

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

Методичні вказівки

до виконання
дипломних проектів (робіт) для студентів напрямку
«Приладобудування»
спеціальності
«Медичні прилади і системи»

Київ-2008

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Навчальне видання

ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

Методичні вказівки до виконання
дипломних проектів
для студентів всіх форм навчання напрямку
«Приладобудування»
спеціальності “Медичні прилади і системи”

Затверджено Методичною радою НТУУ «КПІ»

Київ
НТУУ «КПІ»
2008

Дипломне проектування: Методичні вказівки до виконання дипломних проектів для студентів напрямку «Приладобудування» спеціальності “Медичні прилади і системи” усіх форм навчання. /Укл.: Г.С. Тимчик, М.Ф. Терещенко, С.П. Вислоух, О.І. Паткевич, – К.: НТУУ ”КПІ”, 2008. – 104 с.

Гриф надано Методичною радою НТТУ «КПІ»
(Протокол № 10 від 19.06 2008р.)

Укладачі: *Григорій Семенович Тимчик*, д-р техн. наук, проф.
Микола Федорович Терещенко, канд. техн. наук, доц.
Сергій Петрович Вислоух, канд. техн. наук, доц.
Ольга Іванівна Паткевич, старш. викл.

Відповідальний редактор: *Іван Вікторович Максимчук*, канд. техн. наук, доц.

Рецензент : *Людмила Петрівна Згуровська*, канд. техн. наук, доц.

За редакцією укладачів
Надруковано з оригінал-макета замовника

Темплан 2008, поз. _____

Підп. до друку

Спосіб друку – ризографія. Ум. друк. арк.

НТТУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка»
Свідоцтво ДК № 1665 від 28.01.2004 р.
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15
тел./факс (044)2416878

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	5
1. ОРГАНІЗАЦІЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	6
2. ОСОБЛИВОСТІ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	9
3. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО СТРУКТУРИ, ОБСЯГУ ТА ЗМІСТУ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)	12
4. ПОРЯДОК ДОПУСКУ ДИПЛОМНИХ ПРОЕКТІВ (РОБІТ) ДО ЗАХИСТУ	26
5. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)	27
6. ПЕРЕЛІК ДОКУМЕНТІВ ЯКІ ПРЕДСТАВЛЯЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ	30
7. ДОПОВІДЬ ПРИ ЗАХИСТІ	30
8. ВИМОГИ ДО ВІДГУКУ КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	30
9. ВИМОГИ ДО РЕЦЕНЗІЇ	31
10. ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	32
11. ДОДАТКИ	34
Додаток А Форма титульного аркуша пояснювальної записки	34
Додаток Б. Форма завдання на дипломний проект (роботу)	35
Додаток В. Форма календарного план-графіку виконання дипломного проекту (роботи)	37
Додаток Г. Форма відгуку керівника дипломного проекту (роботи)	38
Додаток Д. Форма направлення на рецензування дипломного проекту (роботи)	39
Додаток Е. Форма рецензії на дипломний проект (роботу)	40

Додаток Ж. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК СХЕМИ АКУСТИЧНОГО ТРАКТУ	41
Додаток З. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ	55
Додаток К. ОЦІНКА РІВНЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ПРИЛАДУ (СКЛАДАЛЬНОЇ ОДИНИЦІ)	66
Додаток Л. РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ	78
Додаток М. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ ВИРОБУ	96

ВСТУП

Методичні вказівки мають за мету дати відповідь на всі організаційні питання, що виникають у студентів під час виконання дипломного проекту та окреслити вимоги щодо оформлення документації з дипломного проектування.

Методичні вказівки розроблено на підставі:

- Законів України “Про освіту” та “Про вищу освіту”;
- Положення про організацію навчального процесу у вищих навчальних закладах (наказ міністра освіти України від 02.06.1993 р. № 161);
- Положення про організацію навчального процесу в НТУУ “КПІ”;
- Положення про організацію дипломного проектування та державної атестації студентів НТУУ “КПІ”
 - Статуту НТУУ “КПІ” (затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 22.11.2004 р. № 1592);
 - Державного класифікатора професій ДК 003-95;
 - Державного класифікатора видів економічної діяльності ДК 009-96.

Методичні вказівки є нормативним документом який визначає вимоги до організації дипломного проектування та державної атестації випускників усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів, підготовка яких здійснюється по спеціальності «Медичні прилади і системи».

Слід зауважити, що всі матеріали методичних вказівок викладені стисло. Вичерпні відповіді студенти повинні знаходити в додатковій літературі, оскільки проектна робота включає в себе інформаційний пошук.

1. ОРГАНІЗАЦІЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Мета дипломного проектування

Дипломне проектування є завершальною стадією навчання студентів в університеті, головною метою якої є оволодіння методологією творчого вирішення (розв'язання) сучасних проблем (задач) наукового або(та) прикладного характеру на основі отриманих знань, професійних умінь та навичок відповідно до вимог стандартів вищої освіти.

Основні задачі дипломного проектування:

– систематизація, закріплення і розширення теоретичних знань, отриманих у процесі навчання за освітньо-професійною програмою підготовки фахівця певного освітньо-кваліфікаційного рівня, та їх практичне використання при вирішенні конкретних інженерних, наукових, економіко-соціальних і виробничих питань в області медичного приладобудування;

– розвиток навичок самостійної роботи, оволодіння методикою досліджень та експериментування, фізичного або математичного моделювання, використання сучасних інформаційних технологій у процесі розв'язання задач, які передбачені завданням на дипломне проектування;

– визначення відповідності рівня підготовки випускника вимогам освітньо-кваліфікаційної характеристики фахівця, його готовності та спроможності до самостійної роботи в умовах ринкової економіки, сучасного виробництва, прогресу науки, техніки та культури.

–

Етапи дипломного проектування

Організаційно процес дипломного проектування складається з наступних етапів:

– підготовчого, який починається з вибору студентом теми та отримання індивідуального завдання від керівника дипломного проекту щодо питань, які необхідно вирішити під час переддипломної практики за темою ДП (ДР) (ознайомлення зі станом проблеми, збирання фактичних матеріалів, проведення патентного пошуку, проведення необхідних спостережень, експериментів, досліджень тощо), включає освоєння програми переддипломної практики і завершується складанням та захистом звіту про її проходження;

– основного, який починається одразу після захисту звіту про практику й завершується орієнтовно за два тижні до захисту ДП (ДР) на засіданні Державної екзаменаційної комісії (ДЕК). На цьому етапі проект (робота) повинен бути повністю виконаний, перевірений керівником та консультантами;

– заключного, який включає отримання відгуку керівника та рецензії на дипломний проект (роботу), візи завідувача випускової кафедри про допуск до захисту, проведення (за необхідності) попереднього захисту на кафедрі, подання проекту (роботи) до ДЕК (за два дні до його захисту на засіданні ДЕК).

Теми дипломних проектів (робіт) розробляє кафедра з урахуванням специфіки спеціальності медичні прилади і системи, вимог галузевих стандартів вищої освіти (ОКХ, ОПП, засобів діагностики) для освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліст, власного досвіду керівництва дипломним проектуванням, наукових досліджень та професійних інтересів професорсько-викладацького складу кафедри, замовлень і рекомендацій виробничих підприємств, науково-дослідних інститутів, медичних закладів тощо. Окремі теми ДП (ДР) можуть бути запропоновані студентами з відповідним обґрунтуванням доцільності їх розробки. Як правило, вони пов'язані з науково-дослідною роботою студента (НДРС) на кафедрі або його професійною діяльністю (для заочників).

Теми ДП (ДР) повинні бути актуальними, відповідати сучасному рівню науки, техніки і технологій, спрямовані на вирішення регіональних і національних потреб та проблем розвитку медичного приладобудування. Назва теми повинна бути, за можливості, короткою, чітко і конкретно відображати мету та основний зміст проекту (роботи) і бути однаковою в наказі ректора про закріплення тем і керівників за студентами, завданні на ДП (ДР), титульному аркуші пояснювальної записки, кресленнях, документах ДЕК та в додатку до диплома. Як правило, вона повинна розпочинатися з назви загального об'єкта проектування (системи, процесу), а закінчуватися назвою його складової (вузла, блоку, датчика, елемента, технологічної операції), яка докладно розробляється і розраховується у спеціальній частині проекту (роботи).

Назва теми комплексного ДП (ДР) складається з назви загальної частини і, через крапку, з назви конкретної частини, яку відповідно до індивідуального завдання розробляє кожний студент.

Вибір теми ДП (ДР) здійснюється за заявою студента за довільною формою на ім'я завідувача кафедри та узгодженою з керівником проекту (роботи). Темою дипломного проекту кваліфікаційного рівня спеціаліст чи магістр може бути розвиток теми бакалаврської роботи з висвітленням додаткових питань по модернізації, покращенню, проведенню уточнюючих розрахунків, алгоритмів, нових корисних моделей, патентів, розробки та дослідження наукової задачі в конструкторській, технологічній та економічній частинах, а також введенням додатково розділу з охорони праці та довкілля.

Після підписання зазначеними особами, тема ДП (ДР) передається секретарю кафедри або відповідальному за організацію дипломного проектування на кафедрі для підготовки матеріалів з дипломного проектування, необхідних для використання на кафедрі та надання у деканат факультету. Допускається варіант вибору теми ДП (ДР) зі списку

тем та керівників, наданого кафедрою, шляхом попередньої бесіди з керівником, його згоди та подальшим підписом студента, зазначенням його прізвища, ім'я, по батькові та дати обрання теми ДП (ДР) у цьому списку, який зберігається на кафедрі. Корекція або зміна теми ДП (ДР) допускається, як виняток, після проходження студентом переддипломної практики та захисту звіту за її результатами, упродовж одного тижня, а остаточне закріплення за студентом теми ДП (ДР) та призначення керівника здійснюється наказом по університету протягом двох тижнів.

2. ОСОБЛИВОСТІ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Завдання за формою, що наведена в Додатку, з урахуванням рекомендацій та вимог, наведених нижче, затверджується завідувачем кафедри виробництва приладів і видається дипломнику:

– освітньо-кваліфікаційного рівня “спеціаліст” не пізніше одного тижня після початку дипломного проектування (умовне позначення у графіку навчального процесу “ДП”);

– освітньо-кваліфікаційного рівня “магістр” не пізніше одного тижня після початку періоду підготовки дипломної роботи (умовне позначення у графіку навчального процесу “ДР”);

– освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр” не пізніше одного місяця після початку 8-го семестру (за денною формою навчання) та 9-го семестру (за заочною формою навчання).

Якщо навчальним планом підготовки фахівця передбачена переддипломна практика, керівник повинен видати дипломнику завдання стосовно питань ДП (ДР) перед її початком.

У завданні зазначаються:

– тема дипломного проекту (роботи) та наказ по університету, яким вона затверджена (вписується після отримання наказу деканатом);

– термін здачі студентом закінченого проекту, який встановлюється рішенням кафедри виробництва приладів або вченої ради факультету (інституту) з урахуванням часу, необхідного для отримання відгуку керівника, візи завідувача кафедри про допуск до захисту, рецензії на ДП (ДР) та подання секретарю ДЕК не пізніше ніж за два дні до захисту;

– вихідні дані до проекту (роботи). Тут зазначаються лише кількісні або (та) якісні показники (характеристики) об'єкта проектування, яким він повинен відповідати після розробки в даному дипломному проекті; умови, в яких повинен функціонувати об'єкт проектування (часові, просторові, кліматичні, енергетичні, навантажувальні, екологічні, ергономічні); припустимі відхилення від нормативних значень показників або похибки (максимальні, мінімальні, середньоквадратичні) тощо. Вихідні дані до дипломної роботи повинні визначати кількісні або (та) якісні показники щодо умов, засобів та методів, які характеризують спрямованість наукового дослідження, конкретизують методику розв'язання теоретичних проблем та проведення експерименту, якщо останнє не є предметом самостійного вибору студента в процесі виконання дипломної роботи. Залишати цей розділ завдання незаповненим або зазначати в ньому літературні джерела (крім тих, де надається опис і характеристика конкретного об'єкта-прототипу) неприпустимо.

– перелік питань, які повинні бути розроблені. При цьому зазначаються конкретні завдання з окремих частин проекту (роботи) (конструкторської, технологічної, економічної, охорони праці та навколишнього середовища та інших (за необхідності)), послідовність та зміст яких визначають фактично програму дій дипломника та майбутню структуру пояснювальної записки. Формулювання цих завдань з кожної частини проекту (роботи) повинно бути в наказовому способі, тобто починатися зі слів: “Розробити...”, “Обґрунтувати...”, “Оптимізувати...”, “Провести аналіз...”, “Розрахувати...” тощо;

– перелік графічного (ілюстративного) матеріалу. Цей пункт завдання визначає креслення, діаграми, гістограми, малюнки, плакати тощо, які є обов'язковими для виконання в даному проекті. Кількість обов'язкових креслень (ілюстрацій) та їх формати визначається темою дипломного проекту (роботи) та її кваліфікаційним рівнем;

– консультанти з окремих питань (або частин) проекту (роботи). В даному пункті завдання зазначаються назви питань (наприклад, з питань економічного обґрунтування проекту або просто з економічних питань, питань охорони праці, з технологічних та інших спеціальних питань) та вчене звання, прізвище, ініціали й посада консультанта з цих питань;

– дата видачі завдання. Завдання підписується керівником ДП (ДР), який несе відповідальність за реальність виконання та збалансованість його обсягу з часом, відведеним на дипломне проектування, а також студентом, який своїм підписом засвідчує дату отримання завдання для виконання. Завдання є необхідною складовою пояснювальної записки. Внесення до нього суттєвих змін допускається, як виняток, рішенням випускової кафедри на прохання керівника ДП (ДР) тільки протягом місяця від початку дипломного проектування.

