МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра тракторів та сільськогосподарських машин,
експлуатації і технічного сервісу

КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ З ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ

курс лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Агроінженерія» спеціальності Н7 «Агроінженерія» денної і заочної форм здобуття вищої освіти

МИКОЛАЇВ
2026

УДК 621.01:631.3(075.8)
М30

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від «20» жовтня 2026 р., протокол №2.

Укладач:

Д. Д. Марченко – канд. тех. наук, доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Г. О. Іванов – канд. тех. наук, професор кафедри загальнотехнічних дисциплін, Миколаївський національний аграрний університет.

В. В. Аулін – докт. тех. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет.

© Миколаївський національний аграрний університет, 2026

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП……..... 4

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ МАШИН…….. 7

2. ТОЧНІСТЬ СКЛАДАННЯ ТА СПОСОБИ ЇЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ…….. 9

3. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ.. 11

4. ПІДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ ДО СКЛАДАННЯ……... 16

5. КЛАСИФІКАЦІЯ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ ПІД ЧАС СКЛАДАННЯ... 19

6. СКЛАДАННЯ НЕРУХОМИХ РОЗНІМНИХ З'ЄДНАНЬ…… 21

7. СКЛАДАННЯ НЕРУХОМИХ НЕРОЗНІМНИХ З'ЄДНАНЬ……... 26

8. СКЛАДАННЯ ТИПОВИХ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ……... 33

9. РОБОТИ ПІСЛЯ ЗАВЕРШЕННЯ СКЛАДАННЯ……. 43

10. ОРГАНІЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ…… 46

11. МЕХАНІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ.. 48

12. АНАЛІЗ І ВІДПРАЦЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ…….. 51

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……..... 54

ВСТУП

Конструювання машин та обладнання з технічного сервісу є важливою складовою професійної підготовки фахівців з агроінженерії, спрямованою на формування теоретичних знань і практичних навичок розроблення, удосконалення та обґрунтування конструкцій технічних засобів, призначених для діагностування, технічного обслуговування, ремонту й відновлення працездатності сільськогосподарських машин та обладнання. Раціональне конструювання засобів технічного сервісу забезпечує підвищення ефективності ремонтно-обслуговувальних процесів, скорочення трудомісткості технологічних операцій, поліпшення умов праці та зменшення експлуатаційних витрат.

Особливого значення під час конструювання машин та обладнання з технічного сервісу набуває врахування умов експлуатації сільськогосподарської техніки, характеру її навантаження, конструктивних особливостей вузлів і агрегатів, видів та закономірностей зношування деталей, вимог до точності відновлення робочих поверхонь, технологічності конструкцій, ремонтопридатності, надійності та безпеки виконання ремонтно-обслуговувальних робіт. Розроблення відповідного обладнання потребує комплексного застосування знань із теоретичної механіки, опору матеріалів, деталей машин, матеріалознавства, технології машинобудування, гідравліки, електротехніки та організації технічного сервісу.

Матеріал курсу формує взаємопов'язану систему знань щодо основних принципів і методів конструювання машин та обладнання з технічного сервісу, вибору раціональних конструктивно-технологічних схем, визначення експлуатаційних і технологічних параметрів, виконання інженерних розрахунків, обґрунтування конструктивних рішень та оцінювання працездатності розроблених технічних засобів. Особлива увага приділяється конструюванню пристосувань для розбирання та складання машин, обладнання для очищення й миття деталей, підйомно-транспортних механізмів, засобів діагностування, технологічного оснащення для відновлення деталей, а також випробувального обладнання для перевірки технічного стану відремонтованих агрегатів.

Під час вивчення дисципліни необхідно розрізняти функціональне призначення технічного засобу, його конструктивне виконання та технологічні можливості. Обґрунтований вибір конструкції повинен базуватися на аналізі виробничих потреб, умов використання, силових і кінематичних характеристик, міцності та жорсткості елементів, енергоефективності, економічної доцільності й відповідності вимогам безпеки. При цьому застосування типових конструктивних рішень, уніфікованих вузлів і стандартних деталей необхідно поєднувати з пошуком технічно обґрунтованих способів удосконалення ремонтно-обслуговувального обладнання.

Метою викладання дисципліни «Конструювання машин та обладнання з технічного сервісу» є формування у здобувачів вищої освіти системи теоретичних знань і практичних умінь щодо розроблення, проєктування, розрахунку та конструювання машин, механізмів, пристроїв і технологічного обладнання, які застосовуються у процесах технічного обслуговування, діагностування, ремонту та відновлення сільськогосподарської техніки, набуття навичок вибору й обґрунтування конструктивних параметрів, забезпечення міцності, надійності, технологічності, ремонтопридатності та безпечної експлуатації технічних засобів із метою підвищення ефективності функціонування систем технічного сервісу агропромислового виробництва.

Вивчивши матеріал, студент може вважати, що він його засвоїв, якщо розуміє основні принципи конструювання машин та обладнання з технічного сервісу, знає класифікацію, призначення, будову та особливості роботи основних видів ремонтно-обслуговувального обладнання, володіє методами вибору конструктивних схем і визначення технічних характеристик машин та механізмів, здатний виконувати кінематичні, силові, міцнісні й енергетичні розрахунки, обґрунтовувати параметри робочих органів і складальних одиниць, розробляти конструкторську документацію, оцінювати технологічність, надійність та економічну ефективність запропонованих технічних рішень, а також застосовувати сучасні методи інженерного проєктування для вдосконалення матеріально-технічної бази підприємств технічного сервісу.

Основною формою вивчення дисципліни є самостійна робота здобувачів вищої освіти з навчальними посібниками, нормативно-технічною документацією, довідковою літературою, каталогами машин та обладнання, методичними

матеріалами й сучасними засобами інженерного проєктування. Крім того, відповідно до навчальної програми проводяться лекційні та практичні заняття, під час яких здобувачі опановують теоретичні основи конструювання ремонтно-обслуговувального обладнання, аналізують конструкції наявних технічних засобів, виконують розрахунки основних вузлів і механізмів, розробляють конструктивно-технологічні схеми та обґрунтовують технічні рішення щодо вдосконалення обладнання для технічного сервісу сільськогосподарських машин. Результати засвоєння навчального матеріалу перевіряються шляхом поточного контролю, захисту практичних робіт, виконання самостійних завдань та складання підсумкового іспиту.

Кредитно-трансферна схема вивчення дисципліни

«Конструювання машин та обладнання з технічного сервісу» – курс лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Агроінженерія» спеціальності Н7 «Агроінженерія» денної та заочної форм здобуття вищої освіти.

№ п/п	Найменування розподілу	К-ть годин/кредитів			
		Лекції	ЛЗ (ПЗ)	СР	Всього
8-й семестр					
1	Модуль 1. Теоретичні основи конструювання машин та обладнання з технічного сервісу	16	16	16	48/1,6
2	Модуль 2. Проєктування, розрахунок та обґрунтування конструктивних параметрів обладнання з технічного сервісу	14	14	14	42/1,4
Всього за 3-й семестр		30	30	30	90 (3,0)

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ МАШИН

1.1. Машина як об'єкт складального виробництва

Машинобудівне підприємство виготовляє різноманітні технічні вироби, призначені для виконання певних функцій. Машиною називають технічний об'єкт, у якому доцільно організований рух складових частин забезпечує перетворення енергії, матеріалів або здійснення механічної роботи. Сучасна машина складається з багатьох взаємопов'язаних елементів, і її працездатність визначається не лише характеристиками окремих компонентів, а й правильністю їхнього взаємного розташування та з'єднання.

Найпростішою конструктивною одиницею є деталь. Її виготовляють із матеріалу одного найменування і марки без складальних операцій. До деталей належать, наприклад, вал, корпус, шестерня чи кріпильний елемент. Складальна одиниця об'єднує кілька деталей, які з'єднують технологічними операціями на підприємстві. Якщо такий вузол можна виготовити окремо, перевірити й надалі використовувати під час загального складання, він становить самостійний об'єкт вузлового технологічного процесу.

Агрегатом зазвичай називають функціонально завершену складальну одиницю, для якої передбачено можливість окремого виготовлення, контролювання й заміни. На відміну від простої деталі агрегат має сукупність внутрішніх зв'язків між елементами. У практиці машинобудування виділяють також комплекси та комплекти. Комплекс об'єднує кілька специфікованих виробів, які не з'єднані складальними операціями на заводі, але спільно виконують взаємопов'язані функції. Комплект є набором виробів допоміжного призначення, наприклад запасних частин, інструмента або вимірювального приладдя.

За наявністю складових частин вироби поділяють на неспецифіковані та специфіковані. Перші складаються з одного конструктивного елемента – деталі. До другої групи належать складальні одиниці, комплекси й комплекти. Такий поділ має практичне значення для підготовки специфікацій, визначення маршрутів виробництва, організації комплектування і призначення обсягу контрольних

операцій. У технологічній документації важливо однозначно відрізняти конструктивну ієрархію виробу від послідовності його складання.

Складанням називають утворення рознімних або нерознімних з'єднань деталей та складальних одиниць у встановленій послідовності. Вузлове складання виконують стосовно окремої частини виробу, а загальне – стосовно машини як завершеного цілого. Чим більше вузлів можна змонтувати й проконтролювати незалежно, тим простіше організувати паралельне виконання робіт, скоротити виробничий цикл і локалізувати можливі дефекти.

1.2. Елементи виробничого й технологічного процесів

Виробничий процес охоплює всі дії персоналу, обладнання та допоміжних систем, потрібні для виготовлення або ремонту виробу. До його складу входять заготівельні, обробні, транспортні, контрольні, складальні та інші роботи. Технологічний процес є частиною виробничого процесу, безпосередньо пов'язаною зі зміною стану предмета праці або визначенням його характеристик. Для машинобудування це можуть бути зміни геометрії, властивостей матеріалу, стану поверхонь і взаємного розташування деталей.

Складальний технологічний процес поділяють на операції, переходи та дрібніші елементи. Операція – завершена частина процесу, яку виконують на одному робочому місці. Складальний перехід характеризується певною сукупністю дій, незмінністю використовуваних засобів та об'єкта впливу. Установом називають частину операції, здійснювану без зміни закріплення складаного виробу; позиція визначає зафіксоване положення виробу відносно обладнання або інструмента.

Під час операції можуть чергуватися робочі й допоміжні ходи. Робочий хід супроводжується необхідною зміною параметрів деталі або з'єднання, наприклад переміщенням деталі під час запресовування. Допоміжні дії створюють умови для основного ходу: подавання деталі, установлення інструмента, переміщення пристрою, розкриття затискача. Прийомом називають логічно завершений комплекс рухів працівника, об'єднаних спільною метою. Така деталізація дає змогу раціонально нормувати час і виявляти резерви продуктивності.

Складальні виробництва можуть бути одиничними, серійними або масовими. В одиничному і дрібносерійному виробництві номенклатура широка, часто застосовують універсальні засоби оснащення і кваліфіковану ручну працю. У серійному виробництві підвищується повторюваність операцій, виділяють окремі ділянки вузлового та загального складання, зменшують частку припасувальних операцій. Масове виробництво ґрунтується на стабільній номенклатурі, детальному розподілі операцій та узгодженні їхньої тривалості із заданим тактом випуску.

Типова складальна операція включає доставку та орієнтування деталей, установлення на складальну базу, з'єднання, закріплення, регулювання і перевірку. Послідовність контролювання та знімання готового вузла визначається конкретною технологією. За функціональним призначенням роботи поділяють на підготовчі, припасувальні, власне складальні, регулювальні, контрольні, заправні та демонтажні. Під час потокового складання прагнуть забезпечити рівність або кратність оперативного часу окремих позицій такту виробничої лінії.

2. ТОЧНІСТЬ СКЛАДАННЯ ТА СПОСОБИ ЇЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1. Вплив точності складання на надійність машин

Точність складання характеризує відповідність фактичного розташування деталей, осей, поверхонь і механізмів тим положенням, які передбачені конструкторською документацією. Вона є однією з головних передумов нормальної роботи машини. Потрібна точність установлюється на етапі проєктування відповідно до функцій виробу, умов навантаження, швидкості руху, вимог до герметичності, плавності ходу та інших експлуатаційних показників.

Під час контролювання оцінюють взаємне положення осей і робочих поверхонь, відстані між елементами, кутові відхилення, характер відносного руху та геометричну точність з'єднань. Похибка складання – відхилення фактичного стану від установленого. Її можуть спричиняти неточність розмірів і форми деталей, дефекти оброблених поверхонь, порушення базування, перекіс під час фіксування, помилки регулювання або недостатня жорсткість складального оснащення.

Навіть незначне відхилення в одному з відповідальних спряжень здатне змінити навантаження на сусідні компоненти. Наприклад, порушення співвісності опор вала призводить до додаткових згинальних напружень, нагрівання підшипників і передчасного зношування. Недостатня площа контакту стикових поверхонь погіршує теплопередачу, знижує жорсткість та інколи порушує герметичність. Тому параметри точності деталей і з'єднань необхідно розглядати як взаємозалежні.

Якість машини є сукупністю властивостей, які визначають здатність виконувати задані функції. До відповідних показників належать продуктивність, економічність, коефіцієнт корисної дії, потужність, технологічна точність і рівень автоматизації. Важливе місце посідає надійність – здатність зберігати придатний для роботи стан у часі та за встановлених умов. Її аналізують через безвідмовність, довговічність, ресурс і напрацювання до відмови.

Безвідмовність відображає здатність безперервно працювати протягом певного часу або напрацювання без втрати функцій. Довговічність пов'язана зі збереженням працездатності до досягнення граничного стану за належного технічного обслуговування та ремонту. Ресурс вимірюють напрацюванням до граничного стану, тоді як календарний строк служби відображає інший часовий аспект. Точність складання не можна оцінювати ізольовано: вона впливає на всі ці характеристики через розподіл навантажень, тертя, вібрацію й тепловий режим.

2.2. Методи забезпечення потрібної точності

Вибір методу складання починають із розмірного аналізу виробу. Розмірним ланцюгом описують сукупність лінійних або кутових величин, які безпосередньо визначають замикальну ланку: зазор, натяг, взаємне положення поверхонь або інший контрольований параметр. Під час аналізу перевіряють, чи забезпечують призначені допуски деталей потрібний результат та які технологічні заходи необхідні для компенсації накопичених відхилень.

До основних завдань розмірного аналізу належать визначення номінальних значень і допусків, вибір способу досягнення точності, дослідження конструктивних зв'язків між складальними одиницями та встановлення раціонального порядку комплектування. Ці питання бажано вирішувати ще під час конструювання: зміна

посадок і баз після запуску виробництва часто потребує значних витрат на перероблення креслеників, оснащення і технологічних маршрутів.

Повну взаємозамінність забезпечують виготовленням усіх деталей у межах таких допусків, за яких довільна придатна комбінація дає необхідну точність складання без додаткового добору. Метод добре підходить для масового й великосерійного випуску, забезпечує простоту монтажу та зручність ремонту. Його обмеження полягає у підвищених вимогах до точності механічної обробки, а отже й у можливому збільшенні собівартості виготовлення окремих деталей.

