнтування і наживлення є наступні: кутова швидкість 24-150  $s^{-1}$ , 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

11 Пробиває на корпус стенда 0,95

7 Пошкоджені наізоляція 0,87

10 Неправильне під'єднання 0,65

12 До стенда торкався працівник 0,1

3 Перегрів дроту 0,65

6 Механічне пошкодження 0,65

8 Стан контролю 0,3

9 Професійний рівень працівників 0,5

1 Стан контролю 0,3

4 Стан контролю 0,3

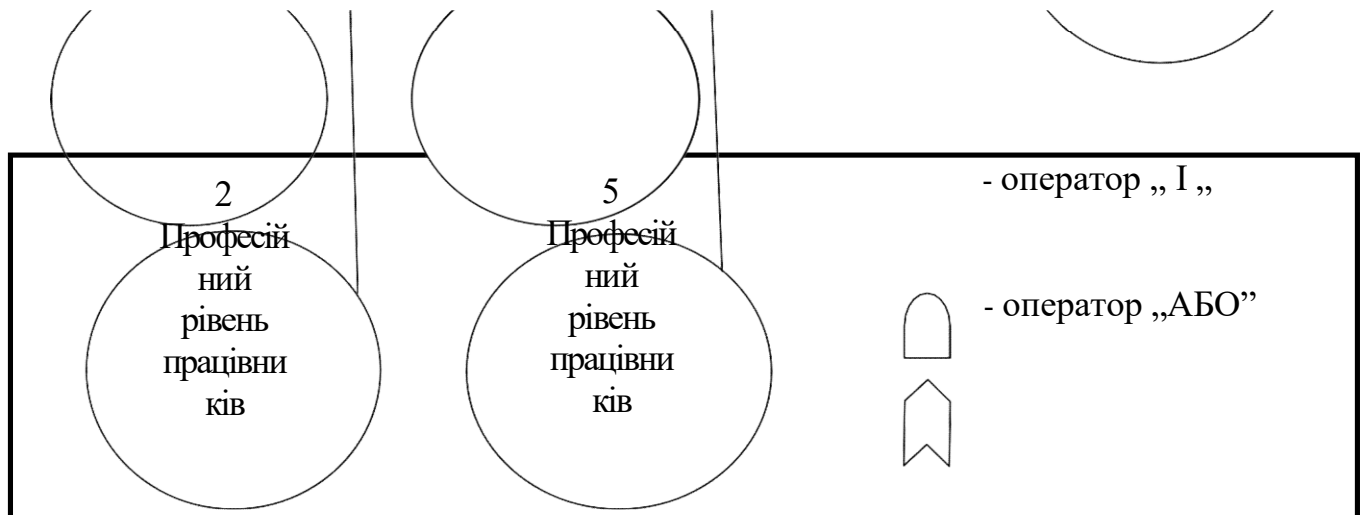


Рисунок 5.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми у працюючого при роботі із стендом для випробування комбінованих гайкових ключів: 1,2,3,...,12,13 – номери подій; 0,3; 0,5... – ймовірності подій.



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 зараженою 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 багатофакторними 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. Тарельник В.Б., Коноплянченко Є.В., Зубко В.М. Галузеве машинобудування: навчальний підручник. Київ, 2023. 468 с.
2. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування. / С.Г. Бондаренко – Чернігів: ЧДТУ, 2005. – 567 с.
3. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування : навч. посібник для студ. вищих техн. навч. закладів / С.Г. Бондаренко. – Львів : Магнолія 2009. – 567 с.
4. Бондаренко С.Г. Технології механоскладального виробництва: Монографія/ С.Г.Бондаренко. – Ніжин: ТОВ “Видавництво “Аспект-Поліграф”, 2008. – 358 с.
5. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування (основні способи обробки поверхонь та сучасні Т-системи для їх реалізації): навчальний посібник./ О.У. Захаркін.– Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 137 с.
6. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навчальний посібник./П.О.Руденко. – Київ: Вища школа, 1993. – 414 с.
7. Технологія конструкційних матеріалів : підручник для студ. мех. спец. вищ. навч. закл. / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз, та ін.] під ред. М. А. Сологуба., 2-е вид., перероб. і доп. — Київ : Вища школа, 2002. — 374 с.
8. Altintas Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design/Y.Altintas. — Cambridge University Press, 2012. — 380p.
9. Beddoes J. Principles of metal manufacturing processes /Beddoes, Jonathan. — Burlington, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. — 326 p.
10. Creese, R. Introduction to manufacturing processes and materials /Creese, Robert C. — New York : Marcel Dekker, 1999. — 395 p.

