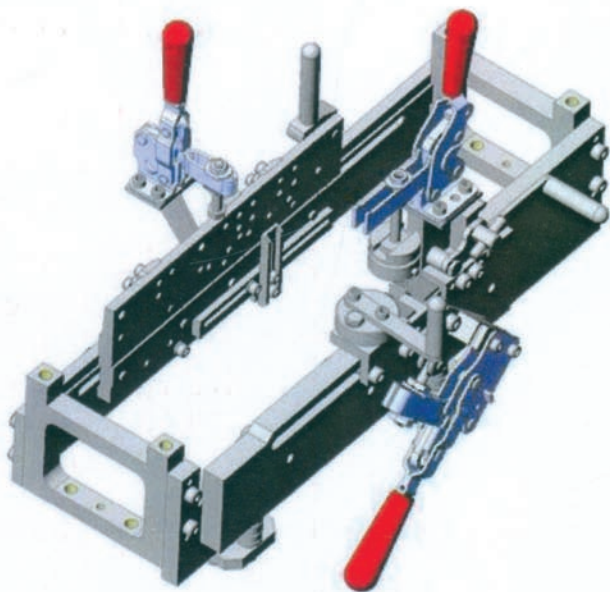


**О. В. Петров  
С. І. Сухоруков**

**КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ**



**Курсове проектування**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**О. В. Петров, С. І. Сухоруков**

**КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ**

**КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ**

**Навчальний посібник**

Вінниця  
ВНТУ  
2015

УДК 621.7.07+004.92  
ББК 30.605+32.973-02  
ПЗ0

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 11 від 26. 06. 2013 р.).

Рецензенти:

**В. І. Савуляк**, доктор технічних наук, професор  
**О. В. Нахайчук**, доктор технічних наук, професор  
**В. О. Пішенін**, кандидат технічних наук, доцент

**Петров, О. В.**

ПЗ0 Комп'ютерне проектування технологічного оснащення. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 125 с.

Навчальний посібник містять теоретичний матеріал та приклади до виконання курсового проекту з дисципліни «Комп'ютерне проектування технологічного оснащення» для студентів спеціальності «Технології машинобудування» всіх форм навчання. Матеріали посібника можуть використовуватись під час дипломного проектування зі спеціальностей галузі знань «Машинобудування та матеріалообробка».

Навчальний посібник виконано згідно з програмою дисципліни «Комп'ютерне проектування технологічного оснащення» ВНТУ.

УДК 621.7.07+004.92  
ББК 30.605+32.973-02

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Індивідуальне завдання та організація виконання і захисту курсового проекту.....	5
2 Вимоги до обсягу та оформлення курсового проекту (КП).....	7
2.1 Титульний аркуш КП.....	7
2.2 Відомість КП.....	7
2.3 Зміст та заголовки КП.....	7
2.4 Параметри та нумерація сторінок.....	8
2.5 Правила написання тексту.....	8
2.6 Оформлення формул.....	10
2.7 Оформлення ілюстрацій.....	11
2.8 Оформлення таблиць.....	12
2.9 Оформлення графічної частини КП.....	14
2.10 Шифр документів КП.....	14
2.11 Написання вступу до КП.....	15
2.12 Формулювання висновків до КП.....	15
2.13 Складання переліку використаної літератури.....	16
2.14 Оформлення та складання додатків до КП.....	16
2.15 Технічне завдання.....	16
3 Загальні відомості про технологічне оснащення.....	19
4 Проектування та розрахунок верстатних пристосувань.....	23
5 Проектування та розрахунок контрольно-вимірювальних пристосувань.....	72
6 Тривимірне моделювання конструкцій технологічного оснащення.....	97
Глосарій (glossary).....	115
Перелік використаної літератури.....	116
Додаток А. Індивідуальне завдання.....	117
Додаток Б. Індивідуальне завдання.....	119
Додаток В. Титульний аркуш пояснювальної записки.....	121
Додаток Г. Технічне завдання на проектування.....	122

## ВСТУП

Без застосування технологічного оснащення у виробництві обійтися практично неможливо. При виконанні абсолютно будь-якої технологічної операції використовується різноманітне оснащення, наприклад: пристосування, допоміжні інструменти, транспортне і завантажувальне оснащення та ін. Причому це стосується як одиничного, так і серійного виробництва. Найбільш широкого використання набув такий різновид оснащення, як верстатні пристосування.

Аналогічна ситуація з контрольними операціями, які лише зрідка можуть обходитися без спеціальних пристосувань, проте якщо вимагається контролювати розміри і форму деталей складного контуру, розташування або биття поверхонь, то їх застосування стає обов'язковим. Часто можуть використовувати пристосування єдиної конструкції для контролю одразу декількох параметрів, тоді їх називають універсальними або багатовимірними.

Проектування будь-якого верстатного і контрольнo-вимірювального пристосування характеризується великим обсягом роботи, особливо це стосується проектно-конструкторських розрахунків. Роботи з проектування оснащення, як правило, охоплюють аналіз його службового призначення і наявних вимог до технологічних операцій, розробку принципової схеми (компонування) пристосування, силові розрахунки і розрахунки на точність, вибір силового приводу і визначення його параметрів. Чи не найбільше часу проектувальної роботи припадає на креслення розробленого верстатного пристосування чи на модернізацію існуючої конструкції. Час на таку роботу можна значно зменшити за рахунок використання сучасних комп'ютерних технологій, які допомагають не тільки виконувати комп'ютерне креслення і тривимірне моделювання об'єктів проектування, а також дозволяють виконувати різноманітні розрахунки силових параметрів, міцності та інші.

У даному навчальному посібнику узагальнено та формалізовано наявні методики розрахунку та проектування верстатних і контрольнo-вимірювальних пристосувань. Розглядаються всі етапи проектування, методика комп'ютерного тривимірного моделювання та інженерного аналізу. Поданий матеріал покликаний розвинути у студентів навик у сфері проектування верстатних і контрольнo-вимірювальних пристосувань різного цільового призначення для реалізації технологічних процесів виробництва виробів машинобудування.

# 1 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ВИКОНАННЯ І ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсовий проект (КП) з дисципліни «Комп'ютерне проектування технологічного оснащення» є підсумковим етапом вивчення дисципліни студентами спеціальності «Технології машинобудування» освітньо-кваліфікаційних рівнів спеціаліст і магістр. Виконання КП забезпечить розуміння студентами ролі і місця комп'ютерних технологій у проектуванні засобів машинобудівного виробництва; формування системних підходів до вирішення задач проектування за допомогою комп'ютерних прикладних програм; кваліфікованого застосування сучасних програмних засобів, САД- та САЕ-систем.

Для виконання КП кожен студент отримує від керівника КП індивідуальне завдання. Тема індивідуального завдання на курсове проектування може бути пов'язана з різними видами технологічного оснащення, тому завдання може відповідати зразкам, наведеним у додатках А чи Б, або мати інший вигляд. Вхідними даними до КП є креслення деталі (заготовки) та технологічний процес (ТП) її виготовлення, що записуються у індивідуальному завданні. Враховуючи, що КП є також етапом підготовки до виконання та захисту дипломного проекту, деталь та ТП її виготовлення можуть відповідати завданню на дипломне проектування.

На основі індивідуального завдання студентом разом із керівником проекту розробляється технічне завдання (ТЗ), яке розташовується у першому додатку розрахунково-пояснювальної записки (детальніше розглянуто у підрозділі 2.15 даного навчального посібника).

Виконання та захист КП відбуваються протягом одного триместру. На першому тижні навчання студентам видаються індивідуальні завдання, що скріплюються підписами самого студента та керівника КП.

Протягом триместру студенти виконують КП згідно з планом-графіком, розробленим на кафедрі. Виконання КП здійснюється студентами самостійно, а будь-які питання, що виникають, мають вирішуватися тільки за погодженням з керівником КП на консультаціях, графік яких розробляється на кафедрі та оголошується студентам. З метою забезпечення ритмічного та поетапного виконання КП на консультаціях проводяться два рубіжні контролю виконання розділів КП. Рубіжний контроль здійснюється керівником КП, а день проведення вказується у плані-графіку виконання КП. В результаті рубіжних контролів керівник КП виявляє стан виконання розділів КП і, в разі виявлення порушення плану-графіка виконання, може звернутися з доповідною запискою до директора інституту. За результатами другого рубіжного контролю здійснюється формування графіка захисту КП.

Захист виконаного КП відбувається протягом останніх двох тижнів триместру згідно з попередньо розробленим графіком. До захисту КП

допускаються студенти, які виконали та оформили їх відповідно до вимог, чинних у Вінницькому національному технічному університеті, та даного навчального посібника, а також скріплені підписом «До захисту» керівника КП. «До захисту» керівник КП підписує лише завершену та скріплену розрахунково-пояснювальну записку КП, зміст якої відповідає індивідуальному завданню. Запис «До захисту» повинен бути отриманий не менше ніж за два дні до дня захисту КП.

Захист КП проводиться публічно за встановленим графіком перед комісією, склад якої затверджується завідувачем кафедри. Процедура захисту здійснюється таким чином:

- студент робить доповідь за темою КП (5-10 хв.);
- після доповіді члени комісії задають запитання за темою КП;
- за результатами доповіді та відповідей студента комісія оголошує оцінку за КП.

У випадку виявлення керівником КП чи членами комісії факту несамостійного виконання КП студент з захисту знімається і йому видається нове завдання та призначається новий термін захисту КП.

## **2 ВИМОГИ ДО ОБСЯГУ ТА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ (КП)**

### **2.1 Титульний аркуш КП**

Титульний аркуш є першою сторінкою КП, яка не нумерується. Титульний аркуш виконується за встановленим зразком, що наведений у додатку В.

На титульному аркуші подаються тема КП та запис «Пояснювальна записка...» із зазначенням спеціальності (7.05050201 – «Технології машинобудування» для студентів, які навчаються ОПП «Спеціаліст», або 8.05050201 – «Технології машинобудування» для студентів, які навчаються ОПП «Магістр»). Вказується науковий ступінь та вчене звання керівника курсової роботи.

Проект, який подається у вигляді копії, до захисту не приймається, у випадку прийняття такого проекту відповідальність несуть члени комісії.

За титульним аркушем розташовується відомість курсового проекту.

### **2.2 Відомість КП**

Відомість курсового проекту (ВКП) – текстовий конструкторський документ, який містить перелік документів, що входять в проект. ВКП складається за формами 8 (для першого аркуша) і 8а (для наступних аркушів) згідно з вимогами стандарту ГОСТ 2.106-96.

За ВКП розташовується індивідуальне завдання до курсового проекту.

### **2.3 Зміст та заголовки КП**

Зміст розташовують безпосередньо після індивідуального завдання до КП, починаючи з нової сторінки. Зміст оформляється на стандартних аркушах А4 з однієї сторони у рамці за формою 2 (ГОСТ 2.105-95). В графу 2 основного напису форми 2 слід вписувати умовне позначення шифру КП. Відступи тексту від рамки: зверху і знизу не менше 10 мм; зліва і справа не менше 3 мм. Абзац – 5 знаків.

До змісту вносять: вступ; послідовно перелічені назви всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони мають заголовки) роботи; висновки; перелік посилань; назви додатків і номери сторінок. Зміст за нумерацією пояснювальної записки є четвертою сторінкою. Назви заголовків змісту повинні однозначно відповідати назвам заголовків пояснювальної записки за текстом.

При виконанні курсового проекту обсяг пояснювальної записки визначається без врахування обсягу додатків. Якщо додатки підтверджують цінність результату проектування, то обсяг пояснювальної

записки з додатками повинен мати наскрізну нумерацію.

Структурними елементами основної частини пояснювальної записки є розділи, підрозділи, пункти, підпункти, переліки. Розділ – головний ступінь поділу тексту, позначений номером, має заголовок. Підрозділ – частина розділу, позначена номером і має заголовок. Пункт – частина підрозділу, позначена номером, може мати заголовок. Підпункт – частина пункту, позначена номером, може мати заголовок.

Заголовки структурних елементів необхідно нумерувати тільки арабськими цифрами.

Допускається розміщувати текст між заголовками розділу і підрозділу, між заголовками підрозділу і пункту. Кожен розділ рекомендується починати з нової сторінки.

Заголовок розділу записують з абзацу (ГОСТ 2.105-95) малими літерами, починаючи з великої, за винятком змісту і додатків, які виконують посередині рядка великими літерами. Заголовки підрозділів, пунктів та підпунктів (при наявності заголовка) записують з абзацу малими буквами починаючи з великої. Розділи нумерують порядковими номерами в межах всього документа. Після номера крапку не ставлять, а пропускають один знак. Підрозділи нумерують в межах кожного розділу, пункти – в межах підрозділу за формою (3.1, 3.2, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.2.1 і т. д.). Цифри, які вказують номер, не повинні виступати за абзац. Посилання в тексті на розділи виконується за формою: «...наведено в розділі 3».

## 2.4 Параметри та нумерація сторінок

Розрахунково-пояснювальна записка оформляється на стандартних аркушах А4 з однієї сторони у рамках за формою 2а (ГОСТ 2.105-95). В графу 2 основного напису форми 2а слід вписувати умовне позначення шифру КП. Відступи тексту від рамки: зверху і знизу не менше 10 мм; зліва і справа не менше 3 мм. Абзац – 5 знаків.

Нумерація сторінок у КП ставиться в графі 7 основного напису, починаючи зі змісту. Зміст містить основний напис за формою 2, решта тексту – за формою 2а.

## 2.5 Правила написання тексту

При написанні тексту слід дотримуватися таких правил:

а) текст необхідно викладати обґрунтовано в лаконічному технічному стилі;

б) умовні буквені позначення фізичних величин і умовні графічні позначення компонентів повинні відповідати установленим стандартам. Перед буквеним позначенням фізичної величини повинно бути її пояснення (*швидкість різання  $V$ , сила різання  $P$* );

в) числа з розмірністю слід записувати цифрами, а без розмірності словами (*потужність – 2 кВт, дванадцять зубців фрези*);

г) позначення одиниць слід писати в рядок з числовим значенням без перенесення в наступний рядок. Між останньою цифрою числа і позначенням одиниці слід робити пропуск (*0,5 мм, 12 Н*);

д) якщо наводиться ряд числових значень однієї і тієї ж фізичної величини, то одиницю фізичної величини вказують тільки після останнього числового значення (*0,2; 0,5; 0,8 мм/об.*);

е) позначення величин з граничними відхиленнями слід записувати так: *10 ± 1 мм*;

ж) буквені позначення одиниць, які входять в добуток, розділяють крапкою на середній лінії (·); знак ділення замінюють похилою рискою (/);

и) порядкові числівники слід записувати цифрами з відмінковими закінченнями (*1-й перехід, 6-а операція*); при кількох порядкових числівниках відмінкове закінчення записують після останнього (*2, 3, 4-й отвори*); кількісні числівники записують без відмінкових закінчень (*на 20 аркушах*); не пишуть закінчення в датах (*10 вересня*) та при римських числах (*XXI століття*);

к) скорочення слів в тексті не допускаються, крім загальноприйнятих в українській мові та установлених в ГОСТ 2.316-68, а також скорочень, які прийняті для надписів на виробі (в тексті вони повинні бути виділені великими літерами: ON, OFF), а якщо надпис складається з цифр або знаків, то в лапках. Лапками також виділяють найменування команд, режимів, сигналів (*«Стоп»*);

л) дозволяється:

– виконувати записи математичних виразів за формою:

$$\frac{ABC}{DE} = ABC/DE;$$

– знак множення «×» замінювати зірочкою «\*» (ГОСТ 2.004-88);

м) не дозволяється:

– допускати професійних або місцевих слів і виразів (техніцизмів);

– після назви місяця писати слово «місяць» (не «в травні місяці», а «в травні»);

– використовувати вирази: «цього року», «минулого року», слід писати конкретну дату «в червні 2011 року»;

– використовувати позначення одиниць фізичних величин без цифр, необхідно писати повністю: «кілька груп верстатів» (за винятком оформлення таблиць і формул);

– з'єднувати текст з умовним позначенням фізичних величин за допомогою математичних знаків (не «швидкість = 125 м/хв.», а «швидкість дорівнює 125 м/хв.», не «температура дорівнює - 5° С», а «температура дорівнює мінус 5°С»);

– використовувати математичні знаки <, >, o, №, %, sin, cos, tg, log та

ін. без цифрових або буквених позначень. В тексті слід писати словами «нуль», «номер», «логіарифм» і т. д.;

– використовувати індекси стандартів (ДСТУ, СНІП, СТІП) без реєстраційного номера.

## 2.6 Оформлення формул

Кожну формулу записують з нового рядка, симетрично відносно тексту. Між формулою і текстом пропускають один рядок.

Умовні буквені позначення (символи) в формулі повинні відповідати установленим ГОСТ 1494-77. Їх пояснення наводять в тексті або зразу ж під формулою. Для цього після формули ставлять кому і записують пояснення до кожного символу з нового рядка в тій послідовності, в якій вони наведені у формулі, розділяючи крапкою з комою. Перший рядок повинен починатися з абзацу з слова «де» і без будь-якого знака після нього.

Всі формули нумерують в межах розділу арабськими цифрами. Номер вказують в круглих дужках з правої сторони, в кінці рядка, на рівні закінчення формули. Номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули в розділі, розділених крапкою. Дозволяється виконувати нумерацію в межах всього документа. Одиницю вимірювання, при необхідності, беруть в квадратні дужки.

Приклад:

*Потужність різання  $N$  при свердлінні визначається за формулою:*

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750}, [\text{кВт}] \quad (3.5)$$

*де  $M_{кр}$  – крутний момент, Н·м;*

*$n$  – частота обертання інструмента, об./хв.*

Числово підстановку і розрахунок виконують з нового рядка, не нумеруючи. Одиницю вимірювання беруть в круглі дужки. Наприклад,

$$t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ (мм)}$$

Розмірність одного й того ж параметра в межах документа повинна бути однаковою.

Якщо формула велика, то її можна переносити в наступні рядки. Перенесення виконують тільки математичними знаками, повторюючи знак на початку наступного рядка. При цьому знак множення « $\cdot$ » замінюють знаком « $\times$ ».

Формула є частиною речення, тому до неї застосовують такі ж правила граматики, як і до інших членів речення. Якщо формула знаходиться в кінці речення, то після неї ставлять крапку. Формули, які йдуть одна за одною і не розділені текстом, відокремлюють комою. Посилання на формули в тексті дають в круглих дужках за формою:

«...у формулі (5.2)»; «... у формулах (5.7, ..., 5.10)».

## 2.7 Оформлення ілюстрацій

Для пояснення викладеного тексту рекомендується його ілюструвати графіками, кресленнями, фрагментами схем та ін., які можна виконувати чорною тушшю, простим олівцем середньої твердості та комп'ютерною графікою. Розміщують ілюстрації в тексті та, якщо необхідно, в додатках.

В тексті ілюстрацію розміщують симетрично до тексту після першого посилання на неї або на наступній сторінці, якщо на даній вона не вміщується без повороту.

На всі ілюстрації в тексті пояснювальної записки мають бути посилання. Посилання виконують за формою: «...показано на рисунку 3.1» або в дужках за текстом (рисунку 3.1), на частину ілюстрації: «... показані на рисунку 3.2, б». Посилання на раніше наведені ілюстрації дають зі скороченим словом «дивись» відповідно в дужках (див. рисунок 1.3).

Між ілюстрацією і текстом пропускають один рядок (3 інтервали).

Всі ілюстрації в пояснювальній записці називають рисунками і позначають під ілюстрацією симетрично відносно неї за такою формою: «Рисунок 3.5 – Найменування рисунка». Крапку в кінці не ставлять, знак переносу не використовують.

Нумерують ілюстрації в межах розділів, вказуючи номер розділу і порядковий номер ілюстрації в розділі, розділяючи крапкою. Дозволяється нумерувати в межах всього документа. Пояснювальні дані розміщують під ілюстрацією над її позначенням.

У випадку, коли ілюстрація складається з частин, їх позначають малими буквами українського алфавіту з дужкою (а, б)) під відповідною частиною. В такому випадку після найменування ілюстрації ставлять двокрапку і дають найменування кожної частини за формою:

а) – найменування першої частини; б) – найменування другої частини  
або за ходом найменування ілюстрації, беручи букви в дужки:

*Рисунок 1.2 – Розрахункові схеми процесів свердління (а)  
та зенкерування (б)*

Якщо частини ілюстрації не вміщуються на одній сторінці, то їх переносять на наступні сторінки. В цьому випадку під початком ілюстрації вказують повне її позначення, а під її продовженнями



( $D$  – діаметр,  $S$  – подача і т. д.). Однакові буквені позначення групують послідовно в порядку зростання їх індексів, наприклад: ( $T_1, T_2, \dots$ ).

Найменування рядків записують в боковому таблиці у вигляді заголовків в називному відмінку однини, малими буквами, починаючи з великої, і з однієї позиції. В кінці заголовків крапку не ставлять. Позначення одиниць фізичних величин вказують в заголовках після коми.

Для опису деякого інтервалу значень в найменуваннях граф і рядків таблиці можна використовувати слова: «більше», «менше», «не більше», «не менше», «в межах». Ці слова розміщують після одиниці фізичної величини:

(Подача,  $S$ , не більше),

а також використовують слова «від», «більше», «до»:

(Від 0,5 до 1,2; більше 20; до 80).

Дані, що наводяться в таблиці, можуть бути словесними і числовими.

Слова записують в графах з однієї позиції. Якщо рядки таблиці не розділені лініями, то текст, який повторюється і складається з одного слова, дозволяється замінювати лапками (,). Якщо текст складається з двох і більше слів, то при першому повторенні його замінюють словами «те ж», а далі лапками. При розділенні таблиці горизонтальними лініями ніякої заміни не виконують.

Числа записують посередині графи так, щоб їх однакові розряди по всій графі були точно один під одним, за винятком випадку, коли вказують інтервал. Інтервал вказують від меншого числа до більшого з тире між ними:

12–35

122–450.

Дробові числа наводять у вигляді десяткових дробів, з однаковою кількістю знаків після коми в одній графі. Розміри в дюймах можна записувати у вигляді:  $1/2''$ ,  $1/4''$ ,  $1/8''$ .

Ставити лапки замість цифр чи математичних символів, які повторюються, не можна. Якщо цифрові чи інші дані в таблиці не наводяться, то ставиться прочерк.

Таблиці нумерують в межах розділів і позначають зліва над таблицею за формою: «Таблиця 3.2 – Найменування таблиці». Крапку в кінці не ставлять. Якщо найменування таблиці довге, то продовжують у наступному рядку починаючи від слова «Таблиця». Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці в розділі, розділених крапкою. Дозволяється нумерувати в межах всього документа.

Таблиця може бути великою як в горизонтальному, так і в вертикальному напрямках або, іншими словами, може мати велику кількість граф і рядків. В таких випадках таблицю розділяють на частини і переносять на інші сторінки або розміщують одну частину під іншою чи поряд. Якщо частини таблиці розміщують поряд, то в кожній частині

повторюють головку таблиці, а при розміщенні однієї частини під іншою – повторюють боковик. Якщо в кінці сторінки таблиця переривається і її продовження буде на наступній сторінці, в першій частині таблиці нижню горизонтальну лінію, що обмежує таблицю, не проводять. При перенесенні частин таблиці на інші сторінки повторюють або продовжують найменування граф. Допускається виконувати нумерацію граф на початку таблиці і при перенесенні частин таблиці на наступні сторінки повторювати тільки нумерацію граф. У всіх випадках найменування (при його наявності) таблиці розміщують тільки над першою частиною, а над іншими частинами зліва пишуть «Продовження таблиці 4.2» без крапки в кінці.

Інші вимоги до виконання таблиць – відповідно до чинних стандартів на технічну документацію.

## 2.9 Оформлення графічної частини КП

Необхідно здійснювати посилання на графічну частину проекту в описовій частині пояснювальної записки. Наприклад: *відповідно до технічного креслення деталі «Вал», наведеного у додатку А, виконано розрахунок режимів різання на операції точіння*. Кількість та склад креслень у графічній частині проекту визначаються керівником. На кожному кресленні обов'язковим є підписи студента та керівника КП.

Кожен аркуш графічної частини повинен відповідати стандартному формату (А4 – А1) та мати рамку робочого поля і основні надписи. Деякі ілюстративні матеріали можна представляти у вигляді плакатів. Плакат оформляється таким чином, щоб на одній стороні аркуша був штамп (розміром як для креслення ф. А4), а на звороті – ілюстрація у довільній формі з назвою плакату у верхній чи нижній частині аркушу.

## 2.10 Шифр документів КП

Креслення та пояснювальна записка КП повинні мати власний шифр за такою структурою:

$$\underbrace{XX-XX}_{1} \cdot \underbrace{XXX}_{2} \cdot \underbrace{XXX}_{3} \cdot \underbrace{XX}_{4} \cdot \underbrace{XXX}_{5} \cdot \underbrace{XX}_{6}$$

де 1 /XX-XX/ – числовий шифр кафедри, прийнятий у ВНТУ (кафедра технології та автоматизації машинобудування має шифр 08-26);

2 /XXX/ – умовний код дисципліни (дисципліна «Комп'ютерне проектування технологічного оснащення» має умовний код «КПТО»);

3 /XXX/ – порядковий номер студента у списку керівника КП (від 1 до 30);

4 /XX/ – порядковий номер графічного документа КП;

5 /XXX/ – три символи для позначення складальних одиниць;  
6 /XX/ – код неосновного конструкторського документа (ПЗ тощо).

Наприклад, курсовий проєкт, що виконується студентом групи 2ТМ-12сп та у списку керівника КР зазначається під номером 10 матиме вигляд:

- шифр на титульній сторінці та у графах 2 та 2а розрахунково-пояснювальної записки:

08-26.КПТО.010.00.000 ПЗ;

- шифр креслення деталі:

08-26.КПТО.010.01.000;

- шифр складального креслення верстатного пристосування:

08-26.КПТО.010.02.000 СК;

- шифр креслення деталі наведеного складального креслення:

08-26.КПТО.010.02.001;

- схема базування деталі (плакат):

08-26.ТПМВ.010.03.000 ПЛ.

## 2.11 Написання вступу до КП

Вступ пишуть з нової пронумерованої сторінки з лівого краю рядка із заголовком «**ВСТУП**» великими літерами з більш високою насиченістю (жирністю) шрифту.

Текст вступу повинен бути коротким і висвітлювати питання актуальності та призначення курсового проєкту. Вступ висвітлює стан розвитку завдань КП в галузі машинобудування, сфери використання та призначення результатів виконання. В останньому абзаці вступу потрібно чітко вказати мету виконання КП та завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети.

Обсяг вступу не має перевищувати однієї сторінки.

## 2.12 Формулювання висновків до КП

Висновки оформляють з нової пронумерованої сторінки з лівого краю рядка із заголовком «**ВИСНОВКИ**» великими літерами з більш високою насиченістю (жирністю) шрифту.

Висновки є підсумковою частиною прийнятих рішень при виконанні курсового проєкту. У висновках необхідно проаналізувати виконання поставлених завдань та досягнення мети КП. Наводиться коротка характеристика виконання всіх розділів КП з формулюванням висновків до кожного розділу про те, який результат було досягнуто. Необхідно дати оцінку, вказати переваги та недоліки використання САПР під час виконання КП. Вказати значення виконаного проєкту для машинобудівної галузі та перспективи реалізації результатів виконання КП на машинобудівному підприємстві.

## 2.13 Складання переліку використаної літератури

Список літературних джерел, використаних під час виконання КП оформляють з нової пронумерованої сторінки з лівого краю рядка із заголовком «ЛІТЕРАТУРА» (великими буквами більш високої насиченості).

Посилання на літературні джерела наводять в квадратних дужках, вказуючи порядковий номер за списком [1]. В списку кожне найменування літературного джерела записують мовою, якою воно видане, з абзацу і нумерують арабськими цифрами.

Форми запису використаних літературних джерел слід розміщувати у порядку появи посилань у тексті або за абеткою.

Бібліографічний опис джерел складають відповідно до чинних стандартів з бібліотечної та видавничої справи:

- ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги і правила складання»;

- ДСТУ 3582-97 «Інформація та документація. Скорочення слів в українській мові в бібліографічному описі. Загальні вимоги та правила».

## 2.14 Оформлення та складання додатків до КП

Основними складовими додатків до КП є технічне завдання на проектування та графічна частина. Технічне завдання розміщують після аркуша з назвою додатка – «Додаток А», де нижче записується «Технічне завдання на курсове проектування». Графічну частину розміщують після аркуша з назвою додатка – «Додаток Б», де нижче записується «Графічна частина». У графічній частині КП розміщують креслення та плакати, що ілюструють результати виконання КП, але у відповідності із переліком складових графічної частини КП, що вказується у індивідуальному завданні.

## 2.15 Технічне завдання

Технічне завдання (ТЗ) є основним вихідним документом для розробки продукції і технічної документації на неї. Зразок розробленого технічного завдання наведений в додатку Г.

ТЗ оформляють відповідно до вимог стандарту ДСТУ 3973-2000, на аркушах формату А4 з однієї сторони, як правило, без рамки, основного напису і додаткових граф до нього. Номери сторінок проставляють у верхній частині аркуша справа.

ТЗ, відповідно до ДСТУ 3973-2000, складається з таких розділів:

1. Підстава для виконання проекту;

2. Мета і призначення КП;
3. Вихідні дані для виконання КП;
4. Виконавці КП;
5. Вимоги до виконання КП;
6. Етапи курсового проектування і терміни виконання КП;
7. Очікувані результати та порядок реалізації КП;
8. Матеріали, які подають під час закінчення КП та його етапів;
9. Порядок приймання КП та його етапів;
10. Вимоги до розробки документації.

У розділі «Підстава для виконання проекту» наводять повну назву документа, на підставі якого виконують КП, його номер, дату затвердження, а також терміни початку і закінчення курсового проектування. Підставою для виконання КП є індивідуальне завдання на курсове проектування.

У розділі «Мета і призначення КП» наводять коротку характеристику та оцінку стану проблеми, що її вирішують, визначають головну мету і задачі проекту, її актуальність та дають обґрунтування необхідності виконання КП.

У розділі «Вихідні дані для виконання КП» зазначають, що КП виконується вперше або є продовженням попередніх робіт та наводять перелік документів, які необхідно використовувати під час виконання КП. Перелік може містити стандарти та нормативні документи України, національні стандарти інших країн, міжнародні стандарти, нормативну і технічну документацію, науково-технічну літературу, довідники тощо.

У розділі «Виконавці КП» наводять організацію: головного виконавця (кафедра ТАМ) і виконавців складових частин КП (студент).

У розділі «Вимоги до виконання КП» наводять основні технічні вимоги, що їх висувають до КП:

- якісні і кількісні показники, які мають бути досягнуті у процесі виконання КП;
- вимоги до способів оброблювання первинних матеріалів;
- обґрунтовують необхідність створення макетів, моделей або експериментальних зразків майбутніх виробів, які потрібні для виконання КП.

Окремі вимоги (величини), які не можуть бути визначені під час розробки ТЗ, записують в такій редакції: «Остаточні вимоги (величини) ... уточнюють у процесі виконання проекту і узгоджують із ... на етапі ... ».

У розділі «Етапи курсового проектування і терміни виконання КП» визначають необхідні етапи виконання КП, склад робіт за кожним етапом та форму подання результатів, терміни їх виконання і виконавців.

У розділі «Очікувані результати та порядок реалізації КП» наводять передбачувані способи реалізації результатів КП, що полягають у використанні результатів для вдосконалення й модернізації існуючої

продукції чи технології її виготовлення.

У розділі «Матеріали, які подають під час закінчення КП та його етапів» наводять перелік документів, що визначають обсяг та зміст розрахунково-пояснювальної та графічної частин КП.

У розділі «Порядок приймання КП та його етапів» обґрунтовують необхідність і визначають порядок приймання етапів курсового проектування та КП у цілому.

У розділі «Вимоги до розробки документації» наводять конкретний склад звітної документації та інших технічних і організаційно-методичних документів які розроблялися на етапах курсового проектування та КП в цілому. Крім того, визначають спосіб виконання документації, кількість комплектів документації, яка повинна бути оформлена виконавцем КП після закінчення етапів і проекту в цілому.

