

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

До виконання курсового проекту «Компонування і моделювання
верстатних систем» (для спеціальності 131 Прикладна механіка денної та
заочної форми навчання)

ЛУЦЬК 2023

УДК

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни: «Компонування і моделювання верстатних систем» (для спеціальності 131 «Прикладна механіка» денної та заочної форми навчання) / Укладачі: О.В.Мірошніченко, М.В. Оверко – 40 с.

Наведено методику виконання курсового проекту, вимоги до змісту пояснювальної записки та графічної частини, вимоги до захисту проекту.

Укладачі: Мірошніченко О.В., доц., к.т.н., доцент кафедри прикладної механіки; Оверко М.В., к.т.н., доцент кафедри прикладної механіки

Рецензент:

Відповідальний за випуск: С.О. Вірич, зав. кафедри прикладної механіки доц.

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ

Протокол № __ від __.__.20__ р.

Розглянуто на засіданні кафедри прикладної механіки
Протокол № 5 від 13 грудня 2022 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Обсяг і зміст курсового проекту	5
1 Аналіз вихідних даних.....	8
2 Технологічність конструкції.....	8
3 Форми організації виробництва.....	10
4 Розробка компоновочної схеми верстатної системи.....	10
4.1 Рекомендації щодо розробки технологічного процесу виготовлення деталей в умовах автоматизованого виробництва.....	12
4.2 Види РТК та їх компоновки.....	13
4.2.1 Однопозиційні РТК на базі токарного верстата.....	14
4.2.2 Багатопозиційні РТК на базі токарних верстатів.....	18
5 Проектування коробки швидкостей з безступінчастим комбінованим регулюванням.....	19
5.1 Порядок розрахунку коробок швидкостей з безступінчастим комбінованим регулюванням.....	19
5.2 Приклад розрахунку коробки швидкостей з безступінчастим регулюванням.....	23
6 Проектування елементів транспортно-накопичувальної системи.....	28
6.1 Особливості проектування механічних захоплювальних пристроїв...	28
6.2 Особливості розрахунку саморухомих магазинних допоміжних пристроїв.....	36
Список рекомендованої літератури.....	40

ВСТУП

Автоматизоване проектування дозволяє значно скоротити суб'єктивізм при ухваленні рішень, підвищити точність розрахунків, вибрати якнайкращі варіанти для реалізації на основі строгого математичного аналізу всіх або більшості варіантів проекту з оцінкою технічних, технологічних і економічних характеристик виробництва і експлуатації проектного об'єкта. Автоматизоване проектування сприяє скороченню термінів проектування і передачі конструкторській документації у виробництво, в якій в повному об'ємі використовуються не тільки уніфіковані вироби й стандартні компоненти, але й всі застарілі елементи діючих пристроїв, властивості яких не погіршали за час їх експлуатації.

Мета курсового проекту – навчити студентів методам аналізу та синтезу технічних об'єктів на базі принципів системного підходу, дати можливість засвоїти методи і засоби вирішення типових проектних задач та виконання типових проектних операцій, які здійснюються в сучасних системах автоматизованого проектування при розробці конструкцій металообробного обладнання і верстатних систем.

ОБСЯГ І ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

з дисципліни «Компонування і моделювання верстатних систем»

Курсовий проект включає графічну частину та пояснювальну записку, зміст якої визначається темою проекту «Спроекувати робото-технічний комплекс для обробки заданої деталі».

Вимоги до виконання курсового проекту

Графічна частина проекту виконується студентом на базі теоретичного курсу та аналогів конструктивних рішень, наведених у підручниках, атласах, довідниках і т.д.

Обсяг графічної частини проекту становить 4 аркуші формату А1 відповідно до ДСТУ Б А.2.4-4:2009.

Зміст графічної частини визначається темою проекту та вказується керівником.

Зразковий зміст графічної частини проекту «Спроекувати РТК для обробки заданої деталі».

1. Загальний вид РТК.....	A1
2. Розгортка шпиндельного вузла.....	A1
3. Захватний механізм маніпулятора.....	A1
4. Магазинний допоміжний пристрій.....	A1

Для нестандартних проектів зміст аркушів графічної частини встановлюється індивідуально керівником проекту.

Складальні креслення повинні містити габаритні, установчі розміри та повинні бути зазначені всі посадки. Необхідно виконати повну специфікацію, що повинна бути поміщена в додатку до пояснювальної записки. Креслення повинні бути оформлені відповідно до ДСТУ Б А.2.4-4:2009. Креслення

загальних видів рекомендується позначати за аналогією з наступним записом: ПК 23.131.XX.01.000 СК, де 23 - рік виконання курсового проекту; 131 - код спеціальності; XX – номер варіанту; 01 - номер складального креслення. Над основним написом містяться технічні вимоги, що відбивають специфічні особливості технології складання, регулювання, ремонту та експлуатації виробу. На вільному полі креслення розміщується технічна характеристика виробу.

Пояснювальна записка оформляється з урахуванням вимог ДСТУ 3008:2015. Обсяг пояснювальної записки 35-40 сторінок.

Вона повинна містити:

- титульний аркуш;
- реферат;
- завдання на проектування;
- зміст;
- вступ;
- основну частину;
- висновки (висновки та пропозиції);
- список використаних джерел;
- додатки.

Перший аркуш записки повинен мати рамку та основний підпис (аналогічно специфікації), інші аркуші в навчальному проекті допускаються без рамок. Креслення, ескізи та таблиці забезпечуються наскрізною нумерацією в межах даного розділу. Скорочення слів у підписах до рисунків і таблиць не допускається. У пояснювальній записці повинні бути обґрунтовані прийняті конструктивні рішення, вибір матеріалу, допустимі напруження, запаси міцності, розрахункові коефіцієнти з посиланням на відповідну довідкову літературу. Посилання на літературні джерела повинні вказуватися у квадратних дужках і відповідати порядковому номеру в списку використаної літератури.

При виконанні розрахунків обов'язкове використання засобів обчислювальної техніки. Роздруківки оригінальних програм і їхній алгоритм приводиться в додатку до пояснювальної записки.

Захист проекту

До захисту допускаються проекти, виконані відповідно до завдання, у необхідному обсязі.

Захист курсового проекту відбувається за графіком перед комісією з 2-3 чоловік, у яку обов'язково входить керівник проекту.

Захист складається з короткої доповіді студента по темі проекту (до 5 хвилин) і відповідей на питання членів комісії. У доповіді студент повинен освітити головні питання, розроблені в проекті, обґрунтувати доцільність прийнятих конструктивних рішень, матеріалів з погляду технологічності, міцності, жорсткості, довговічності, економічності, зручності монтажу та техніки безпеки.

Несвоєчасно виконаний проект може бути захищений тільки з дозволу декана.

У випадку незадовільного захисту студентові може бути видана нова тема курсового проекту.

Критерії оцінювання

Контроль виконання курсового проекту включає поточний контроль за виконанням розрахунків за трьома розділами та захист перед комісією. Оцінка виконання та захисту курсового проекту проводиться за 100-бальною шкалою.

Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Захист роботи	Сума
До 10	До 30	До 60	До 100

1. АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ

Тут розглядаються такі питання:

- призначення деталі у складі вузла, машини, та умови її експлуатації;
- вимоги до виготовлення деталі;
- аналізується матеріал деталі і його властивості (фізико-хімічні, технологічні);
- визначаються вимоги до окремих поверхонь деталі,
- аналізується базовий технологічний процес з метою можливості виробництва в умовах автоматизованого виробництва.

На основі проведеного аналізу необхідно сформулювати основні завдання, які необхідно вирішити при розробці ТП для досягнення заданих властивостей деталі.

2. ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ

Технологічність конструкції – це сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають його пристосованість до досягнення оптимальних витрат при виробництві, експлуатації та ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску і умов виконання роботи. Технологічність конструкції деталі аналізується з урахуванням умов її виробництва, розглядаючи особливості конструкції і вимоги якості як технологічні завдання виробника.

Технологічність конструкції виробу в умовах автоматизованого виробництва, забезпечується наступним чином:

- зниженням номенклатури виготовлених виробів шляхом уніфікації та стандартизації;
- розвитком уніфікації поверхонь і комплектів поверхонь з метою типізації технологічних процесів;

- опрацюванням конструктивних форм деталей для забезпечення необхідної точності, стійкості і жорсткості при установці заготовок в процесі механічної обробки, складання, транспортуванні, контролі якості й т.п. ;
- цілеспрямованим конструктивним оформленням єдиних технологічних баз, що дозволяють виготовити деталі при мінімальній кількості операцій
- конструюванням деталей з урахуванням використання при їх виготовленні мінімальної номенклатури стандартного інструменту, уніфікованої технологічної оснастки, уніфікованих транспортних, складських та інших засобів і забезпечення умов збирання без додаткових операцій за місцем;
- конструюванням складальних одиниць з урахуванням можливості автоматизованого складання.

Конструкції деталей повинні бути такими, щоб була можлива уніфікація технологічних процесів і типів технологічного обладнання з метою використання групового методу їх виготовлення.

- Деталь повинна мати по можливості просту форму, що дозволяє виконувати обробку нескладними інструментами при мінімальному числі робочих ходів, а заготовка – мінімальний припуск на обробку і стабільні розміри.
- Поверхні, що використовуються для транспортування заготовки, повинні забезпечувати її стійке положення при переміщенні без втрати орієнтації, технологічні бази повинні бути такими, щоб забезпечувалося надійне базування.
- Конструкція деталі повинна бути досить жорсткою для забезпечення заданої точності обробки при оптимальних режимах різання і дозволити обробку з мінімальним числом поворотів заготовки в процесі її виконання.
- Міжосьові відстані отворів, що лежать в одній площині, повинні дозволити обробку інструментами, закріпленими в одній шпиндельній голівці.
- В якості технологічних баз при обробці корпусних деталей часто використовують площину і два базових отвори.

При розробці технологічного процесу слід уникати зміни баз.

Для оцінки технологічності конструкції деталі використовуємо показники маси деталі, коефіцієнта використання матеріалу.

3. ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

Віднесення механообробного виробництва до того чи іншого типу виробництва залежить від конструктивних і технологічних особливостей виробів, регулярності, стабільності та річного обсягу випуску. Тип виробництва впливає на організацію виробничого процесу, структуру виробництва, вибір обладнання, транспортних систем і систем контролю. Тип виробництва попередньо визначають на початковій стадії проектування шляхом аналізу програми виробництва з подальшим уточненням на подальших стадіях проектування в міру технологічного опрацювання проекту (роботи) і виявлення ознак серійності виробництва деталей. Для попереднього визначення типу проєктованого виробництва на окремих ділянках в залежності від річного обсягу випуску і маси оброблюваних деталей можна використовувати дані табл. 1

Таблиця 1

Тип виробництва	Кількість деталей одного типорозміру на рік, шт.		
	Важких (масою більше 100 кг)	Середніх (масою 10 - 100 кг)	Легких (масою до 10 кг)
Одиничне	До 5	До 10	До 100
Дрібносерійне	5 – 100	10 – 200	100 – 500
Середньо серійне	100 – 300	200 - 500	500 - 5000
Багатосерійне	300 – 1000	500 - 5000	5000 - 50000
Масове	Більше 1000	Більше 5000	Більше 50000

4. РОЗРОБКА КОМПОНОВОЧНОЇ СХЕМИ ВЕРСТАТНОЇ СИСТЕМИ

В умовах багатосерійного і масового виробництва основним обладнанням для механічної обробки є автоматичні лінії (АЛ) або системи які складаються з них.