Неповну взаємозамінність застосовують тоді, коли економічно доцільно розширити технологічні допуски і забезпечити необхідну точність додатковими операціями. Серед практичних прийомів виділяють селективне комплектування, регулювання та припасування. За групового добору партію спряжуваних деталей сортують на розмірні групи й утворюють пари з узгодженими параметрами зазору або натягу. Недоліком є необхідність зберігання запасу деталей різних груп.

Регулювання ґрунтується на введенні до розмірного ланцюга компенсувальної ланки, наприклад набору прокладок, регулювальної гайки чи змінного кільця. Перевага полягає у можливості відновити точність не лише під час монтажу, а й надалі в експлуатації. Припасування означає індивідуальне доопрацювання однієї з деталей до досягнення потрібної посадки або взаємного положення. Його доцільніше застосовувати в одиничному й дрібносерійному виробництві, де вартість спеціального оснащення може бути невиправданою.

3. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ

3.1. Вихідні принципи технологічного проєктування

Технологічний процес складання проєктують з урахуванням конструкції виробу, річної програми випуску, наявного обладнання, рівня механізації, кваліфікації персоналу та допустимої собівартості. Важливо забезпечити одночасно технічну правильність і виробничу доцільність. Процес повинен гарантувати виконання креслеників та технічних вимог, не містити зайвих транспортувань і

повторного базування та дозволяти контролювати відповідальні параметри на раціональних етапах.

Першочергово оцінюють технологічність конструкції. Зручна для складання машина має доступні місця кріплення й контролю, мінімальну потребу в припасувальних роботах, чітко визначені бази, взаємозамінні деталі та вузли, які за можливості можна монтувати незалежно. Скорочення номенклатури оригінальних деталей і застосування уніфікованих елементів також позитивно впливають на техніко-економічні показники. Невдала конструкція може зробити навіть добре спроєктований складальний маршрут надмірно трудомістким.

Точність складання розглядають через замикальні ланки розмірних ланцюгів. Для кожного відповідального спряження встановлюють допустимі відхилення й спосіб їх забезпечення. Розрахункову конструктивну точність зіставляють із реальною технологічною, на яку впливають стан обладнання, оснащення, точність попередньої обробки та методи монтажу. Якщо технологічні похибки не вкладаються в межі допуску, вводять регулювання, добір або змінюють послідовність операцій.

Рівень автоматизації та механізації можна характеризувати відношенням відповідних витрат часу до штучного часу складання. У навчальному джерелі наведено співвідношення $\alpha_а = Т_{ма} / Т_{шт}$ і $\alpha_м = (Т_{ма} + Т_{мр}) / Т_{шт}$, де $Т_{ма}$ – машинно-автоматичний час, $Т_{мр}$ – машинно-ручний час, $Т_{шт}$ – штучний час. Ці показники описують структуру трудових витрат, але самі по собі не замінюють оцінювання продуктивності, вартості, надійності обладнання й вимог до контролю.

Вирішальне значення має раціональний поділ процесу на операції. Диференціація сприяє спеціалізації робочих місць, полегшує механізацію та дозволяє узгодити тривалість операцій із тактом лінії. Паралельне складання незалежних вузлів скорочує календарний цикл. Прямоточність зменшує відстань переміщення деталей та виробів, безперервність усуває невиправдані перерви, а ритмічність забезпечує рівномірний випуск. Усталеним технологічним процесом вважають такий, що зберігає необхідні показники точності та якості в часі.

3.2. Дані, необхідні для складання технології

Проєктування неможливе без повного комплекту конструкторської документації. До нього належать складальні кресленики, кресленики загального вигляду, специфікації, вимоги до матеріалів, допусків, посадок та шорсткості. Окремо використовують технічні умови на приймання і випробування, відомості про програму випуску, стан виробничих потужностей, наявність верстатів, пресів, монтажних пристроїв та вимірювального оснащення.

Складальні кресленики повинні містити достатню кількість проєкцій, розрізів і перерізів, щоб можна було визначити відносне положення деталей та спосіб їхнього з'єднання. На креслеників загального вигляду виявляють розміри, що утворюють складальні розмірні ланцюги, а також особливі вимоги до монтажу, взаємної орієнтації, герметичності й регулювання. Не менш важливі правила доступу до кріпильних елементів та можливість перевірки параметрів після закриття вузла.

Виробнича програма має відображати типи виробів, кількість одиниць за певний період, масу й габарити, бажану послідовність випуску та інші обмеження. Специфікація дозволяє визначити номенклатуру деталей, кількість кожного елемента і зв'язки між рівнями конструкції. Для практичної роботи бажано оформити таблицю вихідних даних, де окремо зазначити обов'язкові параметри, джерело їх одержання та відповідальність за перевірку.

3.3. Розроблення схеми та маршруту складання

Початковим етапом є побудова структурно-технологічної схеми, яка відображає склад виробу і послідовність введення деталей до вузлів. Для цього встановлюють базовий елемент і визначають, які підвузли першого, другого та наступних рівнів можна формувати окремо. Базовою повинна бути деталь або складальна одиниця, що забезпечує стійке й точне розміщення інших частин у процесі монтажу.

На схемі кожну деталь чи вузол можна показати умовним прямокутником із назвою, позначенням та кількістю. Порядок приєднання відображають зв'язками від базового елемента до готової складальної одиниці. Для практичного застосування доцільно додавати короткі технологічні вказівки: «запресувати», «закріпити»,

«змастити», «просвердлити в складеному стані», «відрегулювати». Така форма допомагає виявити суперечливу послідовність, дублювання операцій і місця, де потрібні спеціальні інструменти.

Після побудови схеми розробляють маршрутний технологічний процес: визначають операції, їхню черговість, устаткування, оснащення, основні переходи й контрольні дії. Бажано групувати роботи таким чином, щоб окрема операція мала завершений технологічний результат і виконувалася на відповідно обладнаному робочому місці. У серійному виробництві додатково аналізують можливість суміщення переходів, паралельного виконання й скорочення міжопераційних запасів.

У джерелі розглянуто вузол із валом-шестернею, підшипниками, втулкою, шайбою, кришками, прокладками та кріпленням. Технологія передбачає окреме складання вузла вала, підготовку кришки й подальше загальне складання у корпусі. Це показовий приклад багаторівневої організації: під час окремого монтажу вузлів можна заздалегідь перевірити посадки й правильність їх функціонування, а під час загального складання скоротити кількість ручних операцій.

Після розроблення маршруту бажано здійснити пробне складання й, за потреби, контрольне розбирання дослідного зразка. Така перевірка дозволяє уточнити порядок монтажу, фактичну доступність інструмента, зручність базування та необхідність технологічних приміток. Остаточну документацію доповнюють операційними й контрольними картами, схемами, ескізами та нормативами часу. Нормування складальних робіт виконують за характером прийомів, обладнанням і прийнятою організацією виробництва.

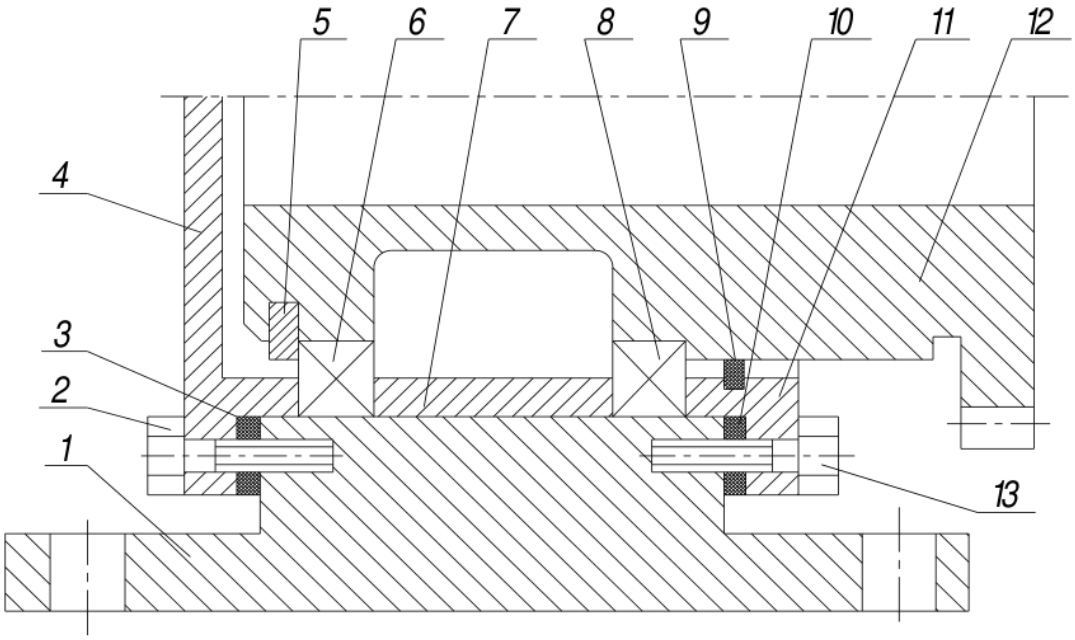


Рисунок 1 – Поздовжній розріз зразкового складального вузла.



Рисунок 2 – Послідовність формування підвузлів та загального складання.

Таблиця 3.1 – Приклад маршрутної карти складання

№	Операція	Зміст роботи	Оснащення
05	Складання вала	Закріпити вал 12; установити підшипник 8; втулку 7; підшипник 6; шайбу 5.	Пристрій, прес, оправки

10	Складання кришки	Установити кришку 11; змонтувати кільце 9.	Монтажне оснащення
15	Загальне складання	Установити корпус, прокладки, кришки, складений вал та кріплення.	Пристрій, гайковерт
20К	Контроль	Перевірити плавність обертання і положення вала.	Контрольний інструмент

4. ПІДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ ДО СКЛАДАННЯ

4.1. Слюсарно-припасувальні операції

Перед початком складання необхідно перевірити комплектність, стан поверхонь, точність розмірів і придатність деталей до подальшого монтажу. У сучасному виробництві прагнуть використовувати повну або групову взаємозамінність, яка дає можливість відмовитися від ручного припасування. Проте за одиничного чи дрібносерійного випуску індивідуальне доопрацювання окремих поверхонь часто залишається виправданим. Припасуванням називають додаткове знімання матеріалу або коригування форми спряжуваних деталей безпосередньо для забезпечення заданої посадки, точності контакту й працездатності з'єднання.

До типових слюсарно-припасувальних робіт належать обпилювання, зачищення, притирання, полірування, шабрування, свердління та розвертання отворів за місцем, підрізання торців і гнуття. Вибір операції залежить від матеріалу, форми поверхні, припуску й вимог до точності. Необхідно враховувати, що неправильно організоване ручне припасування може спричинити появу неконтрольованих відхилень і збільшити трудомісткість. Тому його бажано замінювати механізованими методами або конструктивними рішеннями, які забезпечують взаємозамінність.

Обпилювання застосовують для коригування площин, пазів, виступів, клинів і складних контурів. Воно може бути грубим або чистовим. Навчальний матеріал

наводить припуск близько 0,2–0,5 мм для грубого обпилювання і менш як 0,2 мм для чистового. Як робочий інструмент використовують напилки, абразивні бруски або механізовані головки. При серійному повторенні однорідних операцій доцільно використовувати опилювально-шліфувальні установки, стрічкові верстати та пристрої з гнучким валом.

Притирання забезпечує підвищення точності спряжуваних поверхонь та поліпшення їхнього контакту. Його застосовують, зокрема, для клапанів двигунів, запірної арматури та прецизійних пар паливної апаратури. Розрізняють взаємне притирання деталей і оброблення кожної деталі окремим притиром. Припуск зазвичай невеликий: у вихідному посібнику зазначено 0,01–0,02 мм. Обробку виконують абразивними матеріалами послідовно від більшої до меншої зернистості. Для контролювання рівномірності прилягання традиційно застосовують фарбувальну пробу.

Полірування використовують для зменшення мікронерівностей поверхонь після попередніх операцій. Як робочі органи застосовують повстяні, фетрові або шкіряні круги з тонкодисперсними абразивами. У першоджерелі наведено периферійну швидкість кола приблизно 30–50 м/с та припуск 0,005–0,007 мм. Полірування не варто розглядати як універсальний засіб виправлення значних геометричних похибок, оскільки його основна мета – поліпшення мікрогеометрії. У будь-якому випадку режими потрібно встановлювати з урахуванням матеріалу й технічного стану обладнання.

Шабрування – це фінішне локальне знімання тонких шарів матеріалу шабером для отримання потрібного контакту площин або поверхонь підшипникових вузлів. Нерівномірність контакту виявляють за фарбувальним відбитком, після чого усувають найбільш виступні ділянки. Метод є трудомістким, однак може бути необхідним при ремонті напрямних, площин рознімання й окремих підшипників ковзання. Для скорочення часу використовують механізовані шабери, а там, де дозволяють умови, шабрування замінюють фінішним фрезеруванням, шліфуванням чи іншими продуктивнішими методами.

Свердління в складеному стані потрібне тоді, коли попередня обробка отворів у кожній деталі окремо не забезпечує їхньої необхідної взаємної координатної

точності. Такий підхід застосовують для установних штифтів, окремих болтових з'єднань і ремонтних операцій. Розвертання використовують для уточнення діаметра, підвищення точності посадки або приведення отворів кількох деталей до спільної осі. Для точного напрямлення інструмента застосовують кондуктори. Під час оброблення необхідно запобігати забрудненню вузла стружкою й забезпечувати його надійну фіксацію.

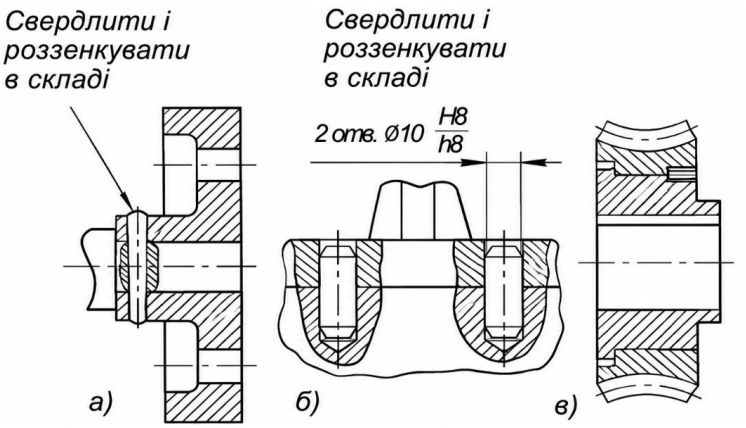


Рисунок 3 – Схеми спільного оброблення отворів під час складання.