ТЗ затверджується на кафедрі керівником КП.

### 3 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЦЕННЯ

Технологічне оснащення (ТО) – це пристрої або механізми, які доповнюють технологічне устаткування і служать для забезпечення безпеки праці робітника та підвищення продуктивності виконання технологічних операцій. ТО є сукупністю різального, вимірювального інструменту і пристосувань, використовуваних для базування, закріплення і контролю оброблених деталей на різному технологічному устаткуванні: металообробних верстатах, пресах, вимірювальних машинах й ін. Залежно від типу виробництва і призначення технологічного устаткування розрізняється і його оснащення. У масовому виробництві пріоритетним є застосування спеціального нерозбірного і безналаштованого оснащення; у серійному виробництві – спеціалізованого та уніфікованого оснащення, що має багатоваріантне і багаторазове використання його деталей і складальних одиниць; у одиничному виробництві – спеціального нерозбірного і універсально-налаштованого оснащення.

Основним різновидом технологічного оснащення є різні пристосування. Їх поділяють на декілька груп залежно від цільового призначення: верстатні пристосування застосовуються для установаження заготовок на верстатах; пристосування для установаження різальних інструментів; складальні пристосування для забезпечення правильного взаємного розташування деталей і складальних одиниць на складальних операціях; контрольні пристосування для перевірки точності заготовок, проміжного і остаточного контролів деталей, перевірки складальних одиниць і машин (випробувальні і контрольні-вимірювальні стенди); пристосування транспортно-кантувальні для захоплення, переміщення, перевертання оброблених заготовок і складання виробів у автоматизованому виробництві.

Використання пристосувань сприяє підвищенню точності і продуктивності обробки та складання виробів, продуктивності контролю деталей; забезпечує механізацію й автоматизацію технологічних процесів, зниження кваліфікації робіт, розширення технологічних можливостей устаткування, підвищення безпеки робіт.

Запозичення відомих технічних рішень при створенні оснащення – основний принцип при оснащенні пристосуваннями технології виготовлення виробу. Це зумовлено високою питомою вагою витрат, пов'язаних з технологічним оснащенням, в собівартості продукції, оскільки проектування та виробництво оснащення носить індивідуальний характер і залежить від конкретних конструктивно-технологічних параметрів кожного оброблюваного виробу.

Часта зміна об'єктів виробництва, пов'язана з наростанням темпів технічного прогресу, вимагає створення конструкцій пристосувань, методів їх розрахунку, проектування і виготовлення, що забезпечує значне

скорочення термінів підготовки виробництва.

Витрати на виготовлення технологічного оснащення складають 15–20% від витрат на устаткування для технологічного процесу обробки деталей машин або 10–24% від вартості машини. Верстатні пристосування мають найбільшу питому вагу за вартістю і трудомісткістю виготовлення в загальній кількості різних типів технологічного оснащення.

### 3.1 Верстатні пристосування

Пристосування, яке входить до складу оброблювальної технологічної системи, називають верстатним пристосуванням. Верстатні пристосування призначені головним чином, для установалення об'єкта – заготовки – при виконанні операції механічної обробки на верстаті. Верстатні пристосування складають значну частину парку пристосувань в сучасному механоскладальному виробництві. За рахунок використання верстатних пристосувань при обробці деталей усувається розмітка заготовок і вивіряння їх при установаленні на верстатах, підвищується продуктивність праці, розширюються технологічні можливості устаткування, знижується собівартість продукції, покращуються умови і безпека праці робітника, з'являються можливості створення багатостатного обслуговування та застосування технічно обгрунтованих норм часу. Орієнтування заготовок і деталей здійснюється автоматично за рахунок контакту їх базових поверхонь з установними елементами пристосувань. При цьому забезпечуються задані розміри та підвищується точність обробки.

Застосовуючи пристосування можна скоротити основний технологічний час за рахунок поєднання обробки декількох заготовок і різних поверхонь однієї заготовки, збільшення числа одночасно працюючих інструментів, підвищення параметрів режиму обробки. Також скорочується допоміжний час за рахунок автоматичної орієнтації заготовок, скорочення часу на їх закріплення, поєднання допоміжного часу з основним, усунення витрат часу на перевірку положення заготовок при установаленні, використання в конструкціях швидкодійних ручних, механізованих і автоматизованих затискних пристроїв, автоматичних завантажувальних пристроїв, поворотних пристроїв та ін.

Від якості пристосування в значній мірі залежить ефективність технологічних процесів виготовлення деталей. Жорсткість пристосування впливає на жорсткість всієї технологічної системи.

Використовуючи пристосування на типовому металорізальному устаткуванні можна виготовляти деталі з важкооброблюваних конструкційних матеріалів. За допомогою пристосувань, що розширюють технологічні можливості верстатів, можна здійснювати: закріплення інструментів, використання яких на даному верстаті не передбачено; забезпечити додаткові переміщення оброблюваної заготовки та інструмента.

При цьому можливе кріплення заготовок і інструментів на непризначених для цих цілей поверхнях верстата, підвищується точність положення та переміщення інструменту, стають можливими види обробки, для яких даний верстат не призначений.

Зважаючи на різноманіття технологічних процесів, конструктивних форм і розмірів деталей, що виготовляються, типів верстатів й інших чинників номенклатура пристосувань може бути достатньо різноманітна. Не дивлячись на великі відмінності в конструктивному оформленні, пристосування мають практично однакову структуру, куди входять різні елементи, механізми і деталі.

*Установні елементи* (опори) служать для орієнтації заготовки в просторі та її базування при обробці.

*Затискні елементи і пристрої* пристосувань призначені для забезпечення надійного контакту базових поверхонь заготовок з установними елементами пристосувань і запобігання зсуву заготовки при обробці.

*Силкові приводи* пристосувань забезпечують дію затискних елементів на закріплювану заготовку із заданою силою і в певному напрямі.

*Корпуси* пристосувань є базовими найвідповідальнішими елементами пристосувань, за допомогою яких всі деталі і пристрої пристосувань об'єднуються в єдине ціле.

*Допоміжні пристрої та елементи* служать для розширення технологічних можливостей, підвищення швидкодії пристосувань, зручності керування ними та обслуговування. До допоміжних відносять поворотні і ділильні пристрої з дисками і фіксаторами; різні виштовхувальні пристрої (виштовхувачі); швидкодійні клеми і відкидні гвинти для кріплення відкидних елементів пристосувань; підйомні механізми та інші.

Технічні вимоги до пристосувань витікають з їх службового призначення. Оскільки пристосування призначене для базування об'єкта, то висуваються вимоги, які можна розділити на три групи:

1. Точність установних елементів пристосування, що створюють комплект баз для базування об'єкта і комплект баз, якими встановлюється саме пристосування;

2. Точність відносного розташування комплектів баз;

3. Точність розміщення напрямних втулок, кінематичних елементів і їх відносного розташування.

Крім того, пристосування повинне мати необхідну міцність, жорсткість, зносостійкість і теплостійкість.

## 3.2 Контрольно-вимірювальні пристосування

Сучасне виробництво характеризується постійно зростаючими вимогами до точності геометричних параметрів деталей, що виготовляються. Перевірка точності цих параметрів зумовлює застосування спеціальних та оригінальних

засобів контролю. Контроль точності виконується як на проміжних етапах обробки (операційний контроль), так і на етапі остаточного приймання продукції (остаточний контроль). Багато деталей мають складну конструктивну форму і малі допуски. Тому для їх контролю часто застосовують контрольно-вимірвальні пристосування (КВП), які є спеціальними виробничими засобами вимірювання та контролю, що є конструктивним поєднанням базувальних, затискних і вимірвальних пристроїв, а також калібрів. Їхнє основне призначення полягає у вимірюванні похибки або контролі геометричних параметрів деталей і складальних одиниць при їх виготовленні на етапах проміжного і остаточного контролів.

За допомогою контрольно-вимірвальних пристроїв перевіряють:

- лінійні розміри: зовнішні і внутрішні діаметри, висоту, ширину, глибину, виступи, довжину різних елементів деталей, які неможливо або недоцільно вимірювати граничними калібрами або універсальними вимірвальними засобами;

- точність форми поверхонь;

- точність розташування поверхонь;

- параметри зчеплення зубчастих коліс, різьбових з'єднань, фасонних поверхонь і деталей зі складним профілем.

Також за допомогою КВП можна:

- виконувати активний контроль розмірів заготовок безпосередньо при обробці на верстатах;

- перевіряти одночасно декілька параметрів деталей;

- виконувати сортування деталей за точністю параметрів на групи в межах заданого допуску;

- налаштовувати різальний інструмент на заданий розмір і здійснювати контроль розмірів заготовок при обробці на верстатах з ЧПК.

Основними вимогами, що висуваються до конструкції контрольно-вимірвальних пристроїв, є: забезпечення оптимальної точності та продуктивності контрольних операцій, зручність в експлуатації, технологічність у виготовленні, зносостійкість та економічна доцільність.

Не дивлячись на велику різноманітність контрольно-вимірвальних пристосовань, всі вони мають загальну структуру, яку можна подати у вигляді сукупності елементів, які розрізняються за функціональним призначенням. Кількість елементів в структурі пристосування невелика і їх можна об'єднати в такі основні групи: установні (базувальні), затискні, передавальні, вимірвальні пристрої, рухомі (для обертання або лінійного переміщення контрольованої деталі або вимірвального пристрою), допоміжні, корпусні. Основою будь-якого контрольно-вимірвального пристосування є корпус, на ньому монтується решта елементів, які можуть відрізнятися розмірами і конструктивним виконанням, залежно від конструкції і призначення КВП, причому в його структуру може входити як весь комплекс елементів, так і елементи з окремих груп.

## 4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ВЕРСТАТНИХ ПРИСТОСУВАНЬ

### 4.1 Методика проектування верстатних пристосувань

Методика проектування верстатних пристосувань охоплює виконання нижченаведених етапів.

#### 1. Підготовка початкових даних для проектування.

На даному етапі необхідно зібрати всю інформацію, що стосується виконуваної технологічної операції. До цієї інформації належить: конфігурація заготовки, схема її базування на операції, оброблювані поверхні і режими різання, використовуваний різальний інструмент, тип і модель верстата і т. д.

#### 2. Розробка компоунання верстатного пристосування.

На даному етапі розробляється спрощена конструкція пристосування, його принципова схема та компоунання. Компоунання визначається, виходячи з інформації, одержаної на етапі підготовки початкових даних. Знаючи схему базування заготовки, точність і шорсткість поверхонь, визначають тип і розмір установних елементів, їх кількість і взаємне розташування. Визначають тип затискного механізму і місце його дії на заготовку. Уточнюють необхідність використання додаткових елементів: кондукторних втулок, установів, ділильних пристроїв, копіїв й інших елементів.

#### 3. Розрахунок необхідної сили закріплення.

Сила закріплення заготовки в пристосуванні повинна гарантувати незмінність її положення в пристосуванні при обробці. Для цього на даному етапі визначають всі сили, що діють на заготовку (сили різання, інерції, тяжіння), складають розрахункову схему, на основі якої і знаходять необхідну силу закріплення, розв'язуючи рівняння рівноваги. Розрахункова схема складається з урахуванням компоунання пристосування, одержаного на попередньому етапі.

#### 4. Вибір силового приводу і розрахунок його параметрів.

За знайденим значенням сили закріплення визначають тип і конструкцію затискного механізму з урахуванням типу виробництва, конфігурації заготовки і вибраного компоунання пристосування. Визначають тип силового приводу при необхідності його використання. Аналізуються переваги та недоліки вибраного приводу і затискного механізму в порівнянні з іншими можливими варіантами. Виконується розрахунок їх параметрів і уточнюється компоунання пристосування, з урахуванням конструкції затискних механізмів і приводів, їх розмірів і розміщення в пристосуванні.

#### 5. Розрахунок пристосування на точність.

На даному етапі виконуються розрахунки, метою яких є перевірка

можливості забезпечення точності розмірів, які виконуються на операції. Формуються вимоги до деталей пристосування та умов його складання.

#### 6. Розробка конструкції корпусу верстатного пристосування.

На даному етапі визначаються контури, розміри і конструкція корпусу. Визначається спосіб установалення пристосування на верстаті. Вибираються спосіб установалення і місце розташування допоміжних деталей пристосування.

#### 7. Розрахунок деталей пристосування на міцність.

Розрахунки на міцність дозволяють оцінити здатність пристосування і його деталей витримувати прикладені до них зовнішні навантаження. Перевірка виконується на найбільш небезпечних перерізах і найнавантажениших елементах. За допомогою розрахунків на міцність можна визначити розміри різних деталей пристосування, передавальних сил або крутних моментів.

#### 8. Опис роботи спроектованого пристосування.

Після вирішення всіх перерахованих задач приступають до опису принципу роботи пристосування і розробки його загального вигляду та всієї необхідної конструкторської документації. Розробку загального вигляду пристосування ведуть методом послідовного нанесення окремих елементів пристосування навколо контурів заготовки, причому креслять відразу всі проєкції. Попутно креслять необхідні розрізи і перерізи, що пояснюють конструкцію. Остаточо оформляють складальне креслення і специфікацію.

Не дивлячись на лінійність поданої методики, процес проектування і розрахунку пристосування часто не є таким. Іноді при його виконанні можуть здійснюватися повернення на попередні етапи, наприклад для уточнення схеми установалення, заміни установних елементів і затискних пристроїв, зміни вимог до деталей пристосування та його складання і т. п. Причиною таких повернень може бути недостатня точність пристосування (через велику похибку положення заготовки в пристосуванні), недостатня міцність його елементів, недопустимі габаритні розміри, неможливість виготовлення корпусу або окремих деталей, дуже велике значення сили закріплення, яку складно реалізувати в конструкції пристосування і т. п.

### 4.2 Підготовка початкових даних для проектування

Підготовка початкових даних є першим і одним з найважливіших етапів в процесі проектування верстатних пристосувань. Від якості і правильності його виконання залежить працездатність майбутнього пристосування. Будь-які помилки або невизначеності в початкових даних найчастіше приводять до неможливості застосування спроектованого пристосування через невідповідну його конструкцію, недостатню точність, низьку надійність закріплення, неможливість установалення на верстаті і т. д.

Тому проектування і розрахунок пристосування слід починати тільки тоді, коли зібрані всі початкові дані та є упевненість в їх достовірності.

Велику частину початкових даних отримують з креслення деталі і розробленого технологічного процесу її виготовлення деталі, до цих даних відносять:

1) ескіз заготовки на виконуваний операції з вказанням габаритних розмірів, матеріалу заготовки і його характеристик, з допусками і технічними вимогами. Крім того слід уточнити вид заготовки, точність розмірів і стан її поверхонь, одержаних на попередній операції технологічного маршруту;

2) операційна карта з ескізами обробки і необхідними відомостями про поверхні, які повинні оброблятися при установленні заготовки в проектоване пристосування. Також повинна бути вказана або запропонована схема базування заготовки в пристосуванні з класифікацією технологічних баз і вказанням їх на ескізі у вигляді опорних точок. Окремо слід зазначити шорсткість поверхонь, розміри, отримувані на операції, і допуски на них, а також допуски форми і розташування, забезпечувані конструкцією пристосування;

3) програма випуску деталей, що визначає тип виробництва;

4) модель і технічні характеристики устаткування, на якому виконується обробка з використанням проектованого пристосування (розмір стола фрезерного або свердлильного верстата, розміри кріпильних пазів в ньому, їх кількість і розташування, розміри посадного місця шпинделя або висота центрів токарного верстата, діаметри отворів під кріпильні болти, місце знаходження робітника біля верстата);

5) дані про різальний інструмент і технологічні умови обробки на даній операції: тип різального інструмента та інструментальний матеріал, режими різання і норми часу, точність обробки, схема технологічного налаштування верстата для уточнення взаємного розташування інструмента і пристосування.

Після ретельного вивчення та аналізу початкових даних і ознайомлення з конструкціями пристосувань аналогічного призначення з технічної літератури необхідно визначити службове призначення проектованого пристосування.

Визначення службового призначення пристосування ґрунтується на якісному й кількісному аналізі початкової інформації про операцію технологічного процесу та умов, в яких експлуатуватиметься пристосування.

Формулювання службового призначення повинне відобразити таку інформацію: -

- кількість оброблюваних деталей, встановлюваних в пристосуванні, їх габаритні розміри;
- комплект баз, по яких базуються заготовки;

- необхідна точність установалення заготовок;
- режими різання, при яких експлуатуються пристосування.

Правильно сформульоване службове призначення пристосування дозволяє спроектувати останнє з необхідними показниками якості. Конструювання повинне починатися з вибору основної ідеї, аналізу схеми базування оброблюваної деталі і принципової схеми пристосування.

### 4.3 Розробка компоновання верстатного пристосування

Перш ніж приступити до розробки компоновання верстатного пристосування необхідно уважно вивчити початкові дані і визначитися з основним набором характеристик проектного пристосування. Розглянемо вплив початкових даних на конструкцію пристосування, його тип і характеристики.

*Форма заготовки*, встановлюваної в пристосування, і її розміри визначають габаритні розміри пристосування. Для важких заготовок слід наперед визначитися зі способом їх установалення в пристосування.

*Характеристики верстата* впливають на конструкцію корпуса пристосування і спосіб базування і закріплення його на верстаті.

*Тип виробництва* впливає на рівень автоматизації пристосування, вимоги до зносостійкості його елементів, зумовлює використання в ньому уніфікованих елементів, змінних деталей і налагоджень, а також спосіб налаштування пристосування розмір оброблюваної поверхні. Пристосування з ручним приводом рекомендується застосовувати там, де обробляється порівняно невелика кількість деталей (одиничне і дрібносерійне виробництво), в інших випадках слід їх механізувати. Для великосерійного і масового виробництва пристосування слід проектувати з вбудованим механізованим приводом.

В умовах одиничного виробництва використовують, в основному, універсальні пристосування, які не вимагають проектування і вибираються з довідників або каталогів відповідних підприємств-виробників.

В умовах серійного виробництва застосовують різні налагоджувальні пристосування, а також спеціалізовані і спеціальні. Ці пристосування вимагають мінімального обсягу проектних робіт і відрізняються високою надійністю.

У великосерійному і масовому виробництві застосовують, в основному, спеціальні або збірно-розбірні пристосування, які часто можуть бути багатомісними механізованими, а в умовах масового виробництва – автоматизованими.

*Схема базування* заготовки, вибрана для даної операції, визначає комплект допоміжних баз пристосування, тип настановних елементів і їх кількість. Схема базування багато в чому визначає компоновання пристосування.

Точність виготовлення деталі, задана на операції, обмежує допустимі похибки її базування і закріплення в пристосуванні, які повинні бути у декілька разів менші похибки виготовлення деталі. Це впливає на вибір установних і затискних елементів, а також на їх розташування.

Після визначення основних характеристик і вимог до конструкції пристосування приступають до розробки його принципової схеми і компонування, які залежать від особливостей оброблюваної заготовки, методу обробки, числа встановлюваних заготовок і характеристик верстата.

Під принциповою схемою верстатного пристосування розуміють схему, на якій зображений повний склад його елементів і зв'язків між ними, що дозволяє одержати повне уявлення про принципи дії пристосування. Принципові схеми зображаються за допомогою умовних позначень. На принциповій схемі повинні бути: установні елементи, затискні механізми, силові приводи, передавальні ланки і інші – рухомі і нерухомі – елементи. Приклади оформлення деяких принципових схем наведені на рисунках 4.1–4.3.

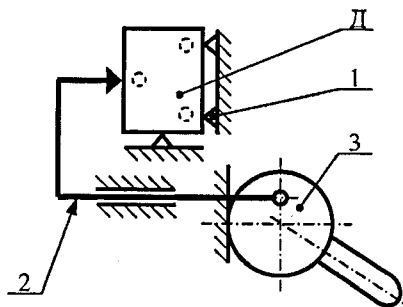


Рисунок 4.1 – Верстатне пристосування з важільно-ексцентриковим затискачем: 1 – установні опори, 2 – прихват, 3 – круглий ексцентрик

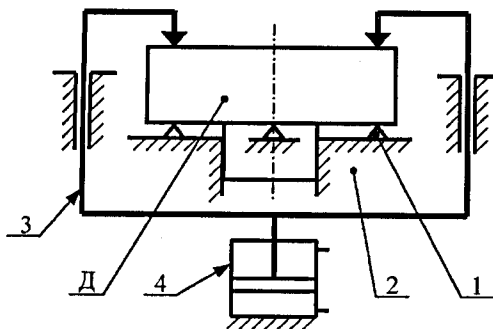


Рисунок 4.2 – верстатне пристосування з прихватами і пневмоциліндром двосторонньої дії: 1 – установні опори, 2 – корпус, 3 – прихвати, 4 – пневмоциліндр

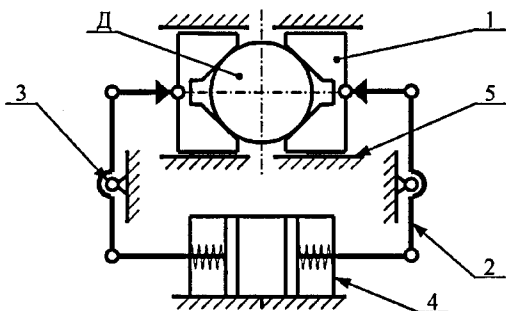


Рисунок 4.3 – Пристосування на основі подвійного пневмоциліндра однобічної дії: 1 – центрувальні призми; 2 – важільний затискач; 3 – шарнірні опори, 4 – пневмоциліндр, 5 – корпус

Схема розташування установних елементів визначається схемою базування об'єкта і типом установних елементів. Вибирають таку схему, при якій забезпечуються найвища точність установлення і найбільша стійкість об'єкта, що базується.

Щоб забезпечити стійкість об'єкта (заготовки, деталі) необхідно позбавити його всіх (6-ти) ступенів вільності, тобто потрібно йому надати жорсткі геометричні зв'язки, що з'єднують його з координатними площинами вибраної системи. Ці зв'язки надаються шляхом контакту баз заготовки з установними елементами пристосування. Такі контакти відбуваються по локальних поверхнях. Умовно їх складно вважати точками.

Під час виконання даного розділу необхідно навести схему установлення деталі. Опори, затискачі та уставні елементи наносять у вигляді графічних позначень за ГОСТ 3.1107-81 (таблиці 4.1–4.2).

Таблиця 4.1 – Графічне позначення опор

Нерухома опора	Рухома опора	Плаваюча опора	Регульована опора

Таблиця 4.2 – Графічне позначення затискачів

<p>Затискачі одиничний та подвійний</p>	
---	--

Для установлення деталей типу тіл обертання використовують установні пристрої: центри, оправки та патрони. У таблиці 4.3 наведені графічні позначення таких установних пристроїв.


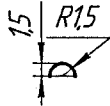
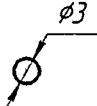
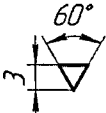
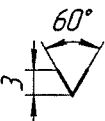
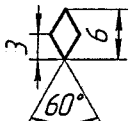
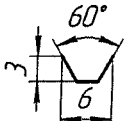
Таблиця 4.3 – Графічне позначення установних пристроїв

Центр нерухомий	Центр обертальний	Центр плаваючий
<p>Оправка циліндрична</p>	<p>Оправка кулькова (роликова)</p>	<p>Патрон повідковий</p>

При установленні заготовки на опорні елементи необхідно правильно вибрати форму робочої поверхні опори залежно від виду базової площини заготовки та методу її оброблення. Базування за допомогою опорних пальців застосовується, в основному, коли плоска головна база заготовки не оброблена. В такому випадку використовують пальці з насіченими та сферичними головками. Для установлення заготовок з обробленими базами використовують опорні пальці з плоскою головкою. Для базування заготовок, що мають основну базу у вигляді обробленої циліндричної поверхні, використовують широкі опорні призми, самоцентрувальні патрони, оправки, центри, цанги і т. д. Для базування необроблених циліндричних баз використовують вузькі призми, трикулачкові патрони. У

таблиці 4.4 наведені графічні позначення основних форм робочих поверхонь опорних елементів.

Таблиця 4.4 – Графічне позначення форм робочих поверхонь установних елементів

Плоска	Сферична	Циліндрична (кулькова)	Тригранна
			
Конічна	Ромбічна	Призматична	
			

Вибір установних елементів залежить від комплекту технологічних баз заготовки, кожна з яких повинна бути реалізована в конструкції пристосування шляхом вибору відповідного установного елемента.

Слід пам'ятати, що якщо база явна, то вона реалізується безпосереднім контактом базової поверхні з установними елементами пристосування. Приховані бази зазвичай реалізуються або за рахунок центрування заготовки, або за рахунок сил тертя при закріпленні заготовки в пристосуванні.

Більшість установних елементів є стандартизованими, тому для їх вибору можна скористатися відповідними стандартами. У спеціальних пристосуваннях допустимо використовувати спеціальні установні елементи.

Опорні елементи мають різноманітну конструкцію, яка залежить від форми бази та кількості ступенів вільності, яких позбавляється заготовка. Розрізняють основні та допоміжні опорні елементи.

Основні опорні елементи характеризуються тим, що кожний з них реалізує одну чи декілька опорних точок для базування заготовки. Розташовані відповідним чином у пристосуванні вони утворюють необхідну сукупність опорних точок. До основних опор відносять: опорні пальці (рис. 4.4), установні пальці (рис. 4.5) пластини, центри, призми (ГОСТ 12193-12197, 12209-12216, 13440-13442, 4743).

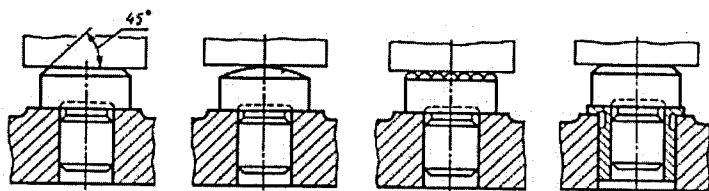


Рисунок 4.4 – Опорні пальці

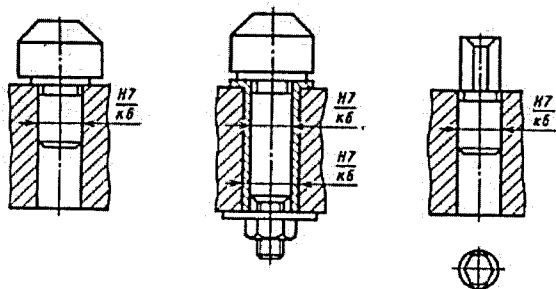


Рисунок 4.5 – Установні пальці

Допоміжні опорні елементи відрізняються тим, що вони підводяться до заготовки після того, як вона отримала необхідне базування за допомогою основних елементів. Такі опори використовуються для збільшення числа точок контакту заготовки з пристосуванням з метою підвищення жорсткості системи. До допоміжних опор відносять регульовані та плаваючі одиничні опори, люнети і т. д. (ГОСТ 4084-4086, 4740).

Під час виконання даного розділу КП необхідно навести вибрані опорні елементи, які слід вибрати з довідника [1, 7].

Завершальним етапом виконання даного розділу є безпосередня розробка компонування. Компонування пристосування виконується на основі наявної принципової схеми і відрізняється від неї більшою деталізацією. На компонуванні з'являються допоміжні елементи конструкції, визначаються контури корпусу, відображається конструкція основних деталей пристосування. Компонування є попереднім спрощеним варіантом складального креслення пристосування. Основна мета його розробки – підібрати елементи конструкції пристосування відповідно до принципової схеми і зв'язати їх в один найдоцільніший механізм.

При розробці компонування рекомендується спочатку зобразити заготовку в робочому положенні в декількох проекціях, а потім решту елементів конструкції в такій послідовності: установні елементи, затискні механізми, силові приводи, деталі для направлення різального інструменту, допоміжні елементи для кожної проекції. Після чого потрібно

визначити контури і розміри корпусу пристосування, який об'єднує всі перераховані елементи.

При виконанні компонування слід враховувати вимоги, що висуваються до будь-якого верстатного пристосування, яке повинне:

- забезпечувати найбільшу продуктивність і ефективність при проектуванні, виготовленні та експлуатації;
- забезпечувати якість, точність і стабільність обробки;
- бути зручним і безпечним в роботі та при керуванні, забезпечувати достатню жорсткість і надійність закріплення;
- бути стійким, щоб сприймати всі сили, що діють при обробці, а також вібрації, які можуть послабити затискання;
- забезпечувати зручне установа на верстаті й транспортування;
- забезпечувати мінімальний час на маніпуляції з пристосуванням, які повинні бути простими, короткими та інтуїтивними.

#### 4.4 Розрахунок необхідної сили закріплення

При механічній обробці різанням на заготовку діють сили різання, об'ємні сили, а також сили другорядного і випадкового характеру. Ці сили можуть зумовити зміщення заготовки в пристосуванні під час оброблення. Тому при розробленні конструкції пристосування особлива увага приділяється розрахунку необхідної сили закріплення. Сила закріплення повинна забезпечити незмінне положення заготовки відносно установних елементів пристосування, запобігти її зрушенню або повороту під дією сил різання, тобто забезпечити надійне закріплення впродовж всього часу.

Для того, щоб запобігти переміщенню заготовки під впливом сил різання, до неї необхідно прикласти силу закріплення  $Q_3$ , величина якої дозволяє протидіяти силам різання безпосередньо або через сили тертя. Така сила називається необхідною силою закріплення заготовки в пристосуванні.

Визначення величини необхідної сили закріплення є одним з основних завдань при проектуванні верстатного пристосування. Особливу увагу слід звернути на те, що в процесі оброблення дійсні значення сили різання можуть істотно відрізнятися від розрахункових і довідкових значень. Причиною цього є різні випадкові і систематичні чинники, що діють в процесі різання, наприклад, непостійність механічних властивостей матеріалу, нерівномірність наклепу і припуску по оброблюваних поверхнях, знос різального інструменту і т. д. Крім того, при прийнятій схемі розрахунку сил затискання можливі різні стани контакту між опорними поверхнями пристосування і заготовкою, заготовкою і затискним пристроєм. Усі ці зміни сил різання і станів контакту розрахунковим шляхом врахувати неможливо. Тому в практичних розрахунках величину сили різання, знайдену розрахунковим шляхом,

штучно збільшують множенням на коефіцієнт запасу закріплення  $k$ . Значення коефіцієнта запасу закріплення  $k$  визначають, виходячи з конкретних умов виконання операції і способу закріплення заготовки в пристосуванні на основі формули:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (4.1)$$

де  $k_0$  – гарантований коефіцієнт запасу (беруть  $k_0 = 1,5$ );

$k_1$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність припуску по оброблюваній поверхні заготовки, що призводить до збільшення сили різання (для чорнового оброблення  $k_1 = 1,2$ ; для чистового оброблення  $k_1 = 1$ );

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при затупленні різального інструмента (значення  $k_2$  наведені в таблиці 4.5);

Таблиця 4.5 – Значення коефіцієнта  $k_2$

Метод оброблення	Компоненти різання	Значення	
		для чавуна	для сталі
Свердління	$M_{кр}$ $P_o$	1,2 1,1	1,0 1,0
Зенкерування попердне	$M_{кр}$	1,3	1,0
	$P_o$	1,2	1,0
Зенкерування чистове	$M_{кр}$	1,2	1,0
	$P_o$	1,2	1,0
Попереднє точіння і розточування	$P_z$	1,0	1,0
	$P_y$	1,2	1,4
	$P_x$	1,25	1,6
Чистове точіння і розточування	$P_z$	1,05	1,00
	$P_y$	1,40	1,05
	$P_x$	1,30	1,00
Фрезерування попердне і чистове циліндричною фрезою	$P_z$	1,2 - 1,4	1,6 - 1,8
Фрезерування попердне і чистове торцевою фрезою	$P_z$	1,2 - 1,4	1,6 - 1,8
Шліфування	$P$	1,0	1,1 - 1,2
Протягування	$P$	1,0	1,5

$k_3$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при обробленні нерівномірних поверхонь (при точінні і торцевому фрезеруванні  $k_3 = 1,2$ ; при безперервному різанні  $k_3 = 1,0$ );

$k_4$  – коефіцієнт, що враховує непостійність сили затискання (для ручних затискачів  $k_4 = 1,3$ ; для механізованих  $k_4 = 1$ );

$k_5$  – коефіцієнт, що враховує ергономіку ручних затискних елементів. При їх зручному розташуванні і малому куті повороту важелів  $k_5 = 1$ , при незручному розташуванні і великому куті повороту важелів  $k_5 = 1,2$ ;

$k_6$  – коефіцієнт, що враховується лише за наявності моментів, які намагаються повернути заготовку. Якщо заготовка встановлена базовою площиною на опори з обмеженою поверхнею контакту,  $k_6 = 1,0$ . При установленні на пластини або інші елементи з більшою поверхнею контакту  $k_6 = 1,5$ , оскільки наявність макронерівностей на базових поверхнях може призвести до невизначеного положення місць контакту відносно центра повороту заготовки.