При розробці завдань на дипломне проектування треба враховувати відмінності виробничих задач діяльності фахівців різних освітньо-кваліфікаційних рівнів, які визначаються їх освітньо-кваліфікаційними характеристиками. Виробничі задачі бакалавра передбачають переважно діяльність за заданим алгоритмом на експлуатаційному рівні, що містить процедуру часткового конструювання відповідних рішень (стереотипні та переважно діагностичні задачі); спеціаліста – діяльність за складним алгоритмом переважно на технологічному рівні, що містить процедуру конструювання нових рішень (діагностичні та переважно евристичні задачі); магістра – інноваційну діяльність за складним алгоритмом на

дослідницькому рівні, що містить процедуру конструювання нових рішень (евристичні задачі).

Таким чином, завдання на дипломний проект (роботу) бакалаврів повинно орієнтувати на розв'язання в основному діагностичних задач, що потребує не тільки вибору відомих методів рішень, а й перетворення їх для нових (нестандартних) умов. Завдання на дипломний проект спеціалістів та магістрів повинно бути зорієнтовано на вирішення переважно евристичних задач, а дипломна робота – на експериментальні або (та) теоретичні наукові дослідження та вирішення певних проблем у відповідній галузі знань.

3. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО СТРУКТУРИ, ОБСЯГУ ТА ЗМІСТУ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

Дипломний проект (робота) будь-якого освітньо-кваліфікаційного рівня за змістом повинен відповідати визначенню, відповідно до вимог стандартів вищої освіти комплект документації, який включає текстову та графічну (ілюстративну) частини і на підставі публічного захисту якого рішенням державної екзаменаційної комісії йому надається диплом державного зразка про закінчення ВНЗ, отримання певного освітнього рівня вищої освіти та здобуття кваліфікації.

Дипломні проекти (роботи) різних освітньо-кваліфікаційних рівнів за своєю структурою практично однакові, а за обсягом, повнотою та інженерним (науковим) рівнем розробки (дослідження) питань розрізняються, що є наслідком відмінності виробничих задач діяльності фахівця.

Зокрема, дипломні проекти бакалаврів з спеціальності «Медичні прилади і системи» передбачають, в основному, проектування (або модернізацію) окремих елементів обладнання (комплексів, систем, приладів тощо) з метою забезпечення або покращення їх технічних чи експлуатаційних характеристик. Система у вигляді опису та сукупності її характеристик або конкретний тип обладнання визначається вихідними даними завдання на дипломне проектування. Тому розробляти вимоги до системи в цілому або до будь-якої її підсистеми (тобто розробляти технічне завдання) в ДП бакалавра не обов'язково. З цього погляду він наближається до комплексного курсового проекту й може складати основу спеціального розділу в майбутньому дипломному проекті спеціаліста за умови, що тематика (напрямок) розробки зберігається, а автором є той самий студент (бажано також і керівник обох проектів).

Дипломні проекти спеціалістів передбачають, як правило, розробку технічного завдання на систему в цілому або її підсистему з наступним детальним проектуванням елементів системи і вирішенням питань охорони праці, техніки безпеки, екології тощо також стосовно системи в цілому.

Дипломні роботи різних освітньо-кваліфікаційних рівнів також різняться. Якщо дипломні роботи ОКР спеціаліста і, особливо, ОКР магістра повинні бути, як правило, самостійним закінченим науковим дослідженням проблеми в певній галузі, то дипломні роботи ОКР бакалавра можуть мати лише самостійні фрагменти досліджень у межах загальної проблеми.

Дипломний проект складається з пояснювальної записки та обов'язкового графічного матеріалу (креслень), а дипломна робота – з пояснювальної записки та обов'язкового ілюстративного матеріалу (плакатів, які містять діаграми, графіки залежностей, таблиці, малюнки тощо). Крім того, при захисті може використовуватись додатково демонстраційний матеріал в графічному (на папері, плівках), електронному (відеоматеріали,

мультимедіа, презентації тощо) або натурному (моделі, макети, зразки виробів тощо) вигляді.

Орієнтовний обсяг, з урахуванням викладеного в попередньому пункті, складає:

– дипломних проектів (робіт) бакалавра:

пояснювальна – 50-70 сторінок; обов’язковий графічний (ілюстративний) матеріал – не менше 3 аркушів креслень (плакатів) формату А1;

– дипломних проектів (робіт) спеціаліста:

пояснювальна записка – 80-100 сторінок; обов’язковий графічний (ілюстративний) матеріал – не менше 6 аркушів креслень (плакатів) формату А1;

– дипломних робіт магістра:

пояснювальна записка – 80-100 сторінок; обов’язковий ілюстративний матеріал – не менше 6 аркушів плакатів формату А1.

Пояснювальна записка до дипломного проекту (роботи) повинна у стислій та чіткій формі розкривати творчий задум проекту (роботи), містити аналіз сучасного стану проблеми, методів вирішення завдань проекту, обґрунтування їх оптимальності, методики та результати розрахунків, опис проведених експериментів, аналіз їх результатів і висновки з них; містити необхідні ілюстрації, ескізи, графіки, діаграми, таблиці, схеми, малюнки та ін. В ній мають бути відсутні загальновідомі положення, зайві описи, виведення складних формул тощо. Текст пояснювальної записки складається, як правило, державною або російською (для іноземних студентів) мовою в друкованому вигляді на аркушах формату А4 шрифтом Times New Roman 14 пунктів, міжрядковий інтервал 1,5 Lines.

Структура пояснювальної записки умовно поділяється на вступну частину, основну частину та додатки.

Вступна частина:

- титульний аркуш, форма якого наведена в Додатку А;
- завдання на дипломне проектування (форма дана в Додатку Б);
- реферат (анотація) українською та іноземною мовами;
- зміст;
- перелік скорочень, умовних позначень, термінів;
- вступ.

Основна частина:

- розділи (глави), які розкривають основний зміст проекту відповідно до переліку питань, наданих у завданні на дипломне проектування;
 - техніко-економічне обґрунтування та питання організації виробництва;
 - питання охорони праці, техніки безпеки, екології та охорони навколишнього середовища тощо;
 - закінчення (загальні висновки);
 - перелік посилань.

Додатки.

Реферат (анотація) обсягом 0,5–1 с. державною та іноземною (яку вивчав студент) мовами повинен стисло відображати загальну характеристику та основний зміст ДП (ДР) і містити:

- відомості про обсяг пояснювальної записки, кількість ілюстрацій, таблиць, креслень, додатків і бібліографічних найменувань за переліком посилань;
- мету проекту (роботи), використані методи та отримані результати (характеристика об'єкту проектування, нові якісні та кількісні показники, економічний ефект тощо);
- рекомендації щодо використання або (та) результати впровадження розробок або досліджень (отримані патенти, прийняті заявки на патент, публікація в наукових журналах, акти про впровадження тощо);

– перелік ключових слів (не більше 20).

Вступ повинен відображати актуальність і новизну проекту (роботи) та містити:

– обґрунтування необхідності нової розробки або удосконалення (модернізації) існуючого об'єкта проектування на основі аналізу сучасного стану проблеми за даними вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури, патентного пошуку та досвіду роботи підприємств, установ, провідних фірм у відповідній галузі виробництва, економіки або науки;

– обґрунтування основних проектних рішень або напрямків досліджень;

– можливі галузі застосування результатів проекту (роботи).

– економіко-технічна доцільність розробки та впровадження в медичну практику.

–

Основна частина пояснювальної записки складається з таких розділів.

1. Конструкторський розділ

Метою розробки конструкторського розділу є:

– підтвердити рівень практичного засвоєння навчальних дисциплін;

– показати уміння на практиці використовувати набуті знання в вирішенні конкретних технічних завдань, розробки нових та модернізації діючих зразків медичних приладів;

– виконати інженерні електричні, оптичні, акустичні, пневматичні та інші види розрахунків блоків, датчиків та приладу в цілому.

В даному розділі виконується анатомо-фізіологічний огляд частин тіла, органів та систем організму, для яких використовується прилад, що розробляється в дипломному проекті. Проводиться біофізичний аналіз інформаційних сигналів організму для діагностичних приладів та сигналів впливу – для фізіотерапевтичних, хірургічних і відновлювальних приладів

та систем. На основі отриманого матеріалу виконується перший аркуш формату А1 графічної частини дипломного проекту.

Конструкторська розробка проекту розпочинається з глибокого аналізу відомих технічних рішень та результатів патентного пошуку за темою дипломного проекту. Для цього виконується огляд науково-технічної, літературної та патентної інформації за темою проекту, аналізуються вже спроектовані та існуючі варіанти медичних приладів визначеного напрямку. Пропонується обґрунтована класифікація приладів з виділенням групи напрямку проектування (аркуш формату А1 графічної частини). На основі аналізу та запропонованої класифікації здійснюється вибір і обґрунтування раціонального варіанту структурної та функціональної схем, конструкції приладу та його вимірювального, випромінюючого перетворювача або іншого блоків приладу.

Початковою інформацією для розробки конструкції приладу є дані третього та четвертого розділів завдання на дипломний проект. Виконується поглиблений аналіз та приводиться структурно-функціональна схема приладу (креслення формату А1). Акцентується та виділяється основні проблемні місця в даному приладі та пропонуються шляхи їх вирішення. Якщо це нове технічне рішення, то за цим матеріалом може бути оформлена заявки на передбачуваний патент. Проводиться розробка та розрахунок оптичної, кінематичної, акустичної, електричної структурно-функціональної схеми блоків та всього приладу в цілому (креслення формату А1). Виконується детальний розрахунок його кінематичних, оптичних, електричних та інших параметрів, в тому числі – розрахунок коефіцієнтів підсилення, акустичної емісії, чутливості, шуму, захисту від впливу електромагнітних хвиль, електромагнітної сумісності тощо. Типові приклади виконання таких розрахунків наведено в додатках Ж , Е та в [1, 2]. Провіряються узгоджені рівні сигналів на входах та виходах блоків, їх електромагнітна сумісність. На основі обґрунтування

вибраної елементної електронної бази розробляються електричні принципові схеми основних блоків та приладу. Проводиться узгодження амплітудних та частотних характеристик структур та блоків. Виконується детальний аналіз та розробка алгоритмів функціонування блоків та приладу. Пропонується найбільш доцільний та обґрунтований варіанту нового або модернізованого принципу побудови структурної або функціональної схеми, конструкції блока, датчика, вимірювального або випромінюючого перетворювача (креслення формату А1). Аналізується конструктивне виконання наданого завданням на дипломне проектування основного блока, вузла або датчика. По цьому блоку виконується складальне креслення формату А1 та деталювання приладу або складальної одиниці (креслення формату А1).

В дипломних роботах магістрів приводяться постановка задачі та шляхи виконання експериментальних досліджень, розробка методики дослідження, пропонується фізична модель об'єкта «датчик-сигнал-біологічна тканина», виводиться математичний вираз та розрахункова формула обчислення фізичної дії сигналу на біологічний об'єкт, приводиться детальна конструкція експериментальної установки або обладнання. Виконується поглиблений аналіз результатів дослідження. Формулюються, обґрунтовуються та захищаються наукові результати досліджень.

Для дипломних проектів бакалавра та спеціаліста пропонується методика та схеми перевірки основних параметрів приладу, розраховується точність вимірювання та відтворення динамічного або частотного діапазонів. Проектуються структуровані регламенти обслуговування, ремонту та наладки приладу [3] (креслення формату А1). Робляться висновки на основі приведених розрахунків та розроблених структур.

За матеріалами конструкторського розділу надається графічний (ілюстративний) матеріал – не менше 6 аркушів креслень (плакатів) формату А1.

2. Технологічний розділ

Технологічна частина дипломного проекту має за мету закріпити практичні навички самостійного розв'язання інженерних задач з технологічної підготовки виробництва приладів. При виконанні дипломного завдання студент отримує можливість розширити свої теоретичні знання в області проектування технологічних процесів складання приладів, визначення їх технологічності, проектування та розрахунку технологічних пристосувань.

В якості об'єкта для виконання технологічної частини дипломного проекту можуть бути прилад або складальна одиниця, що складається не менше 10 найменувань основних оригінальних деталей. При цьому прилад або складальна одиниця повинні бути розроблені, спроектовані та розраховані в конструкторській частині дипломного проекту, а загальний вигляд приладу (складальної одиниці) наведено на одному із аркушів графічної частини дипломного проекту. Використання в якості об'єкта для технологічного завдання приладів (складальних одиниць), що не входять в склад розрахунково-конструкторської документації, не допускається. В кожному конкретному випадку завдання на технологічну частину дипломного проекту підлягає узгодженню з керівником (консультантом) з технологічної частини.

Початковими даними для виконання технологічного завдання є:

- креслення приладу або складальної одиниці;
- опис приладу (складальної одиниці) або посилання на його опис в конструкторській частині;
- технологічні умови на прилад (складальну одиницю);
- програма випуску приладів;

- строки випуску приладів для малосерійного та серійного виробництва, розміри партій.