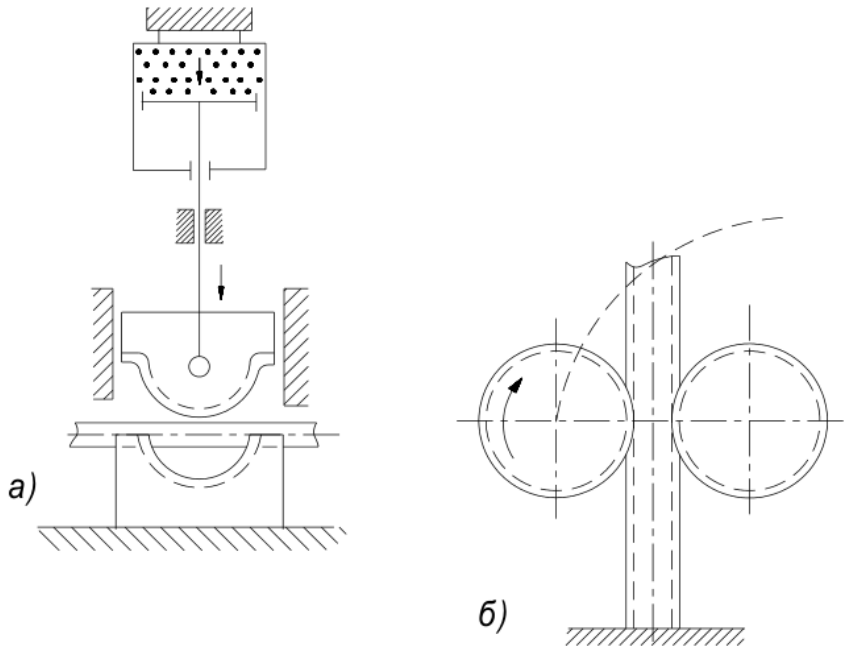


Рисунок 4 – Згинання труб штампом та роликовим обкатуванням.

Підрізання торців застосовують для створення рівних опорних поверхонь під гайки, шайби, фланці та інші елементи. Гнуття використовують переважно для формування трубопроводів необхідної конфігурації. У першоджерелі описано дві схеми гнуття труб: деформування в шаблонному штампі та обкатування навколо

ролика. Для уникнення складок, сплющування й місцевого розтягнення стінок використовують належні радіуси згину, спеціальне оснащення та, за потреби, внутрішню підтримку труби. Застосування механізованих трубозгинальних пристроїв забезпечує кращу відтворюваність геометрії.

4.2. Очищення та миття деталей

Чистота деталей – важлива умова довговічності складених машин. Частинки стружки, залишки абразиву, бруд, консерваційні речовини або продукти корозії можуть прискорити зношування, порушити роботу клапанів, підшипників і ущільнень. Тому підготовка передбачає видалення забруднень із зовнішніх поверхонь, каналів, різьб і внутрішніх порожнин. Особливу увагу приділяють замкнутим об'ємам, звідки забруднення здатні потрапляти до зони тертя вже після введення машини в експлуатацію.

Миття здійснюють у ваннах або спеціальних машинах тупикового й прохідного типу. Для крупносерійного виробництва придатні механізовані та багатокамерні комплекси з послідовними зонами попереднього миття, основного очищення, ополіскування й сушіння. Ультразвукові установки дають можливість видаляти частинки з важкодоступних місць, хоча їхній режим слід узгоджувати з матеріалом і конфігурацією деталей. Для контролю якості очищення застосовують візуальний огляд, перевірку каналів і вимоги технологічної документації.

Мийні рідини підбирають відповідно до характеру забруднення, сумісності з матеріалом деталей, екологічних обмежень і вимог охорони праці. Історично застосовували органічні розчинники та водно-лужні суміші; сучасна практика має додатково враховувати пожежну небезпеку, токсичність і необхідність локального очищення повітря. Після промивання деталі висушують, за потреби захищають від корозії та подають на складання в умовах, що виключають повторне забруднення.

5. КЛАСИФІКАЦІЯ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ ПІД ЧАС СКЛАДАННЯ

Складання машини фактично полягає у послідовному формуванні різноманітних з'єднань. За можливістю відносного руху деталей вони поділяються на

нерухомі й рухомі, а за можливістю демонтажу без руйнування – на рознімні та нерознімні. Ці дві ознаки утворюють чотири основні групи, кожна з яких висуває власні вимоги до точності базування, сил монтажу, контрольованих параметрів і технологічного оснащення.

До нерухомих рознімних з'єднань належать різьбові, шпонкові, шліцьові та окремі конічні спряження. Їх можна розібрати, зберігши функціональну придатність основних деталей. Нерухомі нерознімні спряження утворюють запресуванням із натягом, клепанням, зварюванням, паянням, склеюванням або розвальцьовуванням. Демонтаж часто супроводжується руйнуванням з'єднувального елемента чи пошкодженням однієї з деталей, тому порядок ремонту необхідно враховувати ще під час проєктування.

Рухомі рознімні з'єднання забезпечують визначену відносну рухливість: обертання валів у підшипниках, роботу зубчастих та ланцюгових передач, переміщення напрямними. Для рухомих нерознімних спряжень характерно, що необхідна рухливість зберігається всередині конструкції, але сам вузол конструктивно не передбачає звичайного розбирання без пошкодження. Вибір групи з'єднання залежить від функції, навантаження, вимог до герметичності, періодичності обслуговування й необхідного ресурсу.

Поверхні деталей за функцією поділяють на спряжувані та неспряжувані. Серед спряжуваних виділяють основні й допоміжні бази, які встановлюють взаємне положення елементів, а також функціональні поверхні, безпосередньо задіяні під час передавання руху або зусилля. Наприклад, опорна шийка вала і відповідна поверхня підшипника утворюють базувальне спряження; робоча поверхня зуба шестерні є функціональною поверхнею. Розмежування цих функцій необхідне для коректного призначення допусків і складання маршруту контролю.

Базовою деталлю або базовою складальною одиницею називають елемент, який у процесі монтажу визначає розташування інших частин. Саме з нього зазвичай доцільно починати складання. Під час розроблення технології важливо передбачити, які поверхні сприйматимуть установні сили, як забезпечуватимуть точність і як виконуватимуть перевірку після приєднання інших компонентів. У складних

механізмах роль бази може змінюватися між етапами, однак це повинно бути прямо обґрунтовано маршрутною документацією.

6. СКЛАДАННЯ НЕРУХОМИХ РОЗНІМНИХ З'ЄДНАНЬ

6.1. Різьбові з'єднання

Різьбові спряження широко застосовують у машинобудуванні завдяки простоті конструкції, придатності до повторного монтажу та можливості керувати силою притискання деталей. У першоджерелі наведено орієнтовну частку різьбових з'єднань серед усіх з'єднань машин на рівні 15–25 %, а їхньої трудомісткості – 25–35 % складальних робіт. Конкретні значення залежать від типу виробництва й конструкції машини. Найважливішими умовами якості є правильний стан різьби, належна геометрія опорних поверхонь та виконання регламентованого затягування.

6.1.1. Установлення шпильок

Шпильки використовують тоді, коли кріпильне з'єднання повинно забезпечувати повторне приєднання деталей без інтенсивного зношування різьби в корпусі. Шпильку фіксують у різьбовому гнізді за допомогою натягу у витках, конструктивного буртика, радіального натягу за середнім діаметром різьби або спеціальних різьбових вставок. Кожний спосіб має власні умови застосування, що залежать від матеріалу корпусу, діаметра різьби, частоти розбирання та допустимих напружень.

Для забезпечення надійності шпилька не повинна вивертатися під час знімання гайки. Одночасно потрібно контролювати перпендикулярність осі шпильки до опорної площини деталі. Перекіс створює додаткові згинальні напруження, погіршує прилягання елементів і підвищує ризик руйнування кріплення. Для установлення застосовують шпильковерти, гайковерти, спеціальні втулки та пристрої, що захоплюють гладку або різьбову ділянку. У чутливих матеріалах особливо важливо не перевищувати допустиме монтажне зусилля.

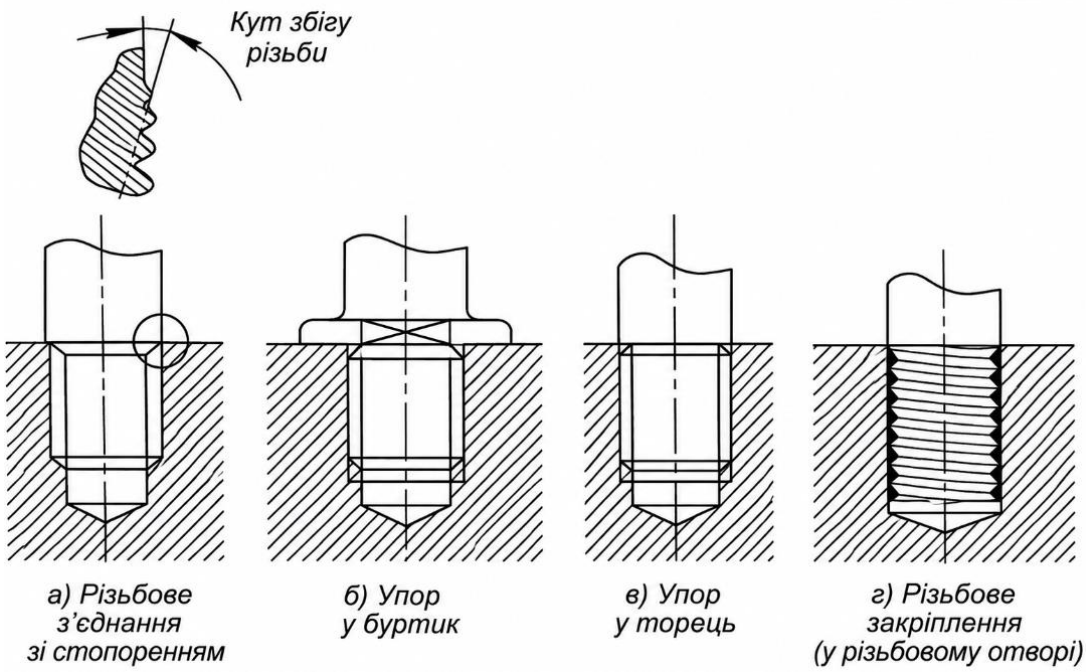


Рисунок 5 – Варіанти фіксування шпильок.

6.1.2. Монтаж болтових і гвинтових спряжень

Болтові й гвинтові з'єднання можуть бути виконані без спеціально заданого попереднього натягу або зі встановленою силою затягування. Для відповідальних вузлів другий варіант є поширенішим. Попередній натяг підтримує щільне прилягання деталей і зменшує ймовірність розкриття стику при змінному навантаженні. Якщо зусилля недостатнє, можуть виникати мікропереміщення, ударні навантаження й втомне пошкодження кріпильних елементів.

Потрібну силу попереднього затягування визначають розрахунком або за технічною документацією. На практиці контролюють момент затягування каліброваним динамометричним ключем, застосовують пристрої із сигналізацією або автоматичним відключенням. Слід враховувати, що один і той самий момент може відповідати різним осьовим зусиллям залежно від тертя у різьбі й під опорною поверхнею. Тому конструктивні вимоги мають зазначати тип кріплення, стан поверхонь, можливість використання мастила й потрібну методику контролювання.

За великої кількості кріпильних елементів затягування виконують у визначеній послідовності й декілька прийомів. Рекомендовано поступово збільшувати зусилля: спочатку попередній рівень, потім проміжний і завершальний. Для симетрично розміщених болтів часто застосовують перехресну схему. Це зменшує ймовірність

перекошування кришки або фланця. Під час розбирання бажано використовувати зворотну послідовність послаблення, особливо для довгих чи тонких деталей.

Для запобігання самовідгвинчуванню використовують конструктивні та фрикційні способи стопоріння: контргайки, шплінти, спеціальні шайби, стопорні пластини, фіксатори різьби та інші засоби відповідно до вимог виробу. Вибираючи спосіб, беруть до уваги циклічність навантажень, вібрацію, температуру й потребу в демонтажі. У масовому виробництві трудомісткість істотно знижують електричні й пневматичні гайковерти, багатошпиндельні пристрої та автоматизовані системи контролю затягування.

6.2. Шпонкові з'єднання

Шпонкові з'єднання застосовують для передавання обертального моменту між валом та установленими на ньому колесами, шківами й іншими деталями. За геометрією розрізняють призматичні, сегментні та клинові шпонки. Перед складанням перевіряють чистоту паза, стан його кромок, відповідність шпонки розмірам і посадкам. Надмірний натяг або перекіс шпонки може призвести до місцевого пластичного деформування, пошкодження паза й порушення співвісності деталей.

Під час складання клинового з'єднання потрібно враховувати можливе зміщення осі охоплювальної деталі через монтажні зазори та клинову дію. Для призматичних і сегментних шпонок передбачають відповідну посадку в пазу вала і необхідний зазор із дном паза маточини. Відповідальні великі шпонки краще встановлювати пресом або контрольованим пристроєм. Ударне забивання молотком небажане, оскільки може спричиняти заклинювання, задири та локальні деформації.

У першоджерелі також розглянуто безшпонкове передавання крутного моменту через пружнопластичну втулку, стиснену осьовим зусиллям. Деформований елемент створює тиск між валом і маточиною; потрібний обертальний момент забезпечують сили тертя. Для розрахунку такого спряження необхідно визначити геометрію контакту, коефіцієнт тертя та допустиме навантаження. У вихідній схемі наведено формулу передаваного моменту $M = (\pi/2)\cdot q\cdot l\cdot d^2\cdot f$, де q – питомий контактний тиск, l – довжина зони контакту, d – відповідний діаметр, f – коефіцієнт

тертя. При використанні формули слід звірити прийняті одиниці та геометричне трактування з конкретним розрахунком.

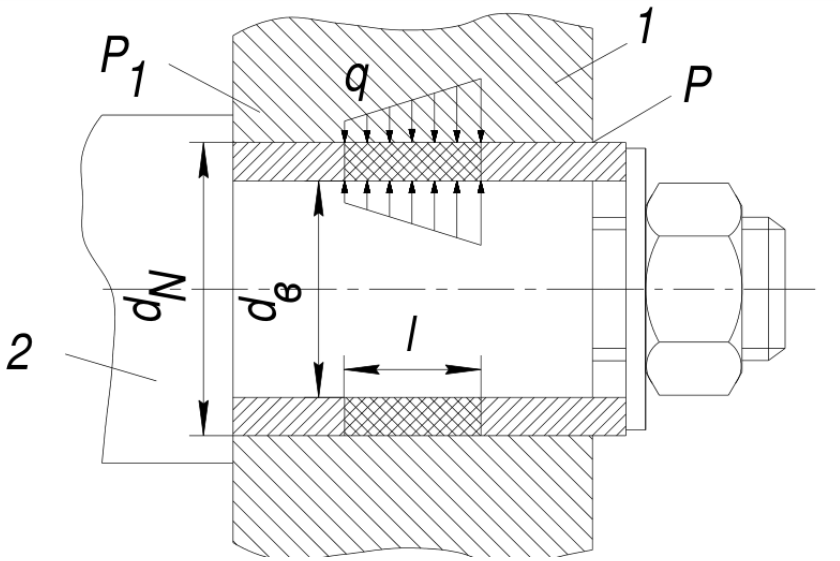


Рисунок 6 – Безшпонкове спряження з деформівною втулкою.