В умовах багатосерійного і масового виробництва використовуються переналагоджувані АЛ.

У середньо і багатосерійному виробництвах використовуються гнучкі автоматичні лінії (ГАЛ), де ставляться специфічні вимоги до металорізального обладнання. Звичайні АЛ в середньо-серійному виробництві нерентабельні внаслідок малого коефіцієнта завантаження. Число найменувань деталей, що виготовляються на ГАЛ, залежить від програми їх випуску і трудомісткості обробки і може досягати в середньому 10 – 12 найменувань.

У середньо-серійному виробництві з річною програмою випуску 5000-30000 шт. обробку доцільно виконувати на агрегатному устаткуванні, що збільшує продуктивність праці в 5 – 10 разів в порівнянні з обробкою на верстатах з ЧПУ.

В одиничному і дрібносерійному виробництві застосовується локальна автоматизація. Необхідним елементом переходу від локальної автоматизації до гнучких виробничих систем (ГВС) є роботизовані технологічні комплекси (РТК). Організаційно РТК можуть функціонувати окремо, як самостійний вид обладнання, або можуть бути об'єднані в роботизовані технологічні лінії (РТЛ) і роботизовані технологічні ділянки (РТД).

Основою при розробці процесу виготовлення деталей і вибір технологічного обладнання є інформація про геометричну структуру виробу.

Геометрична інформація про деталі може бути представлена у вигляді трьох ієрархічних рівнів.

Перший рівень – параметричний, на якому формується необхідний і достатній набір параметрів, що характеризує тип деталі або її частин. Ця інформація визначає досить жорстко номенклатуру верстатів.

Другий рівень - розмірний - визначає кількісні відносини між параметрами, що ще більш точно характеризує тип деталі або поверхні і обмежує варіанти процесів виготовлення даної деталі.

Третій рівень – точний, на якому враховують значення і співвідношення між допусками на розміри деталі. Тут вже багато в чому визначається не тільки принципова кінематична схема формоутворення деталі, але і тип верстата, а також його точність.

Відповідно до вище розглянутого обирається технологічне обладнання.

4.1 Рекомендації щодо розробки технологічного процесу виготовлення деталей в умовах автоматизованого виробництва

Технологічний процес розробляється на основі наявного типового або групового ТП. При відсутності типового або групового ТП виготовлення виробу, що відноситься до певної класифікаційної групи, ТП повинен розроблятися на основі використання раніше прийнятих прогресивних рішень, що містяться в чинних одиничних ТП виготовлення аналогічних виробів.

У новому ТП виділяються операції, які повинні виконуватися на автоматичному обладнанні. Для цих операцій визначається кількість основного і допоміжного технологічного обладнання, обирається структура і схема автоматичного комплексу, а так само дається технічне обґрунтування пропонованої автоматичної виробничої системи.

В рамках курсового проекту пропонується розглядати можливість використання для виробництва деталей гнучку виробничу систему у вигляді роботизованого комплексу (РТК).

При проектуванні технологічних процесів для автоматичних виробництв необхідно забезпечити:

- досягнення рівної або кратної продуктивності на окремих видах обладнання для отримання більшої синхронізації роботи і завантаження проектованого комплексу;
- автоматизацію не тільки переходів обробки, але і всіх допоміжних переходів;
- тривале збереження заданої точності;
- високу надійність і безаварійність роботи за рахунок ретельного опрацювання всіх питань контролю;
- блокування, сигналізації, резервування і відведення стружки;
- зручність транспортування і базування оброблюваної деталі.

Бажано зменшення кількості верстатів в автоматизованому комплексі за рахунок підвищення ступеня концентрації технологічних переходів і застосування багато-інструментального обладнання.

Перед початком проектування технологічного процесу уважно аналізують конструкцію комплексної деталі і технічні умови її виготовлення на предмет можливого поліпшення технологічності. Особливу увагу слід звернути на вибір настановних баз, використовувати принцип їх сталості і суміщення вимірювальних і технологічних баз. Це необхідно для зменшення різних положень деталі в процесі її виробництва. Кожна зміна положень розроблюваної деталі викликає необхідність застосовувати кантувач, автооператор і ін. Що ускладнює пристрій автоматизованої ділянки або лінії. При єдиній технологічній базі спрощується також транспортування оброблюваної заготовки від однієї позиції до іншої. Аналізуючи конструкцію деталі, слід звернути увагу на можливість багато-інструментальної обробки і застосування високопродуктивного багатолезового інструменту, на легкість видалення стружки і відведення мастильно-охолоджувальної рідини.

З урахуванням наведених вимог здійснюється проектування автоматизованого групового технологічного процесу для комплексної деталі.

4.2 Види РТК та їх компоновки

Верстат (група верстатів), що обслуговується промисловим роботом (ПР), становить так званий роботизований технологічний комплекс (РТК) До складу типових РТК включаються ПР; металорізальні верстати; допоміжне транспортне обладнання, накопичувачі, магазини заготовок та виробів тощо.

Залежно від числа верстатів, що обслуговуються одним ПР, розрізняють одноверстатні та багатоверстатні РТК. При малому часі (менше 3 хвилин) обробки, а також в умовах великосерійного виробництва використовують однопозиційні РТК на базі ПР з цикловим програмним управлінням, призначені для обслуговування одного верстата Крім зазначеного обладнання до складу

будь-якого РТК входять пристрої управління як окремим ПР, так і всім РТК. Число пристроїв управління, як правило, дорівнює кількості верстатів та інших технологічних машин (у в тому числі і ПР), що входять до складу РТК. Нерідко управління РТК здійснюється системою управління ПР. Для обробки деталей типу тіл обертання в основному використовують РТК трьох видів компоновання:

- однопозиційне з одним підлоговим, порталним або вбудованим в верстат ПР;
- багатопозиційне кругове компоновання з ПР підлогового типу;
- багатопозиційне лінійне та лінійно-паралельне компоновання з двох і більше верстатів з ПР порталного типу.

Лінійні компоновання РТК краще кругових, так як вимагають меншої площі, не вимагають зупинки всього РТК при переналагодженні і ремонті, збільшується кількість верстатів, що обслуговуються. При виборі способу установки заготовок на тактовому столі (ТС) і кількості заготовок на палеті (супутнику), необхідно враховувати зону роботи ПР, точність його позиціонування, розміри та компоновання схвату. Готову деталь можна ставити на ТС або на передбачену для цього окрему тару. Супутники розробляються до конкретних деталей.

При завантаженні РТК необхідно враховувати: розміри заготовок та номенклатуру деталей, допуски не центричності схватів, можливий кут захоплення. Тактовий стіл підбирається виходячи з габаритів та маси заготовок. При обробці деяких деталей виявляється необхідність застосування столу для кантування деталі або для перебазування в схваті, який повинен знаходитися в зоні дії ПР.

4.2.1 Однопозиційні РТК на базі токарного верстата

Однопозиційні РТК на базі токарних верстатів призначені для токарної обробки деталей типу тіл обертання зі штучних заготовок в автоматичному

режимі в дрібносерійному та серійному виробництві з партіями деталей, що повторюються.

У циклі роботи РТК заготівки автоматично по черзі подаються роботом на верстат. Оброблені деталі передаються роботом з верстата на вільні палети тактового столу. Програма обробки конкретної деталі вводиться в ЧПУ. Програма переміщень робота для встановлення та зняття конкретної деталі вводиться в ЧПУ робота в режимі навчання і може перебувати в пам'яті ЧПУ робота. Крім цього, система управління робота виконує функції управління всім РТК тобто, включає токарний верстат для роботи за програмою, автоматичний патрон верстата, огороження верстата та тактовий стіл. Однопозиційний РТК (рис. 1) на базі токарного верстата та ПР підлогового типу служить для обробки деталей типу валів (D до 120 мм; L до 500 мм; вагою до 10 кг) та фланців (D до 150 мм; L до 110 мм; вагою до 5 кг). До складу РТК входить магазин-накопичувач (тактовий стіл) **10** замкнутого типу місткістю 12-24 заготовок. ПР має ЧПУ робота **3** (Контур 1), пульт навчання робота **4**, захват **5**, поворотний блок **6**, шток **7** горизонтального переміщення захвата, поворотний пристрій **8** у горизонтальній площині, каретка **9** вертикального переміщення захвата. ПР виконує операції завантаження і розвантаження верстата, а також дає команди на пуск верстата **1**, управління затискним патроном **11**, рухомим огороженням робочої зони **12**, тактовим столом **10**.

ПР має п'ять програмованих переміщень: вертикально -2 (вгору і вниз) каретки **9** в межах 500 мм, її поворот у горизонтальній площині до 300° , горизонтальне переміщення штока **7** - $R = 1040 - 2140$, кутове положення поворотного блоку **6** - до 180° . Установка і знімання оброблюваної деталі в патрон верстата в даному РТК здійснюється шляхом повороту робота пристроєм **8**. Так як відстань між віссю повороту ПР і патроном досить велика, пружний захват компенсує похибку повороту замість поступального руху деталі, що завантажується в патрон.

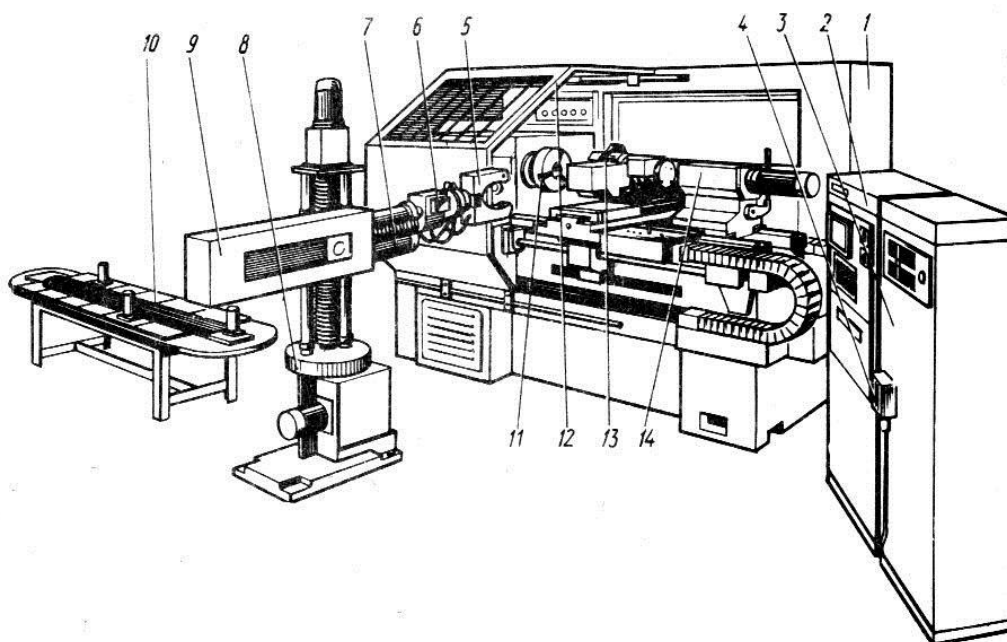


Рисунок 1 – РТК на базі токарного верстата та тактового стола

Тактовий стіл (МС) (рис. 2) комплексу призначений для транспортування деталей в зону захоплення ПР.