Аналіз початкових даних дає представлення про конструктивні та технологічні особливості приладу, складальних одиниць і деталей, а також про складність та точність технологічних процесів.

Технологічна частина технологічного проекту складається із технологічного розділу пояснювальної записки й графічної документації.

Розділ пояснювальної записки включає:

- вступ;
- опис об'єкта для технологічного завдання;
- визначення технологічності конструкції приладу (складальної одиниці);
- розрахунок точності складання (розрахунок геометричної точності або розрахунок приладу на фізичну взаємозамінність);
- розробку технологічного процесу складання приладу (складальної одиниці);
- призначення, опис конструкції та роботи пристосування та його розрахунок;
- висновки.

В окремих випадках керівник (консультант) технологічної частини дипломного проекту видає тему з дослідницьким нахилом. Здійснюючи цю роботу студент розв'язує необхідні теоретичні питання й виконує практичні роботи.

Графічна документація технологічного завдання складається з 1 – 2 аркушів формату А1 і включає схему складального складу та технологічну схему складання приладу (складальної одиниці), а також розроблене пристосування або стенд, установку, пристрій (в подальшому – пристосування), що використовується на завершальній стадії виготовлення приладу (складальної одиниці) або при його ремонті (налаштуванні).

В якості такого пристосування може бути:

- стенд для повірки приладу;
- стенд для градування приладу;
- пристосування для складання;
- установка для тарирування;
- пристосування для контролю правильності складання;
- установка для випробування;
- стенд для реєстрації технічних характеристик;
- пристосування для налаштування приладу (складальної одиниці)

тощо.

Необхідність розробки пристосування повинна бути обґрунтована в пояснювальній записці. Доцільно також навести економічну ефективність використання спроектованого пристосування.

У вступі наводиться постановка задачі технологічної частини дипломного проекту, вказується мета й задачі технологічної частини, дається обґрунтування необхідності проектування. Об'єм вступу не повинен перевищувати 1-2 сторінки.

В підрозділі опису об'єкта технологічного завдання дається аналіз приладу (складальної одиниці) з посиланням на аркуш графічної частини, де наведено загальний вигляд приладу, наводиться опис технологічних особливостей виготовлення виробу, при необхідності виконуються ескізи складальних одиниць.

Комплексно аналізуючи об'єкт **завдання**, необхідно звернути увагу на **ступінь** поділу приладу на складальні одиниці, **характер** та спосіб **з'єднання** окремих деталей, особливі вимоги, що пред'являються до приладу та складальних одиниць, тощо

Визначення технологічності конструкції виробу має за мету зниження трудомісткості його виготовлення, використання в ньому стандартних і уніфікованих складових частин, використання уніфікованих

елементів конструкцій деталей, можливість застосування типових технологічних рішень тощо. Методика визначення рівня технологічності виробів приладобудування здійснюється згідно з ГОСТ 14.201–88. Всі показники технологічності класифікуються за такими ознаками: вид об'єкта та область використання; кількість ознак технологічності; область аналізу; спосіб визначення; значимість; система оцінки тощо. Вибір складу показників технологічності конструкцій виробів виконується відносно конкретних виробів (ГОСТ 14.202–88).

Окрім визначення часткових показників технологічності конструкції виробу необхідно визначити комплексний показник, а також дана оцінка технологічності конструкції як за частковими, так і комплексним показниками.

Методика визначення технологічності конструкції приладу (або складальної одиниці приладу) наведена в додатку К.

Розрахунок точності складання має за мету врахувати вплив похибок виготовлення деталей і складальних одиниць на вихідні параметри складальних одиниць і приладів. В залежності від теми дипломного проекту та змісту розрахунково-конструкторської частини виконується або розрахунок геометричної точності (розмірного ланцюга), або розрахунок фізичної взаємозамінності. Вид розрахунків визначається керівником (консультантом) технологічної частини дипломного проекту. Необхідність виконання цих розрахунків повинна бути обґрунтована. Розрахунок розмірних ланцюгів здійснюється згідно з ГОСТ 16319–80 та ГОСТ 16320–80. Розрахунок фізичної взаємозамінності приладу (складальної одиниці) має за мету отримати необхідну величину вихідного фізичного параметра виробу в межах всієї партії виробів, що складаються.

Методику розрахунків точності виконання механоскладальних робіт наведено в додатку Л.

Проектування технологічного процесу складання приладу (складальної одиниці) складається з таких етапів:

- на основі аналізу конструкторської документації розробляється схема складального складу й технологічна схема складання;
- здійснюється вибір організаційної форми складання з врахуванням конструктивних особливостей виробу, річної програми випуску, умов взаємозамінності тощо;
- здійснюється вибір методу складання на основі вимог взаємозамінності та прийнятої організаційної форми складання;
- розробляється технологічний маршрут складання;
- вибирається обладнання робочих місць в відповідності з призначенням складальних операцій;
- вибирається універсальне і проектується спеціальне оснащення;
- для виконання складальних операцій вибираються допоміжні матеріали (припій, флюс, клей тощо);
- встановлюються режими роботи для кожної операції;
- згідно з відповідними нормативами визначається розряд робочого-складальника;
- виконується нормування складальних робіт.

Результати проектування технологічного процесу складання приладу (складальної одиниці) оформляються в вигляді відповідного підрозділу пояснювальної записки, схем складального складу та технологічної схеми складання, що наводяться в графічній частині проекту, та комплекту технологічної документації (маршрутних та операційних карт), які надаються в додатку до пояснювальної записки дипломного проекту.

Особливості розробки технологічного процесу складання та послідовність її виконання наведено в додатку М.

Вид розроблюваного технологічного пристосування залежить від багатьох факторів і повинен бути узгоджений з керівником

(консультантом) з технологічної частини дипломного проекту й вибраний з раніш наведеного можливого переліку пристосувань. При цьому в пояснювальній записці дається призначення пристосування, опис його конструкції та робота з посиланням на загальний вигляд пристосування (не менше двох проекцій), який представляється в графічній частині проекту на форматі А1. Крім того, в пояснювальній записці наводиться розрахунок основних елементів пристосування (розрахунок кінематичний схеми, електричних, оптичних тощо параметрів).

В висновках з технологічної частини дипломного проекту наводяться основні результати, що отримані в технологічній частині проекту, та їх відповідності поставленим завданням.

Економічний розділ

В цьому розділі наводиться техніко-економічне обґрунтування дипломного проекту, розрахунок економічного ефекту; розрахунок основних техніко-економічних показників при розробці дослідного зразка приладу, розрахунок основних фондів, матеріальних витрат, заробітної плати, собівартості одиниці продукції, техніко-економічних показників тощо.

В кожному конкретному випадку в залежності від теми дипломного проекту зміст економічної частини дипломного проекту та вид виконуваних розрахунків узгоджується з консультантом з економічних питань.

Розділ охорони праці та довкілля

Зміст та питання, що виносяться в цей розділ, узгоджуються з консультантом з охорони праці та довкілля в залежності від теми дипломного проекту.

В розділі виконується аналіз умов праці, оцінка шкідливих факторів, дотримання техніки безпеки, розрахунок освітлення виробничих приміщень або діагностичних центрів, вентиляції тощо, наводяться санітарно-технічні вимоги та пожежна безпека, надаються пропозиції та вказуються заходи щодо забезпечення охорони праці, техніки безпеки, охорони довкілля.

Загальні висновки до дипломного проекту повинні містити інформацію щодо відповідності отриманих результатів завданню на дипломне проектування та висунутим вимогам, характер виконаної роботи (закінчена чи ні), її актуальності, можливість впровадження або застосування результатів.

Перелік літератури. Тут наводиться перелік використаних літературних джерел в порядку посилання на них в основній частині пояснювальної записки дипломного проекту. Оформлення літературних джерел здійснюється згідно з ДСТУ.

До додатків виносяться:

- технічне завдання на ДП (ДР) (крім ОКР бакалавра);
- специфікації на загальні види креслень, що надані в графічній частині дипломного проекту;
- методики і протоколи випробувань приладу;
- регламенти повірки, обслуговування та ремонту приладу;
- результати патентного дослідження;
- виведення розрахункових формул;
- схеми алгоритмів роботи приладу або виконання необхідних обчислень;
- тексти відповідних програм;

- комплект технологічної документації в вигляді маршрутних та операційних карт, відомостей технологічного оснащення, обладнання, інструментів тощо;
- акти про впровадження у виробництво та копії патентів, отриманих дипломником;
- інші матеріали, які допомагають більш повно і докладно розкрити задум та шляхи реалізації проекту (роботи).

4. ПОРЯДОК ДОПУСКУ ДИПЛОМНИХ ПРОЕКТІВ (РОБІТ) ДО ЗАХИСТУ

До захисту в ДЕК допускаються дипломні проекти (роботи), теми яких затверджені наказом ректора університету, а структура, зміст та якість викладення матеріалу та оформлення відповідають вимогам методичних рекомендацій (вказівок) кафедри виробництва приладів, що підтверджено підписами керівника та консультантів проекту (роботи) та наявністю відгуку керівника ДП (ДР).

Допуск до захисту ДП (ДР) у ДЕК здійснюється завідувачем випускової кафедри, який приймає позитивне рішення на підставі викладеного вище або підсумків попереднього захисту проекту (роботи) на кафедрі, якщо це оформлено відповідним протоколом засідання кафедри. Допуск підтверджується візою завідувача кафедри на титульному аркуші пояснювальної записки. Списки студентів, допущених до захисту, затверджуються деканом факультету (директором інституту).

Проект (робота), в якому виявлені принципові недоліки в прийнятих рішеннях, обґрунтуваннях, розрахунках та висновках, суттєві відхилення від вимог державних стандартів, до захисту в ДЕК не допускаються. Рішення про це приймається на засіданні кафедри, витяг з протоколу якого разом зі

службовою завідувача кафедри подаються декану факультету (директору інституту) для підготовки матеріалів до наказу ректора про відрахування студента.

Дипломний проект (робота), допущений до захисту в ДЕК, направляється завідувачем кафедри на рецензування.

5. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

Дипломний проект (робота) виконується комп'ютерними засобами відповідно до стандарту на виконання із використанням друкуючих і графічних пристроїв ЕОМ.

Робота оформлюється на аркушах формату А4 (210x297 мм) через 1,5 інтервали з розрахунку не більше 40 рядків на сторінці (висота знаків не менше 1,8 мм або 14 пунктів). Розміри полів: верхнє, нижнє та ліве – 20 мм, праве – 10 мм.

Окремі слова та формули, які вписуються до друкованого тексту, мають бути чорного кольору і близької до основного тексту густоти. Власні імена наводяться мовою оригіналу (при першому згадуванні – обов'язково).

Структурні елементи “РЕФЕРАТ”, “ЗМІСТ”, “ВИСНОВКИ”, “РЕКОМЕНДАЦІЇ”, “ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ” – не нумерують, а їх найменування є заголовками структурних елементів.

Розділи і підрозділи мають заголовки. Пункти і підпункти можуть мати заголовки.

Заголовки структурних елементів і розділів необхідно розміщувати на середині рядка і друкувати прописним літерами без крапки в кінці. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів необхідно починати з абзацу (5 знаків). Відстань між заголовком і наступним або попереднім текстом

має бути не менше двох рядків. Не можна розміщувати заголовок у нижній частині сторінки, якщо після нього залишається тільки один рядок тексту.

Розділи, підрозділи, пункти та підпункти нумеруються арабськими цифрами. Номер підрозділу складається з номеру розділу та порядкового номера підрозділу, розділених крапкою, наприклад: 1.1, 1.2 і т.д. Номер пункту складається з номера розділу, номера підрозділу (якщо він є) і порядкового номера пункту, розділених крапками і т.п.

Сторінки роботи нумеруються арабськими цифрами у правому верхньому кутку сторінок із зображенням наскрізної нумерації всього тексту. Титульний аркуш також включається до нумерації, але номер сторінки не ставлять.

Ілюстрації необхідно розміщувати безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються вперше, або на наступному аркуші. На всі ілюстрації в роботі мають бути посилання. На всі запозичені ілюстрації також мають бути посилання. Всі ілюстрації, які виносяться на захист, необхідно нанести в основній частині дипломного проекту (роботи), або у додатках.

Креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми мають відповідати вимогам стандартів ЄСКД (ДСТУ 3008-95 і ГОСТ 2.309-73) та ЄСПД.

Ілюстрації нумеруються арабськими цифрами в межах розділу та називаються “рисунок”. Номер рисунка разом з його назвою (у разі необхідності) розміщується під рисунком, наприклад: ”Рисунок 3.2. Схема розміщення.” (другий рисунок третього розділу).

Цифровий матеріал, як правило, оформлюють у вигляді таблиць. Таблицю слід розміщувати безпосередньо після тексту, в якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті. Нумерують таблиці, як зазначено у п. 4.11. Слово “Таблиця” розміщують зліва над таблицею.

Формули та рівняння наводять безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині рядка з полями зверху і знизу не менше одного рядка.

Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера, розділених крапкою. Номер проставляється в дужках на рівні формули у крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення символів та числових коефіцієнтів формул слід наводити безпосередньо під формулою в тій самій послідовності, в якій вони подані у формулі. Перший рядок пояснення починають з абзацу “де”, без двокрапки. Пояснення кожного символу необхідно починати з нового рядка.