6.3. Шліцьові з'єднання

Шліцьове з'єднання забезпечує передавання значного крутного моменту та, за належного виконання, точніше центрування маточини відносно вала, ніж багато шпонкових спряжень. Поширені прямобічні, евольвентні та трикутні профілі. Центрування може здійснюватися за зовнішнім діаметром, внутрішнім діаметром або бічними поверхнями зубців відповідно до конструкції. За характером посадки розрізняють з'єднання, призначені для легкого розбирання, і з'єднання з більш щільною посадкою.

Складання починають з огляду стану шліців, фасок і заокруглень у западинах. Задирки або похибки профілю можуть спричинити заклинювання ще до досягнення робочого положення маточини. Щільні шліцьові спряження можуть монтувати з нагріванням охоплювальної деталі; вихідний посібник для окремих випадків наводить орієнтовний діапазон 80–120 °C. Режим нагрівання необхідно встановлювати з урахуванням матеріалу та термічної обробки. Після складання перевіряють радіальне биття, осьове положення та відсутність небажаного хитання.

6.4. Нерухомі конічні з'єднання

Конічні поверхні забезпечують сприятливі умови центрування і можуть створювати значне притискання за рахунок осьового переміщення деталей. Такі спряження використовують для маховиків, великих коліс, окремих втулок і валів. Перед складанням перевіряють кути та геометрію обох конусів, чистоту поверхонь, контакт за фарбувальною пробою та початкове положення маточини відносно вала. Конус повинен працювати по належній площі контакту без місцевого заклинювання.

Щільність посадки досягають запресуванням або осьовим стягуванням. Сила монтажу залежить від конусності й коефіцієнта тертя, тому невелика зміна кута може істотно змінити опір переміщенню. Перекіс осей чи невідповідність кутів призводять до хитання деталей і нерівномірного навантаження. Після затягування контролюють установлені розміри, зазори та взаємне положення. Для демонтажу застосовують спеціальні знімачі й пристрої, які не пошкоджують робочі поверхні.

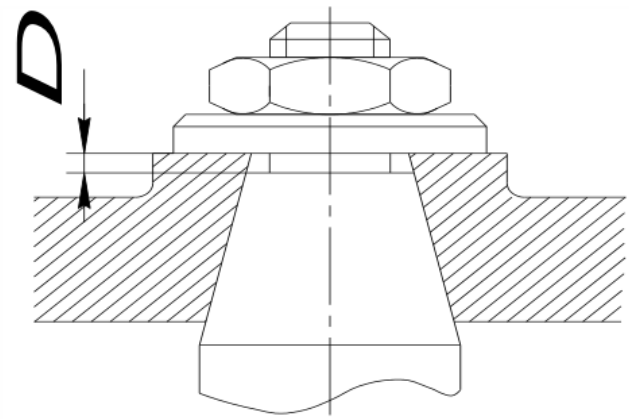


Рисунок 7 – Конічне з’єднання з осьовим притисканням.

У суміжних конструкціях використовують також циліндричні або конічні штифти для координації взаємного розташування деталей. Отвори під установні штифти нерідко свердлять і розвертають спільно після остаточного базування. Це дає змогу одержати точний збіг отворів без надмірно жорстких попередніх вимог до їх координат. У разі ремонту потрібно передбачати можливість вилучення штифтів відповідним інструментом.

6.5. З'єднання з полімерними компенсаторами

Полімерні компенсатори застосовують для заповнення заданих проміжків між спряжуваними поверхнями після установлення й вивіряння деталей. Рідкотекучий або в'язкотекучий матеріал надходить у зазор, повторює фактичну геометрію контактної зони та після твердіння утворює прошарок потрібної форми. Таким чином частина похибок виготовлення й монтажу компенсується без додаткового знімання металу. Метод може використовуватися у плоских, циліндричних, конічних та складнопрофільних з'єднаннях, якщо матеріал відповідає умовам експлуатації.

Технологія включає очищення й підготовку поверхонь, установлення деталей у потрібне положення, введення матеріалу, створення умов для полімеризації та завершальне закріплення. Якість оцінюють за суцільністю заповнення, геометричною стабільністю, міцністю зчеплення і поведінкою під навантаженням. У першоджерелі для такого підходу наводяться можливі переваги у вигляді скорочення регулювальних робіт, збільшення площі контакту й зменшення шуму та вібрацій. Це наведені джерелом орієнтовні ефекти, а не універсально гарантовані показники.

Полімерні склади обирають за міцністю, повзучістю, температурною стійкістю, хімічною сумісністю та ремонтопридатністю. У сучасному виробництві слід окремо оцінювати безпечність матеріалу й нормативні обмеження його використання. Неприпустимо підміняти розрахунок міцності з'єднання загальним припущенням, що полімер самостійно виправить будь-які похибки геометрії: в кожній конструкції потрібно визначати допустимий діапазон зазорів і характер експлуатаційних навантажень.

7. СКЛАДАННЯ НЕРУХОМИХ НЕРОЗНІМНИХ З'ЄДНАНЬ

7.1. З'єднання з гарантованим натягом

Нерознімні посадки з натягом дають змогу передавати зусилля та обертальний момент за рахунок контактного тиску між спряжуваними поверхнями. При збільшенні фактичного натягу контактний тиск за інших однакових умов зростає, однак одночасно підвищуються монтажне навантаження і напруження в деталях. Тому натяг необхідно вибирати за двома взаємопов'язаними умовами: достатньою

несучою здатністю з'єднання та допустимою міцністю охоплювальної й охоплюваної деталей.

За характером формування розрізняють поздовжнє пресове складання, термічний монтаж та гідропресові методи. Під час холодного поздовжнього запресовування одна деталь поступово переміщується відносно іншої під дією осьової сили. У процесі руху вершини мікронерівностей частково зминаються, розвиваються нормальні контактні зусилля та тертя. Силу запресовування доцільно контролювати за залежністю від переміщення, оскільки відхилення форми кривої може свідчити про перекіс, задир або недостатній натяг.

Для оцінювання сили запресовування використовується залежність $F = f \cdot \pi \cdot p \cdot d \cdot L$, де f – коефіцієнт тертя під час монтажу, p – питомий тиск на поверхні контакту, d – номінальний діаметр спряження, L – довжина контакту. Якщо p заданий у паскалях, а d і L – у метрах, результат F одержують у ньютонах. Питомий тиск пов'язують із розрахунковим натягом, геометрією деталей, модулями пружності та коефіцієнтами Пуассона. Під час навчального розрахунку потрібно чітко фіксувати систему одиниць і перевіряти розмірність кожного члена формули.

Дійсний робочий натяг відрізняється від різниці номінальних діаметрів через деформацію мікронерівностей. У навчальному джерелі для оцінювання наведено співвідношення $\delta = \Delta d - 1{,}2 \cdot (Rz1 + Rz2)$, де Δd – різниця фактичних спряжуваних діаметрів, Rz1 і Rz2 – параметри шорсткості. При користуванні такою оцінкою слід дотримуватися однакових одиниць вимірювання й враховувати, що конкретна методика розрахунку залежить від умов контакту та прийнятої нормативної бази.

Перед запресовуванням оглядають обидві поверхні й очищають їх від частинок, здатних спричинити задир. На вхідній кромці необхідна фаска або заокруглення, яке забезпечує правильне центрування на початку руху. Деталі встановлюють без перекосу, використовуючи напрямні оправки та пристрої. На початку операції доцільно застосовувати помірну швидкість і невелике зусилля; після правильного входження деталі завершують монтаж відповідно до технологічного режиму. Потужність преса вибирають із достатнім запасом.

Складання з термічним впливом базується на зміні лінійних розмірів деталей під час нагрівання або охолодження. Нагріваючи маточину, збільшують діаметр її

отвору; охолоджуючи вал, тимчасово зменшують його зовнішній діаметр. Таке рішення полегшує монтаж і може зменшити механічне пошкодження спряжуваних поверхонь. При цьому слід уникати температур, які змінюють структуру матеріалу, властивості покриттів або точність конструкції.

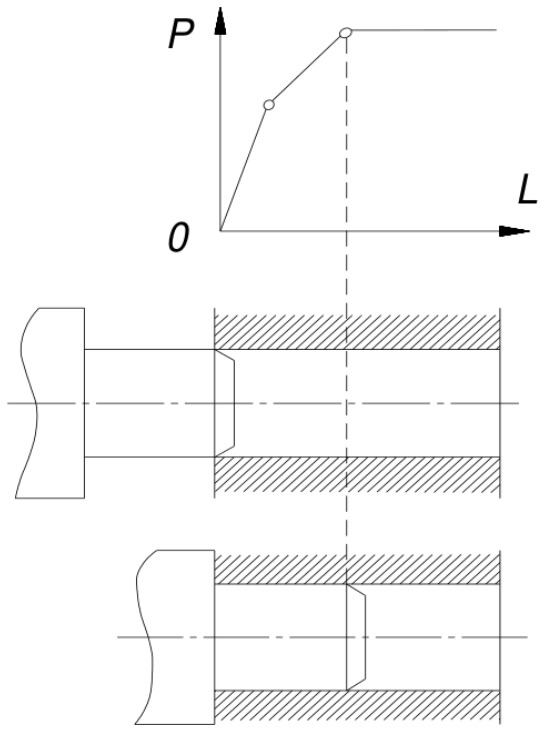


Рисунок 8 – Залежність зусилля запресовування від переміщення.

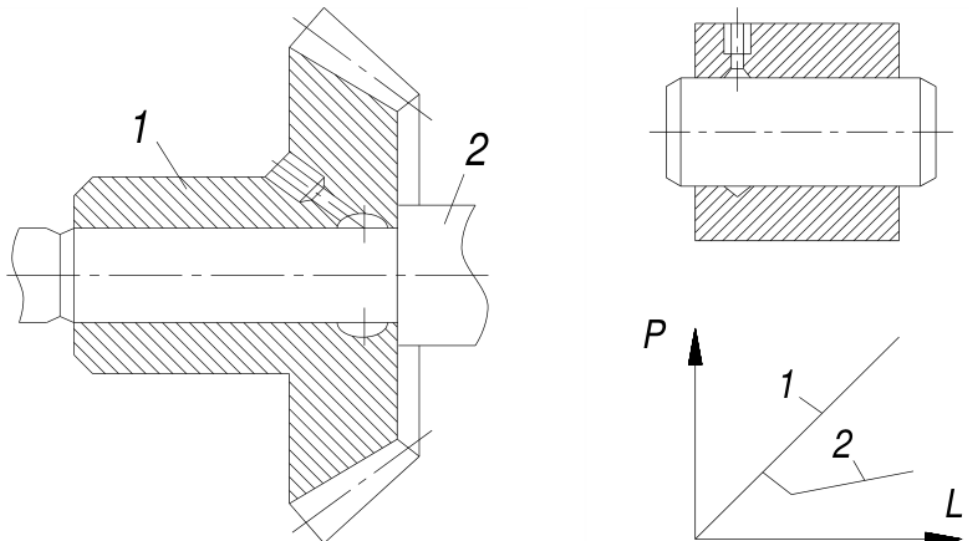


Рисунок 9 – Гідропресове складання та порівняння монтажних сил.

Приблизний потрібний приріст температури охоплювальної деталі можна оцінити з умови $\Delta d \le \alpha \cdot \Delta T \cdot d$, де α – коефіцієнт лінійного теплового розширення, ΔT – необхідне підвищення температури, d – початковий діаметр отвору. Звідси $\Delta T \ge$

$\Delta d/(\alpha \cdot d)$. Фактичний технологічний нагрів призначають також із урахуванням втрати теплоти під час перенесення та складання. У вихідному посібнику наведено рекомендацію збільшувати розрахункову температурну різницю на 15–30 %; цей резерв не є універсальним і потребує перевірки для конкретного процесу.

Теплове складання здійснюють у нагрівальних ваннах, печах або за допомогою індукційних нагрівачів. Для великих конструкцій можливий локальний нагрів посадкової частини. Охолодження виконують у контрольованих умовах із використанням відповідних холодоагентів. Важливо враховувати термічні напруження, небезпеку конденсації вологи, крихкість деяких матеріалів за низьких температур і вимоги безпечного поводження з кріогенними речовинами. До монтажу переходять лише після перевірки готовності всіх деталей і оснащення.

Гідропресовий спосіб передбачає подавання мастильної рідини під високим тиском у зону контакту. Тонкий шар рідини відокремлює спряжувані поверхні, знижує тертя й може викликати пружні деформації, достатні для переміщення деталей. Завдяки цьому зменшується зусилля монтажу або демонтажу. Такий спосіб потребує спеціальних каналів і ущільнень, контролювання тиску та ретельного дотримання правил безпеки. Після завершення операції потрібно переконатися у відновленні необхідних характеристик посадки.

7.2. З'єднання, отримані розвальцьовуванням

Розвальцьовуванням називають процес, під час якого нерухоме з'єднання утворюється внаслідок пластичного радіального деформування трубчастої чи іншої тонкостінної деталі. Спосіб часто використовують для забезпечення щільності й герметичності спряження, наприклад у теплообмінному обладнанні або трубних вузлах. Матеріал охоплюваної деталі роздають у радіальному напрямі, доки не виникне достатній контактний тиск між поверхнями.

Для здійснення процесу застосовують роликові вальцівки, спеціальні оправки та верстати, які забезпечують потрібну кінематику й контроль зусилля. У вихідному джерелі наведено орієнтовну швидкість оброблення 15–20 м/хв; технологічний режим у реальному виробництві залежить від діаметра, товщини стінки, матеріалу та

конструкції інструмента. Надмірне деформування здатне спричинити тріщини чи зниження міцності, а недостатнє – витікання робочого середовища.

Після розвальцьовування перевіряють геометрію спряження й герметичність. Для відповідальних виробів застосовують пневматичні або гідравлічні випробування за затвердженою методикою. У серійному виробництві розвальцьовування придатне до механізації та автоматизації, оскільки його цикл може бути чітко формалізований за переміщенням, моментом, зусиллям та іншими параметрами. Контролювання необхідно включати до технологічного маршруту, а не виконувати лише після остаточного виготовлення виробу.