11. Dan B. Marghitu *Mechanical Engineer's Handbook*/Dan B. Marghitu. — Academic Press, 2001. — 880p.
12. Klocke F. *Manufacturing Processes, Cutting*/ Fritz Klocke. — New York : Springer, 2011. — 504 p.
13. Stephenson D.A. *Metal cutting theory and practice* / Stephenson, David A. — New York: Marcel Dekker, 1997. — 898 p.
14. Zhang, L. *Materials Processing Fundamentals*/ [Zhang, L., Allanore, A., Wang, C., Yurko, J. A. and Crapps, J. (eds)].- John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2013. — 317p.
15. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва: навч. посібник/ Бондаренко С.Г. — Київ: ІСДО, 1993. — 544 с.
16. Iskovych-Lototsky R., Zelinska O., Ivanchuk Y., Veselovska N. Development of the evaluation model of technological parameters of shaping workpieces from powder materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017.Vol.1.№1-85. P. 9-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.59418.
17. Turych V., Veselovska N., Rutkevych V., Shargorodsky S. Investigation of the process of thread extrusion using the ultrasound. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6. №1-90. P. 60-68. DOI: 10.15587/1729-4061.2017114561.
18. Iskovych-Lototsky R.D., Ivanchuk Y.V., Veselovska N.R., Surtel W., Sundetov S. Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles.. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2018. Vol. 10808. №1080860.
19. Nalobina O.O., Vasylchuk N.V., Bundza O.Z., Holotiuk M.V., Veselovska N.R. , Zoshchuk N.V. A new technical solution of a header for sunflower harvesting. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 58. № 2. P. 129-136.