Додатки потрібно розміщувати у порядку приведення посилань на них у тексті. Кожний додаток має починатися з нової сторінки. Додатки позначають посередині рядка прописними літерами (А, Б, В,...). Наприклад: “Додаток А”. Далі, симетрично до тексту, друкується заголовок Додатка. Додатки мають спільну з рештою роботи наскрізну нумерацію сторінок.

У разі необхідності текст додатка можна поділити на розділи, підрозділи і пункти, як зазначено в п.4.7. (наприклад: Г.4.1.3 – пункт 4.1.3 Додатка Г). Ілюстрації, таблиці, формули і рівняння необхідно нумерувати в межах кожного Додатка (наприклад: рисунок Е.3, таблиця А.1, (Б.2) – друга формула Додатку Б і т.п.)

Якщо додаток є документом, який має самостійне значення і оформлюється відповідно до вимог, що пред’являються до документа даного виду, то перед його копією вкладають аркуш, на якому посередині друкують: “ДОДАТОК (літера)” та його найменування. Сторінки копії документа нумерують, продовжуючи наскрізну нумерацію сторінок звіту, не зважаючи на власну нумерацію сторінок документа.

6. ПЕРЕЛІК ДОКУМЕНТІВ ЯКІ НАДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

1. Пояснювальна записка.
2. Графічна частина (креслення) дипломного проекту (роботи).
3. Рецензія на дипломний проект (роботу).
4. Відгук керівника дипломного проектування.
5. Електронна копія дипломного проекту на одному з носіїв інформації (магнітному, оптичному тощо).

7. ДОПОВІДЬ ПРИ ЗАХИСТІ

На доповідь по регламенту студенту – дипломнику відводиться до 10 хвилин. З досвіду роботи державної екзаменаційної комісії рекомендуються такий план доповіді:

- звернення до комісії та присутніх;
- мета та галузь застосування дипломного проекту (роботи);
- підстава для виконання роботи та актуальність;
- структура об'єкта розробки;
- результати основних розрахунків;
- висновки з технологічної, економічної частини та охорони праці.

8. ВИМОГИ ДО ВІДГУКУ КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Відгук складається у довільній формі із зазначенням: головної цілі дипломного проекту (роботи), в інтересах або на замовлення якої організації він виконаний (в рамках науково-дослідної роботи кафедри, підприємства, НДІ тощо). Вказується відповідність виконаного ДП (ДР) завданню, ступінь самостійності при виконанні ДП (ДР), рівень підготовленості дипломника до прийняття сучасних рішень, уміння аналізувати необхідні літературні джерела, приймати правильні (інженерні, наукові) рішення, застосовувати сучасні системні та

інформаційні технології, проводити фізичне або математичне моделювання, обробляти та аналізувати результати експерименту. Відзначаються найбільш важливі теоретичні і практичні результати, що отримані при дипломному проектуванні, апробація результатів роботи (участь у конференціях, семінарах, оформлення патентів, публікація в наукових журналах тощо), відношення студента до виконання проектування та дотримання календарного план - графіка робіт. Вказуються недоліки, що мають місце в дипломному проекті. Дається загальна оцінка виконаного ДП (ДР), відповідності якості підготовки дипломника вимогам ОКХ і можливості присвоєння йому відповідної кваліфікації, а також висвітлюються інші питання, які характеризують професійні якості дипломника.

Форма відгуку керівника дипломного проекту наведена в Додатку Г.

9. ВИМОГИ ДО РЕЦЕНЗІЇ

Рецензія на дипломний проект (роботу) складається у довільній формі із зазначенням відповідності ДП (ДР) затвердженій темі та завданню на дипломне проектування, актуальності теми, реальності ДП (ДР) (його виконання на замовлення підприємств, організацій, за науковою тематикою кафедри, НДІ тощо). Відмічається також глибина техніко-економічного обґрунтування прийняття рішень, ступінь використання сучасних досягнень науки, техніки, виробництва, інформаційних та інженерних технологій. Вказується оригінальність прийнятих рішень та отриманих результатів, правильності проведених розрахунків і конструкторсько-технологічних рішень, наявність і повнота експериментального (фізичного або математичного) підтвердження прийнятих рішень. Дається оцінка якості виконання пояснювальної записки, відповідності креслень вимогам ДСТУ та ЕСКД, можливості

впровадження результатів ДП (ДР). Окремо вказуються недоліки ДП (ДР) та на основі аналізу змісту проекту (роботи) та особистої бесіди з дипломником дається оцінка ДП (ДР) за 4-бальною системою й можливість присвоєння дипломнику відповідної кваліфікації з формулюванням згідно з навчальним планом напряму підготовки або спеціальності.

Загальний вигляд направлення на рецензію та форми рецензії на дипломний проект (роботу) наведено в Додатках Д та Е.

10. ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дідковський В. С., Лейко О. Г., Савін В. Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі (розрахунок, проектування, конструювання). Навчальний посібник. – Кіровоград: «Імекс-ЛТД», 2006. – 448 с.

2. Забродин Ю. С. Промышленная электроника: Учебник для вузов.– М.: Высш. школа, 1982.– 496 с., ил.

3. Джейкокс Дж. Руководство по поиску неисправности в электронной аппаратуре: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989.–176 с., ил. ISBN 5-03-001089-0.

4. Медицинские приборы: Разработка и применение /Джон В. Кларк мл., Майкл Р. Ньюман, Валбер Х. Олсон и др. – К.: Медторг, 2004. – 620 с. ISBN 966-8318-64-1.

5. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. С. Промислова електроніка та мікросхемотехніка. –К.: «Каравела», 2004. – 420 с. ISBN 966-8019-02-4.

6. Гершунский Б. С. Справочник по расчету электронных схем. – К.: Вища школа, 1983. – 240 с.

7. Хорович П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3-х т. Пер. С англ. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Мир, 1993.

8. Основи технології складання приладів: Підручник/ В. О. Румбешта. – К.: ІСДО. 1993. – 303 с. ISBN 5-7763-2241-3.
9. Справочник технолога-приборостроителя /Под ред. П. В. Сыроватченко. – М.: Машиностроение, 1980, т. 1,2.
10. Основы технологической подготовки производства приборов /Под ред. В. А. Остафьева. – К.: Вища школа, 1977.
11. Остафьев В. А., Держук В. А., Румбешта В. А. и др. Технологические процессы изготовления деталей приборов. – К.: Вища шк., 1983. –208 с.
12. Корсаков В. С. Основы технологии машиностроения. – М.: Высшая школа, 1987. –336 с.
13. Технология машиностроения. В 2-х т. Т. 1. Основы технологии машиностроения / Под ред. А. М. Дальского. Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 564 с. ISBN 5-7038-1284-4.
14. Ачкасов А. Н., Терган В. С., Козлов В. И. Технология точного приборостроения. – М.: Высшая школа, 1981. – 351 с.
15. Миллер Э. Э. Техническое нормирование труда в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1972. – 248 с.
16. Справочник технолога-машиностроителя. /Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985, т.1, – 521 с., т.2, –248 с.
17. Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник. В 2-х т. – М.: Машиностроение.1983. Т. 1. – 480 с.
18. Суслов А. Г., Дальский А. М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с. ISBN 5-217-03108-5.

11. ДОДАТКИ

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ “КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

_____ (назва факультету, інституту)

_____ (назва кафедри)

До захисту допущено
Завідувач кафедри

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 200__ р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи) освітньо-кваліфікаційного рівня “ _____ ”
(назва ОКР)

з напрямку підготовки (спеціальності) _____
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему: _____

Студент групи _____ (шифр групи) _____ (прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Керівник проекту _____ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Консультанти:

_____ (назва розділу ДП (ДР)) _____ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

_____ (назва розділу ДП (ДР)) _____ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

_____ (назва розділу ДП (ДР)) _____ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

_____ (назва розділу ДП (ДР)) _____ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Київ – 200__

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”**

Факультет (інститут) _____
(повна назва)

Кафедра _____
(повна назва)

Напрямок підготовки _____
(код, назва)

Спеціальність _____
(код, назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 200__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект (роботу) освітньо-кваліфікаційного рівня

“ _____ ”
(назва рівня)

студенту _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема проекту (роботи)** _____

затверджена наказом по університету від “ ____ ” _____ 200__ р. № _____

2. **Термін здачі** студентом закінченого проекту (роботи) “ ____ ” _____ 200__ р.

3. **Вихідні дані до проекту (роботи)** _____

(визначаються кількісні або (та) якісні показники, яким повинен відповідати об'єкт проектування наукового дослідження)

4. Перелік питань, які мають бути розроблені (формулюється у повному обсязі керівником ДП (ДР) із попереднім узгодженням (за необхідності) з консультантами з окремих питань і може бути структурований за розділами (частинами): основний (-а), економічний (техніко-економічний)(-а), охорона праці тощо); формулювання питань повинно починатися словами: “Розробити...”, “Обґрунтувати...”, “Оптимізувати...”, “Провести аналіз...”, “Розрахувати...” тощо):

а) конструкторська частина _____

б) технологічна частина _____

в) економічна частина _____

г) охорона праці та довкілля _____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів)

6. Консультанти (із зазначенням відповідних частин проекту (роботи)):

з технологічних питань _____
(вчене звання, ПІБ, посада)

з економічних питань _____
(вчене звання, ПІБ, посада)

з питань охорони праці _____
(вчене звання, ПІБ, посада)

7. Дата видачі завдання “ ____ ” _____ 200__ р.

Керівник дипломного проекту (роботи) _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

Примітка: при друкуванні завдання зазначити лише відомості стосовно певного освітньо-кваліфікаційного рівня, виду кваліфікаційної роботи та форми навчання; виключати з тексту пояснення, надані курсивом, а також залишати в розділах лише необхідні позиції.

Додаток В

ЗАТВЕРДЖУЮ
Керівник
дипломного проекту (роботи)

“ ____ ” _____ 200__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН–ГРАФІК
виконання дипломного проекту (роботи)
студентом (кою) _____
(прізвище, ініціали)

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань

Студент _____
(підпис)

ВІДГУК
керівника дипломного проекту (роботи)
освітньо-кваліфікаційного рівня “ _____ ”
(назва ОКР)

виконаного на тему: _____

студентом (кою) _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

(складається у довільній формі із зазначенням: головної цілі дипломного проекту (роботи), в інтересах або на замовлення якої організації він виконаний (в рамках науково-дослідної роботи кафедри, підприємства, НДІ тощо); відповідності виконаного ДП (ДР) завданню; ступеня самостійності при виконанні ДП (ДР); рівня підготовленості дипломника до прийняття сучасних рішень; умінь аналізувати необхідні літературні джерела, приймати правильні (інженерні, наукові) рішення, застосовувати сучасні системні та інформаційні технології, проводити фізичне або математичне моделювання, обробляти та аналізувати результати експерименту; найбільш важливих теоретичних і практичних результатів, апробації їх (участь у конференціях, семінарах, оформлення патентів, публікація в наукових журналах тощо); загальної оцінки виконаного ДП (ДР), відповідності якості підготовки дипломника вимогам ОКХ і можливості присвоєння йому відповідної кваліфікації; інші питання, які характеризують професійні якості дипломника)

Керівник
дипломного проекту (роботи)

_____ (посада, вчені звання, ступінь)

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

НАПРАВЛЕННЯ НА РЕЦЕНЗІЮ

Шановний _____
(вчене звання, прізвище та ініціали рецензента)

Прошу Вас до “ ____ ” _____ 20__ р. підготувати й надати рецензію
(дата надання рецензії)

на дипломний проект (роботу) студента _____
(ПІБ дипломника)

на тему _____

_____ (повна назва теми ДП (ДР))

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

“ ____ ” _____ 20__ р.

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломний проект (роботу)
освітньо-кваліфікаційного рівня “_____”
(назва ОКР)

виконаний(у) на тему: _____

студентом (кою) _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

(складається у довільній формі із зазначенням: відповідності ДП (ДР) затвердженій темі та завданню на дипломне проектування; актуальності теми; реальності ДП (ДР) (його виконання на замовлення підприємств, організацій, за науковою тематикою кафедри, НДІ тощо); глибину техніко-економічного обґрунтування прийняття рішень; ступеня використання сучасних досягнень науки, техніки, виробництва, інформаційних та інженерних технологій; оригінальності прийнятих рішень та отриманих результатів; правильності проведених розрахунків і конструкторсько-технологічних рішень; наявності і повноти експериментального (фізичного або математичного) підтвердження прийнятих рішень; якості виконання пояснювальної записки, відповідності креслень вимогам ДСТУ, ЕСКД; можливості впровадження результатів ДП (ДР); недоліків ДП (ДР); оцінки ДП (ДР) за 4-бальною системою і можливості присвоєння дипломнику відповідної кваліфікації (формулювання згідно з навчальним планом напрямку підготовки або спеціальності).

Рецензент

_____ (посада, вчені звання, ступінь) _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

Печатка установи, організації рецензента *(тільки для зовнішнього рецензента)*

Ж. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК СХЕМИ АКУСТИЧНОГО ТРАКТУ

Ж.1. Фізична модель та еквівалентна схема

Акустичний тракт – це шлях ультразвукової (УЗ) хвилі від випромінюючого перетворювача до перетворювача-приймача. В цей тракт включаються і власні перетворювачі – їх механічна сторона.