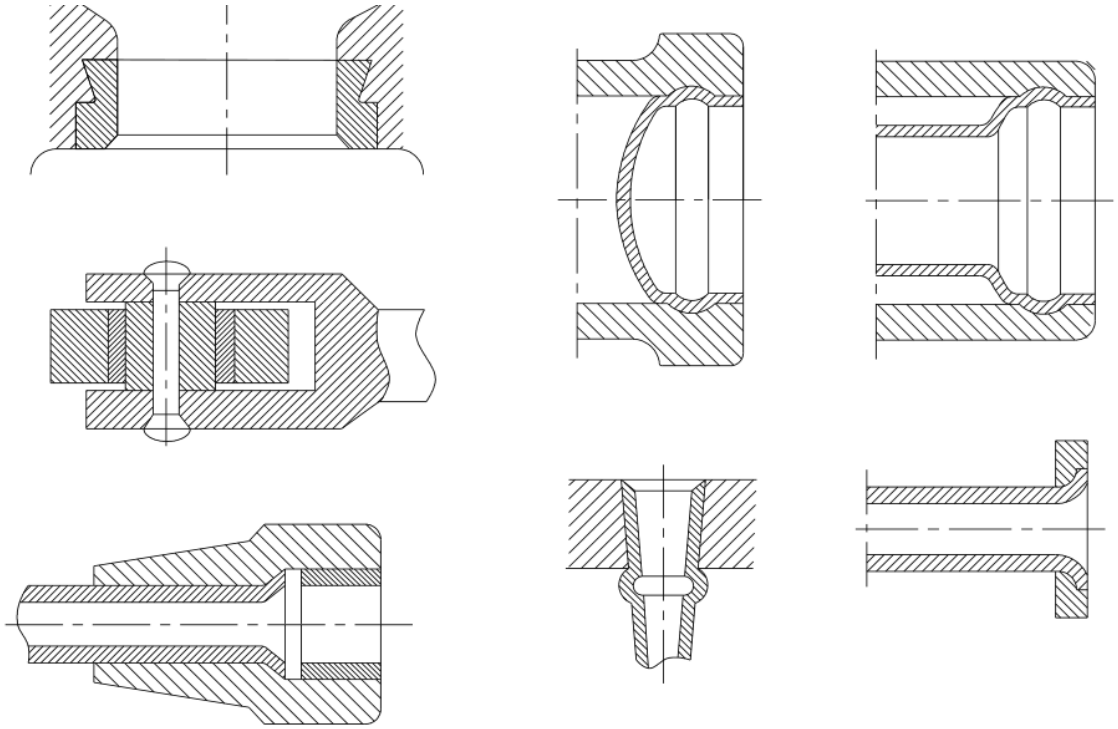


Рисунок 10 – Конструктивні схеми розвальцьованих спряжень.

7.3. Заклепкові з'єднання

Заклепкові з'єднання застосовують там, де зварювання небажане або матеріали погано піддаються зварюванню, а також у конструкціях, що сприймають змінні чи ударні навантаження. Заклепка після встановлення деформується і формує замикаючу головку, забезпечуючи нерознімне з'єднання деталей. За конструкцією використовують суцільні, порожнисті та напівпорожнисті заклепки; матеріал і геометрію вибирають відповідно до навантаження, товщини пакета й корозійних умов.

Клепання виконують холодним або гарячим способом. Для великих діаметрів нагрівання полегшує пластичне деформування та може забезпечувати додаткове стягування елементів після охолодження. У першоджерелі наведено орієнтири для гарячого клепання заклепок діаметром понад 12 мм та температур 1000–1100 °C. Такі параметри слід трактувати як історичні навчальні дані, що потребують окремої перевірки за маркою матеріалу й сучасними технологічними інструкціями.

Використовують клепальні молотки, механічні, пневматичні та гідравлічні преси, спеціальні скоби й напівавтоматичні установки. Монтажний режим повинен гарантувати повне формування головки без тріщин, зминання листів або небажаного вигину стрижня. Для порожнистих заклепок застосовують розвальцьовування чи відбортовування кінцевої частини спеціальною оправкою. У масовому виробництві механізація дозволяє підвищити повторюваність якості й зменшити фізичне навантаження на оператора.

Контроль починають із візуального огляду форми головок, їх розташування і щільності стику. У разі потреби використовують простукування, вимірювання, методи неруйнівного контролю та випробування на герметичність. Відповідальні конструкції повинні мати чітко встановлені критерії приймання, оскільки зовні правильна геометрія не завжди гарантує достатню міцність з'єднання.

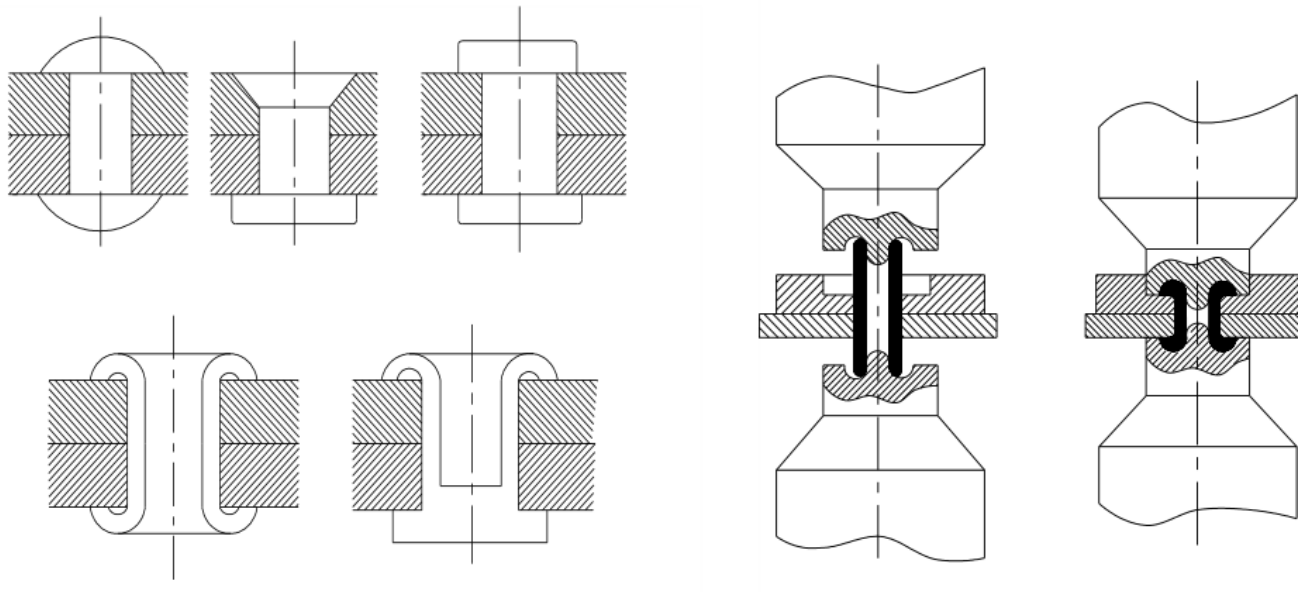


Рисунок 11 – Форми заклепок і способи утворення замикальних головок.

7.4. З'єднання, сформовані зварюванням, паянням і склеюванням

Зварювання дає можливість утворювати нерознімні з'єднання за рахунок локального формування металургійного зв'язку між деталями. Порівняно з деякими механічними методами воно дозволяє скорочувати кількість кріпильних елементів, зменшувати масу й спрощувати конструкцію. Водночас потрібно враховувати теплові деформації, можливість залишкових напружень, зміну структури матеріалу й необхідність контролю якості шва. Вибір конкретної технології визначається матеріалом, товщиною й просторовим положенням стику.

Паяння відрізняється тим, що основний матеріал деталей зазвичай не розплавляють: з'єднання формується розплавленим припоєм, який змочує підготовлені поверхні та заповнює зазор капілярними силами. Під час охолодження й тверднення утворюється з'єднувальний шов. Якість залежить від очищення, правильної величини проміжку, температури, складу припою та захисту від окиснення. М'які й тверді припої розрізняють за температурою плавлення та вимогами до міцності й термостійкості стику.

Флюси застосовують для видалення або запобігання утворенню оксидних плівок та поліпшення змочування. Для окремих матеріалів можливе паяння у захисному газовому середовищі чи вакуумі. На виробництві використовують паяльники, пальники, печі, індукційні нагрівачі та установки хвильового паяння. У першоджерелі згадано також ультразвукове паяння, при якому коливання сприяють руйнуванню поверхневих плівок, що може бути корисним для алюмінієвих сплавів.

Склеювання забезпечує з'єднання деталей через адгезійну взаємодію з полімерним матеріалом. Переваги полягають у можливості поєднання різнорідних матеріалів, рівномірнішому розподілі напружень, герметичності та відсутності високих монтажних температур. Водночас міцність і довговічність шва залежать від підготовки поверхні, товщини клейового шару, температури, вологості, тривалості навантаження й характеру деформації. Клейові з'єднання зазвичай краще сприймають зсув, ніж відрив або розшарування.

Для машинобудування застосовують епоксидні, фенольні, поліуретанові та спеціальні клеї. Після знежирення й потрібної механічної підготовки поверхонь наносять визначену кількість складу, орієнтують деталі, створюють необхідний

притиск і витримують до завершення полімеризації. Технологія повинна забезпечувати контроль зазору й запобігати забрудненню. У ряді випадків застосовують комбіновані з'єднання, наприклад клейозаклепкові або клейозварні, які поєднують переваги різних способів кріплення.

8. СКЛАДАННЯ ТИПОВИХ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ

8.1. Складені вали та муфти

Складений вал утворюють з окремих частин, які з'єднують так, щоб забезпечити передавання крутного моменту, потрібне взаємне положення осей і достатню жорсткість. Найпоширеніші конструкції використовують шліцьові або гладкі циліндричні муфти, шпонкові з'єднання, конічні посадки, штифти, фланці та болтове стягування. Кожний варіант має свої переваги й обмеження щодо точності центрування, ремонтопридатності та допустимого навантаження.

Складання зі шліцьовою муфтою починають з установлення частин вала на опорні призми або спеціальне оснащення. Потрібно забезпечити взаємне розташування осей у заданій площині та запобігти перекосу під час насування муфти. За щільної посадки може бути необхідним контрольований нагрів муфти. Після монтажу перевіряють сумарне биття, жорсткість спряження, можливість осьового переміщення, якщо воно передбачене конструкцією, і наявність упорів чи стопорних елементів.

Гладку муфту зі штифтами встановлюють аналогічно, однак отвори під штифти доцільно обробляти після остаточного базування деталей. Для фланцевих спряжень основну увагу приділяють очищенню стику, співвісності посадкових поясочків, послідовності затягування болтів і контролю радіального та торцевого биття. Конічні з'єднання вимагають додаткової перевірки контакту конусів і осьового переміщення під час стягування. Після складання вал повинен обертатися без помітного заїдання та зайвих вібрацій.

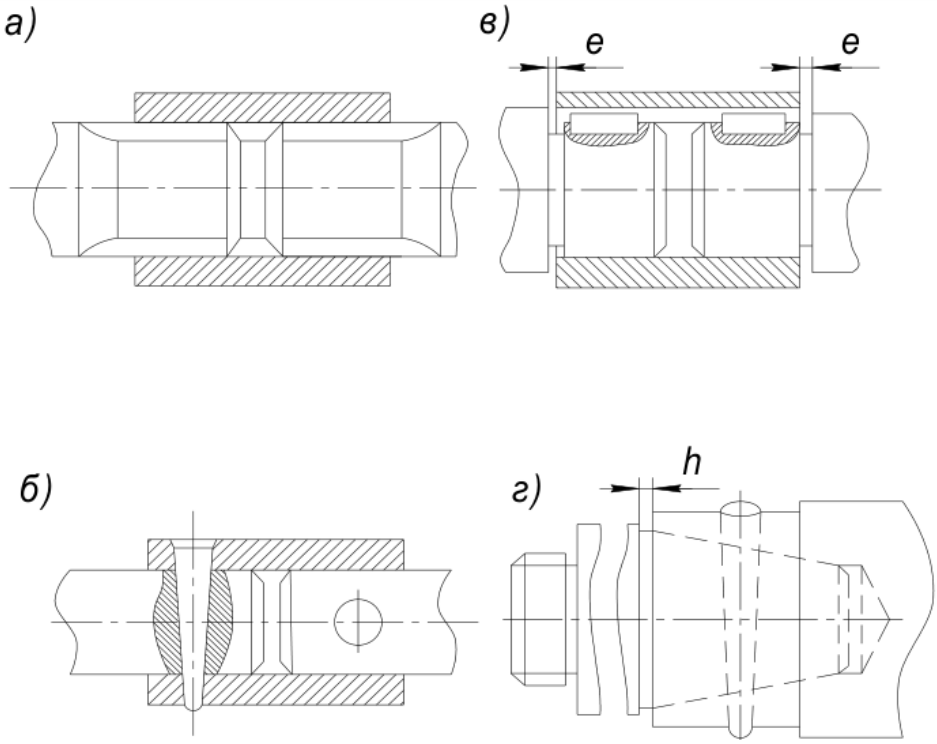


Рисунок 12 – Конструктивні способи з’єднання складених валів.

8.2. Монтаж підшипників ковзання

Підшипники ковзання виготовляють у вигляді цілісних втулок або рознімних вкладишів. Вибір конструкції визначається навантаженням, частотою обертання, матеріалом спряжуваних поверхонь, режимом мащення й можливістю ремонту. Перед установленням контролюють посадкові поверхні корпусу, стан мастильних каналів, чистоту вкладиша чи втулки й відповідність геометрії кресленику. Особливо небезпечні задирки, які можуть пошкодити антифрикційний шар під час запресовування.

Цілісні втулки встановлюють у корпус із потрібною посадкою, використовуючи оправки, преси або інші засоби, які забезпечують співвісність. Фіксування від провертання здійснюють конструктивними елементами відповідно до кресленика. Після монтажу часто виконують калібрування внутрішнього отвору розточуванням, розвертанням, дорнуванням чи іншим способом. Усі мастильні отвори повинні залишатися відкритими; їхнє перекриття через неправильне положення втулки загрожує швидким перегріванням і зношуванням.

Рознімні підшипники мають два вкладиші, які встановлюють у відповідні посадкові гнізда корпусу й кришки. За жорсткістю конструкції виділяють

товстостінні й тонкостінні вкладиші. Перші традиційно виготовляють із сталі, чавуну або бронзи з антифрикційним шаром, а другі потребують особливо точного стану посадкового отвору. Під час складання потрібно забезпечити повне й рівномірне прилягання зовнішньої поверхні вкладиша до корпусу, щоб зберігати теплопередачу й не допускати деформацій під робочим навантаженням.

Для невзаємозамінних вкладишів може застосовуватися припасування за фарбувальною пробою до фактичної шийки вала. Після установлення вкладиша й кришки перевіряють затягування та легкість обертання, визначають місця надмірного контакту, після чого виконують потрібне доопрацювання. Для взаємозамінних тонкостінних вкладишів така процедура зазвичай неприпустима: їхню роботу забезпечують правильна геометрія корпусу, належний монтажний натяг і встановлені допуски посадкових місць.

У багатопідшипникових валах особливо важливі співвісність опор і стабільність посадки. Порушення співвісності створює додаткові напруження й зменшує несучу здатність підшипників. Контроль здійснюють індикаторними, калібрувальними, оптичними або іншими методами залежно від типу виробництва. Після завершення складання перевіряють наявність мастильного матеріалу, вільність обертання та відповідність зазорів вимогам конструкторської документації.