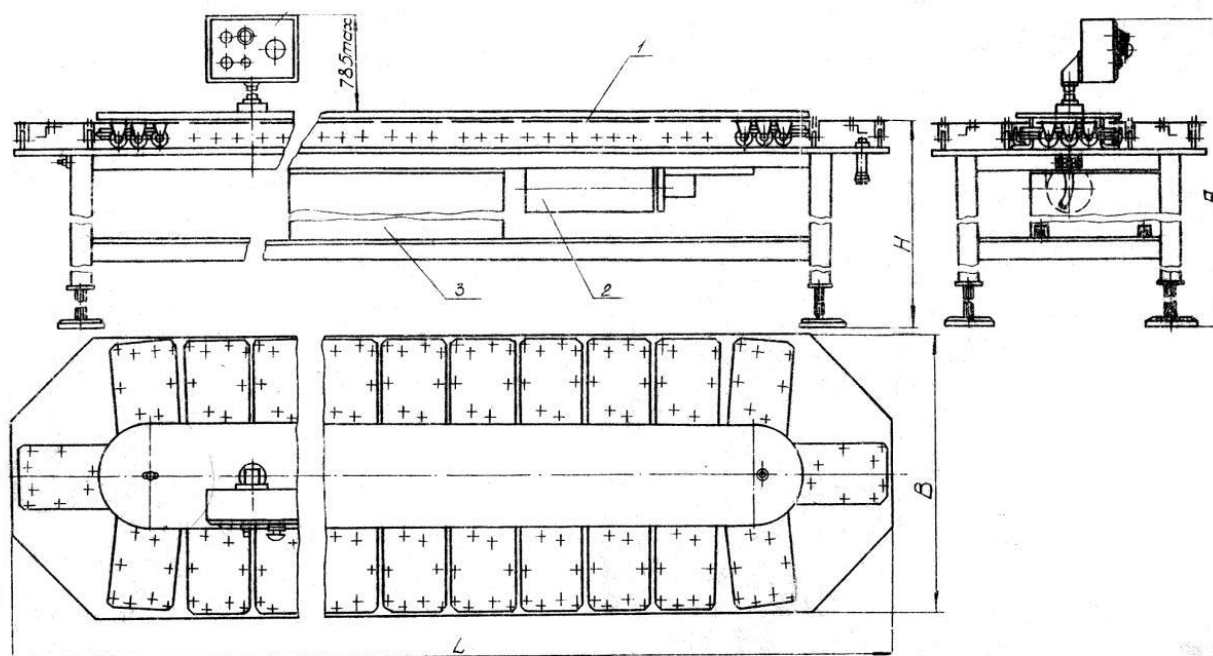


Рисунок 2 – Загальний вигляд тактового стола

Тактовий стіл може працювати у трьох режимах:

- ручного керування;

- автоматичного керування;
- режиму безперервного обертання.

При роботі тактового столу в автоматичному режимі команди управління надходять від системи ЧПУ робота. При цьому може здійснюватися крокове та безперервне переміщення палет.

Застосування тактового столу не обов'язково (рис. 3). Можна, використовуючи ЧПУ робота, запрограмувати знімання та укладання оброблюваних деталей на стаціонарному столі – режим палетування деталей.

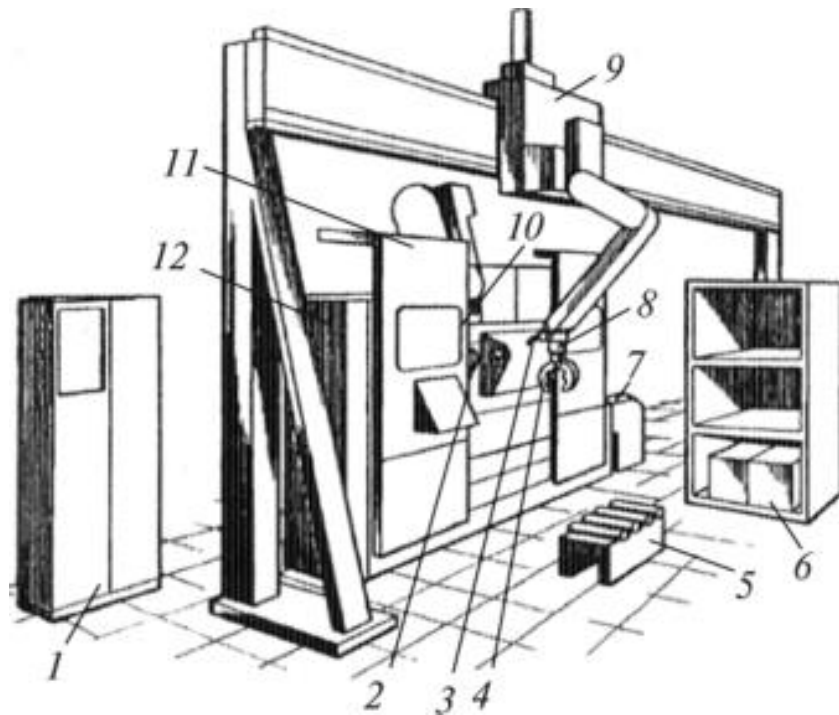


Рисунок 3 – РТК на базі токарного верстата та автоматизованого складу

На рис. 3 показано структуру РТК з урахуванням токарного верстата. Комплекс складається з токарного верстата **12**, оснащеного автоматичними затискними та базуючими пристроями **2** та пристроєм **7** для автоматичної зміни інструменту, ПР **9** з рукою робота **8**, пристроєм для автоматичної зміни хватного пристрою **4** та пристроєм **3** для очищення базових поверхонь оброблюваних заготовок, а також системи управління **1** ПР та верстатом. Заготовки розташовуються в осередках **6** автоматизованого складу і в магазинах, що орієнтують **5**. У токарному верстаті передбачені огороження **11** робочої зони і конвеєр **7** для видалення стружки.

4.2.2 Багатопозиційні РТК на базі токарних верстатів

Багатопозиційний РТК призначений для токарної обробки валів ($D = 50 \dots 140 \text{ мм}$; L до 1400 мм , вагою до 160 кг) в умовах серійного виробництва. Продуктивність РТК до $50\,000$ валів на рік. Передбачено три варіанти роботи РТК: 1) послідовна обробка деталей на верстатах, налагоджених на виконання різних операцій; 2) паралельна обробка деталей одного найменування на верстатах, налагоджених на виконання однакової операції; 3) паралельна обробка деталей двох найменувань на верстатах, налагоджених на виконання відповідних операцій.

РТК (рис. 4) складається з фрезерно-центрувального верстата **1**, двох токарних верстатів **3**; ПР **2**; допоміжного обладнання та системи забезпечення безпечної роботи. ПР переміщується монорейкою. Перед верстатами розташовані проміжні позиції **5** і магазини-накопичувачі **4**. РТК оснащений захисним пристроєм.

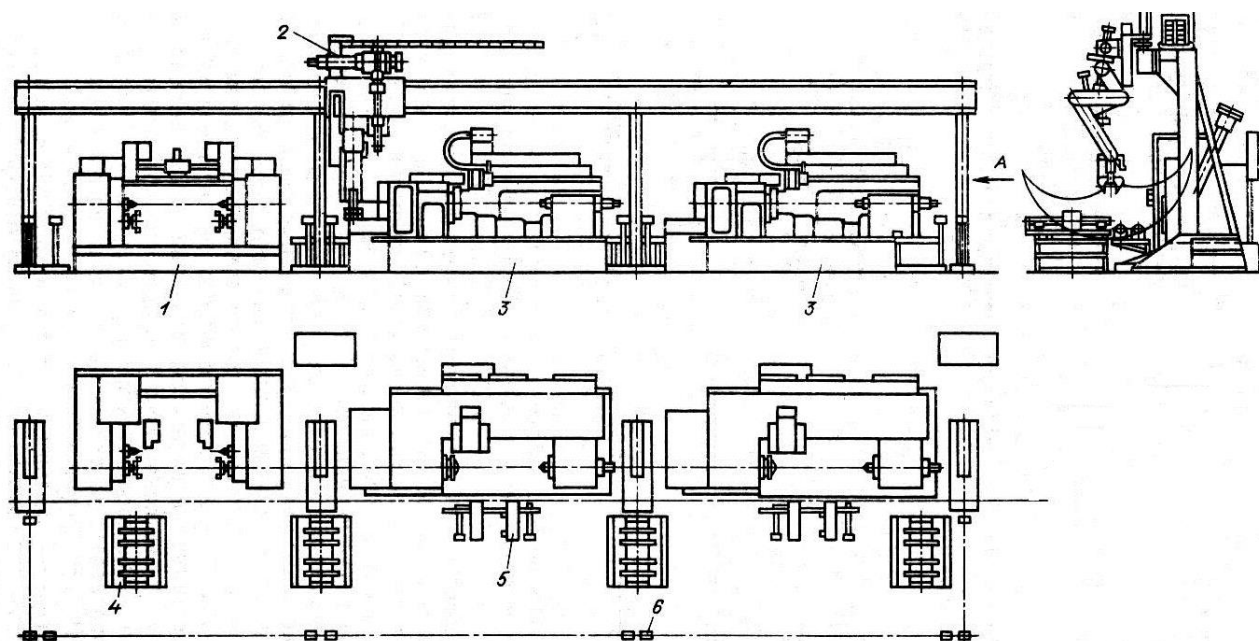


Рисунок 4 – Багатопозиційні РТК на базі токарних верстатів

На фрезерно-центрувальному верстаті фрезеруються торці заготовки і обробляються центрувальні отвори з двох сторін за один робочий цикл. На

токарних верстатах з ЧПУ обробляються циліндричні, конічні, сферичні поверхні, прорізаються канавки і нарізується різьба.

ПР здійснює встановлення заготовок, зняття деталей, їх міжверстатне транспортування. Вантажопідйомність до 160 кг, похибка позиціонування трохи більше ± 1 мм при максимальних швидкостях переміщення окремих ланок 0,8 – 1,6 м/с. Система ЧПУ робота забезпечує індивідуальне обслуговування верстатів за викликами. Якщо виклики надходять одночасно з двох і більше верстатів, то встановлюється система пріоритету, за якою ПР в першу чергу обслуговує верстат з тривалим циклом обробки. У довгостроковій пам'яті ЧПУ робота зберігаються індивідуальні програми обслуговування кожного верстата. Після виклику, система управління ПР здійснює пошук у пам'яті програми обслуговування даного верстата. ПР комплектується широкодіапазонними захватними пристроями, оснащеними датчиками зовнішньої інформації. ПР виконує наступне коло операцій:

- пошук заготовок у накопичувачі;
- відпрацювання заготовок із неприпустимими відхиленнями розмірів;
- перевстановлення;
- проміжне складування та укладання деталей у вихідні позиції РТК.