При дослідженні м'язів у схемі слід врахувати такі шари (середовища, в яких відбувається заломлення УЗ коливань):

- шкіра;
- жировий прошарок;
- м'язова тканина.

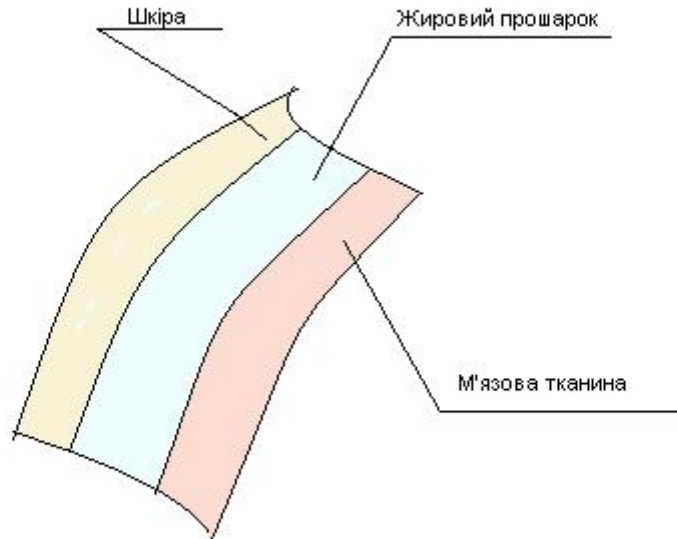


Рис.Ж.1. Фізична модель.

При цьому ми знехтуємо заломленнями, обумовленими проходженням ультразвуку через контактний провід, безпосередньо приєднаний до

п'єзоелемента, протектор, нижню частину корпусу, оскільки товщина вище перелічених елементів дуже мала і заломлення незначне. Також у розрахунку не враховується заломлення УЗ хвиль при проходженні їх через контактне середовище. Це пов'язане з тим, що контактна рідина відбирається з міркувань якнайменшого заломлення ультразвуку в ній.

Еквівалентна схема акустичного тракту має такий вигляд:

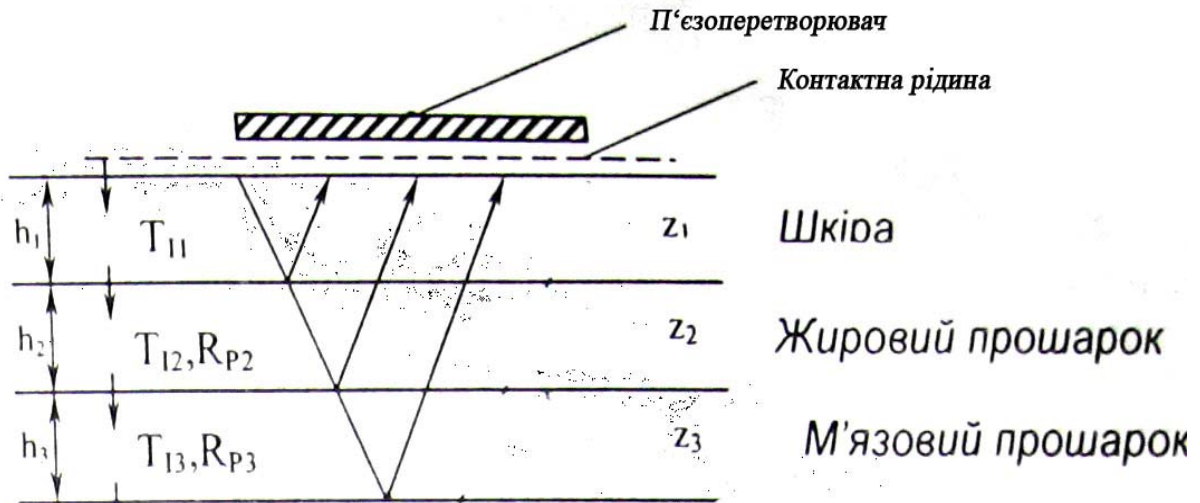


Рис.Ж.2. Схема акустичного тракту.

На рисунку:

h_i – товщини шарів;

z_i – імпеданси шарів;

T_{ii} – коефіцієнти проходження по інтенсивності;

R_{Pi} – коефіцієнти відбиття по тиску.

Ж.2. Вибір і обґрунтування робочої частоти

Вибір робочої частоти перетворювача визначається фундаментальними фізичними чинниками. Кінцеве значення діаметру перетворювача обумовлює наявність дифракційного розподілу

інтенсивності ультразвукової хвилі по аналогії з апертурною дифракцією в оптиці. В області ближнього поля пучок має практично циліндричну форму, відповідну геометрії випромінювача, і його розширення мале. Проте розподіл інтенсивності в пучку неоднорідний, оскільки тут виникають численні інтерференційні максимуми і мінімуми. В області дальнього поля пучок розходить, причому інтенсивність УЗ хвилі в пучку змінюється обернено пропорційно до квадрата відстані від перетворювача. Ефект розбігу пучка погіршує просторову роздільну здатність, тому область дальнього поля використовувати не рекомендується.

Як відомо, для контролю на невеликій глибині застосовуються височастотні п'єзоперетворювачі. Це забезпечує більш високу роздільну здатність перетворювача. Роздільна здатність характеризується мінімальною відстанню між об'єктами, коли їх може бути розрізнено розділити. Це означає, що при застосування більш високої частоти можливе розрізнення найдрібніших структур та відбиття ультразвуку від них. Однак одночасно з цим знижується проникаюча здатність УЗ коливань.

Для даного дослідження доцільно використовувати п'єзоперетворювач з частотою 4МГц .

Глибина дослідження 5 см.

Ж.3. Розрахунок кутів падіння при проходженні ультразвуку через різні біологічні шари

Еквівалентна схема акустичного тракту не враховує заломлень УЗ хвиль на межі розподілу двох середовищ.

За законом Снеліуса розраховуємо кути θ , під якими УЗ хвилі вводяться у кожний з шарів схеми акустичного тракту.

Для розрахунку буде використано наступні дані:

Таблиця Ж.1. Значення швидкості ультразвуку в залежності від біологічного середовища

Середовище	Значення швидкості ультразвуку, <i>м/с</i>
Шкіра	1638
Жировий шар (підшкірна клітчатка)	1484
М'язи	1585
Стінки судин	1638
Кров	1650

Таким чином, оскільки місце контакту з біологічною тканиною та поширення ультразвуку здійснюється приблизно під кутом 45° , кут падіння на межу розподілу поверхні перетворювача і шкіри (без врахування контактної рідини) складає $\theta_1 = 45^\circ$.

В даному прикладі проводимо розрахунки для трьох меж, з можливістю прогнозування ще на четвертий та п'ятий прошарки (судини та кров), а саме:

1. Межа перетворювач – шкіра.

Кут падіння на межу: $\theta_1 = 45^\circ$.

При переході УЗ коливань з перетворювача до шару шкіри не відбувається його заломлення.

Тобто : $\theta_{шкіри} = 45^\circ$.

2. Межа шкіра – жировий прошарок.

Кут падіння на межу: $\theta_{шкіри} = 45^\circ$.

$$\frac{C_{шкіри}}{C_{жир.прошар.}} = \frac{\sin \theta_{шкіри}}{\sin \theta_{жир.прошар.}},$$

де $C_{шкіри}$ – швидкість ультразвуку у шкірі, $C_{жир.прошар.}$ – швидкість ультразвуку у жировому прошарку; $\theta_{шкіри}$ і $\theta_{жир.прошар.}$ – умовне позначення кутів відхилення ультразвуку від уявної осі перетворювача до

заломлення (у шкірі) і після заломлення (у жировому прошарку) відповідно.

$$\theta_{\text{жир.прош.}} = \arcsin \left[\frac{C_{\text{жир.прошар.}}}{C_{\text{шкіри}}} \sin \theta_{\text{шкіри}} \right] = \arcsin \left[\frac{1484}{1638} \sin 45^\circ \right] \approx 39,8^\circ$$

$$\theta_2 = 39,8^\circ.$$

3. Межа жировий прошарок – м'язовий прошарок.

Кут падіння на межу: $\theta_{\text{жир.прошар.}} = 39,8^\circ$.

Аналогічно до попередніх розрахунків визначаємо кут θ_4 (або $\theta_{\text{м'язов.прошар.}}$) – кут, під яким хвиля виходить із шару підшкірної клітчатки, падає на наступну межу:

$$\frac{C_{\text{жир.прошар.}}}{C_{\text{м'язов.прошар.}}} = \frac{\sin \theta_{\text{жир.прошар.}}}{\sin \theta_{\text{м'язов.прошар.}}},$$

$$\theta_{\text{м'язов.прошар.}} = \arcsin \left[\frac{C_{\text{м'язов.прошар.}}}{C_{\text{жир.прошар.}}} \sin \theta_{\text{жир.прошар.}} \right] = \arcsin \left[\frac{1585}{1484} \sin 39,8^\circ \right] \approx 43,17^\circ.$$

$$\theta_3 = 43,17^\circ.$$

Таким чином, ми отримали наступні значення кутів падіння на межі розподілу двох середовищ:

Межа	Кут падіння ультразвуку
Первинний перетворювач – шкіра	$\theta_1 = 45^\circ$
Шкіра – жировий прошарок	$\theta_2 = 39,8^\circ$
Жировий прошарок – м'язовий прошарок	$\theta_3 = 43,17^\circ$

Ж.4. Розрахунок імпедансу ультразвукового перетворювача та складових біологічної тканини

$$Z_{\text{ЦТС}} = \rho c = 3,5 \cdot 10^3 \cdot 7,45 \cdot 10^3 = 26,08 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{води}} = \rho c = 1,5 \cdot 10^3 \cdot 10^3 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{шкіри}} = \rho c = 1,85 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{жир.прошар.}} = \rho c = 1,4 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{м'язов.прошар.} = \rho c = 1,7 \text{ кЗ/м}^2 \text{ с.}$$

Ж.5. Розрахунок коефіцієнту проходження по інтенсивності

$$T_{\text{ЦТС-протектор}} = \frac{4 * z_1 * z_2}{(z_1 + z_2)^2} = \frac{4 * 26.08 * 6.25}{(26.08 + 6.25)^2} = 0.624;$$

$$T_{\text{протектор-шкіра}} = \frac{4 * z_1 * z_2}{(z_2 + z_1)^2} = \frac{4 * 6.25 * 1.85}{(6.25 + 1.85)^2} = 0.704;$$

$$T_{\text{шкіра-жир.прошар.}} = \frac{4 * z_1 * z_2 * \cos \theta_1 * \cos \theta_2}{(z_2 * \cos \theta_1 + z_1 * \cos \theta_2)^2} = \frac{4 * 1.85 * 1.4 * \cos 45^\circ * \cos 39.8^\circ}{(1.4 * \cos 45^\circ + 1.85 * \cos 39.8^\circ)^2} = 0.968;$$

$$T_{\text{жир.прошар.-м'язов.прошар.}} = \frac{4 * z_1 * z_2 * \cos \theta_1 * \cos \theta_2}{(z_2 * \cos \theta_1 + z_1 * \cos \theta_2)^2} = \frac{4 * 1.4 * 1.7 * \cos 39.8^\circ * \cos 43.17^\circ}{(1.7 * \cos 39.8^\circ + 1.4 * \cos 43.17^\circ)^2} = 0.985.$$

Ж.6. Конструкція первинного перетворювача

П'єзоелектричний елемент вибраного профілю (плоский круглий п'єзоелемент) виготовляється з п'єзоелектричної кераміки – ЦТС-19 (цирконат-титанат свинцю у відповідному відсотковому співвідношенні). На передню і задню поверхні елемента наносяться провідні електроди із срібла, після чого він поляризується по товщині у постійному електричному полі. Поляризований п'єзоелектричний елемент набуває здатності змінювати свою товщину пропорційно електричній напрузі, що подається на його електроди. Та навпаки, при механічній деформації п'єзоелемента по товщині на електродах виникає відповідна різниця потенціалів. Швидкість звуку у ЦТС складає приблизно 3500 м/с; при цьому товщина п'єзоелемента, що відповідає його резонансу на частоті f , визначається як $2/f$. Для підвищення механічної стійкості та поглинання випромінюючого елемента застосовується так званий акустичний демпфер. Акустична енергія, що випромінюється у демпфер, повинна повністю поглинатись, і акустичні хвилі від торця демпфера не повинні відбиватись у зворотному напрямку до випромінюючого елемента. Для

виконання таких вимог використовують пластифіковану епоксидну смолу з наповнювачем із вольфрамового порошку. В такому випадку хвильовий опір (імпеданс) демпфера буде приблизно у 2 рази менше опору випромінюючого елемента:

$$Z_{\text{Демпер}} = \frac{1}{2} Z_{\text{випр.ел.}} ;$$

Корпус перетворювача має бути екранований по електромагнітному випромінюванні і акустично розв'язаний від випромінюючого елемента. Інакше динамічний діапазон перетворювача буде знижуватись під впливом електричних завад або виникненню ефекту так званого акустичного "дзвону". Для цієї мети можна використати пластмасовий корпус з екрануючим шаром або металевий корпус з акустичною ізоляцією від випромінюючого елемента.

Потім отриману суцільну конструкцію, розміщену у корпусі, заливають демпферуючою речовиною.