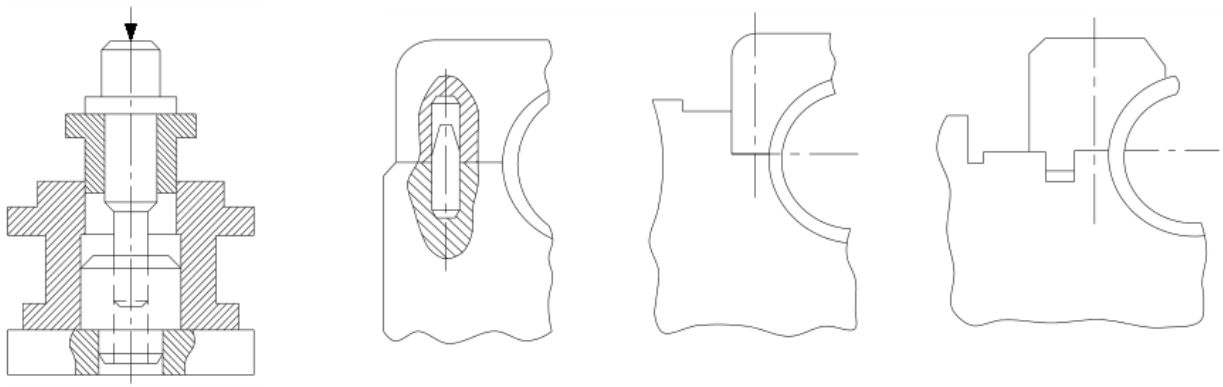


Рисунок 13 – Пресове встановлення втулки і фіксування кришки підшипника.

8.3. Складання вузлів з підшипниками кочення

Підшипники кочення чутливі до забруднення, неправильного передавання монтажного зусилля, перекосу й надмірного натягу. Перед установленням необхідно перевірити маркування, тип і стан підшипника, розміри посадкових шийок та отворів,

а також чистоту робочої зони. Для нерознімних підшипників не допускається передавати зусилля монтажу через тіла кочення, оскільки це може пошкодити доріжки кочення та знизити ресурс.

Якщо підшипник запресовують на вал, монтажне зусилля прикладають до внутрішнього кільця; під час установлення в корпус – до зовнішнього кільця. Для правильного спрямування використовують оправки, кільцеві упори й преси. Термічний монтаж може полегшувати посадку, але температуру потрібно обирати відповідно до рекомендацій виробника, типу сепаратора, ущільнень і мастила. Після монтажу перевіряють рівномірність обертання та відсутність стороннього шуму чи заїдання.

Для конічних роликових підшипників важливим етапом є регулювання осьового або радіального зазору, а в окремих конструкціях – попереднього натягу. Внутрішнє кільце з роликами й сепаратором та зовнішнє кільце можуть установлюватися окремо. Зазор налаштовують осьовим переміщенням одного з кілець за допомогою регулювальних гайок, прокладок або дистанційних кілець. Під час вимірювання враховують взаємозв'язок осьового переміщення і радіального зазору, який залежить від геометрії доріжок кочення.

Голчасті підшипники використовують у вузлах з обмеженим радіальним простором. Конструкція може передбачати окремі кільця або використання поверхонь вала й корпусу як доріжок кочення. Під час складання з окремими голками іноді застосовують тимчасовий монтажний валик: голки закладають у робочу зону з використанням мастила, після чого тимчасовий валик замінюють основним. Кількість голок і зазори повинні відповідати розрахунку й кресленику, інакше можливі защемлення, перегрів і швидке руйнування.

Після завершення складання підшипниковий вузол перевіряють на плавність обертання, осьовий люфт, допустиме биття, правильність фіксування кілець та наявність мастила. За потреби здійснюють пробне обертання із поступовим підвищенням частоти та контролем температури. Регулювання підшипника не повинно виконуватися лише за суб'єктивним відчуттям зусилля повороту; для відповідальних машин необхідно використовувати параметри, встановлені виробником вузла.

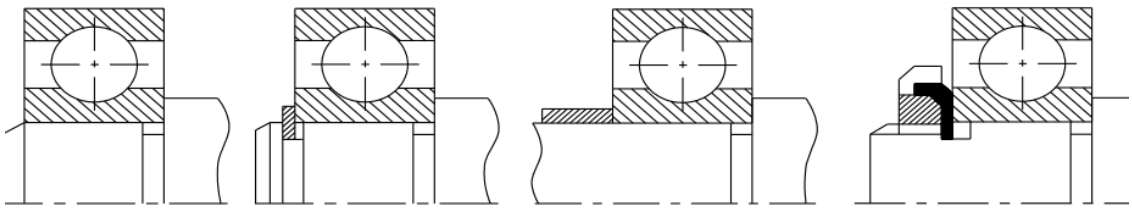


Рисунок 14 – Схеми встановлення і регулювання підшипників.

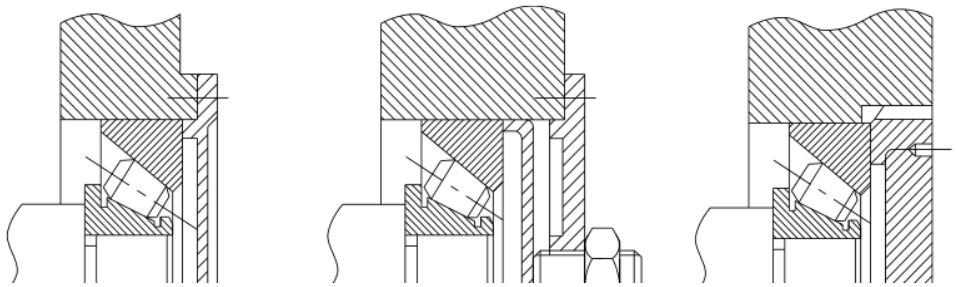


Рисунок 15 – Способи налаштування зазору роликових підшипників.

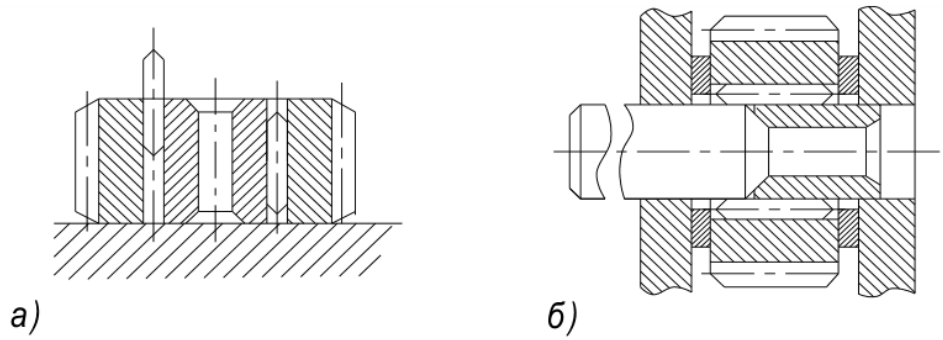


Рисунок 16 – Монтаж голчастих підшипників.

8.4. Складання по плоских спряжуваних поверхнях

Для базування деталей по площинах застосовують опорні поверхні, фланці, буртики, установні штифти, болти й різні напрямні елементи. Спочатку очищають контактні площини й перевіряють їхню геометрію, а потім установлюють деталі у потрібне взаємне положення. Під час попереднього затягування болтів може залишатися невеликий зазор в отворах для остаточного регулювання. Після вивіряння виконують остаточне затягування й, коли це передбачено конструкцією, спільне оброблення отворів під установні штифти.

Якщо кілька паралельних опорних поверхонь розташовані не в одній площині, необхідно уникати деформування деталі насильним стягуванням. Можливе використання точно підібраних прокладок або інших компенсувальних елементів. Для герметичних стиків застосовують ущільнювальні прокладки, пасти чи спеціальні

мастики відповідно до умов експлуатації. Важливо, щоб матеріал прокладки був сумісний із робочим середовищем і не порушував потрібної жорсткості конструкції.

Під час контролю оцінюють щільність прилягання, паралельність, перпендикулярність і відсутність локальних перекосів. Застосування вимірювальних щупів, індикаторів і контрольних плит дозволяє виявити похибки до завершального закріплення. У першоджерелі також наведено приклади використання полімерних компенсаторів для створення точнішої базової поверхні після попереднього вивіряння деталей.



Рисунок 17 – Ущільнювальна прокладка між площинами.

8.5. Рухомі конічні спряження

Рухомі конічні з'єднання використовують у запірній арматурі, клапанних механізмах, окремих регульованих опорах та інших вузлах, де необхідні кероване переміщення й достатня щільність контакту. Вони відрізняються від нерухомих посадок тим, що рух є частиною їхньої нормальної роботи. Відповідно, до основних вимог належать правильний кут конуса, достатня площа контакту, помірне тертя та відсутність заїдання.

Для забезпечення герметичності часто застосовують притирання клапана до сідла або корка до відповідного гнізда. У серійному виробництві якість контакту можна забезпечувати точним шліфуванням і спеціальним чистовим обробленням. Після припасування деталі необхідно ретельно промити, оскільки залишки абразиву спричиняють пошкодження контактних поверхонь під час перших циклів роботи. Герметичність перевіряють спеціальними випробуваннями, оглядом або за погодженою технологією контролю.

8.6. Зубчасті та черв'ячні передачі

Правильність складання зубчастої передачі визначається геометрією зачеплення, положенням осей, боковим зазором і характером контакту зубців. Навіть за умови виготовлення коліс у встановлених допусках їх неправильне встановлення на валах чи в корпусі може спричинити підвищений шум, вібрацію, локальне перевантаження та прискорене зношування. Тому технологія включає монтаж коліс, установлення валів у корпус, регулювання взаємного положення і комплексне контролювання зачеплення.

Циліндричні зубчасті колеса встановлюють на шийки валів із призначеною посадкою, застосовуючи преси або термічні способи монтажу. Під час запресовування важливо не допустити перекосу й забезпечити належне прилягання до упорного буртика. Після установлення перевіряють радіальне й торцеве биття, відсутність хитання та фактичне положення зубчастого вінця. Умови демонтажу також мають виключати пошкодження зубців і посадкових поверхонь.

Якість зачеплення оцінюють вимірюванням бокового зазору, контролюванням міжосьової відстані й перевіркою плями контакту. Для перевірки наносять тонкий шар контрольної фарби на робочу поверхню зубців, обертають передачу за відповідного навантаження й аналізують розподіл відбитка. Для циліндричних коліс бажаний контакт розташовується у передбаченій конструктором зоні; зміщення плями до країв свідчить про помилки монтажу, деформації або порушення геометрії передачі.

Конусні зубчасті передачі вимагають особливо точної установки осей та суміщення вершин ділильних конусів. Регулювання здійснюють осьовим переміщенням коліс із використанням наборів прокладок, дистанційних кілець чи регулювальних гайок. Після кожного коригування перевіряють боковий зазор і пляму контакту. У серійному виробництві такі операції виконують на спеціалізованих стендах, що забезпечують повторюваність результатів і зменшують тривалість налагодження.

Складання черв'ячної передачі передбачає встановлення вінця на маточину, монтаж колеса й черв'яка, перевірку взаємної орієнтації осей, міжосьової відстані та

положення середньої площини черв'ячного колеса. Контакт оцінюють фарбувальною пробою, а завершальне регулювання здійснюють переміщенням відповідних опор. Після цього передачу обкатують для перевірки плавності ходу, шуму, нагрівання і правильності роботи системи мащення.

Складені зубчасті й черв'ячні передачі можуть піддаватися пробній обкатці без навантаження та під навантаженням. Послідовне підвищення робочого режиму дозволяє виявити дефекти, які не проявляються під час статичного контролю. У навчальному джерелі наведено окремі числові орієнтири для допустимого биття, розмірів плями контакту та регулювальних зазорів; для реального виробу визначальними є його конструкторська документація й актуальні технічні умови.

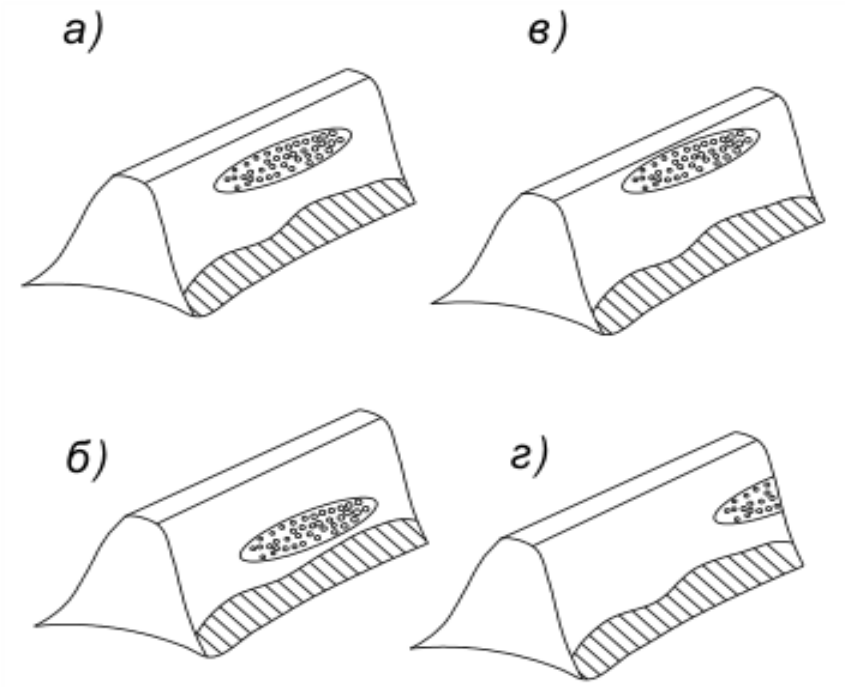


Рисунок 18 – Варіанти плями контакту на зубцях.

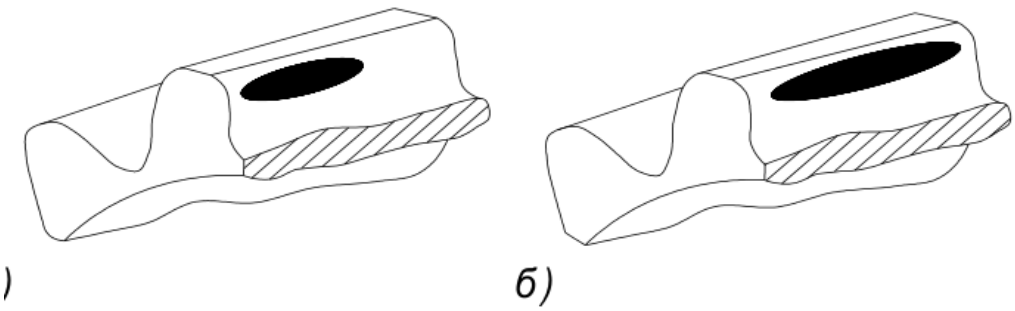


Рисунок 19 – Контактні зони конічної передачі.