СЧПУ є центральною системою керування електроавтоматикою РТК при груповому обслуговуванні верстатів. Верстати РТК оснащені пристроєм автоматичного підведення-відведення огорожі та пінолі, пристроєм автоматичного затиску-звільнення патрона, датчиками, що фіксують наявність деталі в верстаті і контролюють стан патрона, ЧПУ та електроавтоматикою, що забезпечують діалог між верстатом та ПР та виконання інших функцій.

5. ПРОЕКТУВАННЯ КОРОБКИ ШВИДКОСТЕЙ З БЕЗСТУПІНЧАСТИМ КОМБІНОВАНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ

5.1 Порядок розрахунку коробок швидкостей з безступінчастим комбінованим регулюванням

1. Розрахувати показник геометричної прогресії безступінчастого регулювання за формулою:

$$\varphi = \frac{1}{1 - \frac{\alpha}{100}}, \quad (1)$$

де α – значення втрат швидкості у %, $\alpha = 5 \dots 10\%$.

Прийняти близьке стандартне значення з ряду: 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2.

2. Обчислити мінімальне та максимальне значення частоти обертання за формулами:

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot V_{min}}{\pi \cdot D_{max}}, \quad (2)$$

$$n_{max} = \frac{1000 \cdot V_{max}}{\pi \cdot D_{min}}, \quad (3)$$

де n_{min} , n_{max} – відповідно мінімальна та максимальна частота обертання, об/хв; V_{min} , V_{max} – відповідно мінімальна та максимальна швидкість, м/хв; D_{min} , D_{max} – відповідно мінімальний та максимальний діаметр, мм.

3. Скоректувати n_{min} та n_{max} за нормальним рядом чисел для визначеного знаменника геометричної прогресії. При цьому скореговані частоти обираємо з умови розширення діапазону регулювання, тобто $n_{min\text{скор}}$ – найближче менше, $n_{max\text{скор}}$ – найближче більше.

4. Обчислити діапазон регулювання на шпинделі за формулою:

$$R_n = \frac{n_{max\text{скор}}}{n_{min\text{скор}}}, \quad (4)$$

де R_n – діапазон регулювання на шпинделі; $n_{max\text{скор}}$ – максимальна скоректована частота обертання, об/хв.; $n_{min\text{скор}}$ – мінімальна скоректована частота обертання, об/хв.

5. Обчислити діапазон регулювання на двигуні за формулою:

$$R_d = \frac{n_{maxd}}{n_{mind}}, \quad (5)$$

для постійної потужності:

$$R_{dN} = \frac{n_{maxd}}{n_{номд}}, \quad (6)$$

для постійного моменту:

$$R_{дМ} = \frac{n_{номД}}{n_{minД}}, \quad (7)$$

де $R_{д}$ – загальний діапазон регулювання двигуна; $R_{дN}$ – діапазон регулювання двигуна з постійною потужністю; $R_{дМ}$ – діапазон регулювання двигуна з постійним моментом; $n_{maxД}$ – максимальна частота обертання, об/хв.; $n_{номД}$ – номінальна частота обертання, об/хв; $n_{minД}$ – мінімальна частота обертання, об/хв.

Тоді

$$R_{д} = R_{дN} + R_{дМ}. \quad (8)$$

6. Розрахувати умовну частоту обертання шпинделя, до якої не використовується повна потужність двигуна, за емпіричною формулою:

$$n_{умов} = n_{minскор} \cdot \sqrt[3 \dots 4]{R_n}, \quad (9)$$

де $n_{умов}$ – умовна частота обертання шпинделя, об/хв; $n_{minскор}$ – мінімальна скоректована частота обертання шпинделя, об/хв.; R_n – діапазон регулювання на шпинделі.

Розраховану швидкість $n_{умов}$ в подальшому уточнюють за графіком частот обертання або по ряду нормальних чисел. У формулі (9) показник ступеня дорівнює 4 для середніх та малогабаритних верстатів, а показник ступеня дорівнює 3 – для важких верстатів (маса верстату більше 10 т).

7. Визначити діапазон регулювання шпинделя з постійною потужністю за формулою:

$$R_{nN} = \frac{n_{max}}{n_{умов}}, \quad (10)$$

де R_{nN} – діапазон регулювання шпинделя з постійною потужністю; n_{max} – максимальна частота обертання шпинделя, об/хв.; $n_{умов}$ – умовна частота обертання шпинделя, вище якої регулювання здійснюється з постійною потужністю, нижче – постійним моментом, об/хв.

8. Визначити діапазон регулювання ступінчатої коробки швидкостей між двигуном та шпинделем:

$$R_K = \frac{R_{nN}}{R_{дN}}, \quad (11)$$

де R_K – діапазон регулювання ступінчатої коробки швидкостей між двигуном постійного струму та шпинделем; R_{nN} – діапазон регулювання шпинделя з постійною потужністю; $R_{дN}$ – діапазон регулювання двигуна з постійною потужністю.

9. Обчислити кількість швидкостей електродвигуна постійного струму за формулами:

$$Z_{eN} = \frac{\log R_{дN}}{\log \varphi} + 1, \quad (12)$$

$$Z_{eM} = \frac{\log R_{дM}}{\log \varphi} + 1, \quad (13)$$

де Z_{eN} – кількість швидкостей електродвигуна з постійною потужністю; Z_{eM} – кількість швидкостей електродвигуна з постійним моментом; $R_{дN}$ – діапазон регулювання електродвигуна з постійною потужністю; $R_{дM}$ – діапазон регулювання електродвигуна з постійним моментом; φ – знаменник геометричної прогресії.

Визначені значення Z_{eN} та Z_{eM} необхідно округлити до цілого числа.

10. Визначити кількість передач ступінчатої коробки за формулою:

$$Z_K = \frac{\log R_K}{Z_{eN} \cdot \log \varphi} + 1, \quad (14)$$

де Z_{eN} – кількість швидкостей електродвигуна з постійною потужністю; Z_K – кількість передач коробки швидкостей; R_K – діапазон регулювання ступінчатої коробки швидкостей між електродвигуном та шпинделем; φ – знаменник геометричної прогресії.

11. Розрахувати структурну формулу привода безступінчастого регулювання:

$$Z_{nN} = Z_{eN(1)} \cdot Z_{K(eN)}, \quad (15)$$

12. Перевірити передачу останньої розмножувальної групи коробки швидкостей на наявність простої структури:

$$D_i = \varphi^{K \cdot (p-1)}, \quad (16)$$

де p – кількість передач останньої групи; K – характеристика останньої групи.

Якщо $D_i < 8$, то будуємо графік для простої структури, не змінюючи структурної формули. Якщо $D_i \geq 8$, то змінюємо структурну формулу на нову (для складеної структури) і будуємо для неї графік частот обертання.

13. Побудувати графік частот обертання приводу з визначенням усіх швидкостей на шпинделі, а також піддіапазонів.

14. Побудувати діаграму розподілення потужності та моменту на шпинделі.

15. Побудувати кінематичну схему приводу з позначенням номерів валів та шпинделя.

5.2 Приклад розрахунку коробки швидкостей з безступінчастим регулюванням

Початкові дані:

приймаємо $\alpha = 10\%$;

згідно розрахунків: $V_{max} = 130$ м/хв; $V_{min} = 32$ м/хв;

згідно завдання: $D_{max} = 1000$ мм; $D_{min} = 35$ мм;

згідно характеристик двигуна: $n_{maxД} = 1400$ об/хв; $n_{номД} = 500$ об/хв;

$n_{minД} = 112$ об/хв.

1. Розраховуємо показник геометричної прогресії безступінчастого регулювання за формулою (1)

$$\varphi = \frac{1}{1 - \frac{10}{100}} = 1,11.$$

Знаходимо найближче стандартне значення з ряду: 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2.

Приймаємо: $\varphi = 1,12$.

2. Обчислюємо мінімальне та максимальне значення частоти обертання за формулами (2) та (3) відповідно

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot 32}{\pi \cdot 1000} = 10,2 \text{ об/хв},$$

$$n_{max} = \frac{1000 \cdot 130}{\pi \cdot 35} = 1182 \text{ об/хв.}$$

6. Корегуємо n_{min} та n_{max} за нормальним рядом чисел для визначеного знаменника геометричної прогресії $\varphi = 1,12$. При цьому скореговані частоти обираємо з умови розширення діапазону регулювання, тобто $n_{min\text{скор}} = 10 \text{ об/хв}$ найближче менше, $n_{max\text{скор}} = 1250 \text{ об/хв}$ – найближче більше.

7. Обчислюємо діапазон регулювання на шпинделі за формулою (4):

$$R_n = \frac{n_{max\text{скор}}}{n_{min\text{скор}}} = \frac{1250}{10} = 125.$$

5. Обчислюємо діапазон регулювання на двигуні за формулами (5), (6), (7):

$$R_d = \frac{n_{maxd}}{n_{mind}} = \frac{1400}{112} = 12,5;$$

для постійної потужності:

$$R_{dN} = \frac{n_{maxd}}{n_{номd}} = \frac{1400}{500} = 2,8;$$

для постійного моменту:

$$R_{dM} = \frac{n_{номd}}{n_{mind}} = \frac{500}{112} = 4,46.$$

6. Розраховуємо умовну частоту обертання шпинделя, до якої не використовується повна потужність двигуна, за формулою (9) (верстат середньої групи):

$$n_{умов} = 10 \cdot \sqrt[4]{125} = 33,44 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо згідно ряду 1,06: $n_{умов} = 31,5 \text{ об/хв.}$

7. Визначаємо діапазон регулювання шпинделя з постійною потужністю за формулою (10):

$$R_{nN} = \frac{1250}{31,5} = 39,68.$$

8. Визначаємо діапазон регулювання ступінчатої коробки швидкостей між двигуном постійного струму та шпинделем за формулою (11):

$$R_K = \frac{39,68}{2,8} = 14,17.$$

9. Обчислюємо кількість швидкостей електродвигуна постійного струму за формулами (12) та (13):

$$Z_{eN} = \frac{\log R_{дN}}{\log \varphi} + 1 = \frac{\log 2,8}{\log 1,12} + 1 = 10,08,$$

$$Z_{eM} = \frac{\log R_{дM}}{\log \varphi} + 1 = \frac{\log 4,46}{\log 1,12} + 1 = 14,2.$$

Визначені значення Z_{eN} та Z_{eM} округлюємо до цілих чисел. Фактично Z_{eN} це кількість частот від $n_{номД}$ до $n_{maxД}$ відповідно до ряду стандартних частот обертання шпинделя для заданого показника геометричної прогресії (додаток А), а Z_{eM} – від $n_{minД}$ до $n_{номД}$.