Якщо в результаті розрахунку коефіцієнта запасу отримано значення  $k < 2,5$ , то приймаємо  $k = 2,5$ .

Необхідну величину сили закріплення визначають шляхом розв'язання задачі статички, розглядаючи рівновагу заготовки під дією прикладених до неї сил і моментів. Для цього необхідно скласти розрахункову схему. Розрахункова схема повинна містити:

- схему установлення заготовки;
- сили і моменти різання, що діють на заготовку;
- сили закріплення заготовки;
- реакції установних і затискних елементів;
- сили і моменти тертя в місцях контакту заготовки з установними і затискними елементами.

Розрахункову схему слід складати для найбільш несприятливого розташування різального інструменту на оброблюваній поверхні, коли сили і моменти, що намагаються змінити положення заготовки в пристосуванні, максимальні. За розрахунковою схемою встановлюють напрям можливого переміщення або повороту заготовки під дією сил і моментів різання, визначають величину проєкцій усіх сил на напрям переміщення і складають рівняння рівноваги для сил і моментів. Розв'язавши отримані рівняння, знаходять формули для розрахунку сили закріплення  $Q_3$ . Якщо можливі переміщення заготовки в декількох напрямках, то рівняння рівноваги розв'язують для кожного з них, а з отриманих значень  $Q_3$  за необхідну силу закріплення вибирають найбільшу. У загальному вигляді рівняння рівноваги заготовки в пристосуванні під дією сил і моментів різання за наявності сили закріплення можна подати таким чином:

1. Перевірка заготовки на зрушення під дією сили різання  $P_{PI3}$  :

$$k \cdot P_{PI3} \leq F_{TP} ;$$

2. Перевірка заготовки на поворот під дією крутного моменту  $M_{PI3}$  :

$$k \cdot M_{PI3} \leq M_{TP} ;$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу закріплення;

$P_{РІЗ}$  – сила різання, що діє на заготовку;

$M_{РІЗ}$  – крутний момент сил різання, що діє на заготовку;

$F_{ТР}$  – сумарна сила тертя в напрямі, протилежному напрямку зрушення;

$M_{ТР}$  – сумарний момент сил тертя в напрямі, протилежному напрямку повороту заготовки.

Силу тертя  $F_{ТР}$  визначають за формулою:

$$F_{ТР} = f \cdot R, \quad (4.2)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя по поверхнях контакту заготовки з елементами пристосування;

$R$  – реакція поверхні, по якій здійснюється тертя.

Значення коефіцієнтів тертя  $f$  залежить від умов контакту і типу поверхонь заготовки та пристосування [1, 6, 8].

В деяких випадках на величину сили закріплення, окрім сил і моментів різання, можуть впливати й інші сили, наприклад, сила тяжіння заготовки, сили і моменти інерції, які враховуються в розрахунковій силовій схемі при їх значній дії на закріплюваний об'єкт. Значення цих сил встановлюються розрахунковим шляхом. Слід мати на увазі, що сила закріплення заготовки  $Q_3$  може бути збільшена за рахунок застосування затискного пристрою або механізованого приводу, які виконують функцію підсилювача початкової сили.

Для більшості схем устанавлення отримано розрахункові формули для визначення необхідної сили закріплення, які можна знайти в довідковій літературі [1, 6, 8]. Під час виконання даного розділу дозволяється використання спеціальних програм розрахунку, де реалізовані відомі розрахункові схеми та формули визначення сил закріплення. Наприклад, можна використовувати програми розрахунку сили закріплення, що розроблені на кафедрі технології та автоматизації машинобудування. Приклад такого розрахунку наведений на рис. 4.6. У наведеному прикладі розглядається випадок розрахунку необхідної сили закріплення під час обробки свердлінням. Виконується чистова обробка сталі з безперервним різанням, під час якої деталь закріплена мехізованими затискачами зі зручним розташуванням важелів затискання ( $k = 2,5$ ). Прихват затискача має головку з плоскою поверхнею ( $f = 0,16$ ). Взятє з технологічної документації значення крутного моменту різання становить  $M_{КР} = 22 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Відстань від місця прикладання прихвату затискача до місця обробки вибрана в 50 см. В результаті натискання кнопки «Розрахунок» отримаємо значення сили закріплення  $Q_3 = 687,5 \text{ Н}$ .

При використанні цих формул обов'язково слід дати посилання на джерело, а також навести розрахункові схеми, що відповідають їм.

Визначення сил закріплення заготовки при свердлінні

**Схема закріплення заготовки**

**Розрахункова формула**

$$Q_3 = \frac{k \cdot M_{кр}}{f \cdot l}$$

**Введення коефіцієнтів**

k1 Чистова обробка	k1=1	k4 Механізовані затискачі	k4=1
k2 Свердління сталі	k2=1	k5 Зручне розташування	k5=1
k3 Безперервне різання	k3=1	<b>Коефіцієнт запасу k: 2,5</b>	

Виберіть умови контакту заготовки з опорами: З плоскою головкою по оброблених поверхнях

**Коефіцієнт тертя f: 0,16**

**Введення даних**

Крутий момент Mкр: 22 [Нм]  
Відстань L: 0,5 [м]

**РЕЗУЛЬТАТ**

**Сила закріплення Q3: 687,5 [Н]**

**Розрахунок**

Автори програми: Петров О.В. Сухоруков С.І. Трофимчук М.В.  
Авторські права захищені.

Рисунок 4.6 – Розрахунок сили закріплення заготовки при свердлінні

#### 4.5 Вибір силового приводу і розрахунок його параметрів

Сильовий привод у верстатному пристосуванні потрібний для створення сили  $P_B$ , необхідної для затискних пристроїв, які усувають можливість вібрації або зсуву заготовки відносно установних елементів пристрою під дією власної ваги або сили різання під час оброблення. Принцип роботи затискних пристроїв полягає в тому, щоб розвинути і прикласти до заготовки необхідну силу закріплення  $Q_3$  (рис. 4.7).

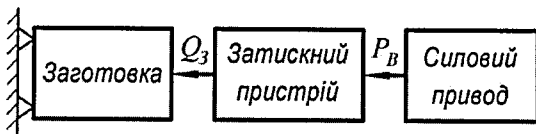


Рисунок 4.7 – Структурна схема закріплення заготовки

Затискні механізми можуть бути використані в комбінації з різними механізованими приводами (сильовими вузлами), які розвивають вихідну силу затискання.

За будовою затискні пристрої є підсилювачами, тобто сила  $Q_3$ , що формується затискним механізмом, може бути в декілька раз більшою, ніж вихідна сила закріплення  $P_B$ , розвинена силовим приводом. Можливий також протилежний варіант.

Затискні пристрої поділяють на прості та комбіновані, що складаються з кількох простих механізмів. До простих відносять клинові, гвинтові, важільні, ексцентрикові. Цей клас механізмів ще називають затискачами.

Залежно від типу затискача і силового вузла затискні пристрої можна класифікувати за ступенем механізації на ручні, механізовані й автоматизовані. Ручні затискні механізми потребують застосування значної м'язової енергії робітника при закріпленні і відкріпленні заготовки. Механізовані працюють від приводу і використовують різні силові вузли: гідравлічні, пневматичні, електричні. Автоматизовані затискні пристрої приводяться в дію робочими органами верстатів без участі робітника.

Затискні пристрої можна не застосовувати в двох випадках: при обробленні важких стійких заготовок, коли сили, що діють на заготовку, значно менші, ніж її вага; коли сили різання діють так, що не можуть порушити положення заготовки.

Розглянемо коротко принцип роботи та особливості розрахунків затискних механізмів різного виду.

Гвинтові затискні пристрої набули широкого застосування при закріпленні заготовок, що пояснюється їх простотою, універсальністю та безвідмовністю в роботі. Вони виконуються у вигляді окремого затискного гвинта, що приводиться в рух рукояткою або ключем. Закріплення за допомогою гвинтових затискачів відбувається при силовому контакті закріплюваного об'єкта з торцем гвинта або його наконечником (п'ятою). Затискні гвинти для пристроїв стандартизовані, вони відрізняються конструкцією контактної торця, рукояткою і способом затягування. Рекомендації щодо вибору і приклади використання можна знайти в [1, 4, 9]. Під час розрахунку гвинтового затискача необхідно знайти величину номінального діаметра гвинта та величину моменту, який необхідно прикласти до важеля гвинтового пристрою.

Номінальний діаметр гвинта (мм):

$$d = C \cdot \sqrt{Q_3 / \sigma}, \quad (4.3)$$

де  $C = 1,4$  – коефіцієнт для основної метричної різі;

$Q_3$  – сила закріплення заготовки, Н;

$\sigma$  – напруження розтягу. Для гвинтів із сталі  $\sigma = 80 \dots 100$  МПа.

Розрахований таким чином діаметр округляють до найближчого більшого значення. У пристосуваннях застосовують різі від М8 до М42. Момент, прикладений до рукоятки, для отримання заданої сили закріплення  $Q_3$  визначається за формулами:

- для гвинтів зі сферичним торцем

$$M = 0,1 d Q_3, \quad (4.4)$$

- для гвинтів з плоским торцем:

$$M = 0,1 \cdot d \cdot Q_3 + f \cdot Q_3 \cdot 2 \cdot r / 3; \quad (4.5)$$

- для гвинтів з наконечником (п'ятою)

$$M = 0,1 \cdot Q_3 \cdot (d + r), \quad (4.6)$$

де  $f = 0,16$ ;

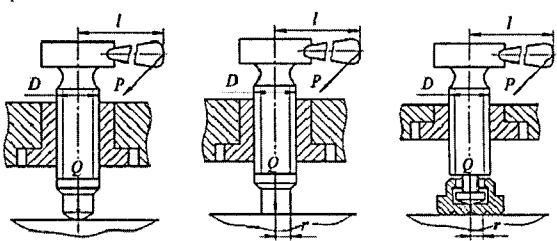
$r$  – радіус сферичного торця гвинта в конічній поверхні отвору п'яти;  
 $d$  – діаметр різі гвинта.

На рисунку 4.8 наведено приклад програми, яка розраховує вихідну силу та момент, які необхідно прикласти до рукоятки гвинтового затискача.

Розрахунок параметрів гвинтових затисних пристроїв

**Знаходження моменту прикладеного до рукоятки затисного пристрою**

Оберіть тип затискача



зі сферичним торцем    
  з плоским торцем    
  із торцем встановленим в п'яту

Введіть данні для розрахунку

Введіть силу закріплення заготовки:  $Q = 287,5$  Н

Введіть напруження розтягу:  $\sigma = 3000$  МПа

Введіть радіус сферичного торця:

Результати розрахунку

Номинальний діаметр гвинта:  $D = 12,46$  мм     Момент:  $M = 0,43$  Н·м

Розрахунок сили в залежності від довжини плеча

При довжина плеча  $l = 0,1$  м     вихідна сила закріплення  $P = 4,3$  Н

Автори програми: Петров О.В., Подоляк В.А. Авторські права захищено.

Рисунок 4.8 – Знаходження моменту та сили, прикладеної до рукоятки гвинтового затисного пристрою

Гвинтові затискачі можуть входити до складу комбінованих затискних пристроїв.

**Клинові затискні пристрої.** Клинові і клиноплунжерні механізми дозволяють збільшувати значення та змінювати напрям прикладеної сили, їх застосовують як проміжну ланку в складних затискних системах. У клинових затискних пристроях закріплення заготовки здійснюється під дією на неї затискного елемента, що приводиться в рух за допомогою клина.

Переваги цих механізмів: простота і компактність конструкції, зручність в налагодженні та експлуатації, здатність до самогальмування. Недоліки: зосереджений характер сил закріплення, що ускладнює їх використання при обробці нежорстких заготовок; низька надійність, яка залежить від характеру клинового з'єднання, захищеність механізму від стружки і т. д.

На рисунку 4.9 наведено приклад програми, яка розраховує вихідну силу  $P_B$ , необхідну для закріплення заготовки із силою  $Q_3$ .

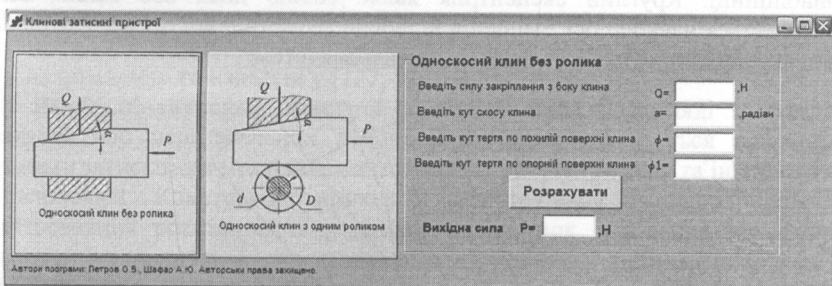


Рисунок 4.9 – Розрахунок вихідної сили у клинових затискних пристроях

У програмі розглядається клин, який може застосовуватися в двох конструктивних варіантах: односкосий і багатоскосий. Односкосий клин може використовуватися як з роликами, так і без них.

Розрахункові формули визначення сили закріплення:

а) для односкосого клина без ролика

$$Q_3 = \frac{P_B}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg}\varphi_1}, \quad (4.7)$$

б) для односкосого клина з одним роликом

$$Q_3 = \frac{P_B}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{TK}) + \operatorname{tg}\varphi_1}, \quad \text{при цьому } \operatorname{tg}\varphi_{TK} = \operatorname{tg}\varphi \cdot \frac{d}{D}, \quad (4.8)$$

де  $Q_3$  – необхідна сила закріплення з боку клина;  
 $P_B$  – вихідна сила, прикладена до клина для його зсуву;  
 $\alpha$  – кут скосу клина;  
 $\varphi$  – кут тертя по похилій поверхні клина;  
 $\varphi_1$  – кут тертя по опорній поверхні клина;  
 $\varphi_{TK}$  – кут тертя кочення ролика по похилій поверхні клина;  
 $D$  та  $d$  – зовнішній та внутрішній діаметри ролика.

Приклади конструкції клинових затискних пристроїв і приклади їх використання докладно розглядаються в [1, 4, 8].

Важільні затискачі, як і клинові, застосовують в поєднанні з іншими елементарними затискачами, утворюючи складніші затискні системи. Вони дозволяють змінювати величину і напрям прикладеної сили.

Ексцентрикові затискні пристрої являють собою ексцентрик, обладнаний ручкою або іншим приводом, за допомогою яких він приводиться в рух і діє на об'єкт закріплення (рис. 4.10). Основною перевагою ексцентриків є їх швидкодія. Розрізняють круглі ексцентрики й криволінійні. Круглий ексцентрик являє собою диск або валик, що повертається навколо осі, зміщеної відносно геометричної осі ексцентрика на деяку величину, яку називають ексцентриситетом.

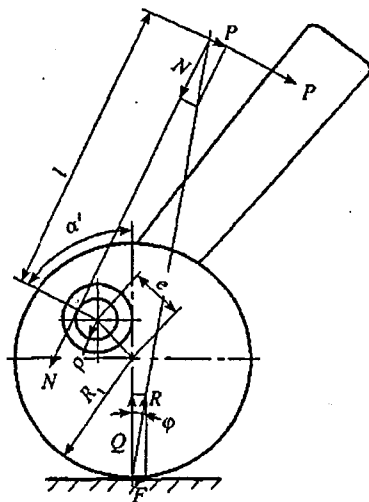


Рисунок 4.10 – Схема дії сил у ексцентриковому затискному пристрої

При повороті ексцентрик зовнішньою поверхнею діє на закріплений об'єкт і за рахунок збільшення радіуса в точці контакту притискає його до установних елементів. Приклади конструкції ексцентриків, рекомендації щодо вибору і використання, а також розрахункові формули наведені у [1, 5].

Основною розрахунковою формулою для круглого ексцентрика є формула для визначення величини крутного моменту, який необхідно прикласти до рукоятки ексцентрика для забезпечення необхідної сили закріплення в точці його контакту з заготовкою.

$$M_{KP} = N \cdot l = Q_3 \cdot e \cdot (1 + \sin(\alpha' + \varphi)), \quad (4.9)$$

де  $N$  – вихідна сила, прикладена до рукоятки ексцентрика;

$l$  – довжина рукоятки ексцентрика;

$Q_3$  – необхідна сила закріплення з боку ексцентрика;

$e$  – ексцентриситет ексцентрика;

$\alpha'$  – кут підйому ексцентрика;

$\varphi$  – кут тертя ексцентрика.

Іншими основними розрахунковими параметрами ексцентриків є: величина ексцентриситету, його радіус, ширина і розміри цапфи [1, 7, 9].

Ексцентрикові затискачі, як і гвинтові, можуть входити до складу комбінованих затискних пристроїв. Найбільш часто вони застосовуються в поєднанні з важільними і клиновими затискачами. Конструкції ексцентриків та інші деталі ексцентрикових затискачів (опори, рукоятки) стандартизовані та наведені у [1, 7, 9].

**Важільні затискні пристрої** виготовляються у вигляді прихватів, важелів або передавальних ланок. Вони використовуються спільно з іншими затискними механізмами (гвинтами, ексцентриками та ін.) часто як підсилювачі. Конструкція прихватів різного виду та особливості їх застосування розглянуті в [1, 5, 10]. Розрахунок важільних затискачів полягає у визначенні передавального відношення важеля, виходячи з довжини його плечей і місць прикладання зусиль. Знаючи передавальне відношення можна визначити величину сили, яка буде розвиватися затискачем як результат прикладення до нього вихідної сили закріплення.

На рисунку 4.11 наведено приклад програми для розрахунку гвинтового затискного пристрою, в якому затискання заготовки з силою  $Q_3$  здійснюється за рахунок прикладання зусилля  $P_B$  до гайки гвинта. Програма дозволяє визначити не тільки силові характеристики затискного пристрою, але й вибрати такі конструктивні параметри пристрою, як довжина рукоятки, розміри прихвату та діаметр опорного гвинта.

Інші конструкції важільних затискачів, в тому числі багатоланкових, а також особливості їх розрахунку можна знайти в [1, 5].

Затискні, установні та інші елементи пристосувань мають бути прості за конструкцією, надійні в роботі і зручні в обслуговуванні, повинні забезпечувати рівномірність розподілу сил затискання. В пристосуваннях можуть використовуватися гвинтові, ексцентрикові, важільні, клинові, пружинні механізми або комбіновані механізми (затискачі). Комбіновані затискачі проектуються шляхом розрахунку окремих простих затискачів,

які входять у конструкцію комбінованого. Комбіновані затискачі складних конструкцій розраховують за допомогою складання рівняння рівноваги і розв'язання задачі статики.

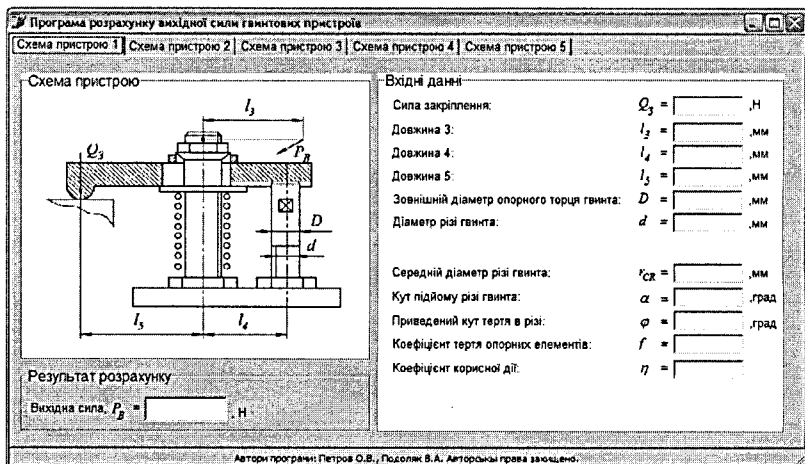


Рисунок 4.11 – Програма для розрахунку гвинтового затискного пристрою

**Приклад.** На рис. 4.12 наведена схематична конструкція пристосування з важільно-ексцентриковим затискачем. Необхідно знайти розрахункову формулу для визначення величини вихідної сили закріплення  $P_B$ , яку потрібно прикласти до рукоятки ексцентрика, щоб закріпити заготовку з необхідною силою закріплення  $Q_3$ .

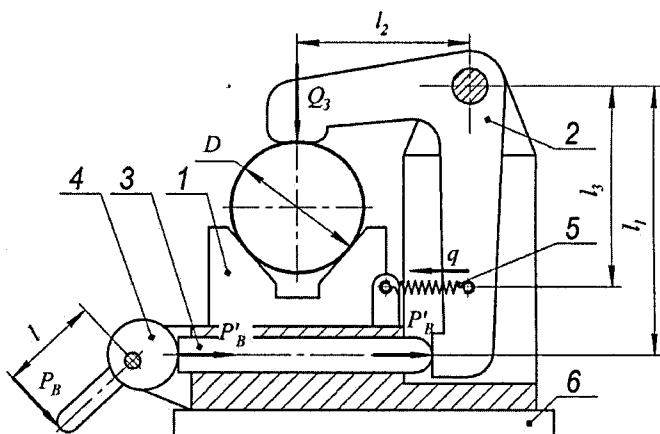


Рисунок 4.12 – Схематична конструкція пристосування

На рисунку 4.12 позначено:  $D$  – заготовка,  $1$  – установний елемент (призма),  $2$  – затискний елемент (важіль),  $3$  – штовхач;  $4$  – круглий ексцентрик,  $5$  – пружина,  $6$  – корпус пристосування;  $P_B$  – вихідна сила, прикладена до рукоятки ексцентрика;  $P_B'$  – сила, що розвивається ексцентриком (передається штовхачем на важіль);  $Q_3$  – необхідна сила закріплення;  $q$  – сила розтягування пружини;  $l$  – довжина рукоятки ексцентрика,  $l_1$  і  $l_2$  – плечі важеля,  $l_3$  – розмір, що визначає місце установлення пружини.

Відповідно до формули (4.9), з урахуванням рисунка 4.12 визначимо силу, що розвивається ексцентриком –  $P_B'$ , при цьому втрати, викликані тертям в з'єднанні штовхача з отвором корпусу, враховуємо коефіцієнтом корисної дії  $\eta_T$ :

$$P_B \cdot l = P_B' \cdot e \cdot \eta_T \cdot (1 + \sin(\alpha' + \varphi)). \quad (4.10)$$

З урахуванням опору пружини маємо:

$$P_B' = \left( Q_3 \cdot \frac{l_2}{l_1} + q \cdot \frac{l_3}{l_1} \right) \cdot \frac{1}{\eta}. \quad (4.11)$$

Враховуючи (4.10) та (4.11), отримаємо формулу для визначення вихідної сили закріплення, яку потрібно прикласти до рукоятки ексцентрика:

$$P_B = (Q_3 \cdot l_2 - q \cdot l_3) \cdot (1 + \sin(\alpha' + \varphi)) \cdot \frac{e \cdot \eta_T}{l_1 \cdot l \cdot \eta}. \quad (4.12)$$

Крім елементарних силових приводів, які створюють незначні за величиною зусилля закріплення, використовуються також потужніші силові приводи, які дозволяють значно збільшити силу закріплення, а також автоматизувати операцію закріплення. Такі силові приводи за конструкцією і принципом роботи поділяють на пневматичні, гідравлічні, магнітні, електричні тощо. Найбільш широко використовуються у будові механізованих пристроїв пневматичні силові приводи, які виготовляються у формі пневматичних циліндрів (пневмоциліндрів) і діафрагмових пневматичних камер (пнеumoкамер), також часто використовують гідравлічні циліндри (гідроциліндри).

Розрізняють циліндри односторонньої та двосторонньої дії. У циліндрах односторонньої дії (рис. 4.13, а) тиск подається тільки в одну порожнину циліндра, зворотний хід реалізується за рахунок пружини.

У циліндрах двосторонньої дії (рис. 4.13, б) прямий і зворотний ходи штока здійснюються подачею тиску як у поршневу, так і в штокову порожнину, відповідно.

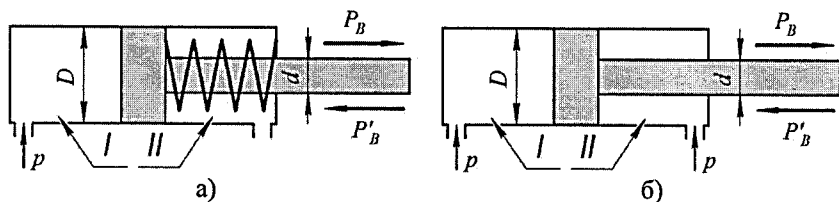


Рисунок 4.13 – Схеми конструкцій пневмо- і гідроциліндрів односторонньої (а) і двосторонньої (б) дії

На рисунку 4.13 позначено:  $D$  – діаметр циліндра;  $d$  – діаметр штока;  $P_B$  – вихідна сила закріплення;  $P'_B$  – вихідна сила закріплення, що діє у зворотному напрямі;  $p$  – тиск повітря або робочої рідини, що подається в циліндр; I – поршнева порожнина; II – штокова порожнина.

Для даних силових вузлів розрахункові формули будуть такими:

а) для циліндрів двосторонньої дії:

$$P_B = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot \eta, \quad P'_B = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot p \cdot \eta; \quad (4.13)$$

б) для циліндрів односторонньої дії:

$$P_B = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot \eta - q, \quad P'_B = q, \quad (4.14)$$

де  $q$  – сила стиснення пружини (90 ... 200 Н);

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії циліндра (0,85 ... 0,9).

Основні стандартні розміри та конструкції пневмо- і гідроциліндрів, розміри і виконання їхніх штоків, а також нормалізований тиск повітря і робочої рідини можна знайти в [1, 4, 7].

Крім циліндрів застосовують силові приводи у вигляді діафрагмових пневмокамер, які найчастіше виконують у вигляді камер односторонньої дії і поділяють на пневмокамери з тарілчастою гумовотканинною діафрагмою, з плоскою гумовотканинною діафрагмою, з плоскою гумовою діафрагмою (рис. 4.14).

Переміщення штока здійснюється за рахунок прогину діафрагми при подачі стисненого повітря в безштокову порожнину пневмокамери. Повернення штока та діафрагми у вихідне положення здійснюється за рахунок дії пружини.

На рисунку 4.14 позначено:  $D$  – діаметр діафрагми;  $d$  – діаметр опорного диска діафрагми;  $P_B$  – вихідна сила закріплення;  $p$  – тиск повітря, що подається до пневмокамери.

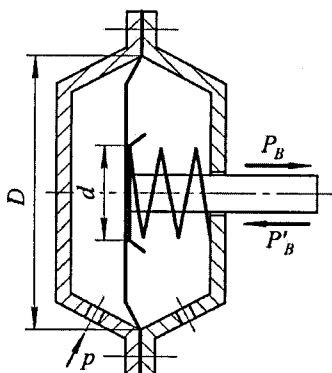


Рисунок 4.14 – Схема конструкції пневмокамери односторонньої дії

У пневмокамері вихідна сила закріплення  $P_B$  на штоку змінюється при переміщенні штока від початкового положення в кінцеве. Оптимальна довжина ходу штока пневмокамери, при якому сила  $P_B$  змінюється незначно, залежить від розрахункового діаметра діафрагми, її товщини і матеріалу. Розрахунок пневмокамер полягає у визначенні сили  $P_B$  на штоку і довжини його робочого ходу. Для пневмокамер односторонньої дії використовуються такі розрахункові залежності:

а) для тарілчастих та плоских гумовотканинних діафрагм:

$$P_B = \frac{\pi \cdot (D+d)^2 \cdot p}{16} - q, \quad P'_B = \frac{0,75 \cdot \pi \cdot (D+d)^2 \cdot p}{16} - q; \quad (4.15)$$

б) для плоских гумових діафрагм:

$$P_B = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot p}{4} - q, \quad P'_B = \frac{0,9 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot p}{4} - q, \quad (4.16)$$

де  $P_B$  – вихідна сила закріплення на штоку пневмокамери у вихідному положенні діафрагми;

$D$  – діаметр діафрагми;

$d$  – діаметр опорного диска діафрагми;

$p$  – тиск стиснутого повітря;

$q$  – сила протидії пружини (90 ... 200 Н),

$P'_B$  – сила на штоку в положенні закріплення (для тарілчастих гумовотканинних діафрагм).

Формули 4.13 – 4.16 часто використовуються для визначення розмірів поршня або штока циліндрів і пневмокамер. Таке завдання часто виникає,

коли відома необхідна величина сили на штоку силового приводу і треба визначити його розміри. Причому отримані розрахункові значення розмірів циліндрів і камер повинні бути округлені до найближчого більшого значення зі стандартного ряду розмірів [1, 7].

У цехових умовах стиснене повітря, необхідне для роботи пневматичних силових приводів пристосування, як правило, надходить на робочі місця з централізованої системи (пневмомережі), що містить: компресорні станції з системою підготовки стисненого повітря (фільтри, лубрикатори, регулятори), розподільники, пневмомагістралі та ін. Можливе застосування індивідуальних систем забезпечення стисненим повітрям. Для подачі повітря безпосередньо в пневмоциліндри пристосувань на робочому місці використовуються пневмокрани або розподільники, які можуть входити в конструкцію пристосування або розміщуватися окремо, наприклад, на столі верстата поряд з пристосуванням, і підключатися до нього за допомогою пневматичних рукавів з одного боку, а з іншого боку – до пневмомережі.

Для гідравлічних силових приводів робочим середовищем є робоча рідина, подача якої, як правило, здійснюється в індивідуальному порядку з гідросистеми відповідного верстата, до якої входять: гідронасос, фільтри, регулятори, розподільники, баки тощо.

За конструкцією силові приводи можуть бути вбудованими, прикріпленими і агрегованими. Вбудованими називаються приводи, в яких порожнина під поршень або діафрагму створена безпосередньо в корпусі пристосування. Цим досягається компактність при найменшій кількості деталей, але такий привод не може бути повністю використаний в інших пристосуваннях. Їх широко застосовують в конструкціях спеціальних і спеціалізованих пристосувань, які часто мають литі корпуси. Прикріпленими називаються окремо зібрані вузли, що прикріплюються до пристосування. Їх перевага у тому, що вони можуть бути стандартними і використовуватися на різних пристроях. Застосовуються в конструкціях збірних і переналагоджуваних пристосувань. Агрегованими називають окремі спеціальні силові установки, укомплектовані повітророзподільними пристроями та закріплені поза пристосуванням.

До силових приводів висувають такі вимоги:

- простота конструкції і керування,
- низька вартість,
- висока швидкодія,
- надійність і стабільність роботи,
- нечутливість до зміни умов навколишнього середовища,
- мінімальні габарити і маса,
- високий коефіцієнт корисної дії,
- дотримання вимог з техніки безпеки.

Використання силових приводів дозволяє вирішити два завдання:

підвищити продуктивність і полегшити умови праці робітника із закріплення заготовок у пристосуванні.

Основним недоліком при використанні силових приводів у верстатних пристосуваннях є збільшення витрат на їх проектування, виготовлення та обслуговування.

Під час виконання даного розділу пояснювальної записки необхідно на основі знайденої величини вихідної сили  $P_B$  розрахувати параметри приводу та вибрати його елементи (діаметр циліндра, пневмокамери і т. д.) з довідкових джерел [1, 6, 9]. Вибрані елементи – конструкцію та параметри – слід навести у пояснювальній записці.