8.7. Балансування деталей і складальних одиниць

Неврівноваженість деталей, які обертаються, створює відцентрові сили та моменти, що зростають із частотою обертання. Наслідками можуть стати вібрація, підвищене навантаження на підшипники, шум, зменшення довговічності й порушення точності роботи машини. Балансування потрібне для маховиків, шківів, роторів, шпинделів, муфт, колінчастих валів та інших обертових складальних одиниць. Допустимі залишкові дисбаланси встановлюють з урахуванням конструкції та робочої швидкості.

Статичне балансування спрямоване на суміщення центра мас деталі з віссю обертання. Його виконують на горизонтальних призмах, роликових опорах або спеціальних верстатах. За наявності неврівноваженості більш важка частина ротора прагне зайняти нижнє положення. Для коригування масу видаляють у відповідному місці свердлінням чи іншим способом або додають матеріал згідно з конструкторськими вимогами.

Динамічне балансування потрібне тоді, коли можливий не лише зсув центра мас, а й утворення неврівноваженої пари сил. Така ситуація характерна для довгих роторів і вузлів з масами, розміщеними в різних поперечних площинах. Балансувальний верстат визначає величину й кутове положення коригувальної маси, часто для двох площин одночасно. В умовах серійного виробництва застосовують автоматизовані системи, які поєднують вимірювання, коригування й завершальну перевірку.

Балансування індивідуальних деталей не завжди гарантує відсутність дисбалансу складеного вузла. Монтажні ексцентриситети, неточність посадок, кріпильні елементи й відмінності маси складових можуть утворювати додаткову неврівноваженість. Тому відповідальні роторні системи доцільно перевіряти після остаточного складання. Результат фіксують у документації, а метод коригування має зберігати міцність і функціональні характеристики деталей.

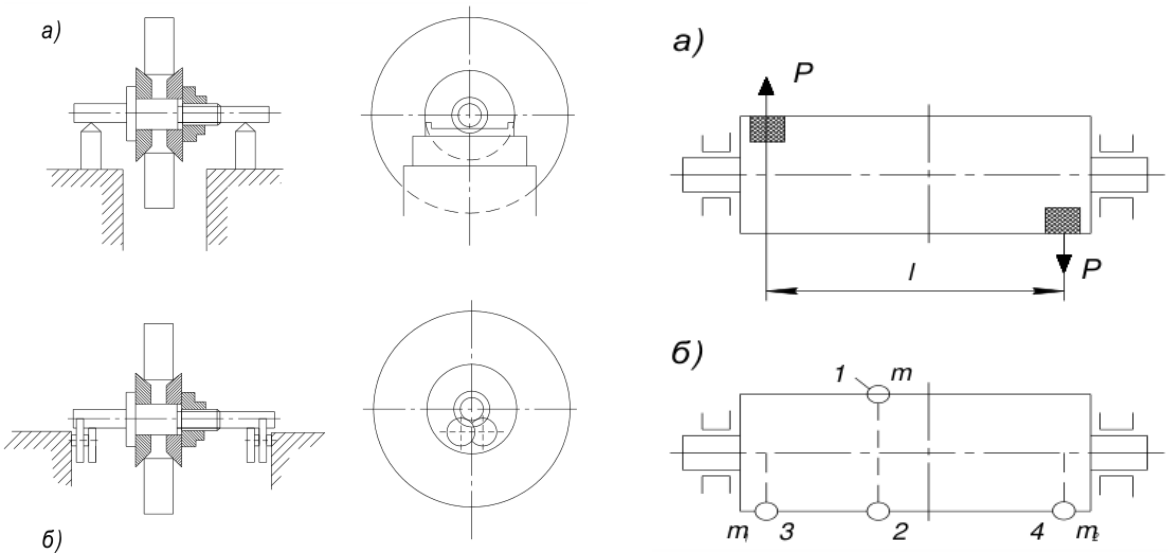


Рисунок 20 – Статичне та динамічне балансування ротора.

8.8. Установлення маховиків і шківів на вали

Маховики та шківи кріплять на валах через конічні, циліндричні, шпонкові або фланцеві спряження. Вибір способу визначають потрібним крутним моментом, частотою обертання, умовами монтажу й можливістю демонтажу. Конічна посадка забезпечує добре центрування, але потребує точного виготовлення конусів. Фланцеве кріплення зручне для великих деталей за умови правильного базування по посадковому поясочку та симетричного затягування кріпильних елементів.

Під час установлення на циліндричну шийку застосовують призначену посадку й відповідну оправку або прес. Перед монтажем перевіряють стан шпонки, паза, поверхонь прилягання й упорних елементів. Після фіксування виконують вимірювання радіального та торцевого биття. Для швидкохідних вузлів потрібно контролювати балансування шківа чи маховика окремо, а в окремих випадках – повторно в зборі з валом.

Шківи пасової передачі мають бути правильно розміщені один відносно одного. Порушення співплощинності робочих поверхонь призводить до бокового переміщення паса, його прискореного зношування та втрат енергії. Тому після складання перевіряють положення шківів за лінійкою, лазерним або іншим відповідним засобом, а також відсутність перекосу осей і надмірного биття.

9. РОБОТИ ПІСЛЯ ЗАВЕРШЕННЯ СКЛАДАННЯ

9.1. Контролювання якості та випробування виробів

Контроль якості здійснюють на всіх відповідальних стадіях складання, а не лише після його завершення. Поточні перевірки дозволяють виявляти неправильне базування, недотримання моментів затягування, невідповідність зазорів і порушення плавності руху ще до закриття вузла. Частину перевірок виконує безпосередній складальник, використовуючи засоби вимірювання, передбачені технологією. Для складних або тривалих процедур організовують окремі контрольні позиції з відповідним оснащенням і кваліфікованим персоналом.

Контрольні операції описують у технологічних картах. У них установлюють об'єкт контролю, вимірюваний параметр, методику, інструмент, допустимі відхилення та послідовність дій. Обсяг перевірки може бути суцільним або вибірковим залежно від відповідальності виробу, стабільності процесу й прийнятого плану контролю. Для потокових ліній особливо важливо, щоб тривалість контрольних дій була узгоджена з тактом або щоб контроль організовувався паралельно без необґрунтованого простою інших позицій.

Завершальним підтвердженням працездатності є випробування виробу чи окремого агрегату. Перевіряють правильність складання, роботу механізмів керування, захисних пристроїв, блокувань, герметичність, тепловий режим, шум, вібрацію, відповідність потужності й інших параметрів технічним вимогам. Склад випробувань визначають особливості виробу. Для машин із двигунами або гідравлічними системами потрібні спеціальні стенди, вентиляція, засоби захисту та обладнання для вимірювання експлуатаційних показників.

У першоджерелі виділено приймальні, контрольні та спеціальні випробування. Приймальні мають підтвердити фактичні характеристики і придатність виробу; контрольні використовують, зокрема, для повторної перевірки після усунення дефектів; спеціальні призначають для дослідження окремих явищ, зміни матеріалів чи технологій. За характером навантаження випробування виконують на холостому ходу або під навантаженням. Перший режим дозволяє перевірити кінематику,

керування й блокування, другий – оцінити працездатність за умов, наближених до реальних.

Результати фіксують у супровідній або випробувальній документації. Виявлений дефект необхідно не лише усунути, а й встановити його можливу причину: помилка конструкції, порушення виготовлення деталей, неправильно обраний спосіб монтажу, некоректне регулювання або недостатній контроль. Для серійних машин корисним джерелом інформації є також результати дослідної експлуатації та рекламації споживачів. Такий зворотний зв'язок дозволяє постійно вдосконалювати технологію складання.

9.2. Нанесення лакофарбових покриттів

Лакофарбові покриття застосовують для захисту металевих поверхонь від корозії та надання виробу встановленого зовнішнього вигляду. Вибір матеріалу й кількості шарів залежить від середовища експлуатації, температурних умов, вимог до стійкості, естетики і ремонтопридатності. Процес звичайно включає підготовку поверхні, нанесення ґрунту, вирівнювання, фарбування та сушіння. Окремі етапи можуть бути відсутні або поєднані залежно від обраної технології.

Підготовка поверхні може виконуватися механічними або хімічними способами. Механічне очищення проводять абразивними матеріалами, щітками, шліфувальними машинами, гідроабразивною обробкою чи іншими засобами. Хімічні методи передбачають знежирення, видалення оксидів і за потреби формування захисних конверсійних шарів. Якість підготовки визначає адгезію покриття, тому особливу увагу приділяють відсутності мастила, пилу, води та продуктів корозії.

Фарбування здійснюють пензлем, розпиленням, зануренням, обливанням, електростатичними способами й електроосадженням. Механізовані та автоматизовані методи забезпечують кращу повторюваність товщини шару й продуктивність. Після нанесення покриття проводять природне або штучне сушіння відповідно до властивостей матеріалу. За способом теплопередавання розрізняють конвективне, терморадіаційне та індукційне сушіння. Режим має забезпечити повне формування покриття без перегрівання й деформації деталей.

Перед фарбуванням складеної машини необхідно захистити поверхні, на які покриття не повинно потрапляти: посадкові місця, контактні та робочі площини, різьби, ущільнення, вимірювальні елементи. Після завершення оцінюють однорідність кольору, товщину, суцільність, адгезію та відсутність видимих дефектів. У технологічній документації зазначають конкретні матеріали й нормативи контролювання, а не лише загальну назву фарбувальної операції.

9.3. Консервація та пакування

Між виготовленням і початком експлуатації може минути значний час. Під час зберігання й транспортування деталі та агрегати зазнають впливу вологи, перепадів температури, забруднення й механічних навантажень. Тому після контролю та випробування виріб за потреби консервують. Консервація має запобігти корозії та зберегти функціональний стан поверхонь без перешкод для майбутнього введення в експлуатацію.

Вибір способу залежить від матеріалу, складності конструкції, строку зберігання та кліматичних умов. До традиційних методів належать нанесення захисного мастила, використання інгібіторів корозії, загортання в інгібований папір, герметизоване пакування з осушувачами або створення захисного середовища. Підготовка до консервації передбачає очищення, висушування й перевірку поверхонь. Слід передбачити, щоб захисні речовини не пошкоджували ущільнення, покриття та електричні компоненти.

Пакування має одночасно захищати від корозії, механічних ударів, зміщення деталей і повторного забруднення. Для цього застосовують плівкові чохли, картонні коробки, жорсткі транспортні контейнери, амортизувальні вставки та засоби фіксування. У технологічних інструкціях визначають порядок розконсервації перед запуском. Для малогабаритних серійних виробів консервацію та пакування доцільно механізувати або автоматизувати.

10. ОРГАНІЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

10.1. Організаційні форми складання

Залежно від характеру переміщення виробу розрізняють стаціонарне та рухоме складання. За стаціонарного способу виріб упродовж значної частини процесу перебуває на одному робочому місці, а деталі, інструмент і працівників подають до нього. Таку організацію використовують для великих, важких або одиничних виробів. Якщо ж об'єкт послідовно переміщується між робочими позиціями, складання називають рухомим. Його легше організувати як потік, особливо за стабільної програми виробництва.

Найпростіший варіант стаціонарного складання – виконання всіх операцій над виробом однією бригадою на одному місці. Перевагами є гнучкість і мінімальні вимоги до спеціалізованих ліній, недоліками – тривалий цикл, значні витрати часу й потреба в універсально кваліфікованих працівниках. Досконаліший спосіб передбачає попереднє формування вузлів на окремих ділянках та їхній подальший монтаж у загальний виріб. Це скорочує тривалість завершального складання і дозволяє краще використовувати спеціалізоване оснащення.

Стаціонарне потокове складання організовують тоді, коли об'єкти залишаються нерухомими, а працівники чи бригади переходять між ними за визначеним ритмом. Інструмент може переміщуватися разом із виконавцями. Такий підхід зберігає переваги спеціалізації без необхідності транспортувати важкий виріб між позиціями. Для забезпечення рівномірної продуктивності тривалість операцій повинна бути погоджена з тактом і логікою маршрутного процесу.

Рухоме складання може бути непотоковим і потоковим. У непотоковому варіанті виріб переводять до наступної позиції після завершення операції; через нерівномірність тривалості робіт можуть накопичуватися міжопераційні запаси. Потоковий метод передбачає постійний або періодичний рух транспортної системи й повторюваний розподіл операцій. Він забезпечує високу продуктивність за умови раціональної конструкції виробу та стабільного забезпечення комплектувальними елементами.

При безперервному русі конвеєра складальник виконує операцію в межах робочої зони під час переміщення виробу. Швидкість лінії повинна відповідати тривалості операції та відстані між виробами. За періодичного переміщення об'єкт зупиняється на робочій позиції, де виконують визначений комплекс дій, після чого синхронно переходить далі. Вибір між цими формами залежить від маси та габаритів виробу, структури переходів, вимог до точності позиціювання й економічної доцільності.

Для забезпечення працездатності лінії важливі правильне балансування операцій, резервування критичних засобів, організація внутрішнього контролю та своєчасне постачання комплектувальних деталей. Висока паспортна швидкість конвеєра не гарантує високої продуктивності, якщо окремі позиції мають довшу тривалість операцій або часто простоюють. Під час проєктування слід оцінювати фактичний коефіцієнт використання робочого часу й очікувані втрати від зупинок.

10.2. Обладнання складальних цехів

Оснащення складального виробництва доцільно розподіляти за призначенням на технологічне, установне, допоміжне та транспортне. Технологічне обладнання безпосередньо формує спряження: преси, гайковерти, вальцівки, зварювальні й паяльні установки, спеціальні монтажні пристрої. Допоміжні засоби забезпечують подавання деталей, утримування, підйом і переміщення об'єктів. До них належать домкрати, талі, лебідки, підіймачі, тельфери, крани й різноманітні пристосування для позиціювання.

Для міжопераційного переміщення застосовують рольганги, рейкові й безрейкові візки, конвеєри та інші транспортні системи. Рольганги можуть бути горизонтальними або похилими; у другому випадку рух відбувається під дією сили тяжіння. Їхня перевага – простота й відносно невисока вартість, але для них потрібні вироби з придатною опорною поверхнею або спеціальні супутники. Візки зручні для великих деталей, оскільки дозволяють переміщувати виріб між спеціалізованими позиціями без повного демонтажу установної бази.

За призначенням несучого органа конвеєри поділяють на робочі та розподільні. На робочому конвеєрі складання виконують безпосередньо на транспортному

пристрої, а розподільний переважно передає виріб до відокремлених робочих місць. За рухом вони бувають безперервними, пульсувальними та такими, що дозволяють незалежне переміщення супутників. За просторовим виконанням використовують підвісні, підлогові та естакадні системи.

До поширених конструкцій належать пластинчасті, візкові, ланцюгові, штангові, крокувальні та підвісні штовхальні конвеєри. Пластинчасті системи придатні для послідовної передачі виробів із відносно стабільною базою; візкові мають окремі опори, на яких можна фіксувати габаритний об'єкт; ланцюгові використовують тяговий орган і відповідні упори; крокувальні забезпечують дискретне переміщення між позиціями. Для великогабаритної техніки особливе значення мають вантажопідйомність, стійкість та безпечність переміщення.