10. Визначаємо кількість передач ступінчатої коробки за формулою (14):

$$Z_K = \frac{\log 14,17}{10 \cdot \log 1,12} + 1 = 3,33.$$

Отримане значення кількості передач округляємо до числа кратного 2 або 3, при цьому розраховане значення бажано збільшувати, з метою розширення діапазону регулювання. Якщо у деякому конкретному випадку збільшення є недоцільним (число набагато ближче до меншого значення), то слід очікувати недовизначеність декількох частот обертання на шпинделі!

11. Складаємо структурну формулу приводу безступінчастого регулювання для діапазону з постійною потужністю, за формулою (15):

$$Z_{nN} = Z_{eN(1)} \cdot Z_{K(eN)} = 10_1 \cdot 3_{10}.$$

12. Перевіряємо передачу останньої помножувальної групи коробки швидкостей на наявність простої структури за формулою (16):

$$D_i = \varphi^{K \cdot (p-1)} = 1,12^{10 \cdot (3-1)} = 1,12^{20} = 9,65 > 8.$$

Оскільки $D_i > 8$, то змінюємо структурну формулу на нову (для складеної структури)

$$Z_{nN} = 10_1 \cdot U_0 \cdot (1 + U_0 \cdot 2_{10}).$$

13. За наведеною вище формулою будуюмо графік частот обертання, з урахуванням обмеження $\frac{1}{4} \leq i \leq 2$ (рис. 5), та уточнюємо структурну формулу приводу.

При побудові графіка частот слід пам'ятати, що частоти від $n_{умов}$ до n_{max} забезпечуються з постійною потужністю. Спочатку будують графік для

діапазону з постійною потужністю за визначеною формулою, а потім використовуючи ті ж самі передачі для діапазону з постійним моментом. На графіку частот обертання позначаються всі піддіапазони (їх кількість $Z_K = 3$) та загальний діапазон регулювання з постійною потужністю R_{nN} , та діапазон регулювання тільки з постійним моментом R_{nM} . Кількість піддіапазонів регулювання з постійним моментом також дорівнює $Z_K = 3$, але при роботі верстату використовується тільки останній, який не перекривається діапазоном з постійною потужністю. Зазвичай величина діапазонів регулювання з постійним моментом більша за величину діапазонів з постійною потужністю, і оскільки ми використовуємо передачі розраховані для постійної потужності діапазони регулювання з постійним моментом мають значні перекриття або розриви, що не є помилкою.

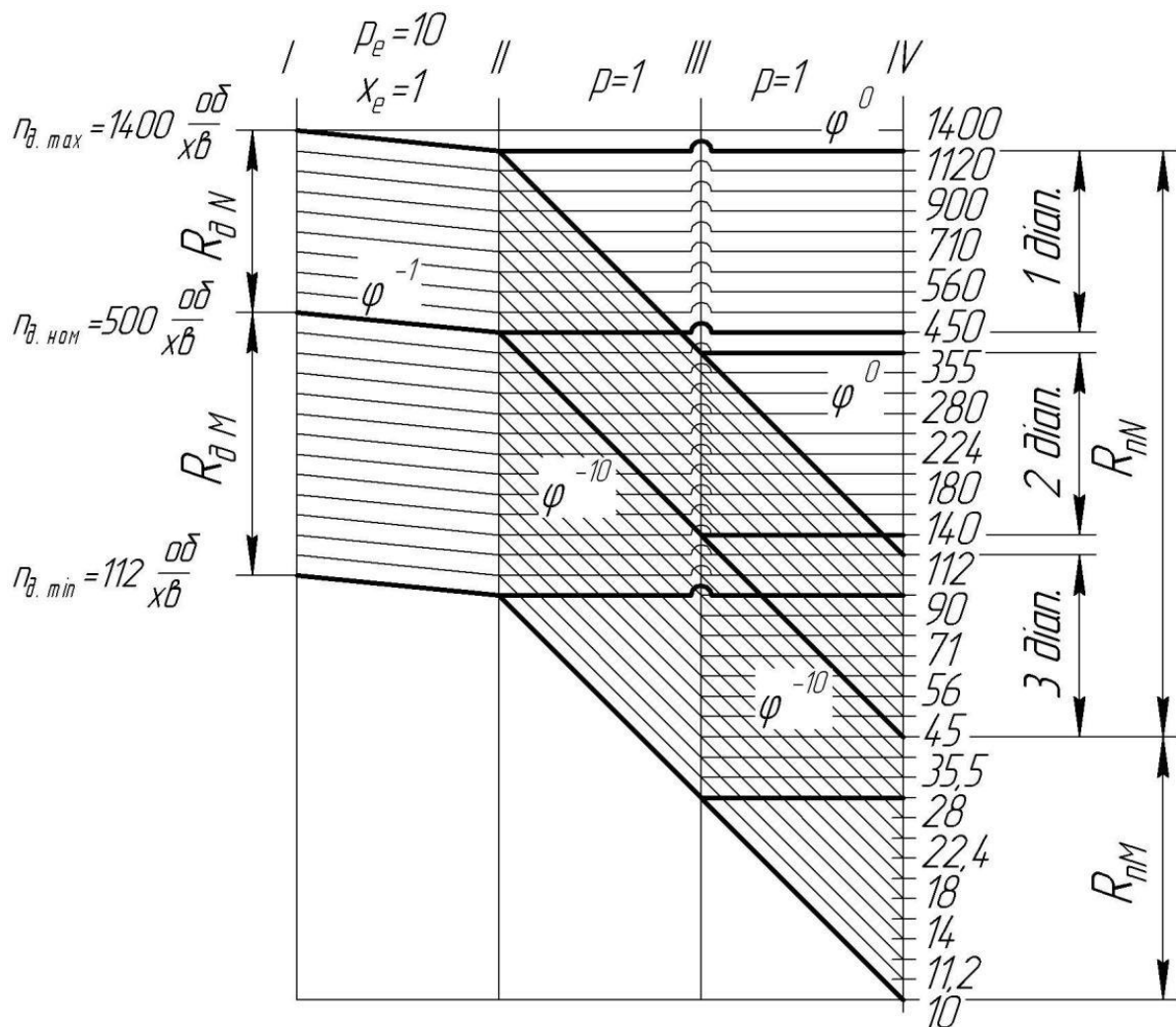


Рисунок 5 – Графік частот обертання за формулою $10_1 \cdot U_0 \cdot (1 + U_0 \cdot 2_{10})$

14. Будуємо діаграму розподілення потужностей та моментів на шпинделі (рис. 6).

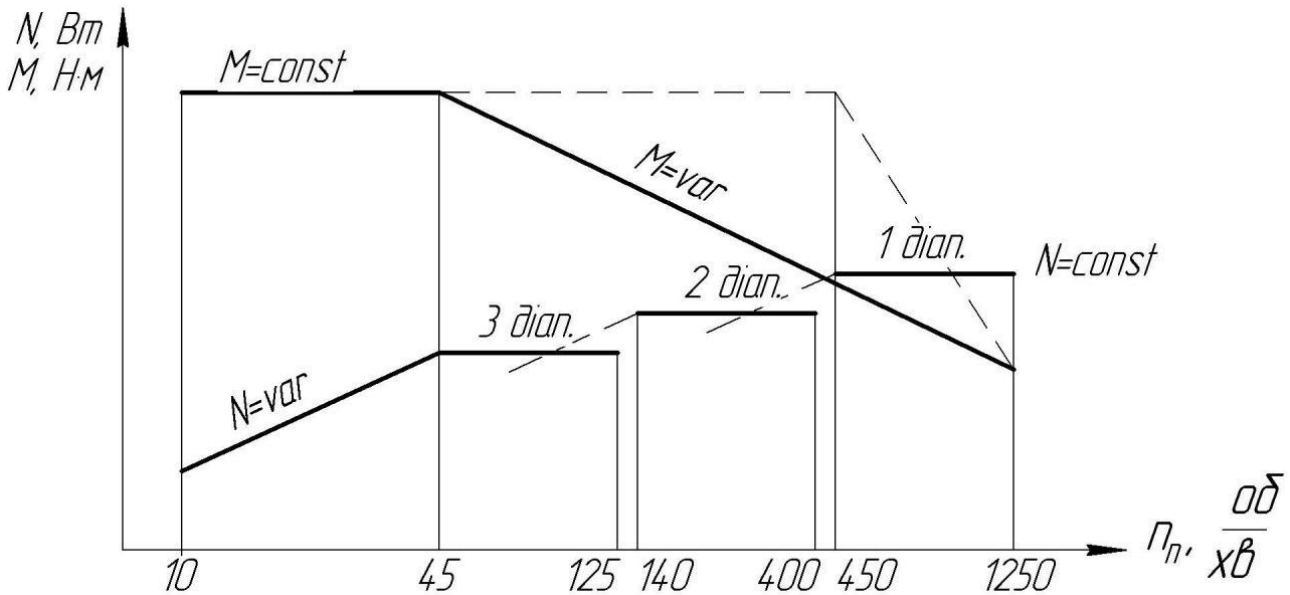


Рисунок 6 – Діаграма розподілення потужностей та моментів на шпинделі

На рис. 6 жирною лінією показано діапазон регулювання з постійним моментом, який використовується при роботі на верстатному обладнанні, пунктирною лінією зображено реальну величину діапазону регулювання з постійним моментом. Хоча більш поширений перший варіант зображення, другий не є помилкою, і студент за власним бажанням обирає, який буде використовувати. При виборі другого варіанту (позначення повного діапазону регулювання з постійним моментом), загальний діапазон бажано розбити на піддіапазони аналогічно до піддіапазонів з постійною потужністю. При виконанні курсової роботи величини моментів та потужностей обираються довільними.

15. Будуємо кінематичну схему приводу з позначенням номерів валів та шпинделя для формули $Z_{nN} = 10_1 \cdot U_0 \cdot (1 + U_0 \cdot 2_{10})$

Кінематична схема приводу головного руху представлена на рис.7.