#### 4.6 Розрахунок верстатного пристосування на точність

##### Сумарна похибка виготовлення деталі

Похибки, що виникають в процесі виготовлення деталей машин, немінучі, оскільки зумовлені неточностями протікання будь-якого виробничого процесу. Оброблювані деталі на будь-якій стадії обробки і в готовому вигляді мають відхилення від геометрично точної форми та номінальних розмірів, заданих кресленням.

Сумарна похибка виготовлення за будь-яким розміром або формою деталі при виконанні будь-якої технологічної операції механічної обробки складається з похибки положення заготовки в пристосуванні, похибки налаштування верстата та інструмента на виконуваний розмір, похибки методу обробки і деяких інших. Цю суму можна подати в аналітичному вигляді:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_{OBR} + \varepsilon_H + \varepsilon_{IP} + \varepsilon_{IH}, \quad (4.17)$$

де  $\varepsilon_{\Sigma}$  – сумарна похибка виконуваного операційного розміру, що виникає на даній технологічній операції;

$\varepsilon_{OBR}$  – похибка, зумовлена методом обробки на даній операції (похибка обробки);

$\varepsilon_H$  – похибка налаштування технологічної системи на виконуваний розмір (похибка налаштування);

$\varepsilon_{IP}$  – похибка, пов'язана з фактичним положенням заготовки в пристосуванні (похибка пристосування);

$\varepsilon_{IH}$  – інші похибки, зумовлені чинниками, незалежними від методу обробки, способу налаштування і конструкції пристосування. До них належать: похибка базування, похибка вимірювання, похибка, пов'язана з кваліфікацією робітника, та інші похибки. Вплив цих похибок окремо незначний, проте в сумі вони можуть вплинути на одержуваний результат. У розрахунках для даної категорії похибок рекомендується виділяти частину операційного допуску виконуваного розміру  $\varepsilon_{IH} = (0,05 - 0,1) \cdot T_A$ , де  $T_A$  – допуск на виконуваний розмір  $A$ .

Точність розміру (або форми), виконуваного на технологічній операції, буде забезпечена у тому випадку, коли сума всіх можливих похибок, що виникають в процесі обробки, не перевищуватиме величину допуску, встановленого на цей розмір (форму), тобто повинна виконуватися умова:

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T_A, \quad (4.18)$$

де  $\varepsilon_{\Sigma}$  – сумарна похибка розміру (форми), що виконується на даній технологічній операції;

$T_A$  – допуск на виконуваний операційний розмір  $A$ .

Таким чином, допуском задається найбільше можливе значення похибки розміру або форми деталі.

Умову (4.18) з врахуванням (4.17) можна подати у вигляді такої нерівності:

$$\varepsilon_{OBR} + \varepsilon_H + \varepsilon_{PP} + \varepsilon_{IH} \leq T_A. \quad (4.19)$$

З даної нерівності видно, що допуск розбивається на декілька складових для компенсації кожної з можливих похибок, що виникають при виконанні технологічної операції. Конструкція пристосування і точність його виготовлення враховується лише похибкою положення заготовки в пристосуванні  $\varepsilon_{PP}$ , решта похибок не стосуються пристосування і можуть бути визначені на основі довідкових формул і статистичних даних. Величина похибки  $\varepsilon_{PP}$  забезпечується розробкою конструкції пристосування, і саме на неї слід орієнтуватися при виконанні розрахунку пристосування на точність.

### Похибка обробки та її визначення

Похибка обробки  $\varepsilon_{OBR}$  виникає безпосередньо в процесі обробки заготовки на верстаті внаслідок таких чинників як:

- геометрична неточність верстата,
- пружні деформації елементів технологічної системи (верстата, пристосування, інструменту, заготовки) під впливом сил різання,
- температурні деформації,
- неточність виготовлення і знос різального інструменту,
- інші причини систематичного і випадкового характеру.

У зв'язку з тим, що для точного визначення похибки обробки дуже складно одержати всі необхідні дані, величину  $\varepsilon_{OBR}$  наближено визначають за величиною середньої економічної точності обробки таким чином:

$$\varepsilon_{OBR} = k \cdot \omega. \quad (4.20)$$

де  $\omega$  – точність обробки на розмір деталі при виконанні технологічної операції (відповідає табличному значенню середньої економічної точності

обробки і наводиться в довідниках для більшості методів обробки, наприклад, в [11], [27] і [30]);

$k$  – коефіцієнт зменшення величини, яким враховується частка точності обробки в сумарній похибці ( $k = 0,6 - 0,8$ ).

У таблиці 4.6 наведені значення  $\epsilon_{OBR}$ , розраховані для деяких основних методів механічної обробки різанням. Значення взяті в певному діапазоні. Менші значення для  $\epsilon_{OBR}$  слід використовувати в розрахунках у тому випадку, коли операція виконується на новому устаткуванні, новим незношеним інструментом, забезпечується охолодження і достатня жорсткість елементів технологічної системи, коли гарантована стабільність отриманих розмірів, а вплив випадкових чинників мінімальний.

Великі значення для  $\epsilon_{OBR}$  слід використовувати тоді, коли обробка виконується на зношеному устаткуванні, при недостатній жорсткості елементів технологічної системи, відсутності охолодження, а також при значному впливі випадкових чинників на процес обробки.

Таблиця 4.6 – Наближене значення похибки  $\epsilon_{OBR}$  для різних методів обробки, мкм

Метод обробки	Діапазон розмірів, мм						
	до 18	18 – 30	30 – 50	50 – 80	80 – 120	120 – 180	180 – 250
<b>Точіння, розточування</b>							
Чорнове	108-144	126-168	150-200	180-240	324-432	378-504	432-576
Напівчистове	66-88	78-104	96-128	114-152	132-176	150-200	276-368
Чистове	42-56	50-67	60-80	72-96	84-112	96-128	174-232
Тонке	11-14	13-17	15-20	18-24	21-28	24-32	43-58
<b>Свердління</b>							
З кондуктором	66-88	78-104	96-128	114-152	132-176	150-200	174-232
Без кондуктора	108-144	126-168	150-200	180-240	324-432	378-504	432-576
<b>Фрезерування</b>							
Чорнове	66-88	78-104	96-128	114-152	210-280	240-320	276-368
Напівчистове	26-34	31-42	37-50	44-59	84-112	96-128	111-148
Чистове	16-22	20-26	23-31	28-37	52-70	60-80	69-92

### Похибка налаштування та її визначення

Похибка налаштування  $\epsilon_H$  виникає в процесі налаштування верстата на розмір, тобто вона визначає узгоджене установлення різального інструмента, робочих елементів верстата та установних елементів пристосування в положення, яке забезпечує отримання оброблюваного розміру з заданим допуском на виготовлення. Це положення змінюється при кожному регулюванні системи або зміні інструмента, що приводить до виникнення похибки  $\epsilon_H$ .

Для універсальних верстатів похибка налаштування  $\epsilon_H$  в основному визначається похибкою установлення інструмента на розмір, яка залежить від похибки використовуваних при налаштуванні вимірювальних засобів (індикатори годинного типу, штангенциркулі, щупи і т. д.), а також від точності механізму переміщення інструмента. Її наближене значення можна визначити за таблицею 4.7 залежно від виду обробки і значень розмірів, що обробляються.

Таблиця 4.7 – Наближене значення похибки  $\epsilon_H$  для лезових інструментів, мкм

Інтервали оброблюваних розмірів, мм	Обробка			
	чорнова	однократна	чистова	тонка
до 30	40 – 100	20	10	5
30 – 80	60 – 150	25	20	6
80 – 180	80 – 200	30	30	7
180 – 360	100 – 250	40	40	8

Для верстатів з ЧПК похибку налаштування можна розглядати як похибку установлення інструмента в задане положення, яка складається з похибки положення пристосування в координатній системі верстата при налаштуванні та похибки позиціонування робочого органу верстата:

$$\epsilon_H = \Delta_{\text{пол}} + \Delta_{\text{поз}}, \quad (4.21)$$

де  $\Delta_{\text{пол}}$  – похибка положення пристосування (інструмента) в системі координат верстата,

$\Delta_{\text{поз}}$  – похибка позиціонування робочого органу верстата.

Значення цих похибок  $\Delta_{\text{пол}}$  і  $\Delta_{\text{поз}}$  наведені в табл. 4.8 для різних напрямів оброблюваних розмірів (осі X і Y або вісь Z).

Таблиця 4.8 – Складові похибки налаштування  $\epsilon_H$  верстатів з ЧПК, мкм

Методи налаштування верстата	Похибка $\Delta_{ПОЛ}$	Похибка $\Delta_{ПОЗ}$
<b>По координатах X та Y (площина стола)</b>		
Налаштування за допомогою вимірювальних інструментів на верстатах без цифрової індикації	0,04 – 0,06	0,02 – 0,03
Налаштування методом дотику через шуп на верстаті з цифровою індикацією	0,03 – 0,04	0,02 – 0,03
Налаштування за допомогою вимірювальних інструментів або датчика дотику на верстаті з цифровою індикацією	0,02 – 0,03	0,01 – 0,02
<b>По координаті Z (вісь шпинделя)</b>		
Налаштування методом дотику через шуп на верстаті з цифровою індикацією	0,046 – 0,05	0,02
Налаштування інструментів за допомогою спеціальних приладів з цифровою індикацією	0,036 – 0,04	0,02
Налаштування інструмента при закріпленні в шпинделі з використанням датчика дотику	0,012 – 0,02	0,02

**Похибка положення заготовки в пристосуванні (похибка пристосування) та її визначення**

Похибка положення заготовки в пристосуванні  $\epsilon_{ПР}$  є сумарною величиною, в яку входять різні похибки, так чи інакше пов'язані з конструкцією пристосування, з вимогами до його виготовлення і з умовами експлуатації, розраховані у напрямі операційного розміру, що обробляється. У аналітичному вигляді похибку  $\epsilon_{ПР}$  можна подати так:

$$\epsilon_{ПР} = \epsilon_{НБ} + \epsilon_3 + \epsilon_{ЗН} + \epsilon_{ВНГ} + \epsilon_{ЗС} + \epsilon_{УС}, \quad (4.22)$$

де  $\epsilon_{НБ}$  – похибка, що виникає через незбігання вимірювальної та технологічної баз при установленні заготовки в пристосування;

$\epsilon_3$  – похибка, що виникає в результаті закріплення заготовки при її установленні в пристосування;

$\epsilon_{ЗН}$  – похибка, обумовлена зносом базувальних елементів пристосування;

$\epsilon_{ВНГ}$  – похибка, пов'язана з неточністю виготовлення деталей пристосування і його складання;

$\epsilon_{ЗС}$  – похибка, викликана зсувом різального інструмента в процесі обробки;

$\epsilon_{УС}$  – похибка, що виникає при установленні пристосування на стіл верстата, шпиндель або планшайбу.

З урахуванням того, що похибки, які входять до складу  $\varepsilon_{\text{ПР}}$ , бувають як систематичні, так випадкові, вираз (4.22) набуде такого вигляду:

$$\varepsilon_{\text{ПР}} = \sqrt{k_1 \cdot \varepsilon_{\text{НБ}}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{ЗС}}^2} + \varepsilon_{\text{ЗН}} + \varepsilon_{\text{ВИГ}} + \varepsilon_{\text{ЗМ}} + \varepsilon_{\text{УС}}, \quad (4.23)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт зменшення похибки внаслідок того, що дійсні розміри установної поверхні рідко рівні граничним значенням (у розрахунках рекомендується приймати  $k_1 = 0,8-0,85$ ).

### Похибка незбігання баз та її визначення

Похибка незбігання баз  $\varepsilon_{\text{НБ}}$  виникає при незбіганні вимірювальної та технологічної баз заготовки при її установленні в пристосування, тобто розташування вимірювальних баз окремих заготовок в партії буде різним щодо оброблюваної поверхні. Правильно розроблене компонування верстатного пристосування повинне забезпечувати поєднання вимірювальної і технологічної баз заготовки, тому в більшості випадків похибка незбігання баз  $\varepsilon_{\text{НБ}}$  відсутня. Проте якщо забезпечити збігання баз в пристосуванні складно, неможливо чи недоцільно, з'являється похибка  $\varepsilon_{\text{НБ}}$ , зумовлена цим незбіганням.

Математично похибка  $\varepsilon_{\text{НБ}}$  визначається як різниця між найбільшою і якнайменшою величинами проєкцій розташування вимірювальної бази у напрямі виконуваного розміру. Її величина не є абстрактною, а належить конкретному виконуваному розміру при наявній схемі установлення заготовки, що слід обов'язково вказувати в розрахунках.

Значення похибки  $\varepsilon_{\text{НБ}}$  визначається з аналізу геометричних зв'язків, характерних для тієї чи іншої схеми базування. Методики визначення величини похибки  $\varepsilon_{\text{НБ}}$  можна знайти в довідковій літературі [1, 3, 6].

### Похибка закріплення та її визначення

Похибка закріплення  $\varepsilon_3$  виникає внаслідок зсуву заготовки з необхідного місця розташування, досягнутого при базуванні, в процесі її закріплення. Цей зсув пов'язаний з відривом або відходом базових поверхонь заготовки від установних елементів пристосування, з деформацією окремих ланок ланцюга, через який відбувається передача сили закріплення (затискний пристрій, заготовка, установні елементи, корпус пристосування), з контактними деформаціями в стиках окремих ланок. Із загального балансу переміщень в цьому ланцюзі найбільшу величину мають переміщення в стику заготовка – установні елементи.

Математично похибка закріплення визначається як різниця між найбільшою і найменшою величинами проєкцій зсуву вимірювальної бази у напрямі одержуваного розміру в результаті прикладання до заготовки сили закріплення.

Похибка закріплення залежить від різних чинників: від конструкції пристосування, від розмірів і конфігурації заготовки, від точності форми і шорсткості її базових поверхонь, від величини сили закріплення і місця її прикладання тощо. Тому точне значення похибки  $\varepsilon_3$  можна визначити тільки дослідним шляхом для конкретних схем установалення заготовок в пристосуваннях.

У табл. 4.9 наведені наближені значення похибки закріплення  $\varepsilon_3$  для різних заготовок і пристосувань з різним типом затискних пристроїв.

Таблиця 4.9 – Похибка закріплення заготовок  $\varepsilon_3$ , мкм

Базова поверхня	Поперечні розміри заготовок, мм						
	10 – 18	18 – 30	30 – 50	50 – 80	80 – 120	120 – 180	180 – 260
Пристосування з гвинтовими або ексцентриковими затискачами							
Лиття у піщану форму	60	70	80	90	100	110	120
Лиття в метал. форму	50	60	70	80	90	100	110
Лиття за виплавними моделями	40	50	60	70	80	90	100
Штамування холодне	100	110	120	135	150	175	200
Штамування гаряче	100	110	120	135	150	175	–
Попередньо оброблена	50	60	70	80	90	100	110
Остаточо оброблена	40	50	60	70	80	90	100
Шліфувана	25	30	35	45	60	70	80
Пристосування з пневматичними або гідравлічними затискачами							
Лиття у піщану форму	80	90	100	110	120	140	160
Лиття в метал. форму	55	60	65	70	80	90	100
Лиття за виплавними моделями	40	50	55	60	70	80	90
Штамування холодне	80	90	100	110	120	140	160
Штамування гаряче	80	90	100	110	120	140	–
Попередньо оброблена	40	50	55	60	70	80	90
Остаточо оброблена	30	35	40	50	60	70	80
Шліфувана	15	20	25	30	35	40	45

Коли похибка закріплення впливає незначно на точність одержуваних розмірів, нею, як правило, нехтують. Це відбувається в таких випадках:

- при установленні жорстких заготовок, а також використанні жорстких і добре відрегульованих пристосувань;
- коли сила закріплення не діє у напрямі розміру, що обробляється;
- при забезпеченні точності діаметральних розмірів і розмірів, що зв'язують поверхні, оброблювані при даному установленні;
- при забезпеченні точності форми і розташування оброблюваних поверхонь при одному установленні заготовки.

У всіх цих випадках складова сумарної похибки  $\epsilon_3$  з розрахункової формули вилучається.

### Похибка зносу та її визначення

Похибка зносу  $\epsilon_{zn}$  – це похибка, зумовлена зносом установних елементів пристосувань, вона характеризує відхилення заготовки від необхідного розташування внаслідок зносу установних елементів у напрямі виконуваних розмірів.

Основним параметром, що його характеризує похибка зносу, є знос установних елементів по нормалі до їх поверхні. Величина цього зносу залежить від часу роботи пристосування, від конструкції і розмірів установних елементів, від матеріалу і маси заготовки, від стану її базових поверхонь, а також від умов установлення заготовки в пристосування та її зняття. Найбільш схильні до зносу постійні і регульовані опори, бічні поверхні призми, оскільки у цих деталей контакт із заготовкою відбувається по малих за площею поверхнях.

Менш інтенсивно зношуються опорні пластини і циліндричні пальці. Установні елементи пристосування зношуються сильніше при контакті з необробленими поверхнями заготовок, і у меншій мірі при контакті з обробленими поверхнями. Швидкість зносу зростає зі збільшенням маси заготовки і наявністю її зрушення по опорах при установленні в пристосування.

У зв'язку з тим, що на величину зносу впливає безліч чинників, у тому числі і випадкових, визначити його розрахунковим шляхом досить складно. Найчастіше для оцінювання величини можливого зносу використовують довідкові дані, одержані на основі експериментальних досліджень. Так можливу величину зносу  $U$  можна оцінити за такою формулою [4]:

$$U = U_0 \cdot k_T \cdot k_L \cdot k_Y, \quad (4.24)$$

де  $U_0$  – величина зносу по нормалі до поверхні, одержана на основі експериментальних даних (значення  $U_0$  наведені в табл. 4.10);

Таблиця 4.10 – Середня величина зносу, отримана експериментальним методом  $U_0$ , мкм

Тип установного елемента	Число контактів із заготовкою				
	до 1000	до 1500	до 2000	до 2500	до 3000
Пластина	0,3	1,16	2	2,8	3,7
Палець	5,7	6,8	8	9,2	10,3
Опора	5,9	7,1	8,4	9,7	10,9
Призма	3,7	4,3	5	5,7	6,3
Оправка	0,1	0,3	1	1,7	2,3

$k_T$  – коефіцієнт, що враховує час контакту заготовки з опорами (орієнтовно даний коефіцієнт може бути визначений таким чином  $k_T = 0,79 \cdot t_{\text{маш}}$ , де  $t_{\text{маш}}$  – машинний час, хв.);

$k_L$  – коефіцієнт враховує довжину шляху ковзання при установленні заготовки (значення коефіцієнта  $k_L$  наведені в табл. 4.11);

Таблиця 4.11 – Значення коефіцієнта  $k_L$

Тип обладнання	$k_L$
Універсальні верстати	1
Верстати з ЧПК, спеціальні та агрегатні верстати	1,25
Верстати-автомати, напівавтомати, автоматичні лінії	1,51

$k_Y$  – коефіцієнт враховує умови обробки (значення коефіцієнта  $k_Y$  наведені в табл. 4.12).

Таблиця 4.12 – Значення коефіцієнта  $k_Y$

Умови обробки	$k_Y$
Шліфування чавуна без охолодження	1,58
Шліфування загартованої сталі з охолодженням	1,32
Точіння, фрезерування, свердління чавуна без охолодження	1,12
Точіння, фрезерування, свердління незагартованої сталі без охолодження	1,00
Точіння, фрезерування, свердління незагартованої сталі з охолодженням	0,94

Одержана за формулою (4.24) величина – це знос у напрямі нормалі до поверхні установного елемента пристосувань. Для визначення похибки зносу  $\varepsilon_{ZH}$  необхідно спроектувати її на напрям розміру заготовки, що установлена у пристосування. Тому для різних варіантів установлення заготовки величина  $\varepsilon_{ZH}$  буде пов'язана з величиною зносу таким чином:

- заготовка встановлюється на плоску поверхню

$$\varepsilon_{3H} = U, \quad (4.25)$$

- заготовка встановлюється на циліндричний палець

$$\varepsilon_{3H} = 2 \cdot U, \quad (4.26)$$

- заготовка встановлюється у призму

$$\varepsilon_{3H} = 2 \cdot U. \quad (4.27)$$

Похибку зносу можна не враховувати за умови, якщо знос не впливає на оброблюваний розмір або передбачена його компенсація у процесі налагодження або підналагодження пристосування. У цьому випадку складова сумарної похибки  $\varepsilon_{3H}$  з розрахункової формули вилучається.

#### Похибка виготовлення пристосування та її визначення

Похибка виготовлення і складання пристосування  $\varepsilon_{ВИГ}$  виникає від похибок виготовлення деталей пристосування, його складання і регулювання. Точність виготовлення пристосування задається на його робочих кресленнях і в технічних вимогах (допуски, посадки та інші вимоги у напрямі розміру, що обробляється). Дана похибка для різних пристосувань розраховується по-різному, тому відсутні конкретні формули для її визначення, а величина  $\varepsilon_{ВИГ}$  залежить від вибраної схеми установа, від конструкції пристосування, від вимог до точності виготовлення його деталей і складання і т. д.

У загальному випадку похибка виготовлення і складання пристосування  $\varepsilon_{ВИГ}$  містить такі складові:

$$\varepsilon_{ВИГ} = \Sigma T_i + \Sigma e_i + \Sigma s_i + \Sigma \Delta_i, \quad (4.28)$$

де  $\Sigma T_i$  – сума допусків на ланки (розміри) проектного пристосування у напрямі розміру, що обробляється, характеризує похибку виготовлення деталей і складання пристосування. До розмірів, які беруть участь в розрахунках, відносять розміри з'єднань, від яких залежить точність виконуваної обробки. Наприклад, відстань між осями кондукторних втулок свердлильного пристосування (неточність цього розміру безпосередньо впливає на відстань між осями просвердлених в заготовці отворів); розміри установних елементів, від точності яких залежить розташування заготовки в пристосуванні і т. д.,

$\Sigma e_i$  – сумарна величина ексцентриситету деталей пристосування, що діє у напрямі розміру поверхні, яка обробляється;

$\Sigma s_i$  – сумарний конструктивний зазор в з'єднаннях деталей пристосування, що діють у напрямі розміру поверхні, яка обробляється;

$\Sigma \Delta_i$  – сумарна похибка, що залежить від форми і розташування установних і напрямних елементів пристосування та діє у напрямі розміру поверхні, яка обробляється.

Допуски на розміри  $T_i$  рекомендують призначати у декілька разів менше допусків на розміри, виконувані при обробці, що як правило дозволяє забезпечувати задану точність виконуваних розмірів. Також допуски на ці розміри можна визначити шляхом розрахунку розмірних ланцюгів пристосування на основі його складального креслення і робочих креслень його деталей.

### **Похибка від зсуву інструменту та її визначення**

Похибка від зсуву інструменту  $\varepsilon_{3C}$  визначається точністю напряму інструменту щодо розташування оброблюваної заготовки. Дана похибка враховується тільки за наявності в пристосуванні напрямних елементів для інструменту у вигляді кондукторних втулок.

### **Похибка установлення на верстаті та її визначення**

Похибка установлення пристосування на верстаті  $\varepsilon_{3C}$  залежить від зсувів або перекосів корпусу пристосування на столі, планшайбі або шпинделі верстата, що зумовлено неточністю виготовлення посадкових місць корпусу пристосування. Зсуви і перекоси виникають через зазори між поверхнями пристосування і верстата, що з'єднуються (паз–шпонка, палець–отвір і т. д.). Якщо установлення пристосування на верстаті не впливає на точність виконаного розміру, то похибка  $\varepsilon_{3C}$  не враховується.

## **4.7 Розробка конструкції корпусу верстатного пристосування**

Корпус є базовою деталлю пристосування, на яку встановлюють всі інші елементи конструкції (установні, затискні, напрямні тощо). Також на корпусі повинні бути передбачені конструкторські бази для встановлення пристосування на верстат.

Корпус пристосування сприймає сили, що виникають при закріпленні і обробці заготовки, тому він повинен бути міцним, жорстким, зносостійким. Пристосування не повинне деформуватися як під час процесу обробки, так і в процесі закріплення та зберігати стійкість при різних положеннях.

Корпус пристосування і вся його конструкція повинні враховувати можливість їх швидкого і легкого очищення в усіх своїх частинах. Для видалення стружки в корпусі пристосування повинно бути зроблено достатню кількість отворів і виїмок. Не повинно бути ніяких кутів, що допускають накопичення бруду. Всі частини, що знаходяться всередині пристосування, повинні бути захищені від проникнення в них стружки за

допомогою кришок, ковпачків, заглушок і т. п.

Корпус багато в чому формує зовнішні контури пристосування. Рекомендується, щоб воно мало приємний вигляд, чисті рівні форми, без глибоких кутів, кромek, які далеко виступають, ребер і т. д. Пристосування повинно бути, по можливості, простим і не мати без необхідності великого числа механізмів, повинно, не втрачаючи точності, швидко і легко розбиратися і складатися.

Конструкція корпусу повинна забезпечувати зручне і швидке встановлення пристосування на верстаті. Особливо це стосується пристосувань для серійного виробництва, коли на одному і тому ж верстаті періодично виконують різні операції.

Важливою для роботи пристосування є якість виготовлення їх робочих поверхонь. Вони повинні бути оброблені з шорсткістю Ra 2,5–1,25 мкм; допустиме відхилення від паралелі і перпендикулярності робочих поверхонь корпусів 0,03–0,02 мм на довжині 100 мм.

Корпуси можуть бути литими, зварними, кованими, збірними на гвинтах або з гарантованим натягом. Вибір варіанта корпусу зумовлюється конструкцією та умовами експлуатації пристосування, типом виробництва і необхідними термінами й вартістю його виготовлення. Проте в усіх випадках потрібно прагнути до зменшення маси корпусів за рахунок використання коробчатих порожнистих конструкцій з внутрішніми ребрами жорсткості. Правильно поставлене ребро дає більшу жорсткість, ніж значне потовщення всієї стінки.

Конструктивні форми корпусів досить різноманітні. У простих випадках корпус може бути прямокутною плитою. Така форма характерна для фрезерних пристосувань. Використовуються й інші різновиди корпусів, наприклад, планшайби, таври, коробки, стійки, багатогранники і т. д.

Для виготовлення корпусів, як правило, застосовують сірий чавун марок СЧ12 і СЧ18, а також сталь Ст3. В окремих випадках використовуються легкі сплави на алюмінієвій або магнієвій основі, наприклад, для полегшення переміщення важких або поворотних пристосувань чи їх деталей. Чавунні корпуси набагато дешевші від інших, їм легше надати складнішу форму і легше виготовити. Недолік чавунних корпусів – можливість викривлення, тому після попередньої механічної обробки їх піддають термічній обробці (природному або штучному старінню). Корпуси з чавуну застосовують в пристосуваннях для обробки заготовок дрібних і середніх розмірів. Корпуси з алюмінію і пластмаси застосовують вкрай рідко.

Приклади конструкції пристосувань і їх корпусів можна знайти в альбомах і довідниках з технологічного оснащення [1–4].

Корпуси пристосувань для серійного виробництва повинні мати таку конструкцію, яка дозволяла б здійснювати встановлення пристосувань на верстат без вивіряння основної бази корпусу. Для цього в корпусах

приспосувань повинні бути передбачені базувальні елементи, виконані так, щоб відповідати посадковим місцям верстатів.

Для фрезерних приспосувань основною базою є, як правило, опорні площини, шпонки або пальці, що входять в пази столу.

За наявності на столі верстата подовжніх і поперечного паза приспосування базується установними шпонками, причому дві шпонки входять в центральний подовжній паз і одна – в поперечний.

За наявності на столі верстата подовжніх пазів і центрального отвору приспосування базується за центральним отвором круглою шпонкою і за повздовжнім пазом призматичною або круглою шпонкою. Такий спосіб установлення приспосувань широко застосовується для верстатів з ЧПК, оснащених поворотним або глобусним столом.

Для закріплення приспосування на столі верстата його корпус повинен мати провувшини під кріпильні болти. Болти головками входять в пази столу верстата, а верхнім кінцем з гайкою – в провувшини корпусу приспосування. Конструкції провувшин показані на рис. 4.15.

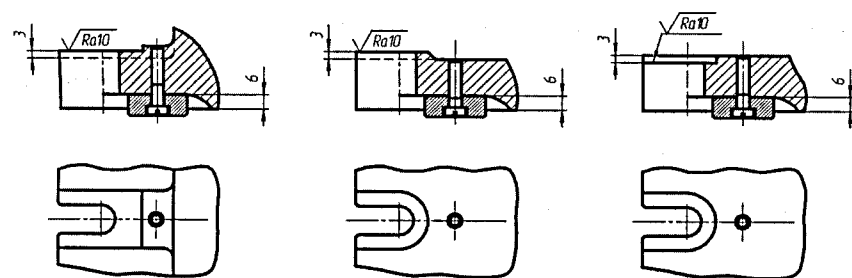


Рисунок 4.15 – Конструкції провувшин у корпусах приспосувань

#### 4.8 Розрахунок деталей приспосування на міцність

Міцність деталей приспосування – одна з основних вимог, що висуваються до його конструкції. Під міцністю розуміють здатність деталей і їх матеріалу чинити опір руйнуванню під дією внутрішніх напружень, що виникають від зовнішніх сил. Це дозволяє деталям і приспосуванню в цілому виконувати своє призначення, не руйнуючись протягом заданого періоду часу. Розрахунок деталей приспосування на міцність слід проводити в тому випадку, якщо на приспосування діють достатньо великі сили, як в процесі обробки, так і при закріпленні заготовки, здатні призвести до руйнування його деталей.

Існують різні методики розрахунків деталей приспосувань на міцність, серед них найбільш поширена методика, заснована на розрахунку за номінальними напруженнями, що допускаються. Ця методика

характеризується простотою і не вимагає великих витрат часу на виконання розрахунків, хоча вона менш точна, ніж інші методики. Її суть полягає в перевірці того, чи не перевищують внутрішні напруження в деталі допустимі для даного матеріалу значень при різних видах навантаження, тобто перевіряється виконання умов:

$$\sigma_p^{\max} \leq [\sigma_p], \quad \sigma_{zz}^{\max} \leq [\sigma_{zz}], \quad (4.29)$$

де  $\sigma_p^{\max}$ ,  $\sigma_{zz}^{\max}$  – максимальні розрахункові напруження, що діють в даному перерізі стержня (як правило, в найнебезпечнішому) при його розтягу (стиску), згині, крученні та зрізі відповідно, МПа;

$[\sigma_p]$ ,  $[\sigma_{zz}]$  – допустимі напруження розтягу (стиску), згину, кручення і зрізу відповідно, МПа. Значення цих напружень для різних матеріалів наведені [2].

У табл. 4.13 наведені залежності для визначення максимальних напружень деталей різних перерізів при різних видах силових дій на них.

Таблиця 4.13 – Залежності для розрахунків на міцність

Види деталей та навантаження	Розрахункові формули	Деталі пристосування
Розтяг (стиск) стержня круглого перерізу діаметром $d$	$\sigma_p^{\max} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2}$	Гвинти, болти, шпильки, штоки, тяги, опори
Розтяг (стиск) прямокутного стержня з розмірами перерізу $B \times H$	$\sigma_p^{\max} = \frac{P}{B \cdot H}$	Штовхачі, ланки затискних механізмів
Розтяг (стиск) стержня кільцевого перерізу із зовнішнім діаметром $D$ і внутрішнім $d$	$\sigma_p^{\max} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot (D^2 - d^2)}$	Штоки, тяги, опори
Згин стержня круглого перерізу діаметром $d$	$\sigma_{zz}^{\max} = \frac{32 \cdot M_{zg}}{\pi \cdot d^3}$	Вали, важелі, прихвати, рукоятки
Згин прямокутного стержня з розмірами перерізу $B \times H$	$\sigma_{zz}^{\max} = \frac{6 \cdot M_{zg}}{B \cdot H^2}$	Важелі, прихвати, рейки
Згин стержня кільцевого перерізу із зовнішнім діаметром $D$ і внутрішнім $d$	$\sigma_{zz}^{\max} = \frac{32 \cdot M_{zg}}{\pi \cdot d^3 \cdot \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)}$	Тяги, опори, оправки, рукоятки

### Аналіз на міцність конструкції деталі у САЕ-системі

У другій частині виконання даного розділу курсового проекту проводиться аналіз на міцність конструкції деталі у САЕ-системі. Перед

тим, як приступити до аналізу на міцність конструкції деталі, необхідно, обрати CAE-систему та дати коротку характеристику її можливостей обсягом до 0,5 сторінки тексту.