Підвісні штовхальні системи дозволяють у певних конструкціях відокремлювати рух супутника від безперервного руху тягового органа. Це полегшує організацію несинхронних ліній і дає змогу зменшити вплив простою однієї позиції на роботу всього виробництва. Установлення адресних пристроїв і засобів автоматичного керування забезпечує передавання виробу на потрібну позицію. Для оцінювання доцільності таких систем потрібно враховувати вартість обладнання, вимоги до підлоги й фундаменту, технічне обслуговування та потребу в міжопераційних накопичувачах.

У вихідному посібнику наведено різні діапазони мас і швидкостей для окремих типів конвеєрів. Це характеристики конкретних традиційних конструкцій, тому під час сучасного проєктування їх необхідно перевіряти за актуальними каталогами виробників. Загальний принцип залишається незмінним: транспорт повинен бути адаптований до конструкції виробу, маршруту складання і вимог безпеки, а не примушувати технологію підлаштовуватися під випадково наявний конвеєр.

11. МЕХАНІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ

11.1. Автоматизовані лінії складання

За способом виконання елементарних дій складальні процеси можна умовно поділити на ручні, механізовані, автоматизовані та автоматичні. За ручного

складання працівник власноруч подає, орієнтує, суміщає та закріплює деталі. Механізація дозволяє передати обладнанню частину фізичних дій – наприклад, затягування, запресовування або піднімання. Автоматизація передбачає програмне чи апаратне керування визначеною послідовністю переходів, а також використання датчиків і засобів контролю.

Автоматизована лінія складається з позицій, які виконують окремі технологічні функції, транспортних пристроїв, живильників, накопичувачів, систем керування і контролю. Її технологічні можливості суттєво залежать від конструкції деталей. Найкраще автоматизуються операції, за яких деталь має однозначне положення, чітку базу, зручний напрямок установлення та відсутність необхідності ручного припасування. Висока повторюваність геометрії й стабільність постачання компонентів є передумовою надійної роботи лінії.

У першоджерелі розглянуто жорстко зв'язані та несинхронні складальні лінії. У першому випадку порушення роботи окремої позиції може спричинити зупинку всього комплексу. За несинхронної організації застосовують буферні запаси й незалежне керування переміщенням, що дозволяє локалізувати частину затримок. Вибір архітектури потребує аналізу продуктивності, надійності кожної позиції, обсягу виробничої програми й вартості простоїв.

Для автоматичного складання необхідно розв'язати задачі орієнтування деталей, їх безпечного подавання, приведення до бази та контролювання завершення операції. Роботизовані захвати, механізми позиціювання й пристрої для встановлення компонентів повинні компенсувати допустимі відхилення, не ушкоджуючи робочі поверхні. Під час проєктування слід передбачити можливість швидкого обслуговування, заміни інструмента, налагодження під новий виріб і відновлення після збою.

11.2. Засоби автоматичного контролю складання

Автоматичний контроль дозволяє перевіряти критичні параметри без постійної участі оператора. Для цього використовують датчики положення та переміщення, вимірювачі сили і моменту, індуктивні чи оптичні пристрої, засоби пневматичного контролю розмірів, системи машинного зору й спеціальні контрольні стенди. Вибір

методу залежить від вимірюваного параметра, потрібної точності, швидкості роботи лінії та впливу виробничого середовища.

Контроль може здійснюватися до складання, безпосередньо під час операції або після її завершення. Попередня перевірка запобігає введенню непридатних деталей у складальний цикл. Поточний контроль сили, переміщення чи моменту дозволяє своєчасно виявити перекіс і зупинити процес до пошкодження вузла. Завершальна перевірка підтверджує результат: наприклад, посадкову глибину, фактичний зазор, герметичність або правильність взаємного положення компонентів.

Найбільш інформативні системи контролю не тільки подають сигнал «придатно / непридатно», а й зберігають цифрові дані для подальшого аналізу. При накопиченні результатів можна виявити поступове зміщення параметрів через зношування інструмента, розладнання оснащення або зміну властивостей матеріалів. Проте автоматична система потребує калібрування, перевірки достовірності сигналів та захисту від хибного спрацювання. Погано налагоджений контроль може погіршувати продуктивність навіть за технічно справної лінії.

11.3. Автоматизоване проєктування складальних процесів

Застосування засобів автоматизованого проєктування дає змогу формалізувати складальні маршрути, накопичувати типові технологічні рішення та швидше оцінювати альтернативи. Базою є цифровий опис виробу: його структура, геометрія, взаємозв'язки, технічні вимоги й умови виробництва. Програмні засоби можуть підтримувати вибір послідовності складання, підбір обладнання, формування операційних карт і розрахунок часу. Однак відповідальність за коректність вихідних даних та остаточне технологічне рішення залишається за фахівцем.

Технологію доцільно розглядати як багаторівневу систему: від загальної структури виробу та поділу на вузли – до маршруту складання, окремих операцій і переходів. Рішення вищого рівня визначають обмеження для нижчих, а результати детальних розрахунків можуть вимагати перегляду раніше обраної схеми. Тому ефективна система автоматизованого проєктування повинна підтримувати зворотний зв'язок між рівнями, контроль узгодженості й вибір найбільш раціональних альтернатив.

Важливу роль відіграють уніфіковані елементи та типові технологічні процеси. Якщо деталі мають споріднену конструкцію, можна використовувати раніше перевірені операції й оснащення, а нову технологію створювати шляхом параметричної адаптації. Це скорочує час підготовки виробництва та зменшує ймовірність пропуску обов'язкових контрольних переходів. Автоматизація проєктування не означає відмови від інженерного аналізу: система має допомагати перевіряти вибір, а не підміняти розуміння причинно-наслідкових зв'язків.

12. АНАЛІЗ І ВІДПРАЦЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ

Технологічність конструкції характеризує її пристосованість до ефективного виготовлення, складання, контролювання, обслуговування й ремонту. Вона залежить не лише від кількості деталей, а й від доступності кріплення, кількості напрямків монтажного переміщення, характеру баз, ступеня уніфікації та можливості автономного складання окремих вузлів. Відпрацювання технологічності бажано здійснювати ще на етапі конструювання, коли зміна геометрії або структурної схеми виробу не потребує значних витрат.

Якісне оцінювання включає перевірку складності загального компонування, числа оригінальних деталей, доступності інструмента, придатності до механізації, ремонтопридатності та можливості поділу на складальні одиниці. Кількісна оцінка передбачає порівняння альтернативних конструкцій за трудомісткістю, тривалістю складального циклу, кількістю операцій, витратами на оснащення й очікуваною продуктивністю. Для обґрунтованого висновку обидва підходи потрібно застосовувати спільно.

Спрощення конструкції часто підвищує надійність складальної лінії. Якщо жорстко зв'язана система містить послідовні робочі позиції, і відмова будь-якої з них зупиняє всю лінію, її загальна готовність у спрощеному випадку визначається добутком готовностей окремих позицій: $P = P1 \cdot P2 \cdot \ldots \cdot Pn$. Із збільшенням кількості послідовно залежних елементів загальна надійність зменшується, якщо окремі значення Pi нижчі за одиницю. Тому скорочення кількості складальних позицій та

зменшення технологічної залежності між ними є важливими напрямами вдосконалення.

Для цього конструкцію розчленовують на функціонально завершені вузли, які можна скласти, відрегулювати й перевірити до подавання на загальне складання. Такий підхід скорочує кількість операцій над великим виробом, полегшує локалізацію дефектів та створює передумови для спеціалізації робочих місць. Бажано, щоб конструктивні межі механізмів збігалися з технологічними межами складальних одиниць. Водночас надмірне дроблення також може збільшувати кількість з'єднань і операцій, тому остаточне рішення визначають техніко-економічним розрахунком.

Стандартизація й уніфікація знижують номенклатуру складальних засобів, пристроїв, захватів і вимірювального оснащення. Використання однакових елементів дає змогу повторно застосовувати типові технологічні рішення і скорочувати час налагодження. Для роботизованого складання важливим є також зменшення кількості типів захватних пристроїв і напрямків підведення деталей. Конструктивне рішення потрібно оцінювати з позиції всього життєвого циклу, а не лише вартості окремої деталі.

Напрямок складального переміщення може істотно впливати на складність автоматизації. За можливості перевагу надають простим переміщенням уздовж однієї осі, особливо вертикальним, коли сила тяжіння допомагає утримувати встановлюваний елемент. Наявність багатьох різноспрямованих операцій потребує переорієнтування виробу, кантовачів, додаткових механізмів і складнішого керування. Проте оптимальний напрямок визначається не загальним правилом, а масою, формою, допусками та вимогами до складання конкретного вузла.

Важливо максимально узгоджувати складальні, технологічні й вимірювальні бази. Часте перенесення базування підвищує ризик накопичення похибок і потребу в додаткових перевірках. Базова деталь повинна забезпечувати достатню стійкість складального об'єкта, надійне закріплення й доступ до основних спряжень. Для регулювання розмірних ланцюгів доцільно зменшувати кількість ланок та, за потреби, передбачати жорсткі або регульовані компенсатори.

Для автоматичного складання бажано забезпечувати потрібну точність методами взаємозамінності. Індивідуальне ручне припасування ускладнює автоматизацію, збільшує невизначеність тривалості циклу та знижує повторюваність якості. Селективне комплектування можна механізувати або автоматизувати, але для цього потрібні засоби суцільного вимірювання й сортування деталей. Економічну доцільність такого рішення визначають зіставленням додаткової вартості контролю з витратами на точніше виготовлення.

Конструкція має забезпечувати однозначність орієнтування й попереджати помилковий монтаж. Для цього використовують несиметричні установні елементи, напрямні поясочки, фаски, контрольні мітки та інші засоби геометричного захисту від неправильної установки. Наявність заходних фасок особливо корисна для посадок із зазором, натягом і різьбових з'єднань, оскільки спрощує суміщення деталей і зменшує ризик пошкодження. Однак фаска не повинна порушувати робочий контакт чи зменшувати несучу здатність з'єднання.

Ремонтопридатність враховують через доступність демонтажу, можливість застосування знімачів, наявність отворів для відтискних гвинтів, місць захоплення й підіймання важких елементів. Коли конструкція змушує розбирати справні вузли заради доступу до однієї деталі, витрати на технічний сервіс значно зростають. Тому під час відпрацювання технологічності необхідно передбачати не лише початкове складання на заводі, а й подальші регулювальні, діагностичні та ремонтні операції.

Підсумкову оцінку технологічності слід оформити як обґрунтоване порівняння варіантів. У ньому бажано відобразити кількість оригінальних деталей, число й складність спряжень, трудомісткість, розмірні ланцюги, потребу у спеціальному оснащенні, можливість автоматичного контролю та якість доступу до вузлів. Це дозволяє обрати конструкцію, яка одночасно забезпечує задані функції, надійність, продуктивність виробництва та прийнятні витрати протягом життєвого циклу машини.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Яцун В. В., Горпинченко О. В., Яцун В. В. Технічні основи створення машин : навч. посіб. / за ред. В. В. Яцуна. 2-ге вид., допов. і перероб. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2025. 229 с.
2. Борозенець Г. М., Павлов В. М., Семак І. В. Деталі машин : навч. посіб. Київ : Кондор, 2024. 220 с.
3. Шокарев О. М., Кюрчев С. В., Болтянський Б. В., Кюрчев В. М., Скляр О. Г. Технічний сервіс машин на підприємствах агропромислового комплексу : навч. посіб. Запоріжжя : ТДАТУ, 2026.
4. Ружило З. В., Мельник В. І., Новицький А. В. та ін. Надійність машин та обладнання. Ч. 2. Ремонт машин та відновлення деталей : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2023.
5. Шокарев О. М., Кюрчев В. М., Кюрчев С. В., Побігун А. М. Організація та технологія технічного сервісу машин : навч. посіб. Мелітополь : ФОРВАРДПРЕСС, 2019. 307 с.
6. Міняйло А. В., Тіщенко Л. М., Мазоренко Д. І. та ін. Деталі машин : підручник. Київ : Агроосвіта, 2013. 448 с.
7. Козаченко О. В., Шкрегаль О. М., Сорокін С. П. Теорія експлуатації машин та проєктування технічних систем : навч. посіб. Харків : ПромАрт, 2018. 320 с.
8. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин : підручник. Львів : Афіша, 2003. 560 с.
9. Коновалюк О. В., Колісник М. В., Васюк С. М. та ін. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі : навч. посіб. Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2025. 222 с.
10. Грушецький С. М., Бендера І. М., Козаченко О. В. та ін. Технічний сервіс в АПК : навчально-методичний комплекс : навч. посіб. / за ред. С. М. Грушецького, І. М. Бендери. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я. І., 2014. 680 с.
11. Клімов С. В. Організація технічного сервісу машин : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2010. 120 с.

12. Коновалюк Д. М., Ковальчук Р. М. Деталі машин : підручник. Київ : Кондор, 2012. 584 с.
13. Малащенко В. О., Янків В. В. Деталі машин. Курсове проєктування : навч. посіб. Львів : Новий Світ–2000, 2007. 252 с.
14. Ковальчук Р. М., Байбула В. О., Товстушко М. М. Деталі машин. Практикум : навч. посіб. Київ : Кондор, 2009. 276 с.
15. Овчаров Б. З., Міняйло А. В., Мазоренко Д. І., Тіщенко Л. М. Розрахунки і проєктування деталей машин. Ч. 1. Механічні передачі. Харків : ХНТУСГ, 2006. 366 с.
16. Marchenko D. D., Matvyeyeva K. S. Development and Investigation of the Technology of Electro-Induction Surfacing of Parts of Working Bodies of Agricultural Machines. Problems of Tribology. 2026. Vol. 31, No. 1/119. P. 72–79. DOI: https://doi.org/10.31891/2079-1372-2026-119-1-72-79.
17. Marchenko D. D., Matvyeyeva K. S. Research on the Technological Process of Restoration with Electrodiffusion Strengthening of the Working Surfaces of the Segments of the Headers of Combine Harvesters. Problems of Tribology. 2025. Vol. 30, No. 1/115. P. 100–107. DOI: https://doi.org/10.31891/2079-1372-2025-115-1-100-107.
18. Marchenko D. D., Matvyeyeva K. S. Study of Wear Resistance of Cylindrical Parts by Electromechanical Surface Hardening. Problems of Tribology. 2024. Vol. 29, No. 1/111. P. 25–31. DOI: https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-111-1-25-31.
19. Овчаров Б. З., Міняйло А. В., Мазоренко Д. І., Тіщенко Л. М. Розрахунки і проєктування деталей машин. Ч. 2. Вали і опори. Харків : ХНТУСГ, 2008. 315 с.

Навчальне видання

КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ З ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ

Методичні рекомендації

Укладач: **Марченко** Дмитро Дмитрович

Формат 60х84 1/16. Ум. друк. арк. 3,5.
Тираж 100 прим. Зам. № ___

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013 р.