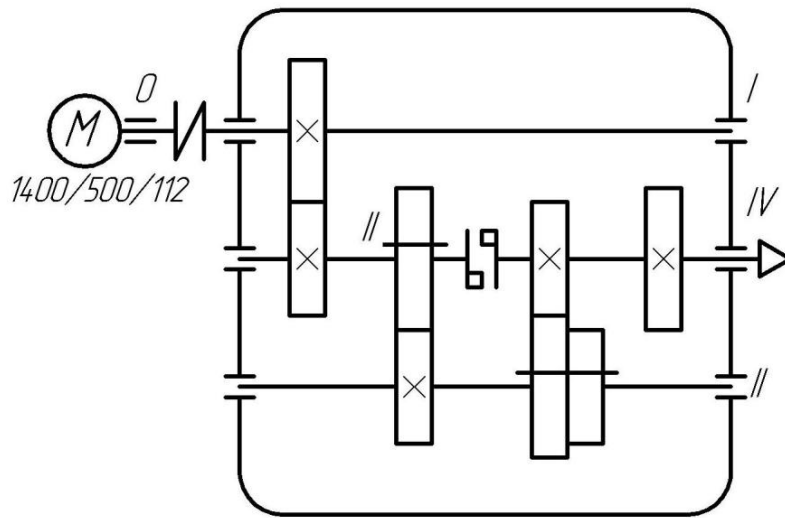


Рисунок 7 – Кінематична схема коробки швидкостей за формулою $Z_{nN} = 10_1 \cdot U_0 \cdot (1 + U_0 \cdot 2_{10})$

6 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНО- НАКОПИЧУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

6.1 Особливості проектування механічних захоплювальних пристроїв

Захоплювальні пристрої (ЗП), що є складовою маніпуляторів, відносяться до робочих органів ПР і призначені для захоплення й утримання об'єктів маніпулювання. Конструкція ЗП визначається багатьма факторами, до яких відносять: форму, масу, співвідношення розмірів, фізико-механічні властивості і стан поверхні об'єктів захоплення; особливості використовуваного технологічного оснащення, умови протікання технологічного процесу.

За виконуваними функціями ЗП можна класифікувати на утримуючі, орієнтуючі, складальні й контролюючі (адаптивні).

Захоплювально-утримуючі пристрої (ЗУП) призначені для захоплення та утримання об'єктів за допомогою гачків, петель, вилок, лопаток, губок, пальців, голок, кліщів, еластичних камер, струменів повітря, магнітного поля, вакууму, електростатичного притягання, адгезії, липких накладок та інших засобів і фізичних ефектів.

За принципом дії ЗУП поділяють на механічні, пневматичні, струменеві, вакуумні, магнітні, адгезійні, електростатичні.

Механічні захоплювальні пристрої найчастіше використовують як засоби технологічного оснащення маніпуляторів ПР для виконання операцій транспортування, завантаження, складання тощо. Принципова відмінність механічних ЗП полягає у методі затискування деталей, який зводиться до створення затримуючих сил тертя між базовими поверхнями деталі й робочими губками захоплювача, тобто сил, які виникають внаслідок надання цим губкам зусиль затискування від привода.

У загальному випадку механічні ЗП складаються з привода, механізму передавання приводного зусилля і захоплювальних елементів. За видом використовуваного привода їх поділяють на електромеханічні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані; за типом механізмів передавання приводного зусилля: безважільні, важільні, клинові, рейкові; за видом захоплювальних елементів: із плоскими та фігурними губками, пальцеві, голкові; за видом руху губок: із лінійним і кутовим переміщенням губок.

Розрахунок механічних захоплювальних пристроїв передбачає визначення сил, що діють у місцях контакту об'єкта захоплювання та губок, зусиль привода, контактних навантажень, характеристик міцності їх елементів.

Однією з характерних особливостей багатьох виробів є висока чутливість до механічних впливів через низькі міцнісні характеристики, які зумовлені використанням крихких матеріалів, таких, як скло, кераміка, прес-порошки, слюда та ін., а також особливостями конструкцій виробів: мала товщина стінок, поверхні з високим класом точності; тонкошарові покриття та ін.

Завдання уникнення ушкоджень об'єктів маніпулювання з низькою твердістю можна вирішити застосуванням ЗУП зі пружними захоплювальними елементами.

Розрахунок конструктивних параметрів механічних ЗП виконують за такою методикою:

1. Визначають мінімальне зусилля затискування, необхідне для втримування заготовки або деталі в захоплювачі. При виборі розрахункової схеми (табл. 2) виходять з найбільш несприятливого положення захоплювача, тобто положення, при якому під дією всіх прикладених сил (інерційних, дотичних і сил тяжіння) можливий зрив деталі з затискних губок. Затримуючими силами є сили тертя, що залежать від коефіцієнта тертя матеріалу деталі й затискних губок, а також дотичні зусилля, що виникають у місцях дотику деталі з захоплювачем під впливом зусиль затискування.

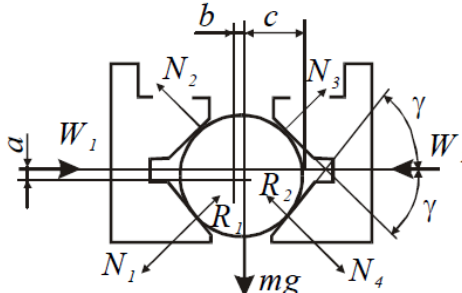
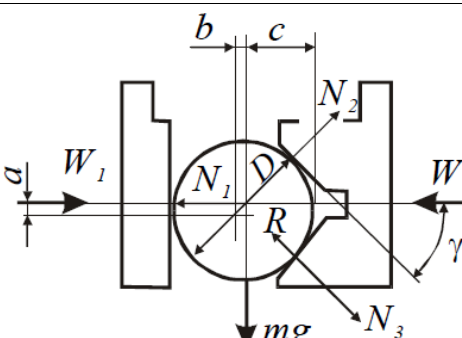
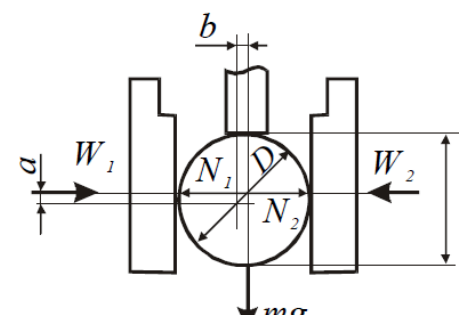
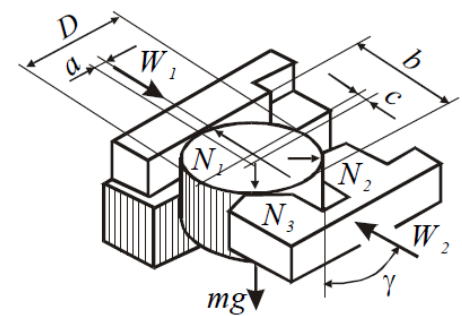
2. Розраховують зусилля привода захоплювача з урахуванням мінімального зусилля затискування та коефіцієнта його запасу відносно вибраної за табл. 3 кінематичної схеми підсилювально-передавального механізму ЗП. При виборі передавального механізму слід враховувати допустимі розміри і вантажопідйомність ЗП для конкретної моделі робота, необхідність плоскопаралельного або обертового руху губок захоплювача, а також тип привода й конструкцію руки маніпулятора.

3. Щоб уникнути пошкодження базових поверхонь деталей, виконують перевірочний розрахунок за дотичними напругами (табл. 5). Якщо значення конкретної напруги у місцях дотику губок захоплювача з деталлю перевищує допустиме для конкретного матеріалу деталі, то зменшити діючу напругу можна, збільшивши ширину губок ЗП.

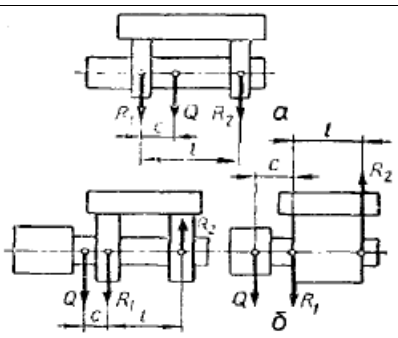
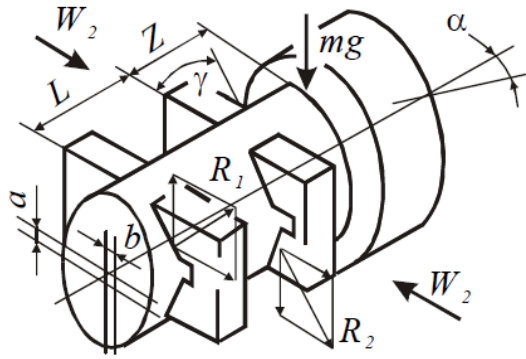
4. На заключному етапі розрахунку ЗП вибирають або розраховують параметри двигуна для його привода.

На практиці, зазвичай, зустрічається складне навантаження ЗП, за якого має місце комбінація різних випадків, при цьому, в процесі маніпулювання об'єктом, характер навантаження ЗП і схеми утримання деталей можуть змінюватись. Тому розрахунок повинен проводитись для критичного випадку навантажень.

Таблиця 2 – Розрахункові схеми механічних ЗП

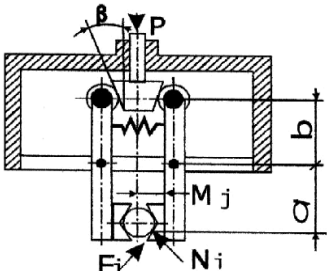
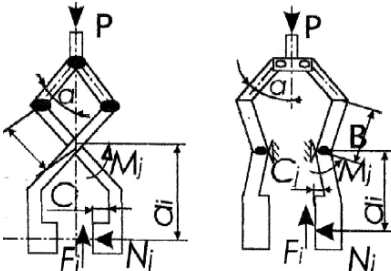
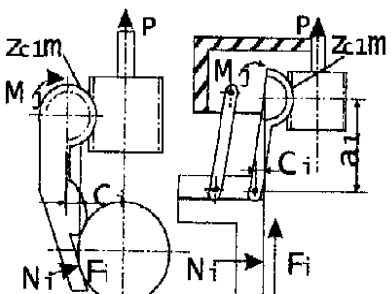
№ схеми	Схема затискування деталі губками захоплювача	Розрахункові формули	
		зусиль затискування і нормальних реакцій (контактних зусиль)	похибок базування
1	2	3	4
1		$R_i = \frac{mg}{2(\cos \gamma + f \sin \gamma)};$ $N_j = R_i \frac{\sin \gamma - f \cos \gamma}{\sin \gamma + f \cos \gamma};$ $W_i = 2N_i(\sin \gamma + f \cos \gamma);$ $i = 1, 2; j = 1, 2, 3, 4.$	$\varepsilon_a = 0;$ $\varepsilon_b = 0;$ $\varepsilon_c = 0.$
2		$R = \frac{mg}{(\cos \gamma + f \sin \gamma) + f};$ $N_j = \frac{R}{f}(\cos \gamma + f \sin \gamma);$ $N_{2,3} = \frac{2f + (1 + f^2) \sin 2\gamma}{4f(\sin \gamma + f \cos \gamma)^2};$ $W_{1,2} = N_1 - 2N_2(\sin \gamma + f \cos \gamma) + R(\sin \gamma - f \cos \gamma).$	$\varepsilon_a = 0;$ $\varepsilon_b = 0,5\delta_D;$ $\varepsilon_c = 0,5\delta_D / \sin \gamma.$
3		$N_i = \frac{mg}{2f};$ $W_i = N_i; i = 1, 2.$	$\varepsilon_a = 0,5\delta_D;$ $\varepsilon_b = 0;$ $\varepsilon_c = \delta_C.$
4		$N_1 = \frac{mg}{f(1 + \cos \gamma)};$ $N_{2,3} = \frac{mg}{2f(1 + \sin \gamma)};$ $W_{1,2} = \frac{mg(1 - \sin \gamma)}{f(1 + \sin \gamma)}.$	$\varepsilon_a = 0;$ $\varepsilon_b = 0,5\delta_D^*$ $*\left(\frac{1}{\sin \gamma} - 1\right);$ $\varepsilon_c = 0,5\delta_D / \sin \gamma.$