Для виконання аналізу на міцність конструкції деталі рекомендується використовувати систему T-FLEX з додатком «Аналіз». Система T-FLEX належить до класу систем CAD/CAE-систем (Computer Aided Engineering).

T-FLEX Аналіз – це інтегрований у T-FLEX CAD модуль елементних розрахунків. Використовуючи T-FLEX Аналіз, користувач системи T-FLEX CAD має нагоду здійснювати математичне моделювання поширених фізичних явищ і розв'язувати важливі практичні задачі, що виникають в повсякденній практиці проектування. Всі розрахунки ведуться із застосуванням методу кінцевих елементів. При цьому між тривимірною моделлю виробу і розрахунковою моделлю підтримується асоціативний зв'язок. У середовищі T-FLEX Аналіз можна виконувати статичний аналіз, що дозволяє здійснювати розрахунок напружено-деформованого стану конструкцій під дією прикладених до системи постійних в часі сил. Також можна врахувати напруження, що виникають внаслідок температурного розширення або стиснення матеріалу чи деформації конструкції на величину відомих переміщень. За допомогою модуля «Статичний аналіз» користувач може оцінити міцність розробленої ним конструкції за напруженнями, що допускаються, визначити найменш надійні місця конструкції і внести необхідні зміни, оптимізувати виріб.

Статичний аналіз здійснюється у декілька етапів. Для здійснення розрахунків необхідно:

- 1) побудувати тривимірну модель виробу;
- 2) створити «Задачу» розрахунку статичного напруження;
- 3) визначити матеріал моделі;
- 4) згенерувати кінцево-елементну сітку;
- 5) накласти граничні умови фізичного явища, що підлягає аналізу;
- 6) виконати розрахунок;
- 7) проаналізувати результати.

Розглянемо загальний алгоритм використання системи T-FLEX Аналіз на прикладі статичного розрахунку. Нехай необхідно здійснити аналіз напруженого стану конструкції деталі «Прихват» (рис. 5.10). За умовою, посередині деталі прикладене розподілене навантаження (затягуванням гайки гвинта), а на краях деталей закріплена нерухомо (контактує з поверхнею деталі та опорним гвинтом).

### **Крок 1. Підготовка тривимірної моделі деталі**

Для виконання аналізу необхідно мати тривимірну модель деталі. Модель може бути побудована у CAD/CAE-системі T-FLEX або імпортована з інших CAD-систем за допомогою проміжного формату. Як приклад перевірки на міцність розглянемо здатність деталі «Прихват»

втримувати навантаження, що діє на неї. Для цього імпортуємо тривимірну модель деталі «Прихват», яка була створена у CAD-системі КОМПАС (рис. 5.20). Для того, щоб передати дану модель у CAD/CAE-систему T-FLEX, її необхідно відкрити у CAD-системі КОМПАС, у меню «Файл» вибрати «Сохранить как...», вибрати формат файла Parasolid (\*.x\_t) і у діалоговому вікні, що з'явиться, натиснути «Начать запись».

У CAD/CAE-системі T-FLEX необхідно створити файл нової тривимірної моделі (Файл ⇒ Новая 3D модель). У створеному файлі необхідно знову зайти у меню «Файл» та вибрати команду «Импортировать». У діалоговому вікні «Импорт файла Parasolid» необхідно вибрати опцію «Импортировать как сборку». Після цього необхідно зберегти створений файл. В результаті буде отримана тривимірна модель деталі «Прихват» у CAD/CAE-системі T-FLEX (рис. 4.16).

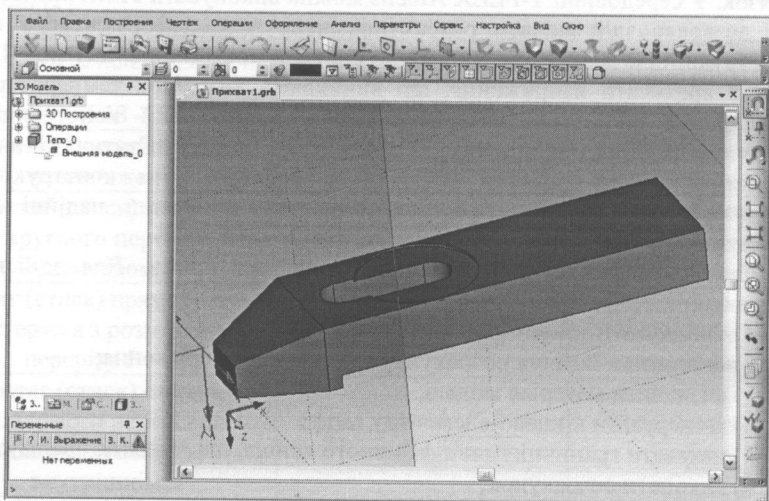


Рисунок 4.16 – Імпортована тривимірна модель деталі «Прихват»

## Крок 2. Створення «Задачі»

Після того, як тривимірна модель виробу була побудована в T-FLEX або імпортована в систему, можна приступати до підготовки кінцево-елементної моделі. Будь-який вид розрахунку в T-FLEX Аналізі починається зі створення «Задачі» за допомогою команди «Новая задача» меню «Анализ» (Анализ ⇒ Новая Задача ⇒ Конечно-элементный анализ). При створенні задачі необхідно зазначити її тип – «Статический анализ». Далі необхідно вибрати модель (вона стане жовтого кольору) і підтвердити команду створення задачі:



Як правило, при створенні нової задачі включений режим автоматичного запуску команди **Анализ**  $\Rightarrow$  **Сетка**. Тому, після успішного створення задачі, з'явиться діалог керування налаштуванням генерації кінцево-елементної сітки, після закінчення якого буде отримана сіткова модель з тетраедрів. Можна скоректувати точність побудови сітки і знову підтвердити команду (рис. 4.17):

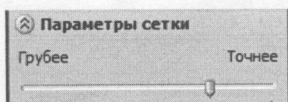


Рисунок 4.17 – Команда побудови сітки

В результаті підтвердження команди створення сітки та після її побудови отримаємо тривимірну модель деталі із нанесеною сіткою (рис. 4.18).

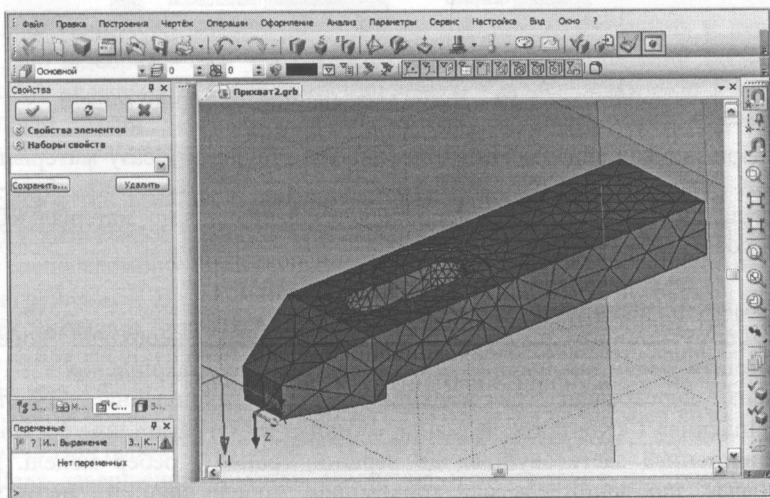


Рисунок 4.18 – Тривимірна модель деталі «Вісь» із нанесеною сіткою

### Крок 3. Вибір матеріалу

Для того, щоб здійснювати розрахунки з тривимірною моделлю деталі, необхідно вибрати матеріал, з якого вона виготовлена. Вибір матеріалу для тривимірної моделі здійснюється у меню «Анализ» командою «Материал...».

У вікні вибору матеріалу деталі (рис. 4.19) можна вибирати будь-який

матеріал з бази матеріалів та переглянути його технічні характеристики.

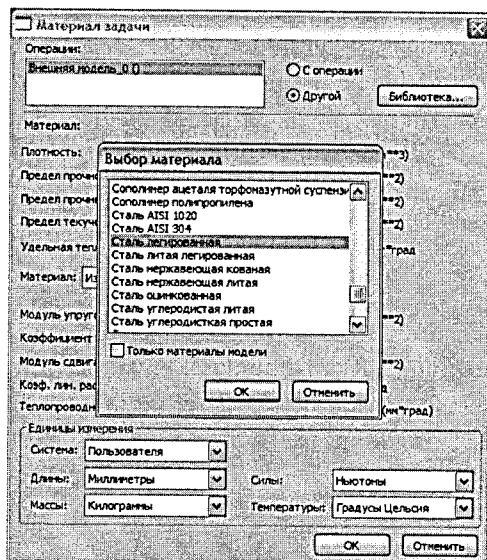


Рисунок 4.19 – Вибір матеріалу тривимірної моделі

При необхідності, можна поповнювати стандартну базу матеріалів T-FLEX своїми матеріалами і змінювати характеристики будь-яких матеріалів з цієї бібліотеки. Для даної задачі оберемо матеріал «Сталь легированная».

#### Крок 4. Визначення умов закріплення

Для успішного розв'язання фізичної задачі необхідно коректно визначити умови закріплення. Для визначення умов закріплення в T-FLEX Аналізі передбачені три команди: «Повне закріплення», «Часткове закріплення» і «Контакт». Команда «Аналіз ⇒ Ограничение ⇒ Полное закрепление» застосовується до вершин, граней і ребер моделі. Вона визначає, що даний елемент тривимірної моделі повністю нерухомий, тобто не змінює свого положення під дією прикладених до системи навантажень.

Використовуючи команду «Аналіз ⇒ Ограничение ⇒ Полное закрепление», вкажемо нерухому поверхню тривимірної моделі деталі «Прихват» (рис. 4.20).

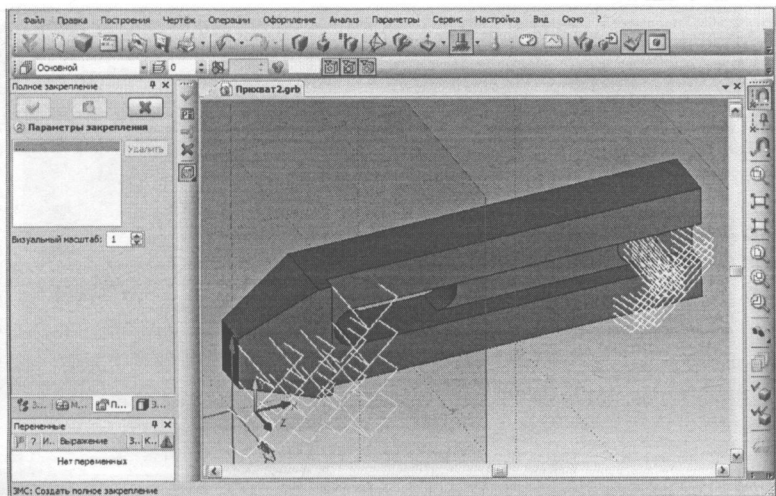


Рисунок 4.20 – Вибір поверхні закріплення тривимірної моделі

Після успішного завершення команди створення закріплень в дереві задач, що відображається у вікні задач, з'являється відповідний елемент, що вказує на наявність даної граничної умови. У модельному вікні T-FLEX закріплені грані також відображаються за допомогою умовних тривимірних елементів (декорацій).

### Крок 5. Визначення умов навантаження

Для визначення умов навантаження в T-FLEX Аналізі передбачений набір спеціалізованих команд, доступ до яких здійснюється з меню «Аналіз ⇒ Нагружение». Використовуючи команду «Аналіз ⇒ Нагружение ⇒ Сила», вкажемо на поверхню, яка отримує навантаження під час затягування гайки гвинта. У параметрі «Значение» вкажемо значення сили 350 Н (рис. 4.21). Створена сила рівномірно розподілиться по вказаній поверхні. За замовчуванням напрям дії сили береться по нормалі до вказаної поверхні. При необхідності можна задати вектор напрямку дії сили.

Після завершення команди створення навантаження на тривимірній моделі виробу з'являється умовне відображення створених навантажень у вигляді умовних позначень, прикладених до відповідних елементів моделі.

Після успішного вибору умов навантаження в дереві задач з'являються всі чотири елементи, необхідні для виконання розрахунку: сітка, матеріал, закріплення, навантаження.

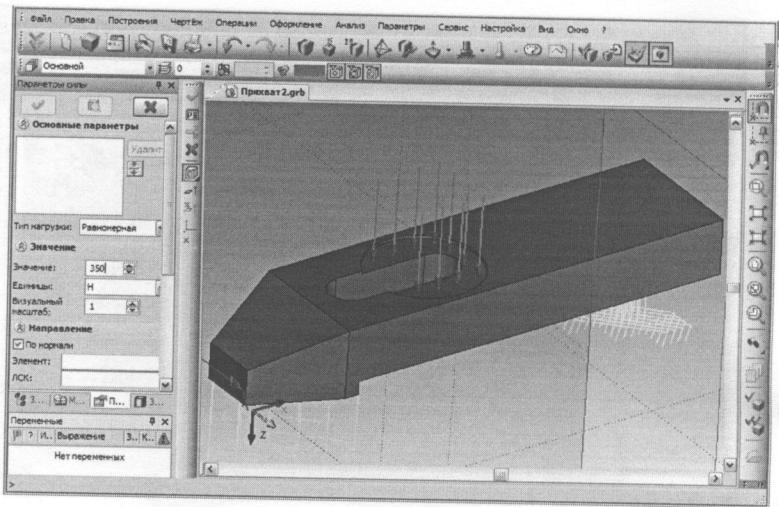


Рисунок 4.21 – Вибір поверхні навантаження тривимірної моделі

### Крок 6. Виконання розрахунку

Після виконання п'яти попередніх кроків можна виконувати команду «Аналіз ⇒ Расчет» і запустити процес формування систем лінійних рівнянь та їх розв'язання (рис. 4.22).

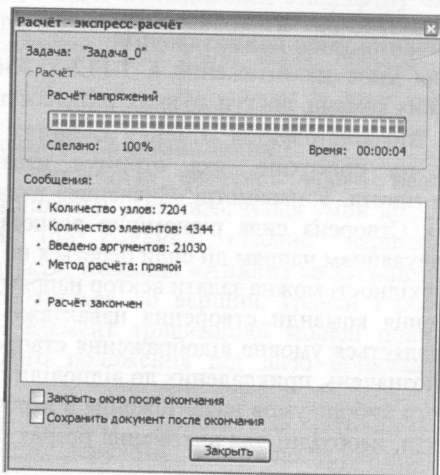


Рисунок 4.22 – Вікно завершення розрахунку

Системи лінійних рівнянь і методи їх розв'язання вибираються

автоматично процесором T-FLEX Аналіз. Можна самостійно змінити опції розрахунку в діалозі властивостей задачі, який відкривається перед початком розрахунку. Процес розв'язання систем рівнянь може займати значний час на задачах з сітками з великої кількості тетраєдрів. Після закінчення розрахунку виводиться відповідне діагностичне повідомлення.

### Крок 7. Аналіз результатів розрахунку

Результати розрахунку відображаються в дереві задач. Доступ до результатів забезпечується з контекстного меню для вибраної в дереві задач задачі за командою «Открыть» або «Открыть в новом окне». Візуалізація результатів здійснюється в окремому 3D вікні T-FLEX (рис. 4.23).

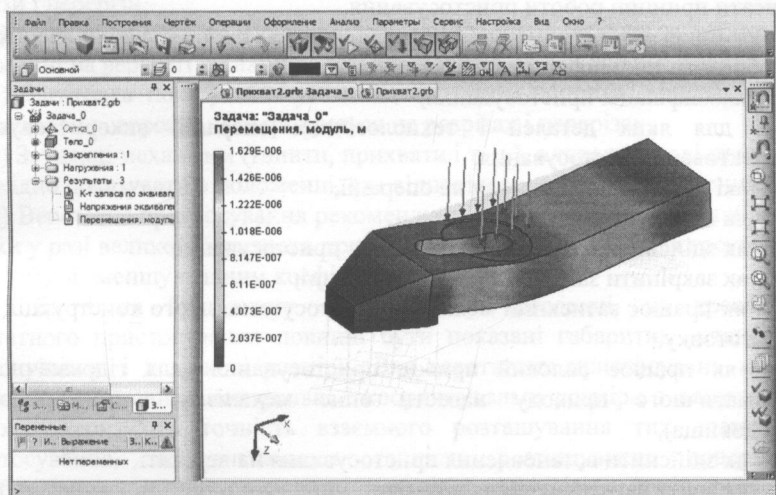


Рисунок 4.23 – Вікно відображення результатів розрахунку

З рисунка 4.23 видно, що під дією навантаження затягування гайки для досягнення сили закріплення 350 Н деталь у місці контакту деформується на відстань  $1,629 \cdot 10^{-6}$  м, тобто фактично витримує задане навантаження.

Одночасно може бути відкрито декілька вікон з результатами однієї або різних задач. Також при цьому доступні всі команди масштабування та позиціонування сіткової моделі з результатами розрахунків. Крім того, є набір спеціалізованих команд і опцій, що дозволяють вирішувати різноманітні сервісні функції з обробки результатів розрахунків.

Під час виконання даного розділу у розрахунково-пояснювальній записці необхідно поетапно описати кожний крок виконання аналізу заданої деталі на міцність з наведенням ілюстрацій.

Таким чином, за допомогою аналізу деталей пристосувань на міцність

можна розв'язувати дві задачі:

- а) визначити розміри перерізів деталей, виходячи з силових навантажень, які діють на них (проектний розрахунок);
- б) здійснити перевірку на міцність вже наявних деталей пристосування з певними розмірами перерізів (перевірний розрахунок).

#### 4.9 Принцип роботи спроектованого верстатного пристосування

Після того, як виконані всі етапи з проектування та розрахунку пристосування і підготовлена необхідна конструкторська документація, необхідно навести технічні характеристики одержаної конструкції і описати принцип роботи пристосування.

У описі принципу роботи верстатного пристосування необхідно відобразити таку інформацію:

- класифікація пристосування,
- для яких деталей і технологічних операцій використовується спроектоване пристосування,
- які розміри досягаються на операції,
- як виконується обробка,
- як здійснити базування заготовки в пристосуванні,
- як закріпити заготовку в пристосуванні,
- як працює затискний механізм пристосування, його конструкція і дія на заготовку,
- як працює силовий привод пристосування (для гідравлічного і пневматичного приводу навести опис механізму подачі робочого середовища),
- як здійснити встановлення пристосування на верстаті,
- як зняти заготовку після обробки,
- як працюють додаткові елементи конструкції пристосування, при їх наявності,
- як здійснити налаштування, регулювання і ремонт пристосування з метою заміни зношених деталей,
- як здійснити транспортування пристосування.

Також в описі необхідно відобразити інші особливості конструкції пристосування, особливі деталі і вузли, застосовані технічні рішення і т. п. Текст опису конструкції і принципу роботи пристосування слід формулювати таким чином, що б в ньому були вказання на конкретні деталі і вузли пристосування у вигляді посилань на відповідні позиції складального креслення і специфікації на пристосування. Якщо в записі пояснення є рисунок, що ілюструє конструкцію пристосування, то допустимо посилатися на позиції, вказані на цьому рисунку.

#### 4.10 Рекомендації щодо виконання складальних креслень верстатних пристосувань

Складальні креслення верстатних пристосувань повинні відповідати всім вимогам, що висуваються до складальних креслень. Проте є ряд додаткових рекомендацій і вимог, що враховують особливості верстатних пристосувань. Вони викладені нижче.

1) Кількість проєкцій і виглядів на складальному кресленні пристосування повинна бути достатньою для розуміння конструкції пристосування, форми і розмірів всіх його деталей і принципу його роботи. Як мінімум, повинні бути наведені два вигляди, а також всі необхідні розрізи і перерізи.

2) Пристосування на складальному кресленні показують в робочому положенні на верстаті із закріпленою заготовкою.

3) Заготовка показується умовним контуром тонкими лініями, вона вважається прозорою і не штрихується на розрізах і перерізах.

4) Затискні механізми (гвинти, прихвати і т. д.), а також силові приводи необхідно показувати в положенні, яке відповідає моменту закріплення.

5) Верстатне пристосування рекомендується зображати в масштабі 1:1. Тільки у разі великогабаритного пристосування допускається застосування масштабу зі зменшувальним коефіцієнтом.

6) Як і на будь-якому складальному кресленні, на кресленні верстатного пристосування повинні бути показані габаритні, установні, приєднувальні і довідкові розміри. Для верстатних пристосувань також вимагається наводити контрольні і координувальні розміри з допусками, що характеризують точність взаємного розташування тих елементів пристосування, які визначають точність розташування поверхонь оброблюваних в пристосуванні деталей. Точність цих розмірів перевіряється після складання пристосування.

7) Повинні бути задані допуски і посадки на основні з'єднання деталей пристосування (наприклад, розміри з'єднань затискних пристроїв, виштовхувачів і інших допоміжних механізмів). Допуски на ці розміри визначають залежно від призначення механізму, а також характеру і умов роботи даного з'єднання. Як правило допуски беруть за 7–9-им квалітетами точності. Обов'язково вказуються посадки, розміри і технічні вимоги, що беруть участь в проєктних розрахунках пристосування на точність.

8) Повинні бути задані допуски на взаємну непаралельність, неперпендикулярність, неплщинність установних поверхонь і осей центральної частини елементів пристосування. Ці допуски вказуються на полі креслення текстом і не повинні перевищувати половини відповідних допусків на розташування базових поверхонь деталі, що з'єднуються з ними. За відсутності на робочому кресленні деталі цих допусків допуски

для пристосування призначаються в межах 0,02–0,05 мм на 100 мм довжини, тобто кутові зсуви не повинні бути більше  $1-2^\circ$  [6].

9) Повинні бути вказані діаметри отворів під робочу частину різального інструменту в кондукторних втулках (при їх наявності).

10) Рекомендується на складальному кресленні пристосування тонкими суцільними лініями схематично зобразити місце верстата, на якому базується і закріплюється пристосування. Наприклад, на кресленнях патронів і оправок – контур головки шпинделя верстата, перехідної планшайби; на кресленнях фрезерних пристосувань – частина контуру столу з пазами під установні шпонки і болти для закріплення пристосування.

11) Над основним написом складального креслення наводять опис службового призначення пристосування, його технічні характеристики і, при необхідності, технічні вимоги.

У розділі «Службове призначення» слід вказати, яка технологічна операція здійснюється з використанням пристосування і на якому верстаті. Також рекомендується навести номер операції і кодове позначення технологічних карт відповідного маршрутного технологічного процесу. Указуються операційні розміри і допуски, забезпечувані пристосуванням на операції. Наприклад:

#### *Службове призначення*

*Пристосування призначене для виконання свердлильної операції на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2Н135Ф3. Розмір, що його забезпечує пристосування:  $\varnothing 20H7, 46 \pm 0,03$ .*

У розділі «Технічні характеристики» наводяться силові характеристики пристосування (сила закріплення, тиск робочого середовища, хід штока і т. п.), характеристики точності пристосування (похибка положення заготовки в пристосуванні у напрямі оброблюваного операційного розміру і допуску). Наприклад:

#### *Технічні характеристики*

- 1. Сила закріплення заготовки в пристосуванні 350 Н.*
- 2. Хід штока пневмокамери 24 мм.*
- 3. Робочий тиск у пневмережі 0,63 МПа.*
- 4. Похибка положення заготовки у пристосуванні:  
- за розміром  $\varnothing 20H7$  не більше 0,005 мм,  
- за розміром  $46 \pm 0,03$  не більше 0,001 мм*

У розділі «Технічні вимоги» наводяться вимоги щодо налаштування, регулювання і складання пристосування, параметри, що розглядаються при розрахунку на точність і інші вимоги. Наприклад:

### *Технічні вимоги*

- 1. \* Розміри для довідок.*
- 2. Зазор між деталями поз. 10 та поз. 15 забезпечити регулюванням гвинтом поз. 23 при складанні пристосування.*
- 3. Деталь поз. 13 змастити мастилом Літол-24 ГОСТ 2115075 при складанні.*

Якщо над основним написом недостатньо місця для розміщення всієї необхідної інформації, можна використовувати місце зліва від неї.

## 5 ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТОСУВАНЬ

### 5.1 Методика проектування контрольно-вимірювальних пристосувань

В процесі проектування КВП конкретизується схема базування деталі на контрольній операції, конструктивно оформляється компонування пристосування зі всіма його елементами, розробляється складальне креслення контрольного пристосування зі специфікацією, виконуються розрахунки, що підтверджують придатність спроектованого пристосування для виконання контролю. Методика проектування КВП в загальному випадку охоплює виконання нижченаведених основних етапів.

1. Підготовка початкових даних для проектування.
2. Вибір або розробка принципової схеми контролю.

На початку розробляють схему базування контрольованого об'єкта в КВП, на основі якої здійснюють розробку або вибір схеми контролю. Вид схеми контролю залежить від контрольованого параметра, конструкції (форми, габаритів) контрольованого об'єкта, передбачуваного методу контролю.

3. Вибір основних елементів конструкції КВП.

Після розробки схеми контролю необхідно визначити основні елементи конструкції пристосування, до яких відносять: установні, затискні і передавальні елементи.

Установні елементи вибираються, виходячи з необхідної схеми базування деталі в пристосуванні при виконанні контролю. Затискні пристрої в контрольному пристосуванні забезпечують надійність установлення контрольованої деталі відносно засобів вимірювання. При виборі затискачів дотримуються таких вимог: правильність розташування і напрям сили затискання, відсутність деформацій контрольованого об'єкта, швидкодія. У ряді випадків, наприклад при стійкому базуванні контрольованої деталі в КВП, коли центр тяжіння деталі знаходиться всередині опорного трикутника установних поверхонь пристосування і коли сили, створювані вимірювальним пристроєм, не порушують цієї стійкості положення деталі, взагалі відпадає потреба в затискному пристрої. Передавальні елементи в КВП можуть використовуватися для передачі вимірюваної величини від контрольованого об'єкта до засобу вимірювання.

4. Вибір засобу вимірювання.

Найважливішими і відповідальнішими елементами контрольних пристосувань є вимірювальні засоби (пристрої). Вимірник як пристрій, що безпосередньо здійснює перевірку, в значній мірі визначає точність всього КВП.

## 5. Вибір допоміжних пристроїв.

Крім основних пристроїв, правильність конструкції пристосувань, точність їх роботи, простота і зручність їх виготовлення, простота експлуатації визначаються: вузлами кріплення вимірювальних пристроїв, механізмами для обертання контрольованих деталей, плитами, корпусами. Згідно з даним пунктом, з урахуванням схеми контролю, виконується вибір вузлів кріплення засобів вимірювань, вибирається конструкція стійок, центрвальних бабок, шпинделів, поворотних столів, напрямних елементів й інших пристроїв.

## 6. Розробка компоновання КВП.

На даному етапі виконується ескізне компоновання КВП, що об'єднує в собі всі вибрані раніше деталі та інші конструктивні елементи пристосування. При виконанні компоновання також необхідно задати посадки в усіх з'єднаннях, виходячи з умов їх роботи.

## 7. Розрахунок на точність контрольованого пристосування.

Проводиться розрахунок на точність контрольованого пристосування щодо контрольованого параметра. При цьому слід мати на увазі, що спроектоване багатовимірне пристосування може контролювати декілька поверхонь заготовки а, отже, вимірюється декілька геометричних параметрів одночасно. Тому розрахунок похибки вимірювання КВП ведеться для кожного контрольованого параметра. За результатами розрахунків робиться висновок про придатність пристосування для виконання необхідної контрольованої операції.

## 8. Опис роботи спроектованого КВП.

9. Виконання складального креслення КВП із визначенням всіх технічних вимог до його конструкції.

Розробку загального вигляду пристосування починають з нанесення на лист контуру деталі. Конструювання зводиться до послідовного креслення елементів контрольованого пристосування і вимірювальних пристроїв навколо контуру контрольованої деталі. Попутно креслять необхідні розрізи і перерізи, що пояснюють конструкцію.

## 5.2 Підготовка початкових даних для проектування

Для проектування спеціального контрольованого пристосування необхідно пройти етап збирання, підготовки і аналізу початкових даних. На етапі підготовки початкових даних використовуються та аналізуються такі документи: креслення контрольованого об'єкта (деталі, вузла), операційний ескіз контрольованої операції, карта контролю і ін. Крім того, необхідно мати в наявності довідники або альбоми контрольованих пристосувань для вибору варіантів компоновання і засобів вимірювання.

При аналізі початкових даних необхідно визначити:

- вид об'єкта контролю (заготовка, деталь, складальна одиниця);
- контрольовані параметри, їх номінальні значення і допуски;
- обґрунтовані поставлених конструктором на кресленні деталі або вузла цих параметрів і вимог до них, як вони впливають на працездатність виробу в процесі експлуатації;
- допустиму похибку вимірювання;
- вимірювальні бази і спосіб забезпечення єдності конструкторських, технологічних і вимірювальних баз;
- тип виробництва, який визначає ступінь універсальності, механізації або автоматизації контрольного пристосування;
- технологічність об'єкта контролю (конструктивні особливості: конфігурація поверхонь, пошкоджуваність або деформації під час контролю, маса, габарити і транспортабельність, особливі вимоги до об'єкта контролю, особливі вимоги до робочого місця контролера і т. д.);
- існуючі перспективні методи і засоби контролю, можливість і доцільність їх застосування до заданого об'єкта.

Допустиму похибку вимірювання можна визначити за формулою:

$$[\varepsilon_{\text{вим}}] = \left( \frac{1}{3} - \frac{1}{5} \right) \cdot T_K \quad (5.1)$$

де  $[\varepsilon_{\text{вим}}]$  – допустима похибка вимірювання;

$T_K$  – допуск на контрольований параметр.

Також визначити допустиму похибку вимірювання можна на основі довідкових даних відповідно до ГОСТ 8.051-81, де наведені допустимі похибки вимірювань для різних розмірів і допуски на них.

### 5.3 Вибір або розробка принципової схеми контролю

Схема контролю для КВП має аналогічне призначення, що і принципова схема для верстатного пристосування. На ній повинен бути зображений повний склад елементів КВП і зв'язків між ними, що дозволяє отримати повне уявлення про принципи його роботи. Таким чином, схема контролю – це сукупність схеми установаження контрольованого об'єкта та пов'язаних з його вимірювальними базами засобів контролю. На схемі контролю повинні бути показані: установні елементи, затискні механізми, силові приводи, передавальні елементи (важелі, штирі), засоби вимірювання (індикатори), а також допоміжні, рухомі й нерухомі елементи.

Різні схеми контролю параметрів якості продукції широко наведені в технічній довідковій літературі [1–3], і задача визначення схеми контролю найчастіше зводиться до обґрунтованого вибору того чи іншого варіанта схеми, який залежить від виду контрольованого параметра і конструкції контрольованого об'єкта.

За відсутності в довідковій літературі схеми контролю під необхідний конкретний параметр або групу параметрів схема контролю розробляється шляхом доробки типових схем під конкретні вимоги. Наприклад, більшість схем контролю, які наводяться в літературі, розроблена для вимірювання якого-небудь одного параметра. Якщо вимагається проконтролювати декілька параметрів, наприклад, биття по різних поверхнях, то рекомендується застосування таких схем, для яких можлива реалізація комплексної перевірки декількох параметрів з використанням одного засобу вимірювання. Такі схеми отримують на основі комбінування декількох типових схем контролю.

При виборі або розробці схеми контролю обов'язково враховують схему базування, яку потрібно реалізувати в контрольному пристосуванні. Схема базування визначається комплектом вимірювальних баз контрольованого об'єкта, які вказані на його кресленні у вигляді позначених базових поверхонь або осей, щодо яких виконуються вимірювання. Наприклад, якщо базою є вісь отвору, то вибирається схема установлення на розтискну або конічну оправку, якщо площа – то на опори і т. д.