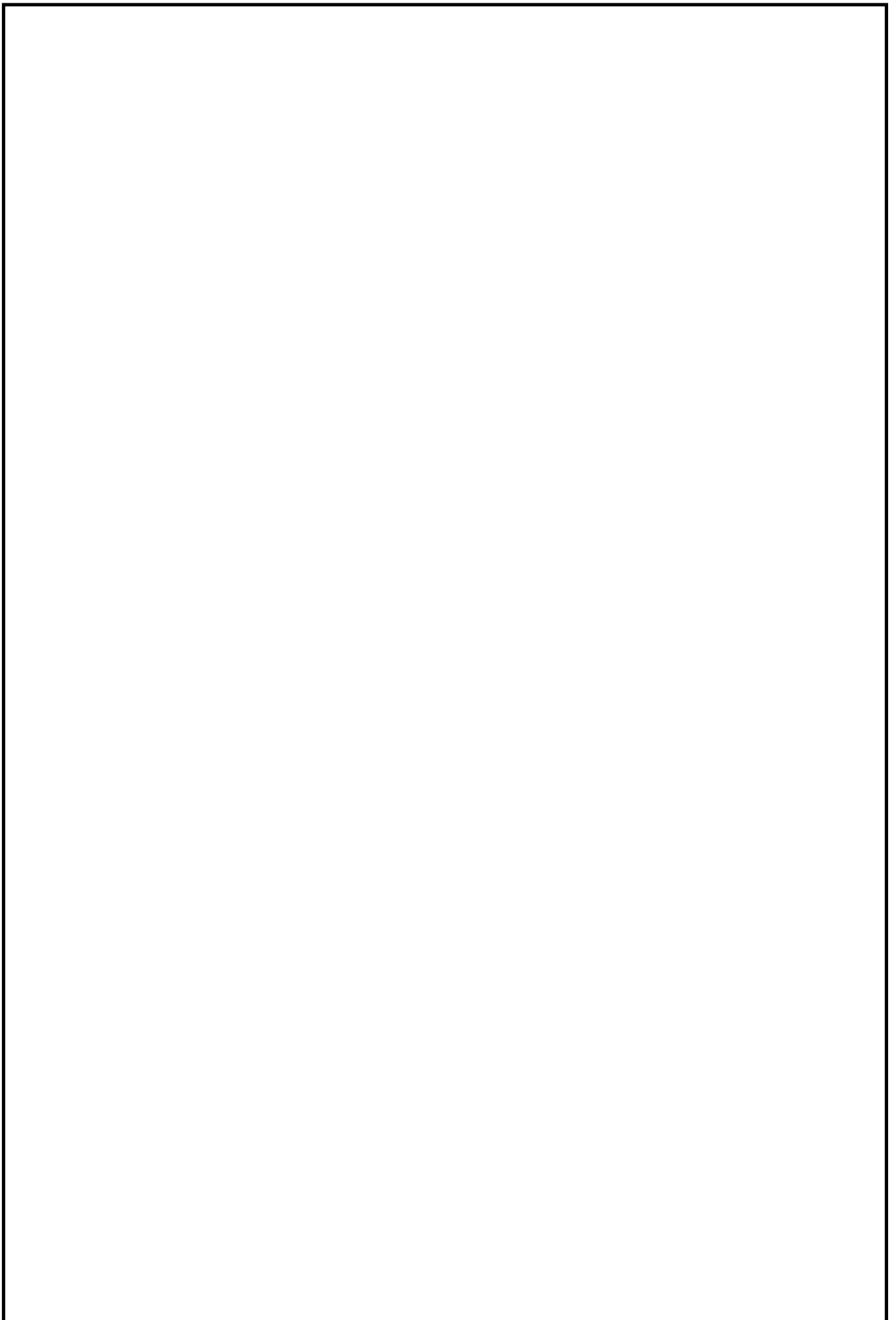
20. Shatokhin V., Ivanchuk Y., Dvirna O., Veselovskaya N., Jurczak W. Dynamic Processes Modeling in a Peristaltic Pump with a Hydraulic Drive for the Bingham Fluid. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022. Vol. 16 (4). P. 256–269. Spirin A., Borysiuk D., Tsurkan O., Tverdokhlib I., Veselovska N., Edl M. *Ways of Intensification of Grass Seed Production. Journal of Engineering Sciences*. 2023. Vol. 10 (1). P. F11-F19.
21. Веселовська Н.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Ковальова І.М. Теорія різання та інструмент: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2019. 297 с.
22. Веселовська Н.Р., Іванов М.І., Руткевич В.С., Шаргородський С.А. Гідравліка: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2019. 222 с.
23. Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А., Руткевич В.С., Моторна О.О. Практикум з дисципліни технологічні основи сільськогосподарського машинобудування: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2020. 355 с.
24. Веселовська Н.Р., Зелінська О.В. Моделі інтегрованих комп'ютерних систем управління технологічними процесами на основі сучасних інформаційних технологій: монографія. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 427с.
25. Матвійчук В.А., Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А. Математичне моделювання новітніх технологічних систем: монографія. Вінниця: ВНАУ. 2021. 193 с.
26. Veselovska N., Shargorodsky S., Rutkevych V., Iskovych- Lototsky R., Omiotek Z., Mamyrbaev O. and Zhunissova U. Analysis of the character of change of the profilogram of micro profile of the processed surface. *Mechatronic Systems II. Applications in Material Handling Processes and Robotics: Scientific monograph*. Routledge Taylor & Francis Group. London, New York. 2021. P. 165-174.