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
5		Для а: $R_1 = \frac{l-c}{l}Q; R_2 = \frac{c}{l}Q$ Для б: $R_1 = \frac{l+c}{l}Q; R_2 = -\frac{c}{l}Q$	
6		$R_1 = \frac{mgl}{L \cos \gamma};$ $R_2 = \frac{mg(L+l)}{L \cos \gamma};$ $W_i = \frac{mgtg\gamma}{L}(L+2l);$ $i = 1, 2.$	При пружному базуванні $\varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = 0;$ $\alpha = 0.$ При жорсткому базуванні $\varepsilon_a^{\max} = L_0 \tan \alpha;$ $\varepsilon_b = 0;$ $\alpha = \arctan(0,5\delta_D / L)$

Позначення: Q – розрахункове навантаження; l – розмір захоплювача; c – відстань від точки прикладання навантаження до розглядуваної губки захоплювача; R_n – реакція на n -ну губку захоплювача; θ – кут між віссю заготовки та силою R_n ; N_i – зусилля контакту між заготовкою та трубою; φ_i – кут між проекцією сили R_n на площину і силою N_i ; μ – коефіцієнт тертя губки захоплювача із заготовкою; N_i, R – зусилля нормальних реакцій від зусилля W_i затискування й сили тяжіння заготовки, m – маса заготовки; g – прискорення вільного падіння; 2γ – кут призми; f – коефіцієнт тертя між губкою захоплювача та заготовкою; $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_c$ – похибки базування в напрямку розмірів a, b, c ; $\delta_{D,c}$ – допуски на розміри D, c ; L_0 – довжина заготовки.

Таблиця 3 – Формули для розрахунку зусилля привода для основних груп захоплювальних пристроїв

Схема	Формула для визначення сил, $P(H)$
Клиновий механізм 	$\text{Загальний випадок } P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta_\rho}$ $\text{Для симетричних губок } P \geq \frac{2 M_j \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta_\rho}$ $m = 2; \eta_\rho = 0.9; \beta = 4 \div 8; \rho = 1^\circ 10' - \text{при осях на підшипниках ковзання}; \rho = 3^\circ - \text{при осях на підшипниках кочення}$
Важільний механізм 	$\text{Загальний випадок } P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \cos \alpha}{b \eta_\rho}$ $\text{Для симетричних губок } P \geq \frac{2 M_j \cos \alpha}{b \eta_\rho}$
Рейковий механізм 	$\text{Загальний випадок } P \geq \frac{2 \sum_{j=1}^m M_j}{m_c z_c \eta_c}$ $\text{Для симетричних губок } P \geq \frac{4 M_j}{m_c z_c \eta_c}$ $\eta_\rho = 0.94$

Позначення: m – кількість губок захоплювача; M_j – утримуючий момент

(Н·м) для j -тої губки, яку визначають за формулою $M_j = \sum_{i=1}^K N_j \cdot \cos \varphi_i \cdot [a_i \tan(\varphi_i) \pm c_i - \mu \cdot (a_i \mp c_i \cdot \tan(\varphi_i))]$; N_j – сила контакту, яку визначають за формулами, згідно табл. 2; K – кількість точок контакту; a_i, c_i – відстань від точки повороту губки до i -тої точки контакту; φ_i – кут контакту; μ – коефіцієнт тертя між губками і заготовкою (табл. 4); ρ – приведений кут тертя, що враховує

опір осей важелів; β – кут клина; η_p – коефіцієнт корисної дії механізму; b – розмір важеля; α – кут важеля; m_c – модуль сектора; z_c – повна кількість зубів сектора.

Таблиця 4 – Коефіцієнти тертя губок захоплювача із заготовками

Поверхні, що дотикаються	Коефіцієнт тертя
Сталь по сталі: Для негартованих без насічок із сталей 45, 50 Для гартованих з насічками із сталей 65Г, 60С2, У10А	0,12...0,15 0,3...0,35
Латунь по сталі	0,12
Дюралюміній по сталі	0,1

Вихідними параметрами при побудові профілю губок є діапазон діаметрів деталей, що затискають (D_{max} і D_{min}) центральний кут між точками контакту з деталлю 2α . Рекомендується приймати $D_{max}/D_{min} = 2,5$ і $2\alpha = 40^\circ - 50^\circ$, послідовність побудови профілю зображено на рис. 8. Розмір R між центром затискного вала і віссю повороту губки обирають конструктивно, він повинен бути більшим $D_{сер} = D_{max} + D_m/2$. З точок B і C окреслюють дуги профілю радіусами r_1 і r_2 . Ці точки лежать на відстані $R/2$ від осі повороту губки. Горизонтальну координату точок B і C визначають за формулою $x = R/2 \cdot \tan(\alpha)$.

Радіуси дуг профілю губок: $r_1 = \sin \alpha - \frac{D_{сер}}{2}$; $r_2 = R \cdot \sin \alpha - \frac{D_{сер}}{2}$.

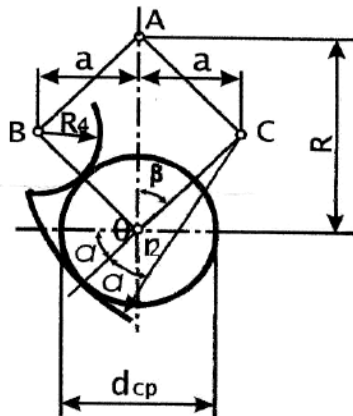
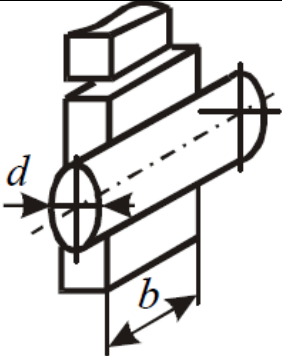
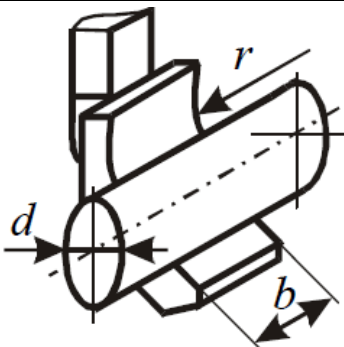
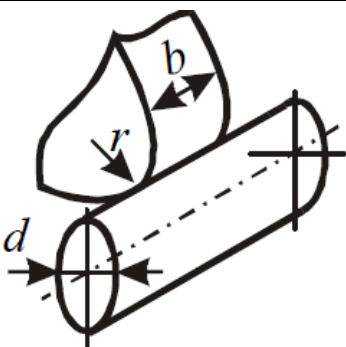


Рисунок 8 – Схема побудови профілю поворотних губок центруючих кліщових захоплювальних пристроїв для деталей типу тіл обертання

Профілі губок симетричні. Якщо дві губки повертаються навколо загальної осі (точка A), то точки контакту губок з деталлю розміщуються симетрично. Якщо губки мають різні осі повороту (A_1 і A_2), то точки контакту деталі з профілями радіуса r_1 віддаляються, а з профілями радіуса r_2 зближуються. Центральний кут між осями повороту губок і центром деталі O (кут A_1OA_2) рекомендовано обирати в межах $0 \leq \varphi \leq (2 \cdot \alpha - 40^\circ)$.

Таблиця 5 – Розрахунок контактних напружень при захоплюванні заготовки

Схеми контактів затискних губок ЗП із заготовкою та формули для визначення контактних напружень								
$\sigma = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{NE_{3Б}^2}{bd}}$ $\sigma \leq [\sigma]$			$\sigma = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{NE_{3Б}^2}{bd} \left(\frac{2}{d} - \frac{1}{r} \right)}$ $\sigma \leq [\sigma]$			$\sigma = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{NE_{3Б}^2}{bd} \left(\frac{2}{d} + \frac{1}{r} \right)}$ $\sigma \leq [\sigma]$		
								
Значення допустимих напружень і модуля пружності								
Параметр	Сталь			Чавун		Бронза АЖ9-4	Капрон	Текстоліт
	45	40Х	18ХГТ	СЧ15-32	СЧ32-52			
$[\sigma], \frac{H}{\text{см}^2}$	800	900	1100	500	750	228	25	100
$E 10^5, \frac{H}{\text{см}^2}$	1,95	2,05	2,1	1,1	1,4	1,2	0,02	0,08

Позначення: σ , N - контактні напруження та сила в місцях стискування затискних губок ЗП і заготовки відповідно; E_{3B} - зведений модуль пружності матеріалів губки ЗП і заготовки, при цьому $E_{3B} = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}$, де E_1 і E_2 - відповідно

модуль пружності матеріалу губки та заготовки; b , r – ширина та радіус губки, см; d – діаметр заготовки, см.

Примітка. Значення $[\sigma]$, E наведено для загартованої сталі.

6.2 Особливості розрахунку саморухомих магазинних допоміжних пристроїв

Саморухомі допоміжні пристрої виконують у вигляді лотків, трубок та стрижнів. Лотки призначені для накопичення і самотекучого переміщення заготовок [5]. Розрізняють лотки-скати, склізи і роликові. Лотки-скати і склізи бувають прямолінійними (рис. 9, а), прямолінійними роликовими (рис. 9, б), дугоподібними увігнутими і випуклими (рис. 9, в), гвинтовими (спірально-овальними) (рис. 9, г), зигзагоподібними (рис. 9, д), спірально-овальними (рис. 9, е) і спеціальними (змійковими, каскадними й ін.) (рис. 9, ж). Прямолінійні лотки (рис. 9, а) використовують в якості накопичувачів і міжверстатних транспортних пристроїв для передачі заготовок від верстата до верстата. Зазначені пристрої встановлюються під різними кутами. Заготовки переміщуються коченням або ковзанням.