Якщо можливе застосування декількох альтернативних схем для контролю, то шляхом порівняння вибирається одна, найбільш доцільна.

## **5.4 Вибір елементів конструкції КВП**

### **5.4.1 Установні елементи КВП**

Установні (базувальні) елементи призначені для правильного установлення контрольованої деталі на КВП відносно заданих координат. Точність контролю деталі в першу чергу залежить від точності установлення, тобто від конструкції і точності виготовлення установних елементів. При установленні базові поверхні контрольованого об'єкта знаходяться у контакті з установними елементами, що зумовлює знос їх поверхонь, а, отже, веде до зниження точності вимірювання. Тому установні елементи виготовляють із зносостійких матеріалів, наприклад із сталей 20- або 20Х з подальшою цементацією і гартуванням, або з високовуглецевих і легованих сталей з гартуванням до твердості 58-62 HRC. Звичайно базовими поверхнями контрольованої деталі є площини, зовнішні і внутрішні циліндрові поверхні. Спосіб базування визначає схему контролю, а вона, в свою чергу, конструкцію установних елементів і їх розміщення на корпусі КВП.

При базуванні контрольованих деталей на плоскій базовій поверхні установні елементи оформляються у вигляді опорного кільця, секторів, пластини або опорних штирів, які закріплюються на корпусі пристосування. Базування на зовнішній циліндричній поверхні контрольованої деталі здійснюють з установленням в призму, жорстке кільце, втулку і в самоцентрувальні пристрої.

Спосіб установлення в призму широко використовується для контролю відхилень форми і розташування поверхонь, проте в цьому випадку на похибку вимірювання впливають коливання розміру базової поверхні деталі в межах допуску (похибки незбігання баз) і похибки, зумовлені виготовленням призми, її розташуванням на пристосуванні і зносом контактувальних поверхонь. Для підвищення зносостійкості в контрольних пристосуваннях застосовуються призми з роликками, що обертаються (рис. 5.1, а), і поворотними елементами (рис. 5.1, б).

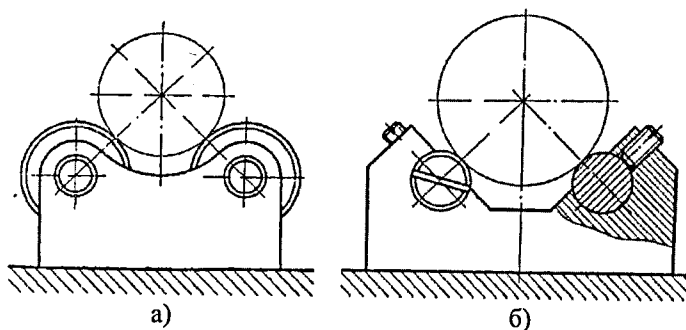


Рисунок 5.1 – Призми підвищеної зносостійкості

Спосіб установлення в жорстке кільце або втулку застосовується порівняно рідко, так, для зменшення похибки зазор повинен бути мінімальним, хоча помістити контрольовану деталь в отвір з малим зазором достатньо складно.

Спосіб установлення контрольованих деталей на зовнішній циліндричній базі в самоцентрувальних пристроях (елементах) дозволяє досягти високої точності базування. Установлення виконують в мембранні патрони або в патрони з гідропластом, в яких центрування і затискання деталей здійснюється за рахунок пружної деформації мембрани і тонкостінної втулки. При цьому може досягатись висока точність центрування деталей, близько 0,002–0,005 мм.

Широко поширене базування контрольованих деталей на базовий циліндричний отвір. Для цього використовують циліндричні пальці і оправки (жорсткі, розтискні, конічні). При установленні на жорсткий циліндричний палець або оправку завжди виникає радіальний зазор, що зменшує точність вимірювання. Для зменшення радіального зазора використовують ступінчасті оправки під різні розміри отвору (рис. 5.2) і різні конструкції розтискних оправок.

У контрольних пристосуваннях широко застосовуються розтискні оправки і пальці на основі підпружинених кульок (рис. 5.3).

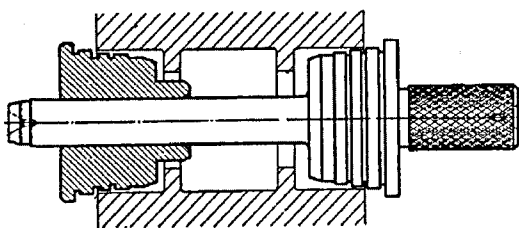


Рисунок 5.2 – Конструкція ступінчастої циліндричної оправки

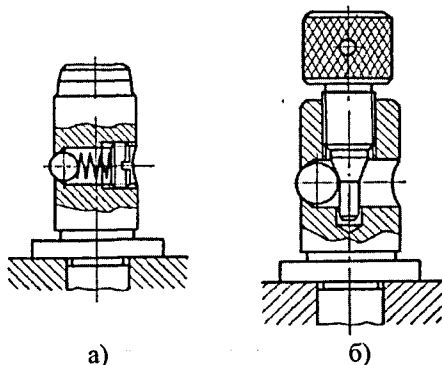


Рисунок 5.3 – Конструкції пальця з підпружиненою кулькою (а) та розтискної кулькової оправки (б)

Установлення на розтискні оправки дозволяє унеможливити появу радіального зазора. Найвищу точність центрування (0,002–0,005 мм) забезпечують розтискні оправки з гідропластом.

Центрування на конічних оправках є широкопоширеним і зручним методом базування деталей невеликих розмірів. Для довгих деталей застосовуються спеціальні (рис. 5.4, а) або збірні конічні контрольні оправки (рис. 5.4, б).

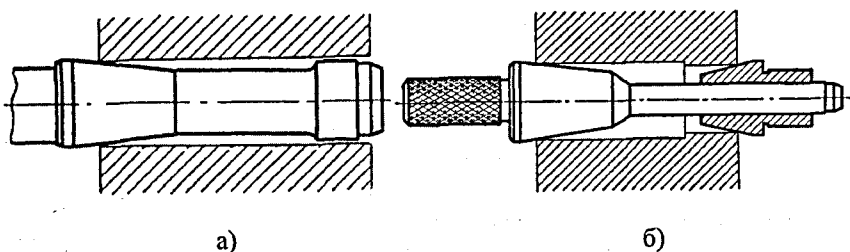


Рисунок 5.4 – Конструкція спеціальних конічних оправок

Биття конусної частини оправки відносно осі її центрових отворів задають в діапазоні 0,003–0,015 мм.

Конструкцію і різновиди інших установних елементів можна знайти в довідковій літературі [2,4–10], причому більшість установних елементів є стандартизованими.

#### 5.4.2. Затискні елементи КВП

Для надійного установлення деталей, що перевіряються, на контрольних пристосуваннях служать затискні елементи і пристрої. Вони повинні закріплювати деталь, не зумовлюючи при цьому її зсувів і деформацій, а також забезпечувати надійність установлення деталі, що перевіряється, відносно вимірювального пристрою.

Таким чином, умови роботи затискачів контрольних пристосувань принципово відрізняються від умов роботи затискачів у верстатних пристосуваннях, яким доводиться протидіяти значним за величиною силам різання. У ряді випадків – при стійкому базуванні деталі, що перевіряється, на контрольному пристосуванні, коли центр тяжіння збігається з геометричним центром деталі, а сили, створювані вимірювальним пристроєм, не порушують положення деталі – взагалі відпадає необхідність в затискному пристрої.

Необхідною вимогою до затискних пристроїв є швидкість керування затисканням, що зменшує допоміжний час контрольної операції. Тому при проектуванні контрольного пристосування рекомендується користуватися переважно швидкодійними важелями, ексцентриковими і байонетними затискачами (рис. 5.5), а при необхідності механізації пристосування – пневматичними затискачами.

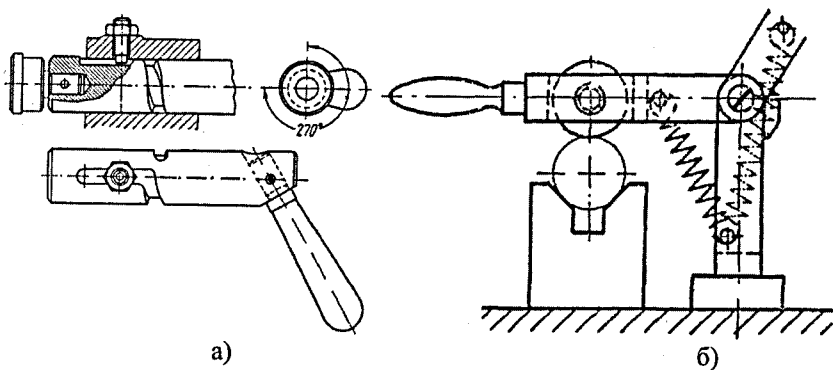


Рисунок 5.5 – Конструкції байонетного (а) та важільно-пружинного затискачів (б)

Застосування гвинтових затисків не рекомендується внаслідок їх низької продуктивності та малої чутливості.

Розрахунок необхідної сили закріплення деталі в КВП виконується виходячи з вимоги забезпечення нерухомості деталі при дії на неї вимірювальних сил, сил тяжіння та інерції за методикою [6]. Якщо при закріпленні деталі вона центрується, то сила, що діє з боку затискного елемента, повинна бути достатньою для зсуву деталі.

### **5.4.3. Передавальні елементи КВП**

Основне призначення передавальних пристроїв – передача вимірної величини на деяку відстань від вимірюваної поверхні; зміна напрямку передаваних величин; оберігання вимірювального наконечника приладу від безпосереднього контакту з контрольованою деталлю. Передавальні пристрої підрозділяються на дві основні групи: прямі і важельні.

Прямі передавальні пристрої рекомендується застосовувати в тих випадках, коли поверхня деталі, що контактує з вимірювальним наконечником, переміщається відносно індикатора (наприклад, при перевірці биття), причому проміжний стержень, у разі зносу, може бути легко замінений новим. Також пряма передача дозволяє контролювати поверхні, недоступні безпосередньо для стержня індикатора.

Важельні передавальні пристрої застосовуються для кутової зміни напрямку передаваних вимірних величин для передачі їх в напрямі, паралельному початковому, але що не знаходиться з ним на одній прямій, і для перетворення (збільшення або зменшення) передаваної величини. При використанні збільшувальних важелів рекомендується приймати передавальні відношення, що дорівнюють 1,5:1, 2:1, 3:1 і рідше 5:1.

### **5.5. Вибір засобу вимірювання**

Вибір засобу вимірювання в першу чергу залежить від заданої точності контрольованого параметра деталі, тобто від допуску на цей параметр. Будь-який вид вимірювальних засобів створює відповідну похибку вимірювання, і чим менше похибка вимірювання, тим більша частина допуску залишається на обробку контрольованого параметра, а отже, спрощується процес обробки деталі. Проте застосування високоточних засобів вимірювання при порівняно великих допусках на обробку недоцільне, оскільки це збільшує вартість засобів вимірювання. Тому для кожного квалітета точності контрольованого параметра повинні бути вибрані оптимальні засоби контролю з певною допустимою похибкою вимірювання.

При виборі засобів вимірювання перевагу віддають найпростішим і дешевим засобам, до яких відносять різні стандартизовані калібри (скоби, пробки, шаблони) і універсальні вимірювальні інструменти

(штангенциркулі, мікрометри, нутроміри, глибиноміри й ін.). Проте часто ці засоби не повністю задовольняють задані метрологічні вимоги або необхідні економічні показники. Особливо це виявляється в двох випадках: при необхідності здійснювати контроль з високою точністю і достовірністю, і при необхідності здійснювати контроль в труднодоступних місцях деталі, де прямі вимірювання неможливі, а непрямі приводять до збільшення похибки вимірювання і до зниження достовірності контролю. Крім того, у ряді випадків застосування універсальних засобів вимірювання стає неможливим, наприклад, при контролі биття, форми поверхонь або їх взаємного розташування, особливо для деталей складної конфігурації. Часто вони не можуть проконтролювати кутові або лінійні розміри, що належать до групи інших, і ін. У всіх цих випадках рекомендують застосовувати КВП і відповідні засоби вимірювання. Їх застосування дозволяє значно підвищити продуктивність контролю і здійснювати комплексний контроль взаємопов'язаних параметрів деталі. Їх недоліком є те, що вони не можуть використовуватися на робочих місцях верстатників для контролю в процесі обробки.

Основним засобом вимірювання в конструкції більшості спеціальних КВП є вимірювальні головки або індикатори різного вигляду. Вимірювальні головки – це прилади, призначені для вимірювань лінійних розмірів деталей (як абсолютним, так і відносним методом), відхилень форми і розташування поверхонь. Їх принцип дії заснований на перетворенні малого лінійного переміщення вимірювального стержня, що знаходиться у контакті з об'єктом вимірювань, у великі переміщення – у вигляді відхилень стрілки відлікового пристрою відносно штрихів кругової шкали.

Залежно від конструкції перетворювального механізму вимірювальні головки поділяють на: зубчасті, важільні, важільно-зубчасті, важільно-пружинні, пружинні і пружинно-оптичні. У машинобудуванні найчастіше застосовуються зубчасті і важільно-зубчасті вимірювальні головки. Перші називають індикаторами годинникового типу, а другі – важільно-зубчастими індикаторами. На рисунку 5.6 подано зовнішній вигляд та основні розміри індикаторів типу ІЧ.

**Індикатори годинникового типу (ІГТ)** – це прилади, що є вимірювальними головками із зубчастим механізмом перетворення.

**Індикатори важільно-зубчасті (ІВЗ)** – це прилади, що є вимірювальними головками з важільно-зубчастим механізмом перетворення.

Індикатори ІВЗ поділяють на два типи – важільно-зубчастий боковий (ВЗБ) та важільно-зубчастий торцьовий (ВЗТ). ВЗБ має шкалу індикатора, розташовану паралельно осі вимірювального важеля в середньому положенні і перпендикулярну до площини його повороту. ВЗТ – має шкалу, перпендикулярну до осі вимірювального важеля в середньому положенні до площини її повороту.

При виборі засобів вимірювання враховують: ціну поділки, яка повинна відповідати точності контролюваного параметра; діапазон вимірювань, який повинен перевищувати діапазон зміни контролюваного параметра; похибку засобу вимірювання.

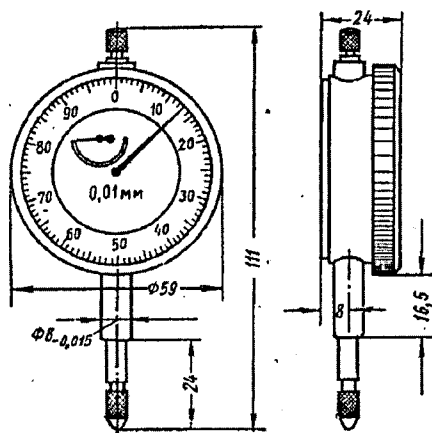


Рисунок 5.6 – Індикатор годинникового типу

Якщо допустима похибка вимірювання пристосування достатньо велика, то вибирають засоби вимірювання нормальної точності, оскільки вони дешевші, якщо вимоги до точності КВП високі, то вибирають засоби вимірювання підвищеної точності (наприклад, класу 0).

## 5.6 Вибір допоміжних пристроїв

Допоміжними елементами контрольних пристосувань називаються деталі, вузли і пристрої, в яких закріплюються вимірювальні головки, пристрої, за допомогою яких вимірювальні головки підводяться в зону вимірювання або переміщуються щодо вимірюваного об'єкта. У багатьох контрольних пристосуваннях допоміжними елементами є стійки і штативи. Штативи служать тільки для кріплення вимірювальних головок і застосовуються при вимірюваннях на перевірних плитах, в центрах і різних спеціальних пристосуваннях (рис. 5.7).

Стойки мають пристрій для затискання вимірювальної головки і столик для установаження контрольованої деталі (рис. 5.8).

Часто контрольні операції виконуються в центрах, які встановлюються в центрувальних бабках (рис. 5.9). В цьому випадку центрувальні бабки виконують роль допоміжних пристроїв.

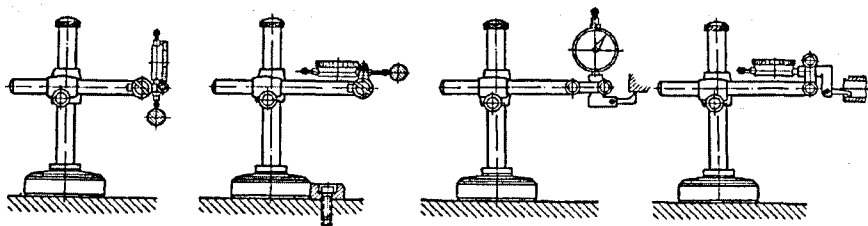


Рисунок 5.7 – Способи закріплення індикаторів на універсальному штативі

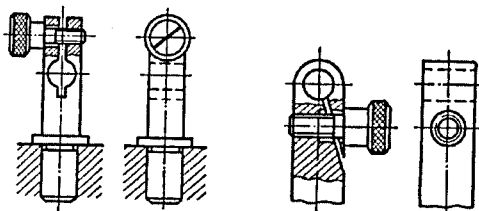


Рисунок 5.8 – Різновиди розрізних індикаторних стійок

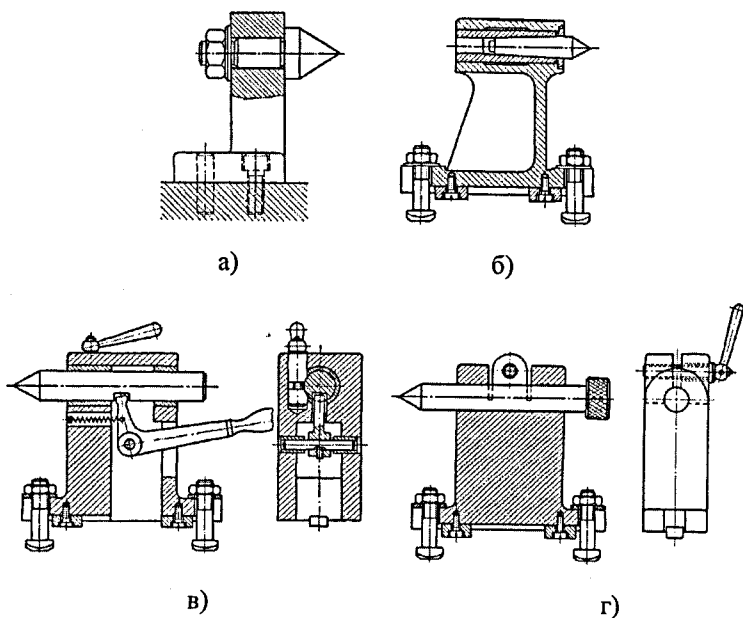


Рисунок 5.9 – Варіанти виконання центрувальних бабок для нерухомих жорстких центрів (а), (в) та рухомих центрів (б), (г)

Більшість контрольних пристосувань має різні рухомі елементи. Це можуть бути елементи, в яких здійснюється обертання контрольованого об'єкта (шпинделі, центри, поворотні столи та ін.) або виконується повздовжнє переміщення (каретки, напрямні). Рухомі деталі, залежно від необхідної точності і чутливості, можуть переміщатися з тертям ковзання або з тертям кочення. Переміщення деталей в умовах тертя ковзання забезпечує вищу точність через відсутність зазорів у стиках, але деталі більш схильні до зносу і вимагають великих сил для переміщення, ніж деталі, що працюють в умовах тертя кочення. І ті і інші потребують мастила для зменшення зносу і підвищення плавності ходу.

У конструкціях КВП найбільш поширені циліндричні (рис. 5.10) і конічні (рис. 5.11) шпинделі, а також різні лінійні напрямні закритого, відкритого і напівзакритого типів.

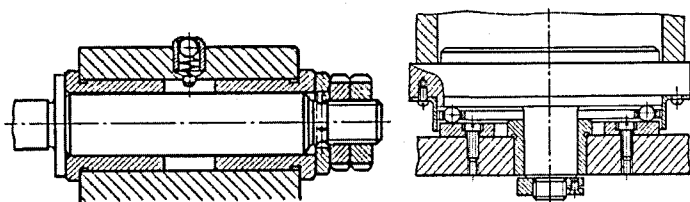


Рисунок 5.10 – Циліндричні шпинделі

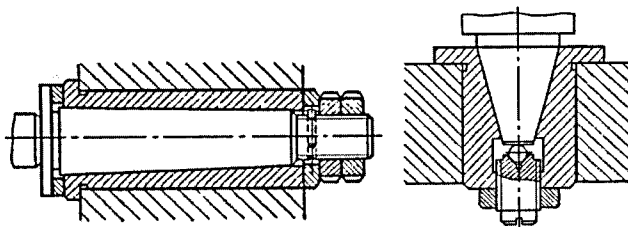


Рисунок 5.11 – Конічні шпинделі

## 5.7 Розробка компоновання КВП

Компоновання КВП виконується на основі наявної принципової схеми, відрізняється від неї більшою деталізацією і є спрощеним варіантом складального креслення КВП. Основна мета його розробки – підібрати елементи конструкції пристосування відповідно до принципової схеми і зв'язати їх в єдиний найдоцільніший механізм. Розробка компоновання зводиться до послідовного креслення елементів контрольного пристосування і вимірювальних пристроїв навколо контуру контрольованої деталі. Спочатку креслять установні елементи, далі наносяться деталі затискних пристроїв,

потім йдуть вимірювальні і допоміжні пристрої. Останнім виконується корпус, як правило, у вигляді плити, на якій закріплюється решта деталей КВП і яка має елементи для встановлення на контрольному столі (ніжки) і елементи для перенесення пристосування (ручки). При кресленні загального вигляду контрольного пристосування необхідно задати посадки в усіх з'єднаннях і різні технічні вимоги до конструкції.

## 5.8 Розрахунок на точність контрольного пристосування

### 5.8.1 Сумарна похибка вимірювання та її складові

При розрахунку КВП на точність визначають його сумарну похибку вимірювання  $\varepsilon_{ВИМ}$ , що складається з систематичних і випадкових похибок, за такою формулою:

$$\varepsilon_{ВИМ} = \varepsilon_{ВУ} + \varepsilon_{ВП} + \varepsilon_{ВМ} + \sqrt{\varepsilon_{НБ}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{СВ}^2 + \varepsilon_{ЗП}^2 + \varepsilon_{ЗВ}^2 + \varepsilon_{ІН}^2}, \quad (5.2)$$

де  $\varepsilon_{ВУ}$  – систематична похибка, викликана неточністю виготовлення установних елементів і неточністю їх розташування на корпусі контрольно-вимірювального пристосування при його складанні;

$\varepsilon_{ВП}$  – систематична похибка, викликана неточністю виготовлення передавальних елементів, важелів, штифтів та ін.;

$\varepsilon_{ВМ}$  – систематична похибка, викликана неточністю виготовлення установних мір і еталонних деталей, що використовуються для налаштування засобів вимірювання на контрольований параметр (при їх використанні);

$\varepsilon_{НБ}$  – похибка, викликана незбіганням вимірювальної бази з технологічною базою (у пристосуваннях для міжопераційного контролю) або конструкторською базою (у пристосуваннях для остаточного контролю);

$\varepsilon_3$  – похибка, що виникає в результаті закріплення контрольованого об'єкта, внаслідок його можливої деформації (не враховується, якщо деталь жорстка, а сили закріплення невеликі або відсутні);

$\varepsilon_{СВ}$  – похибка, залежна від сили вимірювання, виникає в результаті зсуву вимірювальної бази деталі від заданого положення в процесі вимірювання, має випадковий характер (враховується тільки для високоточних вимірювань або при контролі нежорстких деталей);

$\varepsilon_{ЗП}$  – похибка, що виникає внаслідок зазорів між осями важелів передавальних пристроїв (при їх наявності);

$\varepsilon_{ЗВ}$  – похибка використовуваного засобу вимірювання;

$\varepsilon_{ІН}$  – інші похибки, що викликають під дією випадкових чинників при виконанні контролю. До них належать: похибка базування деталі, похибка через знос елементів пристосування та їхніх температурних деформацій, похибка, пов'язана з кваліфікацією контролера, похибка відхилення деталей або еталонів від правильної геометричної форми (при їх використанні) і ін.

Частка цих похибок (кожної окремо) незначна, проте в сумі вони можуть вплинути на точність контролю. У навчальних умовах в розрахунках для даної категорії похибок виділяють частину допуску на контрольований параметр. Так, для контрольних пристосувань можна прийняти  $\epsilon_{\text{ПН}} = (0,03-0,05) \cdot T_K$ .

Для того, щоб контрольоване пристосування було визнане придатним для контролю деякого параметра (розміру, форми, відхилення від перпендикулярності, паралельності і т. д.), необхідно, щоб виконувалася умова:  $\epsilon_{\text{ВИМ}} \leq [\epsilon_{\text{ВИМ}}]$ .

При недотриманні даної умови слід змінити конструкцію пристосування з метою зменшення окремих складових сумарної похибки вимірювання. Можна підвищити вимоги до виготовлення деталей і до складання КВП, підвищити вимоги до виготовлення еталонів, вибрати інший засіб вимірювань або взагалі змінити вибрану схему контролю.

Якщо в пристосуванні виконується контроль декількох параметрів, то розрахунок з перевіркою придатності повинен виконуватися для кожного з них.

### **5.8.2 Похибка через неточність установних елементів і їх розташування на корпусі КВП при складанні**

Похибки взаємного розташування поверхонь, контрольованих деталей складають 0,01–0,03 мм. Іноді навіть малі похибки виготовлення установних вузлів контрольних пристосувань мають суттєве значення, тому робочі поверхні установних вузлів виготовляють з допусками 0,001–0,005 мм, а щодо розташування поверхонь, то витримують такі вимоги: непаралельність і неперпендикулярність не вище 0,01 мм на довжині 100 мм, зсув від номінального положення не більше  $\pm 0,003$  мм.

Ці вимоги повинні бути відмічені на компонованні КВП, а згодом на його складальному кресленні у вигляді технічних вимог. Дійсні відхилення в розмірах установних елементів є величинами постійними і можуть бути визначені після виготовлення та атестації контрольованого пристосування.

### **5.8.3 Розрахунок похибки передавальних пристроїв**

У контрольних пристосуваннях вимірювальні наконечники стержнів індикаторів і інших вимірювальних засобів часто не дотикаються до поверхонь контрольованих деталей, оскільки не завжди можна підвести стержень індикатора безпосередньо до деталі. У цих випадках між ними використовуються передавальні пристрої у вигляді прямої або важільної передачі. Передачі виконують роль буферів, оберігаючи механізми індикаторів від швидкого зносу і різких поштовхів при роботі.

У контрольних пристосуваннях різноманітність прямих і важільних передач обумовлена конструктивною необхідністю, а також рядом інших причин:

- необхідністю забезпечення в передачах певного порогу чутливості;
- прагненням зменшити похибку передавальних ланок і граничну похибку передачі;
- підвищенням зносостійкості передачі.

Внаслідок неточності лінійних і кутових розмірів важелів можуть виникати похибки у проектованому передавальному відношенні передач важелів. Такі похибки пов'язані з допусками на виконання довжин плечей і на їх кутове розташування. Похибки в передачах виникають також внаслідок непропорційності між лінійним переміщенням вимірювального стержня індикатора і кутовим переміщенням важеля.

В загальному випадку похибка передавальних пристроїв контрольного пристосування складається з похибки  $\varepsilon_{ВП}$ , викликані неточністю виготовлення передавальних елементів, і похибки  $\varepsilon_{ЗП}$ , що виникає внаслідок зазорів між осями важелів.

Похибка, викликана неточністю виготовлення передавальних елементів (важелів), рівна сумі складових похибок:

$$\varepsilon_{ВП} = \Delta_{ВД} + \Delta_{ВК} + \Delta_{ВН} + \Delta_{ВТ} + \Delta_{ВП}, \quad (5.3)$$

де  $\Delta_{ВД}$  – похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів;

$\Delta_{ВК}$  – похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів;

$\Delta_{ВН}$  – похибка від непропорційності переміщення важелів;

$\Delta_{ВТ}$  – похибка від зсуву точки контакту важелів;

$\Delta_{ВП}$  – похибка в прямих передачах (при їх наявності).

#### **Похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів**

Похибка  $\Delta_{ВД}$  виникає через те, що довжини плечей важелів виконують з певними похибками, внаслідок чого переміщення кінців плечей важелів будуть різними, тобто один кінець плеча переміщається на величину  $a_2$  (відповідно до величини контрольованого параметра), а інший – на  $a_1$  (у позиції індикатора) (рис. 5.12).

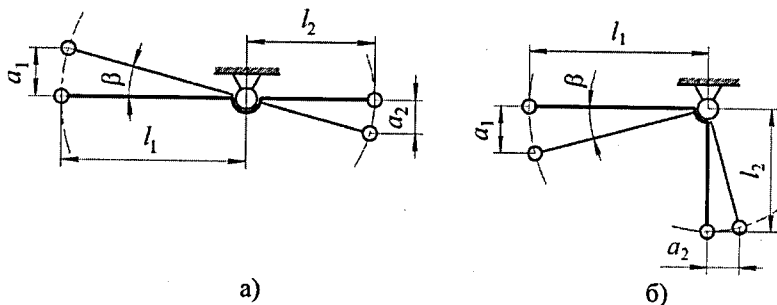


Рисунок 5.12 – Схема переміщення прямих (а) та кутових (б) важелів при неточному виготовленні довжини їх плечей

Тоді похибка  $\Delta_{ВД}$ , відповідно до рис. 5.12 визначатиметься:

$$\Delta_{ВД} = a_1 - a_2 = (l_1 - l_2) \cdot \sin \beta = (l_1 - l_2) \cdot \frac{a_1}{l_1} = \left(1 - \frac{l_2}{l_1}\right) \cdot a_1.$$

Очевидно, що найбільша похибка буде при виготовленні одного плеча за найбільшим розміром, а іншого – за найменшим.

$$\Delta_{ВД}^{\max} = \left(1 - \frac{l_2^{\min}}{l_1^{\max}}\right) \cdot a_1. \quad (5.4)$$

### Похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів

У ряді випадків має місце похибка кутового розташування плечей важелів  $\Delta_{БК}$  на величину  $\gamma$  (рис. 5.13).

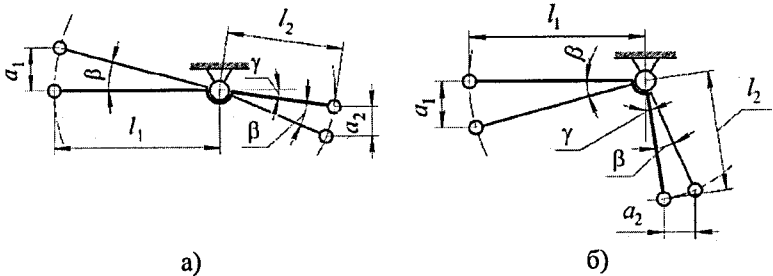


Рисунок 5.13 – Схема переміщення прямих (а) та кутових (б) важелів при неточному кутовому розташуванню плечей між собою

Похибка  $\Delta_{БК}$  в цьому випадку визначається таким чином:

$$\Delta_{БК} = a_1 - a_2 = l_1 \cdot \sin \beta - [l_2 \cdot \sin(\beta + \gamma) - l_2 \cdot \sin \gamma], \quad (5.5)$$

У разі рівності довжин важелів ( $l_1 = l_2 = l$ ) і з урахуванням малих значень кутів  $\beta$  ( $0,2 - 1^\circ$ ) і  $\gamma$  ( $1 - 2^\circ$ ) отримаємо таку розрахункову формулу для визначення похибки внаслідок неточності кутового розташування плечей важелів один щодо одного:

$$\Delta_{БК} = l \cdot \sin \gamma \cdot [1 - \cos \beta]. \quad (5.6)$$

### Похибка від непропорційності переміщень важелів

Похибка непропорційності переміщення важелів  $\Delta_{ВН}$  виникає в передачах контрольних пристосувань у тому випадку, коли плече важеля передає рух вимірювальному стержню індикатора, який переміщується лінійно, тоді як плече важеля має кутове переміщення (рис. 5.14).