Ж.7. Розрахунок геометричних розмірів п'єзоелемента

У даному випадку розрахунок розмірів п'єзоелементу виконаємо для форми циліндра. Для розрахунків використані наступні довідникові дані:

– швидкість розповсюдження ультразвуку у п'єзоелементі:

$$C_{пз} = C_{цтс} = 3500 \text{ м/с},$$

– товщини шарів, що проходять УЗ коливання:

$$h_{\text{шкіри}} = 0,28 * 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{жир.прошар.}} = 0,65 * 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{м'язов.прошар.}} = 1,42 * 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{стін.судин}} = 0,06 * 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{крові}} = 0,53 * 10^{-2} \text{ м (внутрішній діаметр судини);}$$

Визначимо товщину для дискового п'єзоелемента.

Для досягнення резонансу на частоті f , f - робоча частота перетворювача, товщина п'єзоелемента має бути:

$$h = \frac{\lambda_{пэ}}{2} = \frac{C_{пэ}}{2f}.$$

Робоча частота перетворювача у даному випадку дорівнює 4 МГц. Тому товщина п'єзопластини, що використовується для контролю, має бути:

$$h = \frac{\lambda_{пэ}}{2} = \frac{C_{пэ}}{2f} = \frac{3600}{2 * 4 * 10^6} = 0,4 * 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Розрахуємо діаметр d п'єзоелемента, виходячи із значення $r_{\text{бл}}$ радіусу ближньої зони, у якій проводиться контроль

$$d = \sqrt{r_{\text{бл}} \lambda_{\text{сер}}},$$

де $\lambda_{\text{сер}}$ – середнє значення довжин хвилі у шкірі ($\lambda_{\text{шкіри}}$), у жировому прошарку ($\lambda_{\text{жир.прошар.}}$), у м'язовому прошарку ($\lambda_{\text{м'язов.прошар.}}$), у стінках судин ($\lambda_{\text{стін.судин}}$), у крові ($\lambda_{\text{крові}}$),

$$\lambda_{\text{сер}} = \frac{\lambda_{\text{шкіри}} + \lambda_{\text{жир.прошар.}} + \lambda_{\text{м'язов.прошар.}} + \lambda_{\text{стін.судин}} + \lambda_{\text{крові}}}{5},$$

Щоб обчислити $\lambda_{\text{сер}}$, визначимо значення вказаних довжин хвиль за таким співвідношенням:

$$\lambda_i = \frac{c_i}{f},$$

де c_i – швидкість ультразвуку в i -тому середовищі;

f – робоча частота,

$$\lambda_{\text{шкіри}} = \frac{1638}{4 * 10^6} = 409,5 * 10^{-6} \text{ (м)};$$

$$\lambda_{жир.прош} = \frac{1484}{4 * 10^6} = 371 * 10^{-6} (м);$$

$$\lambda_{мязов.прошар} = \frac{1585}{4 * 10^6} = 396 * 10^{-6} (м);$$

$$\lambda_{стін.судин} = \frac{1638}{4 * 10^6} = 409,5 * 10^{-6} (м);$$

$$\lambda_{кров} = \frac{1650}{4 * 10^6} = 412,5 * 10^{-6} (м).$$

$$\text{Тоді: } \lambda_{сер} = \frac{(409,5 + 371 + 396 + 409,5 + 412,5)10^{-6}}{5} = 399,7 * 10^{-6} (м).$$

Радіус ближньої зони має бути таким, щоб зона вимірювань не виходила за його межі.

Обчислимо максимальну глибину проведення контролю:

$$\begin{aligned} h_{max} &= h_{шкіри} + h_{жир.прошар} + h_{мязов.прошар} + h_{стін.судин} + h_{крові} = \\ &= (0,2 + 0,65 + 1,42 + 0,06 + 0,53) * 10^{-2} = 2,94 * 10^{-2} (м) \end{aligned}$$

Обираючи $r_{бл}$ - 5 см ($5 * 10^{-2}$ м), ми забезпечуємо проведення контрольних вимірювань у ближній зоні, тобто таке значення радіуса ближньої зони є достатнім.

Таким чином, знаючи $r_{бл}$ і $\lambda_{сер}$ ми можемо визначити діаметр пластини перетворювача:

$$d = \sqrt{5 * 10^{-2} * 399,7 * 10^{-6}} = 4,47 * 10^{-3} (м).$$

Розрахуємо площу п'єзоелемента S_0 :

$$S_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (4,47 * 10^{-3})^2}{4} = 15,696 * 10^{-6} (м^2)$$

Ж.8. Розрахунок коефіцієнту послаблення акустичного тракту

Формула розрахунку має вигляд

$$K_{a,T_1} = \frac{S_{сер} * S_{перетв} * T_{11} * T_{12} * T_{13} * T_{14} * R_p}{\lambda_{сер} * (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5)} e^w$$
$$e^w = e^{-2(\alpha_{p1} * h_1 + \alpha_{p2} * h_2 + \alpha_{p3} * h_3 + \alpha_{p4} * h_4 + \alpha_{p5} * h_5)},$$

де $S_{сер} = 0,01 \text{ мм}^2$ – площа еритроцита;

- h_i – товщина шарів;
- α_i – коефіцієнт згасання;

$$z = \rho_i * c_i$$

$$R_{Рос.суд-кров} = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} = \frac{1,51 - 1,64}{1,51 + 1,64} = -0,04,$$

$R_{Рос.суд-кров}$ – коефіцієнт відбиття по тиску.

Ж.9. Розрахунок товщини шарів, де проходить ультразвук

Загальна формула для знаходження товщини шару

$$h_i = h'_i / \cos \alpha_i, \text{ де}$$

h'_i – товщина i -ої кулі;

α_i – кут, під яким падає ультразвук в i -тому шарі;

$h_1 = 0.28 \text{ см}$ – шкіра;

$h_2 = 0.65 \text{ см}$ – жирова тканина;

$h_3 = 1.42 \text{ см}$ – м'язова тканина;

$h_4 = 0.06 \text{ см}$ – стінка судина;

$h_5 = 0.53 \text{ см}$ – внутрішній діаметр судини;

$$h_{сум} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5;$$

$$h_{сум} = 0.28 + 0.65 + 1.42 + 0.06 + 0.53 = 2.94 * 10^{-2} \text{ (м)};$$

Візьмемо коефіцієнти згасання з таблиці.

$$\alpha_{p1} = 400 * 10^{-3} \text{ Hn/m};$$

$$\alpha_{p2} = 69 * 10^{-3} \text{ Hn/m};$$

$$\alpha_{p3} = 90^i * 10^{-3} \text{ Hn/m};$$

$$\alpha_{p4} = 322.6 * 10^{-3} \text{ Hn/m};$$

$$\alpha_{p5} = 8,3 * 10^{-3} \text{ Hn/m}.$$

Визначимо коефіцієнт проходження по інтенсивності:

$$T_1 = T_{11} * T_{12} * T_{13} * T_{14} = 0,248 * 0,968 * 0,985 * 0,998 = 0,235$$

$$K_{a.m.} = (0,001 * 15,696 * 0,235 * 0,04) / (3,99 * 2,94) * e^w$$

$$e^w = e^{-2 * 0,001 * (0,06 * 322,60 + 0,53 * 8,3 + 0,28 * 400 + 0,65 * 69 + 1,42 * 90)} =$$

$$= e^{-0,61681} = 0,540$$

$$K_{a.m.} = 6,77 * 10^{-5}.$$

Ж.10. Залежність коефіцієнту акустичного тракту від глибини проникнення $K_{a.t.}(h)$

$$K_{a.m.} = (S_{cp} * S_{перетв} * T_{11} * T_{12} * T_{13} * T_{14} * R_p) / \lambda_{сер} * (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5) * e^w.$$

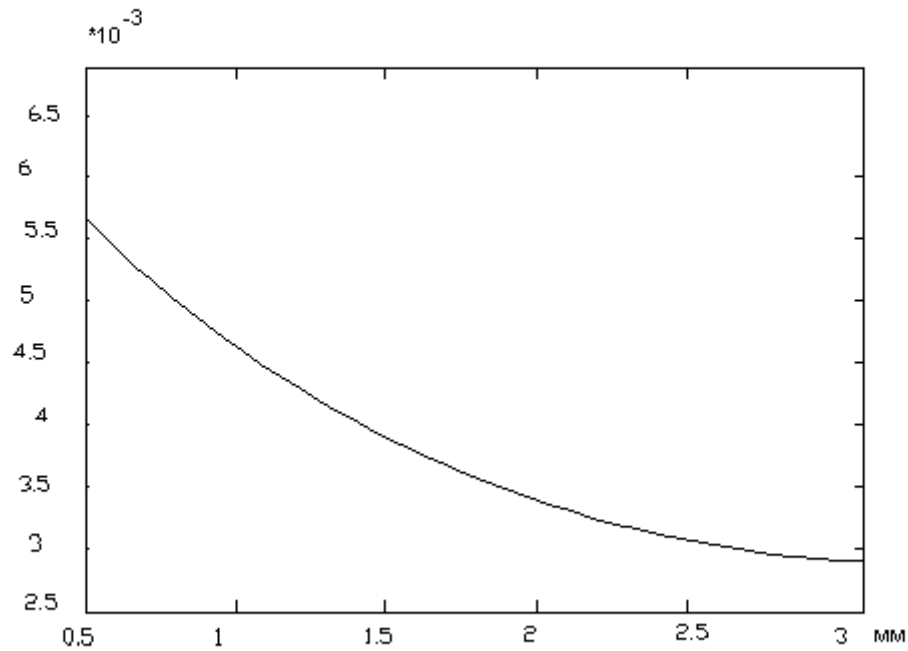


Рис. Ж.3. Залежність коефіцієнту згасання акустичного тракту від глибини проникнення.

Ж.11. Розрахунок просвітлюючого шару

В якості просвітлюючого шару в конструкції датчика буде використано протектор, який водночас захищає пластину п'єзоперетворювача від стирання.

$$Z_{води} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ (кг/м}^2 \cdot \text{с)}$$

$$Z_{ЦТС} = 23,76 \cdot 10^6 \text{ (кг/м}^2 \cdot \text{с)}$$

$$Z_{ПП} = \sqrt{Z_{ЦТС} + Z_{води}} = 6,25 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

Такий імпеданс має магній тягнутий відпалений. Тому просвітлюючий шар вибираємо з цього матеріалу. Товщина шару:

$$\lambda_{шару} = C_{шару} / f = 1,44 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

$$H_{шару} = \lambda_{шару} / 4 = 0,36 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Ж.12. Розрахунок демпфера

Розрахунок геометричних розмірів демпфера проводиться за наступної формули:

$$e^{-2\alpha_p h} < 0.01$$

$$h_{max} = (\ln(0.01)) / (-2\alpha_p)$$

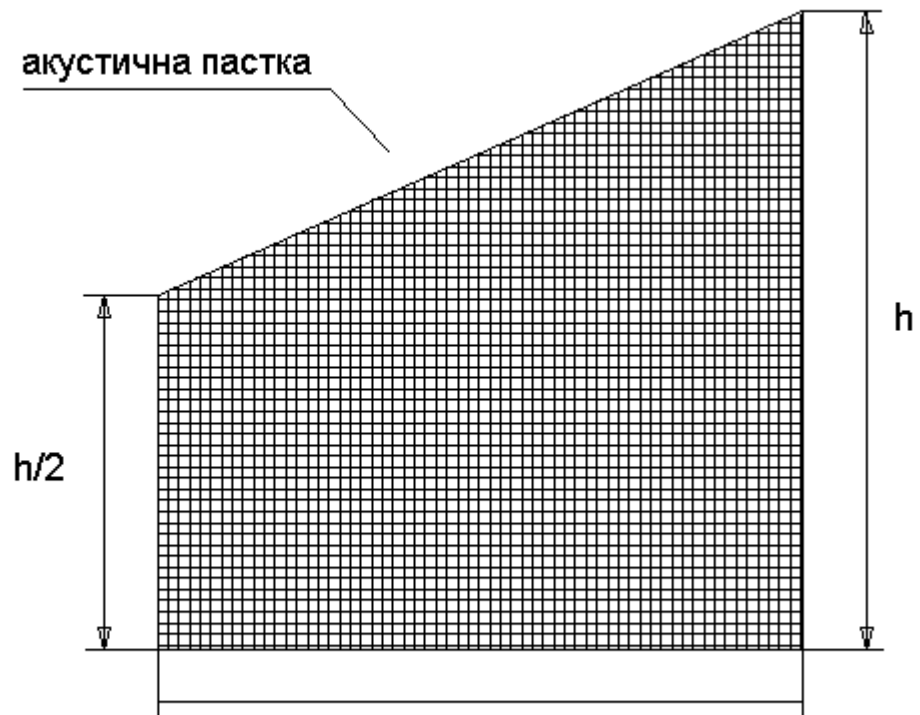


Рис.Ж.4. Демпфер.

$$h = (\ln(0.01)) / (-2 * 0.22) = 10,46 \text{ (мм)}$$

Задамо максимальну висоту для демпфера рівною 11мм, тоді мінімальна висота його буде дорівнювати $11/2=5,5$ (мм).