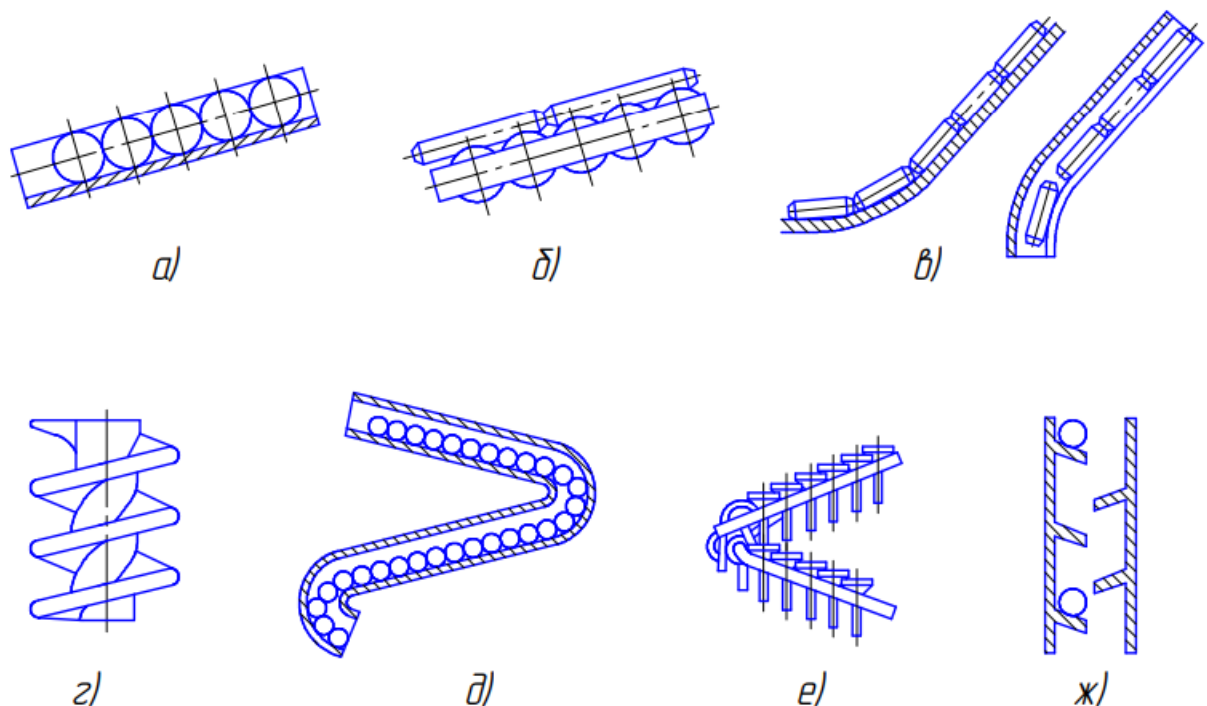


Рисунок 9 – Схеми магазинних допоміжних пристроїв типу лотки

Прямолінійні роликові лотки (рис. 9, б) мають аналогічне призначення, що й прямолінійні лотки, але в них заготовки переміщуються по роликах під дією власної ваги при невеликих кутах нахилу лотка ($5-8^\circ$). Дані допоміжні пристрої використовуються у випадках, коли заготовка не має можливості переміщуватися коченням або ковзанням, в тому числі, щоб не зіпсувати її поверхню. Дугоподібні угнуті й випуклі лотки (рис. 9, в) використовують як невеликі накопичувачі: увігнуті для подачі заготовок у горизонтальному, а випуклі у вертикальному положенні в зону обробки. Гвинтові (спіральні) (рис. 9, г) та зигзагоподібні лотки (рис. 9, д) використовують як накопичувачі для тіл обертання і вертикального транспортування заготовок. Спірально-овальні лотки (рис. 9, е) використовують як накопичувачі для значної кількості заготовок при компактному виконанні пристрою. Каскадні лотки (рис. 9, ж) використовуються для накопичення та транспортування заготовок у вертикальному напрямку.

За формою перерізу (рис. 10) розрізняють відкриті та закриті лотки. Закриті лотки застосовують при їх розміщенні у вертикальному положенні з нахилом під кутом більше 10° , при великій довжині заготовок і для заготовок типу ковпачків.

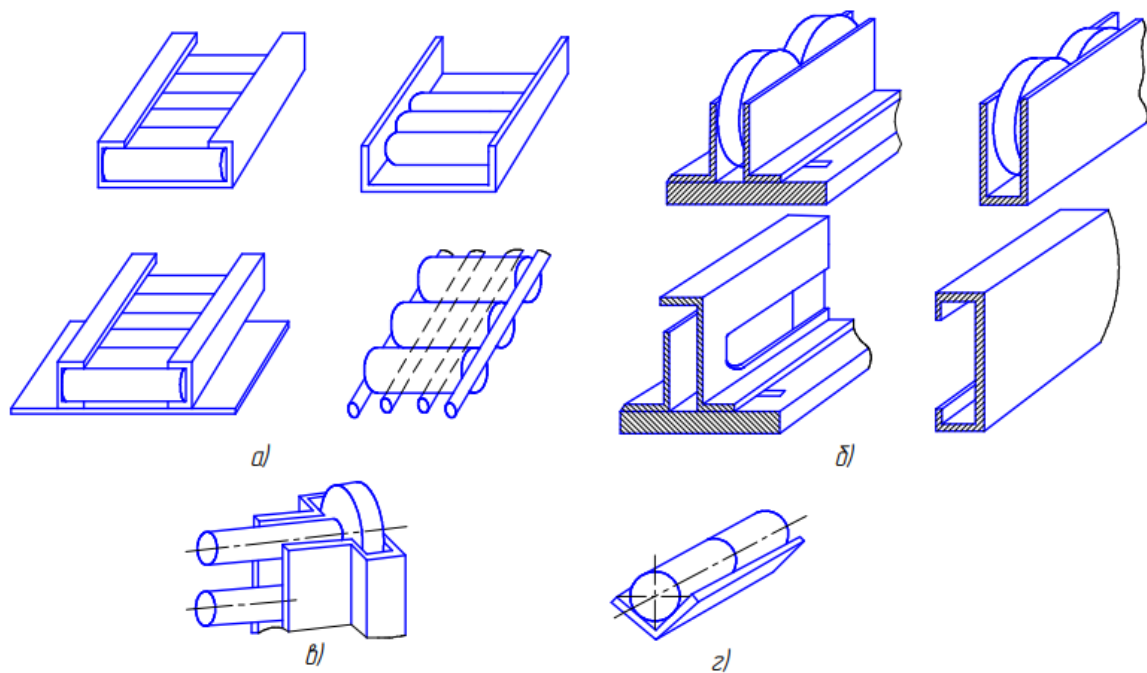


Рисунок 10 – Приклади магазинних допоміжних пристроїв: а – для гладких валів, що переміщуються коченням; б – для дисків і кілець; в – для ступінчастих валів; г – для валів, що переміщуються ковзанням

У закритих лотках в стінках роблять оглядові щілини шириною 3–8 мм для спостереження за переміщенням заготовок. Лотки виготовляються суцільними, збірними і регульованими. Поверхні лотків, по яких котяться або ковзають заготовки, повинні бути оброблені до 8–10-го класу чистоти.

Ширина (рис. 11) прямолінійного лотка (В) для деталей типу тіла обертання, визначається за формулою:

$$B = L_p + \Delta,$$

де L_p – довжина заготовки; Δ – зазор між заготовкою і буртами лотка.

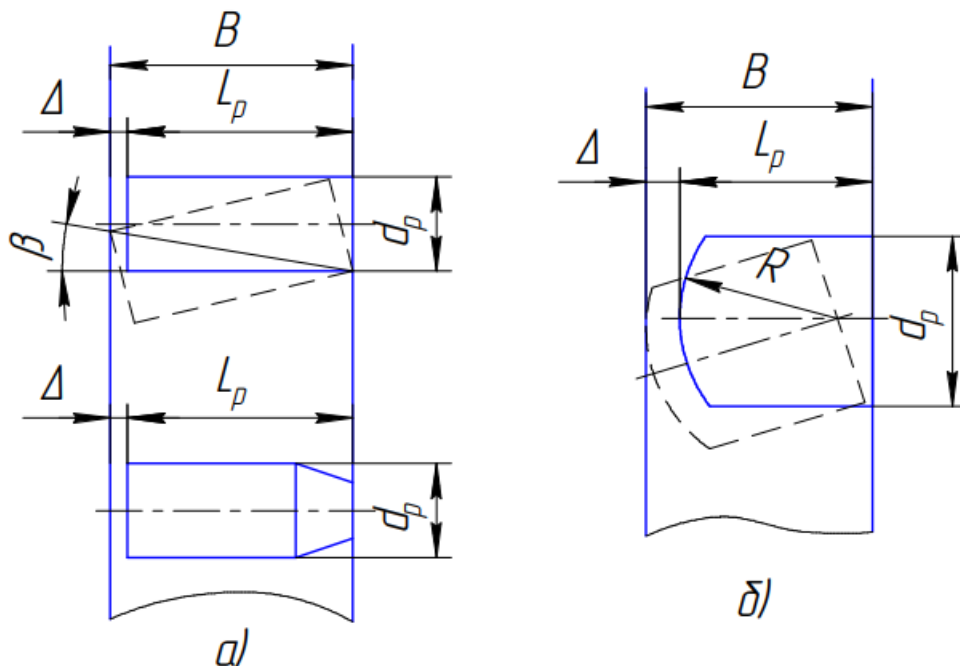


Рисунок 11 – Схема для розрахунку проходження заготовок у лотках

Зазор Δ між вказаними торцями деталі та буртами лотка (11, а), визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{\sqrt{d_p^2 + L_p^2}}{\sqrt{1 + f^2}} - L_p,$$

де f – коефіцієнт тертя заготовок по бурту (0,1–0,2); d_p – діаметр заготовки.

Для заготовок з одним або двома сферичними торцями, та з торцями, що мають округлені форми (рис. 11, б) зазор Δ визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{S \cdot \sin(\delta + \beta)}{f} - L_p,$$

$$\sin \delta = \frac{R \cdot \sin(\beta)}{S},$$

$$S = \sqrt{q^2 + \left(\frac{d^2}{2}\right)^2},$$

$$q = L_p - R.$$

де R – радіус торця заготовки, мм; S , q – розрахункові величини [6]; β – кут заклинювання.

Максимальний зазор визначається за формулою:

$$\Delta_{max} = \delta L_q + \delta B + \Delta$$

де δL_q – допуск на довжину заготовки, мм; δB – допуск на ширину лотка, мм.

Якщо після розрахунку, Δ буде мати від’ємне значення або дорівнювати нулю, то проходження заготовок в такому випадку буде неможливим.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні: Підручник / [Л. Є. Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко та ін.]. – Київ: ТОВ "НВП Інтерсервіс", 2016. – 258 с.
2. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія / [І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв та ін.]. – Харків: NURE, 2022. – 427 с.
3. Robotique agricole: repenser la mécanisation agricole. [Type of medium]. Available: <https://www.entraid.com/articles/robotique-agricoleopportuniterepenser-mecanisation-agricole>
4. Eugene Kagan, Nir Shvalb, Irad Ben-Gal. Autonomous Mobile Robots and Multi-Robot Systems. John&Son Ltd. 2020. P. 319.

Допоміжна

5. Павленко І. І. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. / І. І. Павленко, В. А. Мажара. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 392 с.
6. Малов А. Н. Загрузочные устройства металлорежущих станков / А. Н. Малов. – М.: Машиностроение, 1972. – 396 с.
7. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник. / Я. І. Проць. – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. – 232 с.
8. Бочков В. М. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів / В. М. Бочков, Р. І. Сілін. – Львів: Бескид Біт, 2008. – 448 с.
9. Бочков В. М. Обладнання автоматизованого виробництва / В. М. Бочков, Р. І. Сілін. – Львів: "Львівська політехніка", 2000. – 380 с.