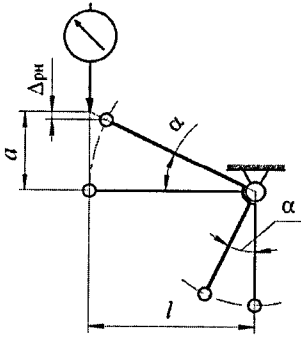


Рисунок 5.14 – Схема непропорційного переміщення плеча важеля та вимірювального стержня індикатора

Похибка  $\Delta_{BH}$  буде визначатися за формулою:

$$\Delta_{BH} = \frac{l \cdot \alpha^3}{3}. \quad (5.7)$$

**Похибка від переміщення точки контакту важелів**

Робочі кінці плечей важелів виконують, як правило, так, щоб забезпечувався точковий контакт з поверхнею вимірюваної деталі і кінцем стержня вимірювального приладу. З цією метою один, а іноді й обидва кінці плечей важелів, що контактують зі сферичними поверхнями, виконують у вигляді сфери з радіусом  $r = 2-3$  мм або плоскими. При таких схемах передач важелів неминуча похибка, оскільки при повороті важеля точка контакту переміщується (рис. 5.15). Кінці обох плечей важеля плоскі і мають контакт зі сферичними поверхнями з радіусом закруглення  $r$ .

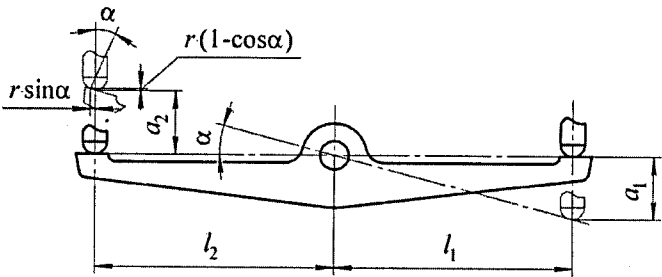


Рисунок 5.15 – Схема контакту плоских кінців важеля зі сферичними наконечниками

За цих умов в передавальному відношенні виникає похибка  $\Delta_{BT}$ , для важелів з рівними плечами її можна визначити таким чином:

$$\Delta_{BT} = \frac{a_2}{a_1} - 1 = \frac{l \cdot \operatorname{tg} \alpha + r \cdot (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1)}{l \cdot \operatorname{tg} \alpha - r \cdot (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1)} - 1. \quad (5.8)$$

### **Похибка в прямих передачах**

Прямі передачі є проміжною ланкою між індикатором і поверхнею контрольованої деталі. Їх наявність вносить у вимірювання незначні похибки, що пояснюються рядом причин. Діаметри стержня і втулки в передачі виконуються з посадкою  $H7/g6$  (при діаметрі 4–5 мм), їх притирають разом, внаслідок чого максимальний зазор у з'єднанні не перевищує 0,01 мм, і перекіс стержня буде мінімальним, а його вплив на результат вимірювання буде ще менше. Більш суттєво, хоча і незначно за величиною, впливатиме зсув осі вимірювального стержня індикатора відносно осі стержня або штифта прямого передавального пристрою в горизонтальній площині, і поворот останнього у втулці на певний кут в межах зазора. Тоді похибку  $\Delta_{ВП}$  можна визначити за формулою:

$$\Delta_{ВП} = e \cdot \frac{s}{h}, \quad (5.9)$$

де  $e$  – величина зсуву осі стержня індикатора ( $e = 0,2-0,3$  мм);  
 $s$  – зазор між втулкою і стержнем в передачі ( $s = 0,02-0,03$  мм);  
 $h$  – довжина напрямної частини втулки під рухомий стержень.

Розрахунками встановлено, що величина похибки  $\Delta_{ВП}$ , як правило, не перевищує 0,001–0,003 мм, що при визначенні точності роботи передачі можна не враховувати.

### **Похибка від зазорів між осями важелів**

Більшість контрольних пристосувань має важільні передачі, які можуть повертатися навколо осей. Для забезпечення надійного контакту з контрольованою деталлю важелі передач підпираються пружинами. Жорсткість пружин має бути правильно підібрана і відрегульована, з врахуванням дій вимірювальних засобів контрольованого пристосування.

Осі важільних передач можуть бути циліндричними, конічними або реалізованими у вигляді пластинчастих пружин. У з'єднанні важеля з віссю завжди є зазор, який призводить до похибки  $\varepsilon_{ЗП}$ , яка є величиною випадковою і залежною від значення зазору в з'єднанні важеля з віссю, а також сили, що створюється пружиною.

Величину похибки  $\varepsilon_{ЗП}$  можна визначити на основі довідкових даних та таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Граничні значення похибки  $\varepsilon_{ЗП}$ 

Тип передачі	Похибка $\varepsilon_{ЗП}$ , мм
З важелем на циліндричній осі	0,006 – 0,010
Пряма передача у поєднанні з важільною	0,004 – 0,006
З важелем в центрах	0,006 – 0,008
З важелем на пластинчастих пружинах	0,003 – 0,005
Складна передача з важелем на осях	0,010 – 0,030

За відсутності в конструкції контрольно-вимірювального пристосування передавальних пристроїв, складові  $\varepsilon_{ВП}$  і  $\varepsilon_{ЗП}$  з розрахункової формули (5.1) вилучаються.

#### 5.8.4 Похибка, зумовлена неточністю виготовлення установних мір та еталонних деталей

Виникнення похибки  $\varepsilon_{ВМ}$  зумовлене тим, що установні міри, еталони або зразки вносять похибку в результати вимірювання, коли визначають розмір деталі відносним методом.

Однієї з основних частин похибки, що вноситься при користуванні кінцевими мірами довжини, є похибка їх атестації (тобто, коли дійсний розмір приймається з певною ймовірністю). Можуть виникнути також похибки від притирання, які для деяких кінцевих мір перевищують похибку атестації.

Для розмірів до 500 мм похибка від притирання складає до 0,5 мкм. Для деяких вимірювань такі похибки є значними. Для малих розмірів похибка притирання у декілька разів більше похибки атестації. У зв'язку з цим кінцеві міри першого і другого розрядів слід застосовувати тільки у вигляді окремих мір, наприклад, для атестації відносним методом грубіших розрядів, а також для налаштування приладів, але без складання їх в блок.

Якщо замість установних мір використовуються еталонні деталі, то похибка  $\varepsilon_{ВМ}$  може бути визначена як похибка виготовлення еталона, відповідно до таблиць економічної точності методів обробки (для фінішних операцій) у напрямі параметра засобу вимірювання, яким виконують налаштування. Наприклад, для валів (оправок) відхилення діаметральних розмірів складають 0,004–0,015 мм, радіальне биття – 0,005–0,01 мм, для плоских еталонів відхилення розмірів складають 0,01–0,02 мм, відхилення від паралельності площин – 0,004–0,008 мм по довжині еталона. Для плоско-паралельних плит похибка виготовлення розмірів становить 0,0001–0,0005 мм.

#### 5.8.5 Похибка засобу вимірювання

Похибка засобу вимірювання  $\varepsilon_{ЗВ}$  виникає при будь-якому методі вимірювання і є його основною характеристикою. Вона є випадковою величиною, найбільше можливе значення якої вказується в технічних

характеристиках вибраного засобу вимірювання, залежно від його класу точності і діапазону вимірювань.

### 5.8.6 Розрахунок похибки незбігання баз

Похибка незбігання баз  $\epsilon_{НБ}$  в КВП виникає при незбіганні вимірювальної бази з технологічною або конструкторською, залежно від місця контрольної операції для КВП в технологічному маршруті. Тобто, при установленні контрольованих об'єктів в пристосування положення їх вимірювальних баз буде різним для всіх об'єктів контрольованої партії.

Математично похибка  $\epsilon_{НБ}$  для КВП визначається аналогічно верстатним пристосуванням як різниця між найбільшою і якнайменшою величинами проєкції положення вимірювальної бази у напрямі виконуваного розміру. Її величина не є абстрактною, а стосується конкретного контрольованого параметра при наявній схемі контролю, що слід обов'язково вказувати в розрахунках.

Розглянемо приклад визначення похибки  $\epsilon_{НБ}$ , що виникає через незбігання баз при базуванні контрольованої деталі на циліндричній оправці з зазором по двох співвісних отворах контрольованої деталі (рис. 5.16).

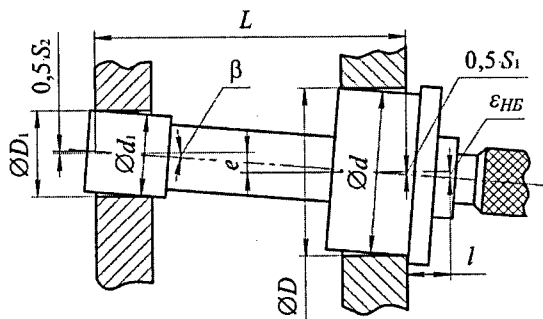


Рисунок 5.16 – Розрахункова схема визначення похибки  $\epsilon_{НБ}$  при контролі співвісних отворів оправкою

Дана схема контролю широко застосовується для вимірювання паралельності та перпендикулярності торців деталі до осей цих отворів, величини зсуву осі одного отвору відносно іншого. Суттєвим недоліком даної схеми є зазор між отворами і оправкою, без якого неможливо встановити оправку в точні співвісні отвори. Зазор буде тим більшим, чим ширший допуск на діаметри отворів, які служать вимірювальними базами, тоді як конструкторською базою є загальна вісь отворів. Внаслідок цього виникає похибка незбігання баз, яка залежить від кута повороту оправки в

отворах. Цей кут можна визначити таким чином:

$$\beta = \frac{e + \frac{1}{2} \cdot (S_1 + S_2)}{L},$$

де  $e$  – відхилення від співвісності отворів деталі;

$L$  – відстань між торцями отворів;

$S_1$  та  $S_2$  – максимальні зазори в з'єднанні оправки з відповідними отворами деталі.

Якщо оправка використовується для перевірки міжосьової відстані і її вимірювання виконується за допомогою індикатора на відстані  $l$  від торця деталі, то похибка незбігання баз визначатиметься як:

$$\varepsilon_{НБ} = l \cdot \operatorname{tg} \beta + \frac{S_1}{2}. \quad (5.10)$$

Для зменшення даної похибки можна оправці в першому отворі надати конічну форму, тоді:

$$\beta = \frac{e + \frac{1}{2} \cdot S_2}{L}.$$

В результаті формула (5.10) набуде вигляду:

$$\varepsilon_{НБ} = l \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (5.11)$$

Якщо оправка буде конічною і в першому і в другому отворах, то похибка залежатиме від їх міжосьової відстані, тоді:

$$\beta = \frac{e}{L},$$

і похибка  $\varepsilon_{НБ}$  в цьому випадку також буде визначатися за формулою (5.11).

Аналогічні розрахункові формули виведені для більшості типових схем базування деталей (у центрах, на пальцях, на призмах, на різних оправках, у втулках тощо) та наведені у довідковій літературі [1, 3, 6–8].

Похибка  $\varepsilon_{НБ}$  може бути не врахована в розрахункових формулах у тому випадку, коли незбігання баз не впливає на точність контролю в заданому напрямі, або взагалі може бути відсутньою (у випадку незбігання вимірювальної бази з технологічною або конструкторською базою).

### 5.8.7 Похибка, зумовлена силою вимірювання

Похибка  $\epsilon_{CB}$  є випадковою і виникає в результаті зсуву вимірювальної бази деталі від заданого положення в процесі вимірювання при дії вимірювальної сили. Такий зсув може відбуватися через деформацію стикових поверхонь установних елементів і контрольованої деталі.

Похибки від сили вимірювання бувають трьох видів:

- похибки, що виникають в результаті пружних деформацій в зоні контакту вимірювального наконечника пристосування з контрольованою деталлю;

- похибки, зумовлені пружними деформаціями деталі, не розглядаючи зону контакту;

- похибки, що виникають в результаті пружних деформацій установного вузла і деталей пристосування.

При вимірюваннях перші два види похибок визначаються величиною сили, що діє у момент вимірювання, а третій вид похибок визначається різницею цієї сили і сили, що діяла при встановленні реєструвального приладу пристосування на нуль.

Контактна деформація в місці контакту вимірювального наконечника з поверхнею деталі залежить від матеріалу наконечника і деталі, їх форми і вимірювальної сили. Для наконечника з твердого сплаву з радіусом 2,0 мм при значенні вимірювальної сили 5–10 Н деформація для загартованої сталі не перевищує 0,0009–0,0012 мм.

При вимірюванні деталей невеликого поперечного перерізу, розташованих на двох опорах або консольно, а також при контролі тонкостінних деталей можливе їх прогинання під дією вимірювальної сили. Якщо є ймовірність, що величина прогинання може дорівнювати допустимій похибці вимірювання, необхідно виконати розрахунок прогинання елемента деталі за формулами опору матеріалів.

Під деформацією установних елементів пристосування від вимірювальної сили розуміють деформацію стійок або штативів, де встановлений реєструвальний прилад. При навантаженні в 2 Н ця деформація не перевищує 0,0002–0,0005 мм. Таким чином, при розрахунках похибка  $\epsilon_{CB}$  може приймати значення 0,001–0,002 мм.

### 5.8.8 Похибка закріплення

У окремих конструкціях контрольних пристосувань, коли вимагається забезпечити незмінність положення деталі, що перевіряється, застосовують ручні, пневматичні, гідравлічні та інші затискні пристрої. Щоб не порушувати постійності установлення деталей відносно вимірювальних засобів, затискні пристрої в контрольних пристосуваннях мають розвивати невеликі за величиною сили.

Похибка  $\epsilon_3$  має випадковий характер і визначається коливаннями прикладеної сили, зміною місця її прикладання та конструкцією

затискного пристрою. У таблиці 5.2 наведені граничні значення похибки  $\varepsilon_3$  залежно від типу затискного пристрою.

Таблиця 5.2 – Граничні значення похибки закріплення для КВП

Тип затискного пристрою	Похибка $\varepsilon_3$ , мм
З байонетним затискачем	0,004 – 0,006
З двома нерухомими та одним рухомим кулачком	0,015 – 0,090
З цангою	0,007 – 0,020
Закріплення на оправці та призмі	0,005 – 0,010
З притискним затискачем та нерухомою опорою	0,006 – 0,010
З двома плоскими взаємно перпендикулярними поверхнями	0,008 – 0,015

### 5.9 Принцип роботи спроектованого КВП

Після того, як виконані всі етапи проектування і розрахунку контрольно-вимірювального пристосування і підготовлена необхідна конструкторська документація, потрібно навести технічні характеристики одержаної конструкції та описати принцип роботи пристосування.

У описі принципу роботи контрольно-вимірювального пристосування необхідно відобразити таку інформацію:

- класифікацію пристосування,
- для яких об'єктів використовується пристосування,
- які параметри контролюються за допомогою пристосування,
- як здійснити базування і закріплення контрольованого об'єкта в пристосуванні для виконання контролю,
- як працює затискний механізм пристосування, його конструкція і дія на контрольований об'єкт,
- які засоби вимірювання застосовані в пристосуванні, який метод вимірювання використовується (абсолютний чи відносний), як виконати налаштування засобів вимірювання на контрольований параметр,
- як виконується вимірювання та розуміються покази, як визначити відповідність контрольованого параметра встановленим вимогам, як визнати об'єкт на придатність,
- як зняти об'єкт після виконання контролю,
- як працюють допоміжні елементи конструкції пристосування (рухомі і нерухомі),
- як здійснити налаштування, регулювання і ремонт пристосування з метою заміни зношених деталей,
- як здійснити транспортування пристосування.

Також в описі необхідно відобразити інші особливості конструкції пристосування, особливі деталі і вузли, застосовані технічні рішення і т. п. Текст опису конструкції і принципу роботи пристосування слід

формулювати таким чином, що б в ньому були описані конкретні деталі та вузли пристосування у вигляді посилань на відповідні позиції складального креслення і специфікації на пристосування. Якщо в пояснювальній записці є рисунок, що ілюструє конструкцію пристосування, то допустимо посилатися на позиції, вказані на цьому рисунку.

## **5.10 Рекомендації щодо виконання складальних креслень контрольно-вимірювальних пристосувань**

Складальні креслення контрольно-вимірювальних пристосувань повинні відповідати всім вимоги, що висуваються до складальних креслень. Проте є ряд додаткових рекомендацій і вимог, що враховують специфіку КВП:

1. Контрольне пристосування на складальному кресленні показують в робочому положенні в процесі контролю із закріпленою деталлю. Її рекомендується зображати в масштабі 1:1. Тільки у разі великогабаритного пристосування допускається застосування масштабу зі зменшувальним коефіцієнтом;

2. Деталь показується умовним контуром тонкими лініями, вона вважається прозорою і не штрихується на розрізах і перерізах;

3. На складальному кресленні контрольного пристосування обов'язково показується використовуваний засіб вимірювання в робочому положенні у момент вимірювання;

4. Повинні бути показані габаритні, установні, приєднувальні і довідкові розміри. Обов'язково показують контрольні і координувальні розміри з допусками, що характеризують точність взаємного розташування тих елементів пристосування, які визначають точність вимірювання. Також показують розміри тих з'єднань, від яких точність вимірювання не залежить. Допуски на ці розміри визначають залежно від призначення механізму, а також характеру і умов роботи даного з'єднання;

5. Показують допуски на взаємну непаралельність, перпендикулярність, неплоскостність установних поверхонь і осей центральних елементів пристосування. Наводять посадки, розміри і технічні вимоги, що розглядаються при розрахунках пристосування на точність;

6. Над основним написом складального креслення контрольного пристосування наводять опис його службового призначення, технічні характеристики і, при необхідності, технічні вимоги.

У розділі «Службове призначення» слід вказати, які параметри деталі контролюються за допомогою пристосування і їх значення з допусками.

### *Службове призначення*

*Пристосування призначене для контролю торцевого і радіального биття деталі відносно поверхні шліців. Допуск на торцеве биття 0,05 мм, на радіальне биття – 0,02 мм.*

У розділі «Технічні характеристики» наводиться сила закріплення деталі в пристосуванні (при використанні затискних механізмів), його характеристики точності (похибка вимірювання пристосування у напрямі контрольованих параметрів), а також характеристики, обумовлені конструкцією контрольного пристосування.

### *Технічні характеристики*

- 1. Сила закріплення деталі в пристосуванні 21 Н.*
- 2. Похибка вимірювання пристосування:  
- для радіального биття не більше 0,010 мм,  
- для торцевого биття не більше 0,018 мм*
- 3. Похибка вимірювання індикаторів 0,0072 мм.*

У розділі «Технічні вимоги» вказуються вимоги щодо налаштування, регулювання і складання пристосування, параметри, що розглядаються в розрахунках на точність, та інші вимоги.

### *Технічні вимоги*

- 1. \* Розміри для довідок.*
- 2 Співвісність деталей поз. 10 та поз. 15 перевірити еталонною деталлю.*
- 3. Порожнини підшипників заповнити мастилом Літол-24 ГОСТ 21150-75.*

Рекомендується такий порядок креслення елементів контрольно-вимірювальних пристосувань: спочатку креслять у необхідній кількості, базувальні елементи (опорні плити, опори, пальці, оправки, центри, призми і т. д.), потім зображають деталі затискних пристроїв (при їх наявності), далі йдуть вимірювальні пристрої і допоміжні елементи (передавальні механізми, вузли кріплення вимірювальних пристроїв, механізми для обертання контрольованих деталей, стійки і т. д.), останніми креслять контури корпусу пристосування.

## 6 ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ

Креслення та тривимірне моделювання конструкції спроектованого технологічного оснащення виконується після завершення всіх підготовчих робіт та проектних розрахунків. Виконання креслень та тривимірного моделювання рекомендується проводити у CAD-системі КОМПАС.

Система КОМПАС належить до класу систем CAD (Computer Aided Design) та призначена для автоматизації комп'ютерного креслення, проектно-конструкторських робіт та тривимірного моделювання у різних галузях промисловості, досліджень, наукової діяльності. Вона є лідером на ринку СНД серед програм подібного призначення, що пояснюється наявністю бібліотек, до яких входить значна більшість стандартизованих прикладних креслень і готових просторових моделей найбільш розповсюджених деталей та виробів.

Для створення нового документа (файлу) необхідно викликати команду **Файл**⇒**Создать** або вибрати піктограму на інструментальній панелі:



На екрані з'явиться діалог для створення документа (рис. 6.1).

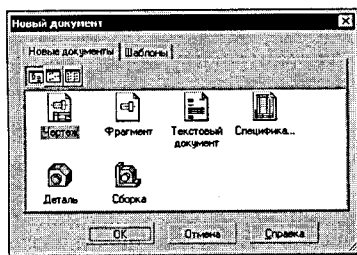


Рисунок 6.1 – Вікно створення документа

У списку документів вибирається необхідний тип документа і натискається кнопка **OK**.

Для відкриття вже існуючого документа (файлу) необхідно викликати команду **Файл**⇒**Открыть** або вибрати піктограму на інструментальній панелі:



У діалоговому вікні, що з'явилося, вказується необхідне ім'я файлу (чи групи файлів) і натискається кнопка **OK**.

Відкрити документ програми КОМПАС можна і у середовищі операційної системи за допомогою подвійного натискання лівої кнопки миші на вибраному файлі чи за допомогою контекстного меню.

Для збереження документа (файлу) необхідно викликати команду **Файл**⇒**Сохранить** або вибрати піктограму на інструментальній панелі:



У діалоговому висхідному вікні вибирається місце для зберігання файлу, записується назва файлу і натискається кнопка **Сохранить**. Іноді вимагається зберегти документ після певного редагування та (чи) в іншому місці. Для цього у меню викликається команда **Файл**⇒**Сохранить как...**, після чого проводиться збереження за алгоритмом, описаним вище.

При необхідності збереження креслення у форматі рисунка (наприклад \*.jpg) необхідно викликати команду **Файл**⇒**Сохранить как...** і у діалоговому висхідному вікні в розділі **Тип файла** вибрати зі списку тип **JPEG(\*.jpg)** та натиснути **Сохранить**. У діалоговому висхідному вікні необхідно виставити параметри збереження зображення (рис. 6.2).

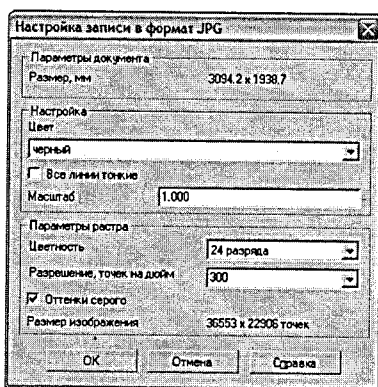


Рисунок 6.2 – Параметри збереження зображення

Для оформлення навчальної технічної документації курсового проекту рекомендуються такі параметри збереження зображення:

**Цвет** – чоний;

**Все линии тонкие** – відключити опцію;

**Масштаб** – 1.000;

**Цветность** – 24 разряди;

**Разрешение, точек на дюйм** – 300;

**Оттенки серого** – вклучити опцію.

## 6.1 Тривимірне моделювання у САD-системі КОМПАС

Для створення нового файлу тривимірної моделі в системі КОМПАС слід викликати команду **Файл**⇒**Создать**. Далі, у висхідному вікні діалогу слід вибрати тип документа – **Деталь**. Або можна використати команду створення нового файлу КОМПАС на панелі інструментів



і у діалоговому вікні вибрати створення документа **Деталь**



Деталь . .

Інтерфейс САD-системи КОМПАС при роботі з тривимірними моделями відрізняється від інтерфейсу при роботі з графічними документами. На панелі **Вид** з'являються кнопки, що забезпечують виклик команд для роботи з тривимірними моделями (рис. 6.3).

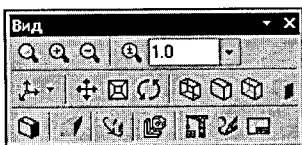


Рисунок 6.3 – Панель **Вид** в режимі роботи з тривимірними моделями

Одними з найчастіш використовуваних кнопок є:



**Поворот моделі** – після виклику команди зовнішній вигляд курсора зміниться і, натиснувши та утримуючи ліву кнопку миші, переміщенням миші можна обернути модель.



**Каркас** – відображення моделі сукупністю ребер та ліній обрисів.



**Без невидимих ліній** – відображення моделі сукупністю видимих ребер при поточній орієнтації моделі, видимих частин ребер та ліній обрисів.



**Невидимі лінії тонкі** – відображення моделі сукупністю видимих ребер при поточній орієнтації моделі, а невидимих частин ребер і ліній обрисів світлішим кольором.



**Напівтонове відображення** – відображення поверхні моделі, при якому враховуються її оптичні властивості (колір, блиск).



**Напівтонове відображення з каркасом** – відображення поверхні моделі, при якому враховуються її оптичні властивості та видимі ребра й лінії обрисів.



**Орієнтація** – вибір орієнтації моделі із переліку стандартних: **Сверху**, **Снизу**, **Слева** і т. д. (рис. 6.4)

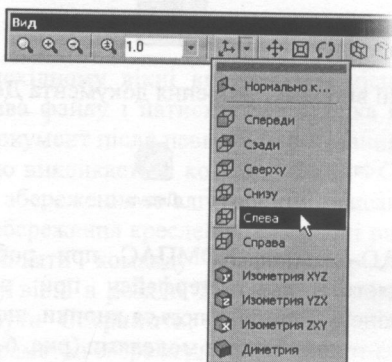


Рисунок 6.4 – Вибір орієнтації моделі

При роботі з тривимірною моделлю на екрані також відображається вікно, що містить **Дерево построения моделі** (рис. 6.5).

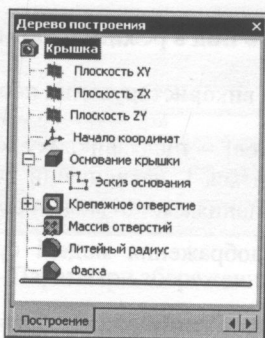


Рисунок 6.5 – Дерево построения моделі деталі

**Дерево построения** – це подання у графічному вигляді послідовності об'єктів, з яких складається тривимірна модель. В ньому відображаються такі елементи: початок координат, площини, осі, просторові криві, поверхні, умовні позначення, ескізи, операції.

Ескіз, задіяний у операції, розмішується на «гілці» дерева побудови

моделі відповідно до виконаної операції. Зліва від назви операції в дереві відображається знак «+». Якщо натиснути курсором на «+», то в дереві розкривається список ескізів, задіяних у операції. Ескізи, що не задіяні у операціях, відображаються на верхньому рівні дерева побудови моделі.

Побудова тривимірної моделі починається зі створення основи – першого формоутворювального елемента. Як основу можна використовувати будь-який з чотирьох типів формоутворювальних елементів – елемент видавлювання, елемент обертання, кінематичний елемент та елемент з перерізів. Також основою деталі може бути інша, вже існуюча, деталь. Перед створенням тривимірної моделі слід ретельно продумати, який елемент використати як основу. Для цього необхідно приблизно уявити конструкцію моделі та подумки вилучити з цієї конструкції фаски, заокруглення, проточки та інші елементарні конструктивні елементи. Модель уявно можна розділити на складові формоутворювальні елементи: паралелепіпеди, призми, циліндри, конуси, тори, кінематичні елементи тощо. Найчастіше за основу використовують найкрупніший елемент. Іноді як основу використовують простий елемент, описаний навколо проектованої моделі. Універсальної рекомендації щодо вибору основи деталі немає. Студент як конструктор самостійно напрацьовує прийоми роботи, керуючись власним досвідом.

Побудова основи починається зі створення креслення ескізу. Ескіз розміщується на площині. Як правило, для побудови ескізу основи вибирають одну з існуючих проекційних площин. Вибір площини для побудови ескізу основи не впливає на подальший порядок створення моделі, але визначає розташування моделі під час вибору стандартної орієнтації.

Вибір необхідної площини (горизонтальної ZX, фронтальної XY чи профільної ZY) здійснюється у дереві побудови, як показано на рис. 6.6. Після того, як була вибрана площина, слід викликати команду **Операції** → **Ескіз** або натиснути на кнопку **Ескіз** на панелі інструментів



Система КОМПАС переходить у режим створення (редагування) ескізу, який практично не відрізняється від режиму роботи з фрагментом чи кресленням. При цьому доступні всі команди побудови чи редагування графічних об'єктів: виділення, вимірювання, виставлення розмірів і т. д. Ескіз також може містити текст.

Після того, як ескіз було побудовано, слід натиснути на кнопку **Ескіз** і модель автоматично повертається у орієнтацію **Нормально к...** відносно площини ескізу. Тепер необхідно вказати, яким способом буде створено основу, тобто здійснити вибір однієї з формоутворювальних операцій.

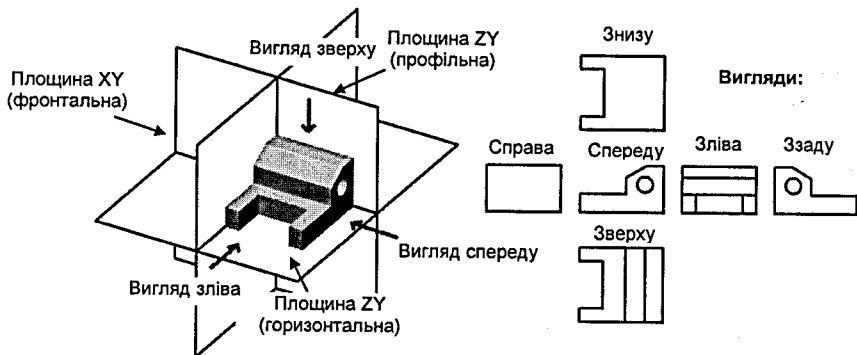


Рисунок 6.6 – Розташування моделі відносно площин проєкцій

Команди побудови елементів основи знаходяться у меню **Операції** або викликаються однією із команд на панелі **Редактирование модели** (рис. 6.7).

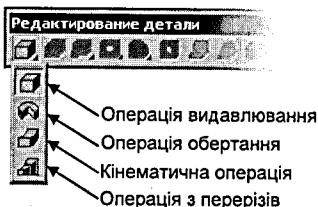


Рисунок 6.7 – Команди побудови елементів основи

Як видно з рис. 6.7, для створення основи моделі можуть використовуватись операції видавлювання, обертання, кінематична та з перерізів. Після завершення операції її результат фіксують за допомогою кнопки **Создать объект**



Після створення основи деталі можна до неї додавати чи видаляти з неї різні формоутворювальні елементи. Вони, як і основа, можуть бути отримані за допомогою однієї з чотирьох операцій: видавлювання, обертання, кінематичної чи з перерізів (рис. 6.8).

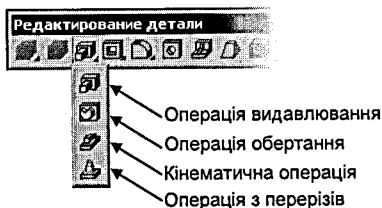


Рисунок 6.8 – Команди додавання елементів основи

Крім додавання до моделі нових формуювальних елементів можна також видаляти такі ж самі формуювальні елементи, що можуть бути отримані за допомогою однієї з чотирьох операцій: видавливання, обертання, кінематичної чи з перерізів (рис. 6.9).

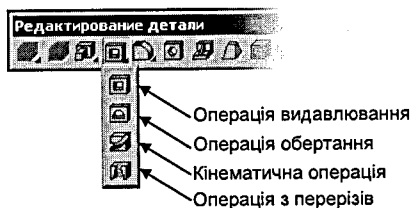


Рисунок 6.9 – Команди видалення елементів основи

Незалежно від того, яка формуювальна операція здійснюється над моделлю, всі вони мають спільні характеристики.

Під час формування елемента видавливання ескіз елемента переміщується у напрямі, перпендикулярному до власної площини. Напрямок видавливання можна вибрати зі списку **Направление:**



**Прямое** – прямиий напрям відносно площини ескізу;



**Обратное** – зворотний напрям відносно площини ескізу;



**Два направления** – напрям відносно площини ескізу у прямому та зворотному напрямках одночасно.

Після вибору напрямку видавливання слід обрати спосіб видавливання, який може бути одним із стандартних:



**На відстань** – видавлювання виконується на задану відстань;



**Через все** – глибина видавлювання визначається автоматично до межі, найбільш віддаленої від площі ескізу в заданому напрямі;



**До вершини** – глибина видавлювання визначається автоматично до вершини, вказаної користувачем;



**До поверхні** – глибина видавлювання визначається автоматично до поверхні, вказаної користувачем;



**До найближчої поверхні** – глибина видавлювання визначається автоматично до поверхні, яка зустрінеться у обраному напрямі.