Ж.13. Розрахунок напруги випромінювача

Значення напруги датчика розраховується з урахуванням сигналів випромінювання та сприйняття відбитих ехосигналів

$$U_n = U_e * K_{am} * K_{nne}$$

U_n – приймальна напруга;

U_e - напруга випромінювання;

K_{am} – коефіцієнт акустичного тракту;

K_{nne} (для ЦТС) – 0,2-0,4;

$$U_n / U_{ш} > 5;$$

$$U_n = 500 * 10^{-6} \text{В};$$

$$U_{ш} = 5 * 10^{-6} \text{В};$$

$$K_{am} = 6,77 * 10^{-5}$$

$$U_e = (U_n) / (K_{am} * K_{nne}) = (500 * 10^{-6}) / (6,77 * 10^{-5} * 0,4) = 18,5 \text{В}$$

Таким чином розрахункове значення напруги випромінювання ультразвукового перетворювача складає 18,5 В.

РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

3.1. Електричний розрахунок підсилювача на біполярному транзисторі

Вихідні данні:

1. Напруга джерела живлення $E_{дж} = 2,5 \text{ В}$;
2. Амплітуда напруги на навантаженні, дорівнює амплітуді вхідної напруги наступного каскаду $U_H = 0 \dots 2 \text{ В}$;
3. Амплітуда струму в навантаженні дорівнює амплітуді вхідного струму з врахуванням струму, що проходить крізь ланцюг зсуву наступного каскаду $I_H = 1 \text{ мА}$
4. Опір джерела сигналу $R_{сиг} = 1 \text{ Ком}$ та опір навантаження $R_H = 1 \text{ Ком}$;
5. Діапазон частот $F_H = 1000 \text{ Гц}$ та $F_B = 40 \text{ МГц}$;
6. Допустимі частотні викривлення $M_H = M_B = 1.05$ на нижній та верхній граничних частотах;
7. Ємність $C_H = 5000 \text{ нФ}$;

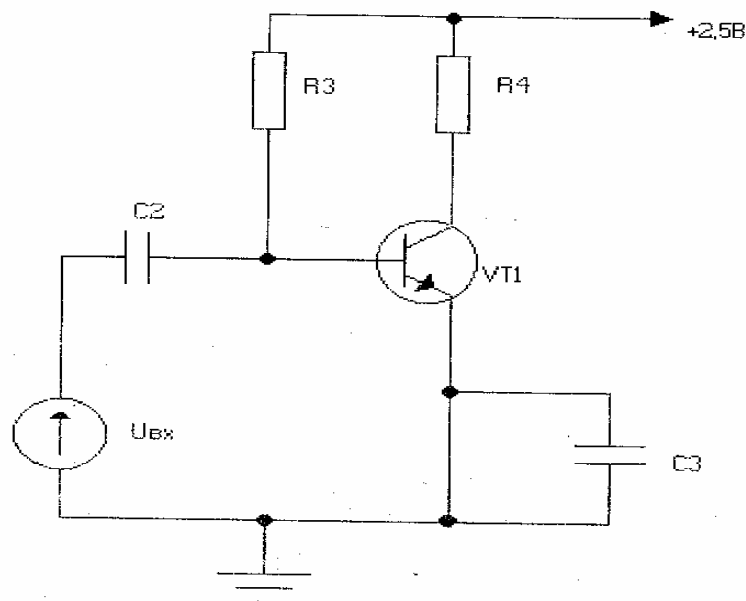


Рис.3.1 Резистивний підсилювач на біполярному транзисторі.

Необхідно визначити:

1. Тип транзистора.
2. Режим роботи транзистора по постійному струму.
3. Елементи ланцюга стабілізації робочої точки.
4. Основні показники роботи каскаду:
 - коефіцієнт підсилення по струму;
 - вхідний опір каскаду;
 - коефіцієнт підсилення по напрузі;
 - вихідна напруга каскаду;
5. Елемент схеми каскаду C_c .

Порядок розрахунку наступний:

Обираємо транзистор КТ208Б.

$$-U_{ке_{проб}} = 20B > E_{дж};$$

$$-h_{11e} = 450 \text{ Ом};$$

$$-h_{12e} = 0,04;$$

$$-h_{21e} = 10;$$

$$-h_{22e} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ См};$$

$$-I_{ке} = 25 \text{ мА};$$

$$-\Delta h_e = h_{11e}h_{22e} - h_{12e}h_{21e} = 1.75.$$

Визначаємо величину постійної складової струму колектора.

$$I_{kmin} = (5 \dots 10) I_{ке} = 10 \cdot 25 = 250 \text{ мкА};$$

$$I_k \geq I_H + I_{kmin} = 1 + 0.25 = 1.25 \text{ мА};$$

Приймаємо, що $I_k = 1.25 \text{ мА}$.

Обираємо мінімальну напругу між колектором та емітером

$$U_{KEmin} = 1B.$$

Визначаємо напругу між колектором та емітером

$$U_{KE0} \geq U_{KEmin} + U_H = 1 + 0.2 = 1.2 \text{ В.}$$

$$\text{Приймаємо } U_{KE0} = 1.5 \text{ В.}$$

Визначаємо струм бази

$$I_{BO} = I_K / h_{21e};$$

$$I_{BO} = 1.2 / 10 = 12 \text{ мА}$$

Обираємо напругу на опір R_c в ланцюзі колектора

$$U_{RE} = (0.15 \dots 0.2) E_{дж} = 0.2 * 2.5 = 0.5 \text{ В}$$

Визначаємо опір R_4 в ланцюзі колектора

$$R_4 = E_{дж} - U_{KE0} - U_{RE} / I_K;$$

$$R_4 = 2.5 - 1.5 - 0.5 / 0.000125 = 4 \text{ кОм}$$

Уточнюємо значення постійних складових струмів в ланцюзі колектора і бази

$$I_k \geq i_{min} + U_H(R_K + R_H) / R_k * R_H;$$

$$I_k = 0.2 + (0.2(4+1)) * 10^3 / 4 * 10^3 * 1 * 10^3 = 0.25 \text{ мА}$$

$$I_{BO} = \frac{I_K}{h_{21Э}};$$

$$I_{BO} = \frac{0.25 \times 10^{-3}}{10} = 25 \text{ мкА};$$

Приймаємо $I_K = 0.25 \text{ мА}$, $I_{BO} = 20 \text{ мкА}$

Вибираємо струм ланцюг зміщення

$$I_{1,2} = (3 \dots 5) I_{BO} = 5 * 0.02 = 0.1 \text{ мА}$$

Розраховуємо опір R_3 ланцюга стабілізації робочої точки

$$R_3 = \frac{E_{ист} - U_{RЭ} - U_{ЭБ}}{I_{1,2} + I_{BO}};$$

$$R_3 = \frac{2.5 - 0.5 - 0.2}{0.1 \times 10^{-3} + 0.025} = \frac{1.8}{0.0251} = 7.1 \text{ кОм}$$

Розраховуємо еквівалентний опір навантаження ланцюга колектора

$$R_{KЭ} = \frac{R_K R_H}{R_K + R_H} ;$$

$$R_{KЭ} = \frac{4 \times 10^3 \times 1 \times 10^3}{4 \times 10^3 + 1 \times 10^3} = 800 \text{ Ом}$$

Визначаємо коефіцієнт підсилення по струму

$$K_{i0} = \frac{h_{21Э}}{1 + R_{KЭ} h_{22Э}} ;$$

$$K_{i0} = \frac{10}{1 + 800 \times 5 \times 10^{-4}} = 7,14$$

Розраховуємо вхідний опір

$$R_{BX} = \frac{h_{11Э} + R_{KЭ} \Delta h_{Э}}{1 + R_{KЭ} h_{22Э}} ;$$

$$R_{BX} = \frac{450 + 800 \times 1,75}{1 + 800 \times 5 \times 10^{-4}} = 1321,4 \text{ Ом}$$

Розраховуємо коефіцієнт підсилення по напрузі

$$K_{UO} = \frac{h_{21Э} R_{KЭ}}{h_{11Э} + \Delta h_{Э} R_{KЭ}} ;$$

$$K_{UO} = \frac{10 \times 800}{450 + 1,75 \times 800} = 4,3$$

Визначаємо вхідну напругу каскаду

$$R_{ВВЛX} = \frac{R_{СИГ} + h_{11Э}}{h_{22Э} R_{СИГ} + \Delta h_{Э}} ;$$

$$R_{ВВЛX} = \frac{1 \times 10^3 \times 450}{5 \times 10^{-4} \times 1 \times 10^3 + 1,75} = 0,64 \text{ кОм}$$

Перевіряємо коефіцієнт частотних викривлень на верхній частоті діапазону

$$M_C^1 = \sqrt{1 + (f R_{KЭ} C_{KЭ})^2} ;$$

$$M_C^1 = \sqrt{1 + (6,26 \times 1 \times 10^3 \times 800 \times 5 \times 10^{-9})^2} = 1$$

$$M_B^{\prime\prime} = \sqrt{1 + \left(\frac{F_B}{fh_{21Э}}\right)^2};$$

$$M_B^{\prime\prime} = \sqrt{1 + \left(\frac{40 \times 10^6}{500 \times 10^6}\right)^2} = 1,08;$$

$$M_{HЭ} = M_B^I \times M_B^{\prime\prime} = 1 \times 1,08 = 1,08$$

Розраховуємо ємкість блокувального конденсатора C_3 в ланцюгу емітера

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f R_{\Sigma} \sqrt{M_{HЭ} - 1}};$$

$$C_3 = \frac{1}{6,28 \times 1 \times 10^3 (1321,4 \times 1 \times 10^3) \sqrt{1,08 - 1}} = 0,095 \text{ мкФ}$$

3.2. Приклад попереднього розрахунку інвертуючого підсилювача на операційному підсилювачі (ОП)

Вихідні дані:

- 1) $R_1 = 1 \text{ кОм};$
- 2) R_3 - відсутнє;
- 3) $R_4 = 2 \text{ кОм};$
- 4) $U_1 = 0,15 \text{ В};$
- 5) $U_2 = -3 \text{ В}.$

З аналізу вихідних даних видно, що ми маємо справу з інвертуючим підсилювачем, розрахункова схема якого наведена на рис. 3.2.

Необхідно визначити:

- 1) опір резистора R_3 ;
- 2) величини струмів I_1, I_3, I_4 ;

- 3) коефіцієнт підсилення $K_{U_{33}}$;
- 4) правильність позначення на рис. 3.2 напрямків протікання струмів;
- 5) тип та потужність резисторів каскаду.

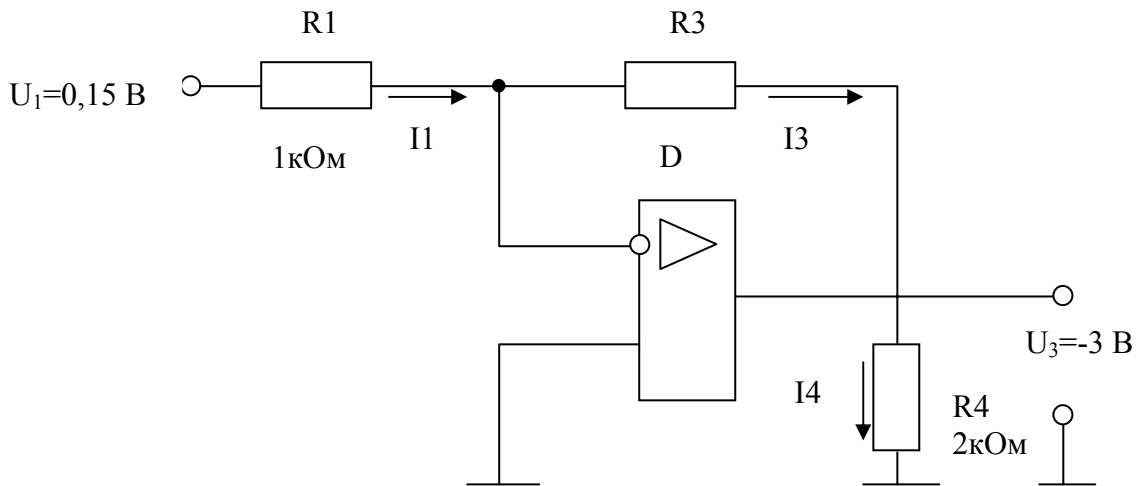


Рис.3.2. Розрахункова схема інвертуючого підсилювача на ОП

Порядок розрахунку.

Коефіцієнт підсилення підсилювача $K_{U_{33}}$ розраховуємо за формулою:

$$K_{U_{33}} = \frac{U_3}{U_1} = -\frac{R_3}{R_1}.$$

$$\text{Тобто } K_{U_{33}} = \frac{-3}{0,15} = -20.$$

$$\text{Тоді } R_3 = -K_{U_{33}} R_1,$$

$$R_3 = -(-20) \cdot 1 = 20\text{кОм}$$

(що є стандартним значенням з довідкової літератури [5, 6, 7]).

Оскільки потенціал інвертуючого входу ОП для схеми інвертуючого підсилювача дорівнює нулю, маємо:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1},$$

$$I_4 = \frac{-3}{2} = -1,5\text{мА}$$

і напрямок його протікання на рис. 3.2. вказано вірно.

За першим законом Кірхгофа

$$I_3 = I_1 = 0,15\text{мА}$$

і напрямок його протікання вказано вірно.

Очевидно, що

$$I_4 = \frac{U_3}{R_4}, \quad I_4 = \frac{-3}{2} = -1,5\text{мА}$$

і напрямок його протікання є зворотнім до вказаного.