27. Weselowska N., Turych V., Rutkevych V., Ogorodnichuk G. Kisafa P., Yeraliyeva B. and Yusupova G. Investigation of interaction of a tool with a part in the process of deforming stretching with ultrasound. *Mechatronic Systems II. Applications in Material Handling Processes and Robotics: Scientific monograph*. Routledge Taylor & Francis Group. London, New York. 2021.. P. 175-184.
28. Veselovska N. R., Shargorodsky S.A., Larysa E. Nykyforova L.E, Zbigniew Omiotek, Imanbek Baglan, and Mergui Kozhamberdiyeva. Efficiency assessment functioning of vibration machines for biomass processing, *Biomass as Raw Material for Production of Biofuels and Chemicals: monograph*. Routledge Taylor & Francis Group. London, UK.2022. P. 53-60.
29. Веселовська Н.Р., Зелінська О.В., Іванчук Я.В. Загальні принципи побудови і дослідження детермінованих моделей вібраційних та віброударних машин з гідроімпульсним приводом. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018 . № 4 (91). С. 20–27.
30. Веселовська Н.Р., Руткевич В.С., Яремчук О.А. Розробка штаббового струшувача вібраційного типу. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. № 4 (91). С. 28–34.
31. Веселовська Н. Р., Малаков О.І., Бурлака С.А. Математичне моделювання механізму вивішування косарки-плющилки причіпної КПП-4.2. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2019. № 4 (107). С.5–10.
32. Веселовська Н. Р., Шаргородський С. А. Методика оцінки ефективності та надійності функціонування вібраційних машин. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2019. № 4 (107). С. 47–53.
33. Веселовська Н.Р., Зелінська О. В., Іванчук Я. В., Гнатюк О.Ф. Моделювання робочих режимів вібраційних та віброударних машин. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2019. № 1 (104). С. 56–64.

34. Веселовська Н.Р., Склярчук О.В. Обґрунтування основних параметрів подрібнювача гілокущільненого саду. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2019. № 2 (105). С. 4–10.
35. Веселовська Н.Р., Малаков О.І., Бурлака С.А. Експериментальні дослідження силового впливу на робочі органи і приводи зернозбиральних комбайнів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія : технічні науки*. 2019. № 2 (271). С. 37–43.

36. Веселовська Н. Р. Практична реалізація методики управління процесом механічної обробки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. № 1 (108). С. 91–102.
37. Веселовська Н.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Іванчук Я. В., Гнатюк О.Ф. Сучасні технології у вантажно-розвантажувальних роботах на мобільному автомобільному транспорті. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 4 (99). С. 59-66.
38. Veselovska N., Malakov O., Manzhos E., Hnatyuk O. Test planning of serviceability of flexible production systems equipment considering planning and monitoring of agricultural equipment. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. №3 (98). С. 65–75.
39. Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А., Ялина О.О., Брацлавець Б.С. Дослідження особливостей виявлення дефектів підшипників на основі вейвлет-аналізу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. № 4 (111). С. 5-13.
40. Iskovich-Lototskyu R. , Veselovska N. , Ivanchuk Y. , Hnatyuk O. Vibration research in mobile agricultural machines. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 1 (96). С. 28-34.
41. Веселовська Н.Р., Ялина О.О., Янішевський В.Ю. Розробка алгоритму діагностування дефектів зубозабезпечення у редукторах самохідних сільськогосподарських машин. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. № 3 (110). С. 16-23.
42. Веселовська Н. Р., Терещенко О. П., Малаков О. І. Процес зрізу рослинності різальними апаратами сегментно-пальцевих косарок. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №2 (12). С.19-24.
43. Веселовська Н.Р., Брацлавець Б.С., Ялина О.О., Іскович-Лотоцький Р.Д. Розробка конструкції піролізної установки для утилізації відходів з направленим розподіленням теплових потоків. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2021. № 3 (114). С. 41–48.

44. Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р., Гокарчук О.А., Склярчук О.В. Розробка і обґрунтування конструкції вузлів піролізної установки для утилізації медичних відходів. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2021. № 3 (114). С. 59–67.
45. Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р. Гнатюк О.Ф. Перспективний віброударний пристрій для розвантаження транспортних засобів. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021 . №3 (102). С.43–51.
46. Я. Іванчук, Р. Іскович-Лотоцький, І. Севостьянов, Н. Веселовська та ін. Математичне моделювання робочих процесів в керуючій апаратурі гідроімпульсного привода. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2021. Vol. 5. № 2. P. 47-56.
47. Веселовська Н. Р., Гайдамак О. Л., Карпійчук М. Ф., Кучеренко Ю. С. Процеси та технології холодного газодинамічного наплення виробів сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 2 (113). С. 4-14.
48. Іванчук Я. В., Іскович-Лотоцький Р.Д., Севостьянов І.В., Веселовська Н.Р., Манджілевський О.Д. Математична модель динаміки дисперсного середовища в процесах формоутворення заготовок порошкової металургії. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні: матеріали міжнар.наук.-техн.конф., 16-18 березня. 2021 р. м. Дніпро, 2021. С. 70-75.*
49. Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А., Ящук Є.В, Гречко Р.О. Експериментальне дослідження роботи гідростатичної трансмісії типу ГСТ-90. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2022. № 1 (116). С. 58-64.
50. Веселовська Н.Р. Розробка алгоритмічного забезпечення для практичної реалізації випробувально-діагностичного комплексу верстатів з ЧПК. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. № 1 (104) . С. 71-80.
51. Веселовська Н.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Брацлавець Б.С., Шевченко В.В. Підвищення ефективності зондування ґрунтів на установках з гідроімпульсним приводом. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. № 2 (105) . С. 52-64.



52. Веселовська Н.Р., Паладійчук Б.Ю., Телятник І.А. Дослідження мікротвердості поверхні циліндричної деталі при деформаційному протягуванні. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2022. № 3(118). С. 31-42.
53. Веселовська Н.Р., Богатюк М.О. Вплив легуючих елементів на електропровідність та механічні властивості нещодавно виготовлених сплавів на основі Al, отриманих традиційним процесом лиття . *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. № 3 (106). С. 49-53.
54. Веселовська Н.Р., Романов В.В. Випробувально-діагностичний комплекс для обладнання теплиць. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. № 3 (106) . С. 36-48.
55. Veselovska N. The latest trends in the creation of impact-vibration equipment with different types of drives for soil probing. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2022. № 4 (119). С.77-89.
56. Веселовська Н., Бурлака С. Методи та прийому комбінування робочих органів комплексних ґрунтообробних машин. *Вісник Хмельницького національного університету ,серія: технічні науки*. 2023. № 1 (317). С.42-47.
57. Кюрчев В.М., Веселовська Н.Р, Бурлака С.А. Підвищення тягово-зчіпних характеристик енергетичного засобу при проведенні комбінованих операцій обробітку ґрунту. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2023. № 1 (120). С.48-53.
58. Веселовська Н.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Залізняк Р.О., Шевченко В.В. Підвищення продуктивності процесу занурення паль в садках та виноградниках шляхом застосування гідроструменевої технології. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2023. № 1 (120). С.64-75.

59. Чухрай В., Кулинич І. Обґрунтування умов наживлення різьбових деталей: Машинознавство, 2002. № 9. С.42–45.
60. Веселовська Н. Р., Руткевич В. С., Шаргородський С. А. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування. Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2019. 283 с.
61. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С., Мартишко В.М., Гуменюк Ю.О. Сільськогосподарські машини: Навчальний посібник. Київ : «Агроосвіта», 2017. 180 с.
62. Швець Л.В., Паладійчук Ю.Б., Труханська О.О. Технічний сервіс в АПК. Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2019. 648 с.