Під час формування елемента обертання ескіз елемента обертатиметься навколо осі, що знаходиться в цьому ескізі. Напрямок обертання може бути прямий, зворотний або обидва напрями одночасно. Контур в ескізі може бути замкнений або незамкнений, при цьому можливі два варіанти побудови елемента обертання – **Тороїд** та **Сфероїд**.



**Тороїд** – обертається контур ескізу і до отриманої поверхні додається шар матеріалу, в результаті чого утворюється тонкостінна оболонка.



**Сфероїд** – обертається контур ескізу і в результаті утворюється суцільний елемент.

Тип стінки оболонки або її відсутність можна вибрати з переліку стандартних типів, що є у списку **Тип построения тонкой стенки**:



**Немає** – тонкої стінки немає;



**Назовні** – виконується тонка стінка у напрямі відносно побудованого ескізу;



**Всередину** – виконується тонка стінка у зворотному напрямі відносно побудованого ескізу;



**Два напрями** – виконуються тонка стінка у прямому та зворотному напрямках;



**Середня площина** – виконуються тонка стінка симетрично відносно поверхні побудованого ескізу.

Після виконання основних формоутворювальних елементів моделі часто виникає необхідність виконати типові конструктивні елементи, до яких можна віднести фаски, скруглення, круглі отвори та ін. У системі КОМПАС такі елементи можна виконати швидко, без попереднього креслення ескізу або інших додаткових операцій. Для побудови фаски чи округлення достатньо вказати лише ребро або набір ребер та задати параметри – радіус скруглення, розмір фаски та її кут. Аналогічно під час побудови отвору достатньо вказати його тип і параметри. Команди створення таких типових конструктивних елементів розміщені у меню **Операції** або можуть бути викликані на палені інструментів такими кнопками:



**Скруглення** – побудова скруглення зі змінним чи постійним радіусом;



**Фаска** – побудова фаски з вказанням величини сторони та кута або за величинами двох сторін;



**Круглое отверстие** – побудова круглого отвору зі складним профілем на вказаній грані.

Розглянемо алгоритм побудови тривимірної моделі деталі «Прихват», що наведена на рис. 6.10.

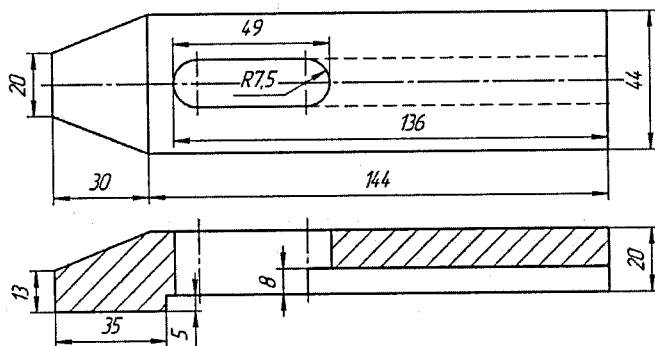


Рисунок 6.10 – Деталь «Прихват»

Тривимірна модель деталі «Прихват» може бути отримана в результаті виконання операцій видавлювання, що буде її основою, а далі операцій вирізання отворів та канавок.

У площині ХУ побудуємо ескіз основи моделі деталі (рис. 6.11).

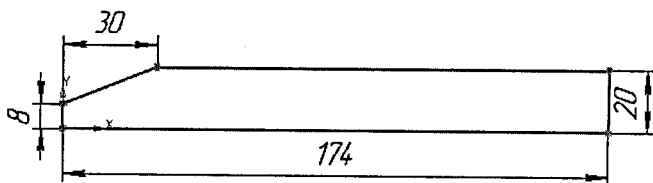


Рисунок 6.11 – Ескіз основи моделі деталі «Прихват»

Щоб завершити роботу з ескізом натискаємо на кнопку



вибираємо операцію видавлювання



На панелі властивостей вибираємо довжину видавлювання – 44 мм, тип моделі Сфероид та натискаємо кнопку **Создать объект**



В результаті виконання вказаних команд отримаємо основу тривимірної моделі деталі «Прихват» (рис. 6.12).

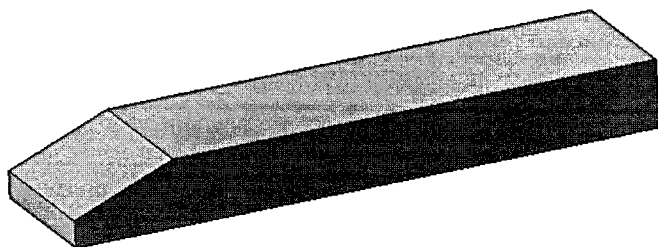


Рисунок 6.12 – Основа тривимірної моделі деталі «Прихват»  
Далі побудуємо наскрізний отвір у вигляді шпонкового пазу. Для

цього накреслимо ескіз згідно з розмірами у площині ХУ (рис. 6.13).

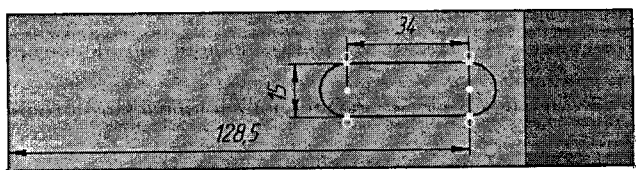


Рисунок 6.13 – Ескіз для побудови наскрізного отвору

Після виходу з режиму Ескіз виконаємо видалення елемента операцією видавлювання



У параметрах видавлювання встановлюємо параметри До поверхні. В результаті виконання вказаних команд отримаємо тривимірну модель із отвором (рис. 6.14).

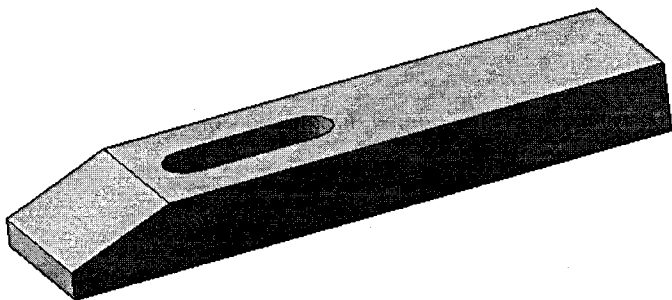


Рисунок 6.14 – Тривимірна модель деталі «Прихват» із отвором

Далі слід побудувати канавку довжиною 87 мм, що знаходиться на нижній поверхні деталі. Для цього накреслимо ескіз згідно з розмірами на торці деталі (рис. 6.15).

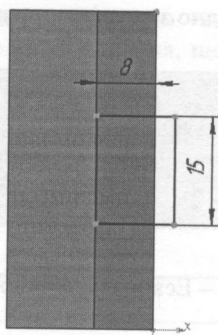


Рисунок 6.15 – Ескіз для побудови канавки

Після виходу з режиму **Ескіз** виконаємо видалення елемента операцією видавлювання, і у параметрах видавлювання встановлюємо параметри **Прямое направление** та **На расстоянии** – 87 мм. В результаті отримаємо тривимірну модель із канавкою (рис. 6.16).

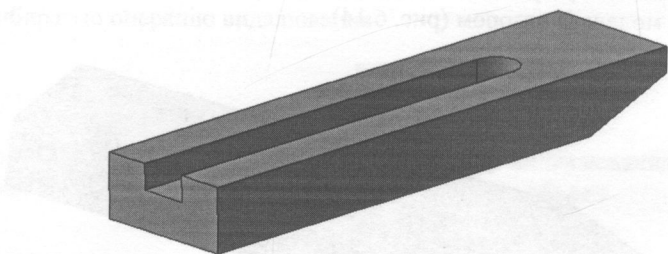


Рисунок 6.16 – Тривимірна модель деталі «Прихват» з канавкою

Далі побудуємо фаски розмірами 12 × 30 мм на кінці деталі «Прихват». Для цього накреслимо ескіз згідно з розмірами у нижній площині деталі (рис. 6.17).

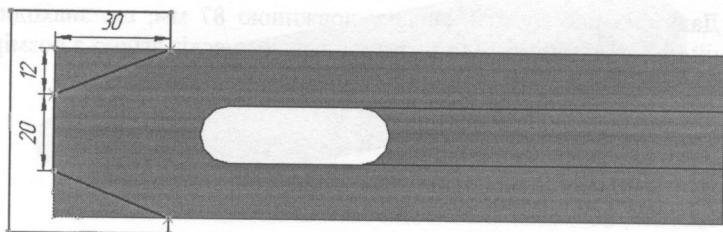


Рисунок 6.17 – Ескіз для побудови фасок

Після виходу з режиму **Ескиз** виконаємо видалення елемента операцією видавлювання, і у параметрах видавлювання встановлюємо параметри **Прямое направление** та **Через все** (рис. 6.18).

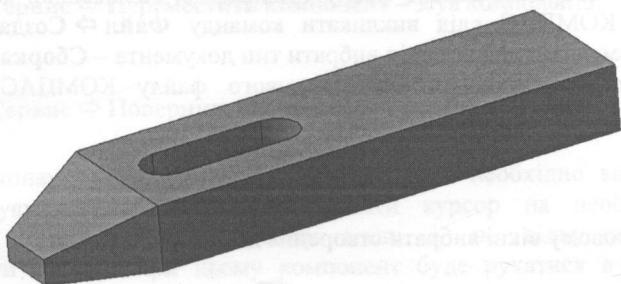


Рисунок 6.18 – Тривимірна модель деталі «Прихват» з фасками

Далі побудуємо виступ, що контактує з заготовкою. Для цього накреслимо ескиз згідно з розмірами у нижній площині деталі (рис. 6.19).

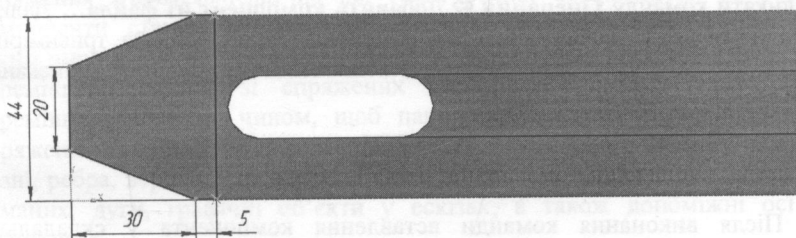


Рисунок 6.19 – Ескиз для побудови виступу

Після виходу з режиму **Ескиз** виконаємо операцію додавання видавлюванням на відстань 5 мм. В результаті буде отримана тривимірна модель деталі «Прихват» (рис. 6.20).

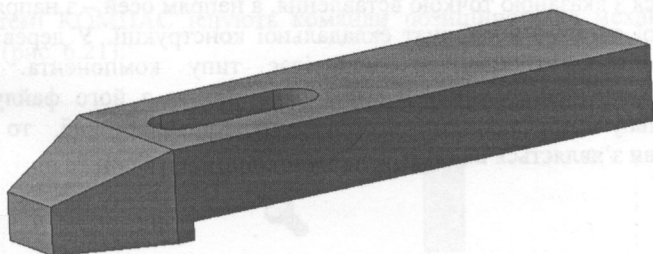


Рисунок 6.20 – Тривимірна модель деталі «Прихват»

## 6.2 Компонування тривимірних моделей деталей у складальні конструкції

Для створення нового файлу тривимірної складальної конструкції в системі КОМПАС слід викликати команду **Файл** ⇒ **Создать**. Далі, у висхідному вікні діалогу слід вибрати тип документа – **Сборка**. Або можна використати команду створення нового файлу КОМПАС на панелі інструментів



і у діалоговому вікні вибрати створення документа **Сборка**



В результаті створюється файл з вікном, в якому присутнє дерево побудови та тривимірна система координат. Для того, щоб додати у складальну конструкцію компонент (тривимірну модель деталі) необхідно викликати команду **Операции** ⇒ **Добавить компонент из файла...** Далі, у висхідному вікні діалогу відкриття файлу слід вибрати файл тривимірної моделі деталі. Також дана команда викликається в результаті натискання кнопки на панелі інструментів:



Після виконання команди вставлення компонента у складальну конструкцію на екрані з'явиться вибраний компонент, який буде прив'язаний до курсора миші. Натисканням лівої кнопки миші компонент буде вставлений у задану точку, яку можна вказати довільно або за допомогою прив'язки. Можна також ввести координати точки вставлення у полі **Точка вставки** на панелі стану. Компонент буде вставлений у поточний файл. Початок абсолютної системи координат компонента буде збігатися з вказаною точкою вставлення, а напрям осей – з напрямками осей поточної системи координат складальної конструкції. У дереві побудови з'явиться піктограма, що відповідає типу компонента. Поруч із піктограмою з'явиться назва компонента, взята з його файлу. Якщо у складальну конструкцію додається стандартний виріб, то у дереві побудови з'являється відповідна піктограма:



Додані у складальну конструкцію компоненти можна зсувати та

повертати. Для цього передбачені команди у головному меню або кнопки на панелі інструментів :



**Сервис** ⇒ **Переместить компонент** – зсув компонента;



**Сервис** ⇒ **Повернуть компонент** – поворот компонента;

Для виконання маніпуляції над компонентом необхідно викликати команду зсуву чи повертання, встановити курсор на необхідному компоненті, натиснути ліву кнопку миші і, не відпускаючи її, переміщувати курсор. При цьому компонент буде рухатися в тому ж напрямку. Коли необхідне положення компонента буде досягнуто, необхідно відпустити кнопку миші.

Після того, як у **Сборку** додані всі необхідні компоненти, можна починати роботу з їх складання, що полягає у накладанні спряжень поверхонь компонентів між собою. Наприклад, після накладання спряження *Паралельність* на дві грані різних компонентів, то і самі компоненти стають спряженими. Положення компонентів змінюється таким чином, що вибрані грані стають паралельними. В подальшому, при переміщенні одного зі спряжених компонентів інший автоматично переміщується таким чином, щоб паралельність граней зберігалась. У спряженні можуть бути координатні площини та осі, початки координат, грані, ребра, вершини тіл та поверхонь, точки, вершини кривих, сегменти ламаних, дуги, графічні об'єкти у ескізах, а також допоміжні осі та площини.

Команди керування спряженнями компонентів зосереджені у головному меню **Операции** ⇒ **Спряжения компонентов**. Кнопки виклику команд спряження знаходяться на панелі **Спряжения**:



У системі КОМПАС існують команди позиційного та механічного спряження (рис. 6.21):

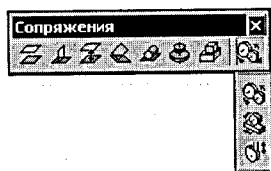


Рисунок 6.21 – Команди панелі Спряжения

Позиційні спряження виконуються за допомогою таких команд:



**Збігання компонентів.**



**Співвісність осей, циліндричних та конічних поверхонь.**



**Паралельність площин, граней, ребер та ін.**



**Перпендикулярність площин, граней, ребер та ін.**



**Розташування елементів на заданій відстані, накладається на вершини, паралельні площини, грані, ребра та ін.**



**Розташування елементів під кутом один до одного, накладається на площини, грані, ребра та ін.**



**Дотикання компонентів, які мають обмежені варіанти спряження (наприклад, прямолінійне ребро та циліндрична поверхня).**

Механічні спряження забезпечують зв'язок переміщення компонентів в складальних конструкціях механічних передач, редукторів, кулачкових та інших механізмів. Використання механічних спряжень дозволяє встановлювати спроектований механізм у різні положення за допомогою переміщення одного компонента, який приводить у рух пов'язані з ним інші компоненти. Механічні спряження виконуються за допомогою таких команд:



**Обертання – обертання – для візуалізації руху зубчастих, пасових, ланцюгових, фрикційних та інших передач.**



**Обертання – переміщення – для візуалізації руху зубчато-рейкових передач, передач гвинт-гайка та інших.**



**Кулачок – штовхач для візуалізації руху кулачкового механізму.**

### 6.3 Використання бібліотек елементів верстатних пристосувань

У CAD-системі КОМПАС реалізована можливість використання стандартних і нормалізованих об'єктів, які автоматично будуються на основі довідкових даних, що значно прискорює побудову проєктів. Всі стандартні та нормалізовані об'єкти знаходяться у головному меню Сервіс⇒Менеджер бібліотек або викликаються на панелі інструментів кнопкою Менеджер бібліотек



Після виклику Менеджера бібліотек з'являється вікно (рис. 6.22) діалогу задіяння та використання бібліотек.

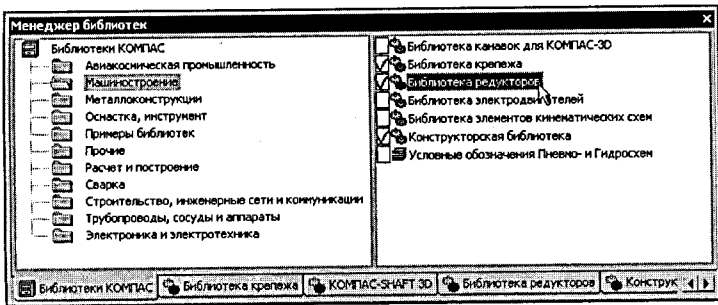


Рисунок 6.22 – Вікно Менеджера бібліотек

У правій частині вікна Менеджера бібліотек знаходиться перелік розділів бібліотек, а у лівій частині – вміст вибраної бібліотеки. Якщо бібліотека задіяна, то вона виділена відповідною червоною відміткою. Також біля кожної з бібліотек знаходиться піктограма, що характеризує тип цієї бібліотеки.



Прикладная библиотека



Библиотека фрагментов



Библиотека моделей

Керування бібліотеками здійснюється за допомогою команд контекстного меню у виділеному розділі.

Такі стандартні елементи, як болти, гвинти, гайки, шайби та інші можна знайти у розділі **Машиностроение** ⇒ **Библиотека** крепежа для КОМПАС-3D.

#### 6.4 Друкування документів САD-системи КОМПАС

САD-система КОМПАС взаємодіє з пристроями виведення на друкувальний пристрій за допомогою відповідних драйверів операційної системи. Перед виведенням на друкувальний пристрій документів системи необхідно перейти у режим попереднього перегляду. Даний режим можна викликати командою головного меню **Файл** ⇒ **Предварительный просмотр** або командою на інструментальній панелі:



В режимі попереднього перегляду з'являється власне головне меню з командами керування параметрами виведення на друкування (рис. 6.23).

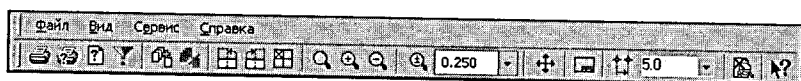


Рисунок 6.23 – Головне меню та панель керування в режимі попереднього перегляду



Друкування документа.



Виклик налаштування принтера.



Додавання документа у режим попереднього перегляду.



Видалення вибраного документа з режиму попереднього перегляду.



Поворот документа за годинниковою стрілкою.



Поворот документа проти годинникової стрілки.



Друкувати (не друкувати) виділені листи документів.

## ГЛОСАРІЙ (GLOSSARY)

- Базування – *basing*  
Закріплення – *fixing*  
Засіб вимірювання – *mean of measuring*  
Засіб контролю – *mean of control*  
Важільний затискний пристрій – *lever clamping device*  
Верстатне пристосування – *machine-tool device*  
Вимірювання – *measuring*  
Гвинтовий затискний пристрій – *spiral clamping device*  
Гідроциліндр – *hydraulic cilider*  
Ексцентрик – *eccentric*  
Індикатор годинникового типу – *indicator of sentineling type*  
Інструмент – *tool*  
Клиновий затискний пристрій – *wedge clamping device*  
Коефіцієнт запасу – *coefficient of supply*  
Кондуктор – *conductor*  
Контроль – *control*  
Контрольно-вимірювальне пристосування – *control and measuring device*  
Налаштування – *adjusting*  
Опора – *support*  
Оправка – *mounting*  
Пневмокамера – *pneumatic chamber*  
Пневмоциліндр – *pneumatic cylinder*  
Похибка базування – *error of basing*  
Похибка вимірювання – *error of measuring*  
Похибка установлення – *error of setting*  
Привод верстатного пристосування – *drive of machine-tool adaptation*  
Сила різання – *force is cutting*  
Сила закріплення – *force is fixing*  
Силовий привод – *force drive*  
Технологічна база – *technological base*  
Технологічна операція – *technological operation*  
Технологічний процес – *technological process*  
Точність – *exactness*  
Установлення – *setting*

## Перелік використаної літератури

1. Станочные приспособления : справочник в 2 т. / редкол. : Вардашкин Б. Н. (председатель) [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 1 / [под ред. Вардашкина Б. Н., Шатилова А. А.]. – 1984. – 692 с.
2. Станочные приспособления : справочник в 2 т. / редкол. : Вардашкин Б. Н. (председатель) [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 2 / [под ред. Вардашкина Б. Н., Данилевского В. В.]. – 1984. – 656 с.
3. Альбом по проектированию приспособлений : учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов / [Б. М. Базров, А. И. Сорокин, В. А. Губарь и др.] – М. : Машиностроение, 1991. – 121 с.
4. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков / Ансеров М. А. – Л. : Машиностроение, 1975. – 656 с.
5. Мироненко О. М. Курсове проектування з дисциплін «Проектування пристосувань», «Системи автоматизованого проектування технологічної оснастки» : навчальний посібник / О. М. Мироненко, Ю. А. Буренніков – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 61 с.
6. Белоусов А. П. Проектирование станочных приспособлений : учебное пособие для учащихся техникумов / Белоусов А. П. – М. : Высшая школа, 1980. – 240 с.
7. Горошкин А. К. Приспособления для металлорежущих станков : справочник / Горошкин А. К. – М. : Машиностроение, 1979. – 303 с.
8. Горохов В. А. Проектирование и расчет приспособлений : учебное пособие для студентов вузов машиностроительных спец. / Горохов В. А. – Мн. : Выш. школа, 1986. – 238 с.
9. Терликова Т. Ф. Основы конструирования приспособлений : учебное пособие для машиностроительных вузов / Терликова Т. Ф., Мельников А. С., Баталов В. И. – М. : Машиностроение, 1980. – 119 с.
10. Черпаков Б. И. Технологическая оснастка : учебник для учреждений средн. проф. образования / Черпаков Б. И. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 288 с.
11. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей / Уклад. Г. Л. Лисенко, А. Г. Буда, Р. Р. Обертюх. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 58 с.
12. Контрольно-вимірювальні пристрої технологічних машин : навч. посібник / За ред. проф. З. А. Стецька. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 321 с.
13. Работа в графичных редакторах КОМПАС-ГРАФИК та T-FLEX CAD : навчальний посібник / [Козлов Л. Г., Буренніков Ю. А., Смерчинський А. М., Хапокниш А. С.] – Вінниця : ВНТУ, 2003. – 94 с.

## Додаток А

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Інститут машинобудування та транспорту

ЗАТВЕРДЖУЮ

зав. кафедри ТАМ, проф., д.т.н.

І. О. Сивак

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

на курсовий проект за спеціальністю  
7.05050201 – «Технології машинобудування»  
з дисципліни:

«Комп'ютерне проектування технологічного оснащення»

студенту \_\_\_\_\_ групи \_\_\_\_\_

*Проектування верстатного пристосування*

Тема: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Вхідні дані:

Робоче креслення деталі: \_\_\_\_\_

Програма випуску деталей: \_\_\_\_\_

Технологічний процес механічної обробки \_\_\_\_\_

### ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

1. Складальне креслення верстатного пристосування (А1).
2. Тривимірна модель верстатного пристосування (плакат)

### ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

ВСТУП

1. Аналіз початкових даних для проектування.
2. Розробка компонування верстатного пристосування.
3. Розрахунок необхідної сили закріплення.
4. Вибір силового приводу і розрахунок його параметрів.

5. Розрахунок пристосування на точність.
6. Розробка конструкції корпусу верстатного пристосування.
7. Розрахунок деталей пристосування на міцність.
8. Опис роботи спроектованого пристосування.
9. Опис побудови тривимірних моделей деталей пристосування.

#### ЛІТЕРАТУРА

Додатки

Додаток А. Технічне завдання

Додаток Б. Графічна частина

Завдання видано «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Термін подання виконаного завдання «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завдання видав к.т.н., доц. Петров О. В. \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище та ініціали) (підпис)

Завдання отримав \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали студента) (підпис)

## Додаток Б

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Інститут машинобудування та транспорту

ЗАТВЕРДЖУЮ

зав. кафедри ТАМ, проф., д.т.н.

І. О. Сивак

(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

на курсовий проект за спеціальністю

7.05050201 – «Технології машинобудування»

з дисципліни:

«Комп'ютерне проектування технологічного оснащення»

студенту \_\_\_\_\_ групи \_\_\_\_\_

*Проектування контрольно-вимірювального пристосування (КВП)*

Тема: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Вхідні дані:

Робоче креслення деталі: \_\_\_\_\_

Програма випуску деталей: \_\_\_\_\_

Технологічний процес механічної обробки \_\_\_\_\_

### ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

1. Складальне креслення КВП (А1).
2. Тривимірна модель КВП (плакат)

### ЗМІСТ ПОЯСНОВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

ВСТУП

1. Підготовка початкових даних для проектування.
2. Вибір або розробка принципової схеми контролю.
3. Вибір основних елементів конструкції КВП.



Вінницький національний технічний університет  
Інститут машинобудування та транспорту  
Кафедра технології та автоматизації машинобудування

**КУРСОВИЙ ПРОЕКТ**

з дисципліни:  
**«Комп'ютерне проектування технологічного оснащення»**  
на тему:

**ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ  
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ»**

08-26.КПТО.01.001.000 ПЗ

Студент 1-го курсу групи 1ТМ-12сп  
спеціальність 7.05050201 –  
«Технології машинобудування»  
Іванов І. І.

Керівник: к.т.н., доцент  
Петров О. В.

Національна шкала \_\_\_\_\_  
Кількість балів \_\_\_\_\_  
Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Члени комісії:

_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)
_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)

м. Вінниця – 2013 рік

## Додаток Г

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Інститут машинобудування та транспорту

Затверджую  
керівник КП: к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Петров О. В.  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### Технічне завдання на проектування верстатного пристосування

#### 1 Підстави для виконання проекту

Розробку пристосування вести на підставі завдання до курсового проекту, складеного і затвердженого кафедрою «Технології та автоматизації машинобудування».

#### 2. Мета і призначення КП

Метою даного проекту є розробка конструкції спеціального пристосування для виконання технологічної операції на верстаті моделі 6Р13РФ3, відповідно до технічних вимог даного ТЗ та оформлення складального і монтажного креслення пристосування для виконання операції.

#### 3. Вихідні дані для виконання КП

Курсовий проект виконується вперше. Для виконання КП використовуються такі вхідні дані:

- креслення деталі «Корпус»;
- операційна карта виготовлення деталі «Корпус»;
- річна програма випуску деталей  $N_p = 3000$  шт;
- маса деталі  $m = 2,54$  кг;
- матеріал деталі Сталь 45 ГОСТ 1051-59;

Для виконання КП необхідні такі документи:

- дійсне ТЗ на проектування;
- єдина система конструкторської і технологічної документації;
- загальні правила з розробки технологічних процесів і вибір засобів технологічного оснащення згідно з ГОСТ 14.301-83;
- правила вибору технологічного оснащення;
- атласи вибору конструкції пристосувань.

#### 4. Виконавці КП

Виконавцем курсового проекту є студент гр. \_\_\_\_\_ денної форми навчання за спеціальністю 7.05050201 – «Технології машинобудування» Інституту машинобудування та транспорту.

#### 5. Вимоги до виконання КП

Конструкція пристосування повинна бути простою, надійною, зручною в експлуатації і забезпечувати можливість візуального контролю роботи основних вузлів. Габарити пристосування повинні відповідати розмірам стола верстата моделі 6P13PФ3, забезпечувати вільне позиціонування інструменту. Монтаж і кріплення пристосування на столі верстата повинно здійснюватися легко і швидко. Монтаж і кріплення пристосування на столі верстата здійснюється за допомогою гвинтів М16. Конструкція пристосування повинна забезпечувати можливість налаштування на розмір безпосередньо на верстаті. Повинно забезпечуватись вільне видалення стружки.

Технічні вимоги на деталь вказані в робочому кресленні, що додається до даного ТЗ. Основними документами на проектування є креслення деталі, операційна карта або креслення заготовки. Пристосування обслуговується верстатником третього розряду.

##### *Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації*

З метою підвищення надійності та економічності пристосування необхідно забезпечити комплектацію стандартними, установними і затискними елементами. Рівень стандартизації і уніфікації конструкції повинен бути не менше 80%.

##### *Вимоги до забезпеченості використання пристосування*

Зовнішні елементи конструкції пристосування не повинні мати поверхні з нерівностями, які є джерелом небезпеки. Радіуси заокруглень, розміри фасок зовнішніх поверхонь повинні бути не менше 1 мм. Конструкція пристосування повинна передбачати безпечність встановлення і знімання заготовки, яка ліквідує можливість їх самовільного падіння з опор.

Максимальний габаритний зазор для встановлення заготовок з метою унеможливлення защемлення рук робітника не повинен перевищувати 5 мм. Висота від рівня підлоги до органів керування повинна бути не менше 1000 мм і не більше 1600 мм.

##### *Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і ремонту*

Пристосування фарбувати емаллю ПФ методом пневморозпилювання, колір згідно з вимогами ТУ. Експлуатувати пристосування в закритому приміщенні. Технічне обслуговування і ремонт здійснювати згідно з правилами ППР. Кінцеве підналагоджування і регулювання виконати після обробки пробних заготовок.

### *Вимоги до транспортування і збереження*

Конструкція пристосування повинна забезпечувати надійність, зручність в обслуговуванні і відповідати вимогам з охорони праці при транспортуванні і встановленні пристосування на верстаті або стелажі. Пристосування зберігати на стелажах, які забезпечують всі вимоги до транспортування і зберігання. Місце зберігання – спеціальне приміщення, яке опалюється.

### 6. Етапи курсового проектування і терміни виконання КП

Етапи та терміни виконання курсового проекту здійснюються згідно з планом-графіком виконання КП, розробленого керівником КП та затвердженого на кафедрі технології та автоматизації машинобудування.

### 7. Очікувані результати та порядок реалізації КП

Результатом виконання КП є складальне креслення верстатного пристосування, виконане згідно з індивідуальним завданням. Спроектоване пристосування повинно забезпечувати вимоги до точності деталі, що вказані в розділі «Технічні вимоги», а також умови безпечної роботи, передбачені ГОСТ 12.2.029-77.

### 8. Матеріали, які подають під час закінчення КП та його етапів

В результаті виконання курсового проекту та на етапі підготовки до захисту необхідно подати такі матеріали:

- розрахунково-пояснювальну записку до КП, оформлену відповідно до вимог;
- графічну частину КП згідно з індивідуальним завданням;
- технічне завдання на виконання КП;
- відомість КП.

### 9. Порядок приймання КП та його етапів

Виконання етапів графічної та розрахункової документації курсового проекту контролюється викладачем згідно з графіком виконання проекту.

Прийняття проекту здійснюється комісією, затвердженою завідувачем кафедри ТАМ згідно з графіком захисту.

### 10. Вимоги до розробки документації

Матеріали розробленого КП мають бути підготовлені згідно з вимогами, що висуваються до КП у ВНТУ. Розрахунково-пояснювальну записку КП оформити згідно з вимогами ГОСТ 2.105-95. Графічну частину КП оформити згідно з вимогами ЄСКД.

Розробив студент \_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

*Навчальне видання*

**Петров Олександр Васильович,  
Сухоруков Сергій Іванович**

**КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
ОСНАЩЕННЯ**

Курсове проектування

Навчальний посібник

Редактор В. О. Дружиніна

Оригінал-макет підготовлено О. Петровим

Підписано до друку 12.12.2014 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 7,9.  
Наклад 75 пр. Зам. № 2015-029.

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, к. 2201.  
Тел. (0432) 59-87-36.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-87-38.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.