Електрична принципова схема інвертуючого підсилювача з параметрами, отриманими за даними розрахунку і побудованого на ОП 140УД7, наведена на рис. 3.3.

Зауважимо: оскільки підсилювач призначений для підсилення сигналу напруги постійного струму, то коригуючий конденсатор (C_1 на рис. 3.3) не встановлюємо.

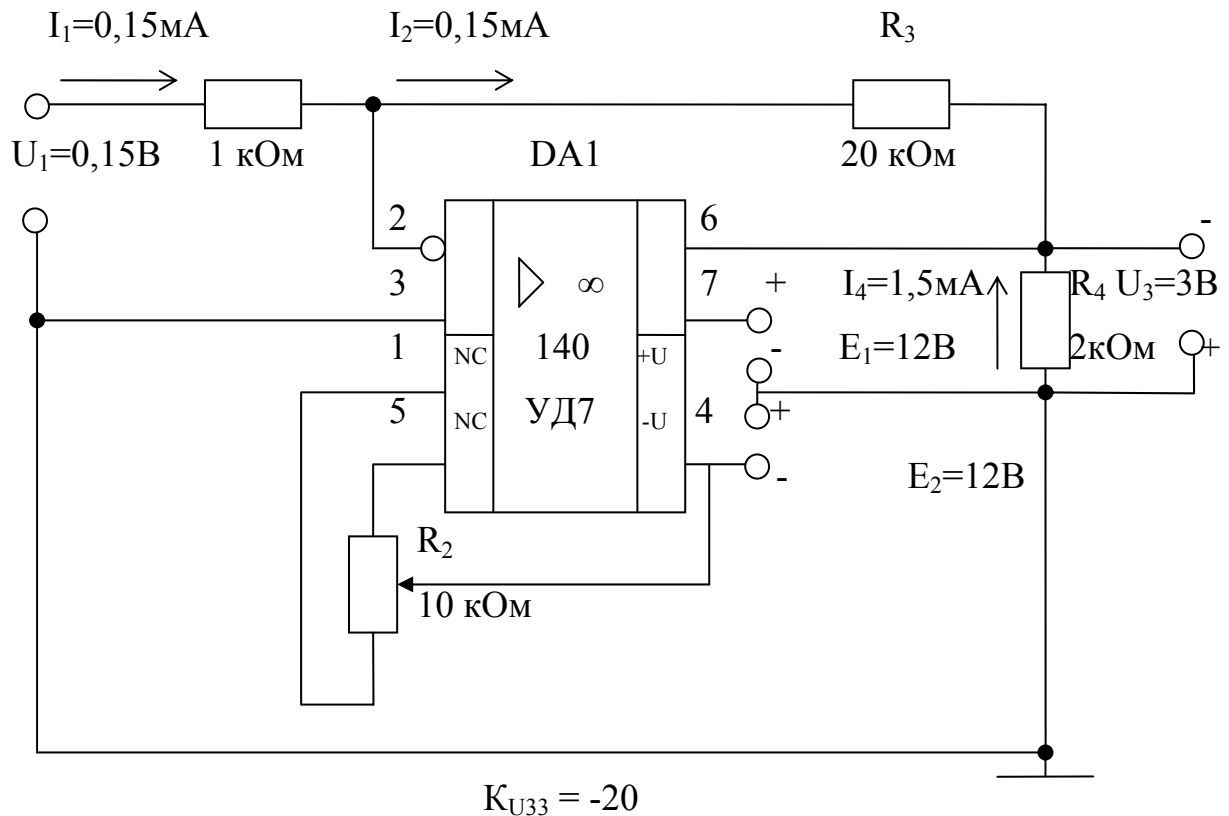


Рис. 3.3. Інвертуючий підсилювач на ОП. Схема електрична принципова.

Потужність, що виділяється в резисторах підсилювача, становить:

$$P_R = RI^2.$$

Отже

$$P_{R1} = 1 \cdot 10^3 (0,15 \cdot 10^{-3})^2 = 2,25 \cdot 10^{-5} \text{ Вт};$$

$$P_{R3} = 20 \cdot 10^3 (0,15 \cdot 10^{-3})^2 = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Вт};$$

$$P_{R4} = 2 \cdot 10^3 (1,5 \cdot 10^{-3})^2 = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}.$$

З довідкової літератури [5, 6, 7]) вибираємо резистори типу С2-33 з номінальною потужністю 0,125 Вт.

3.3. Приклад розрахунку застосування інтегральних стабілізаторів напруги

Вихідні дані при застосуванні стабілізатора з фіксованою напругою стабілізації:

- 1) напруга на виході $U_{\text{вих}} = 9 \text{ В};$
- 2) мінімальна вхідна напруга $U_{\text{вх min}} = 14 \text{ В};$
- 3) максимальна вхідна напруга $U_{\text{вх max}} = 20 \text{ В};$
- 4) потужність навантаження $P_n = 0,5 \text{ Вт}.$

Вихідні дані при застосуванні універсального стабілізатора КР142ЕН12А:

- 2) напруга на виході $U_{\text{вих}} = 8 \text{ В};$
- 3) мінімальна вхідна напруга $U_{\text{вх min}} = 13 \text{ В};$
- 4) максимальна вхідна напруга $U_{\text{вх max}} = 19 \text{ В};$
- 5) потужність навантаження $P_n = 2 \text{ Вт}.$

Порядок розрахунку

При побудові стабілізатора напруги на основі ІМС стабілізатора з фіксованим значенням вихідної напруги, необхідно вибрати відповідну ІМС (з літератури [5, 6, 7]) – це КР142ЕН8А з $U_{вих} = 9 \text{ В}$) і перевірити її на можливість застосування за напругою та на неперевищення допустимого значення розсіюваної потужності у заданих умовах.

За напругою необхідно забезпечувати виконання умов:

$$U_{вх\ max} < U_{вх\ max\ доп'}$$

де $U_{вх\ max\ доп'}$ - максимально допустима вхідна напруга ІМС;

$$U_{вх\ min} - U_{вих} > U_{ІМС\ min}$$

Оскільки:

$$U_{вх\ max} = 20 \text{ В} < 35 \text{ В} = U_{вх\ max\ доп'}$$

$$14 - 8 = 6 \text{ В} > 2,5 \text{ В} = U_{ІМС\ min}$$

то за напругою дана ІМС відповідає умовам завдання.

Перевіримо можливість застосування ІМС КР142ЕН8А за потужністю, якщо її струм навантаження становить:

$$I_{н} = 0,5/9 = 0,056 \text{ А},$$

а максимальне падіння напруги на ній дорівнює:

$$\Delta U = 20 - 9 = 11 \text{ В}.$$

Тоді $P_{ІМС} = 11 \cdot 0,056 = 0,616 \text{ Вт}$.

Оскільки $P_{ІМС} = 0,616 \text{ Вт} < 1 \text{ Вт}$,

то ІМС у даному разі можна використовувати без тепловідводу.

Електричну принципову схему отриманого стабілізатора з фіксованою вихідною напругою наведено на рис. 3.4.

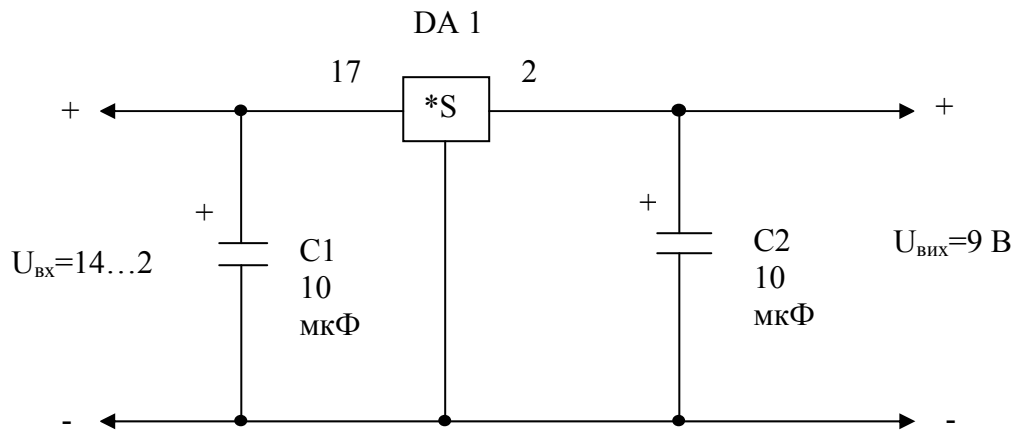


Рис. 3.4. Стабілізатор напруги на ІМС КР142ЕН8А. Схема електрична принципова.

Перевіримо можливість застосування ІМС КР142ЕН12А за напругою та потужністю.

Оскільки

$$U_{\text{вх max}} = 19 \text{ В} < 45 \text{ В} = U_{\text{вх max доп}},$$

$$13 - 8 = 5 \text{ В} > 3,5 \text{ В} = U_{\text{ІМС min}},$$

то за напругою дана ІМС відповідає умовам завдання.

$$I_{\text{н}} = 2/8 = 0,25 \text{ А},$$

$$\Delta U = 19 - 8 = 11 \text{ В}.$$

$$P_{\text{ІМС}} = 11 \cdot 0,25 = 2,75 \text{ Вт}.$$

Внаслідок того, що

$$1 \text{ В} < P_{\text{ІМС}} = 2,75 \text{ Вт} < 10 \text{ Вт},$$

то за потужністю ІМС також відповідає умовам завдання. Використовувати її при цьому необхідно з тепловідводом.

Визначимо величини опорів резисторів дільника R_1 , R_2 , що ним задається значення вихідної напруги стабілізатора.

Задамо значення струму виводу регулювання ІМС:

$$I_p = 0,1 \text{ мА}$$

При роботі ІМС КР142ЕН12А у режимі стабілізатора напруги зазвичай задають

$$R_1 = 240 \text{ Ом.}$$

R_2 знаходимо:

$$R_2 = \frac{(U_{\text{вих}} - U_{\text{вих min}})R_1}{U_{\text{вих min}} + I_p R_1},$$

$$R_2 = \frac{(8 - 1,3) \cdot 240}{1,3 + 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 240} = 1215 \text{ Ом.}$$

З [5, 6, 7]) вибираємо резистори С2-33 з опором 240 Ом та 1,2 кОм відповідно та потужністю 0,125 Вт.

Оскільки вихідна напруга стабілізатора значно перевищує за величиною мінімальне значення напруги стабілізації, а $U_{\text{вх max}} < 25$, то ІМС можна використовувати без елементів C_2 , VD_1 та VD_2 .

З довідкової літератури [5, 6, 7]) обираємо тип конденсаторів К50-35 на напругу 25 В (C_1) і 10 В (C_3).

Електричну принципову схему отриманого стабілізатора наведено на рис. 3.5.

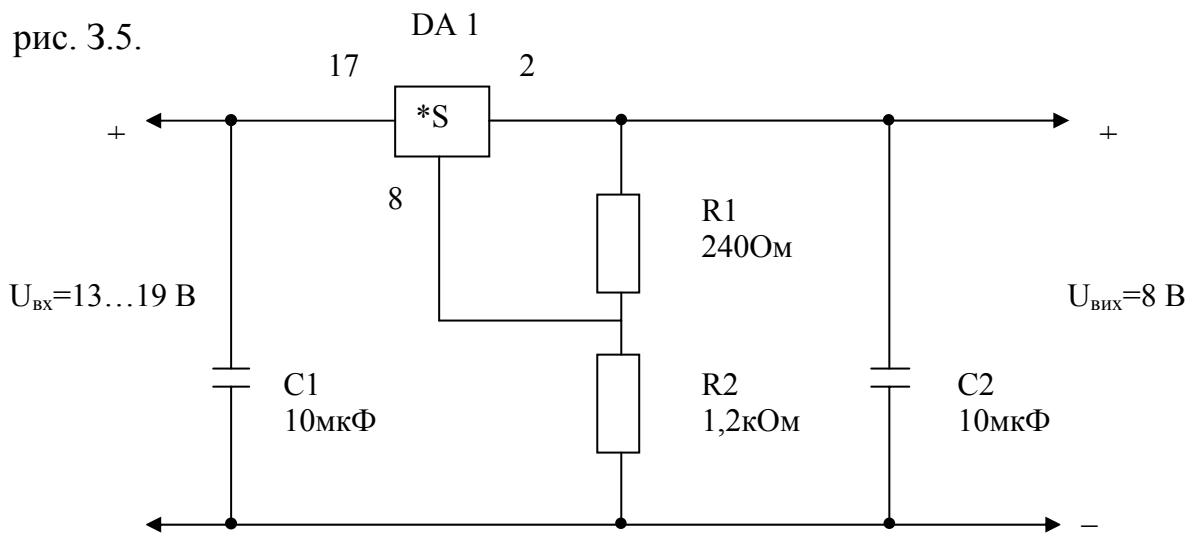


Рис. 3.5. Стабілізатор напруги на ІМС КР142ЕН12А. Схема електрична принципова.

ОЦІНКА РІВНЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ (СКЛАДАЛЬНОЇ ОДИНИЦІ)

Технологічністю конструкції називається така властивість окремих деталей, складальних одиниць и приладів в цілому, при якій для даних умов, даній програмі випуску та даних технічних вимогах до приладу забезпечується найбільш швидке та економічне освоєння його виробництва, а також найбільш раціональне його виготовлення. Технологічність конструкції приладу та його деталей треба розглядати як функцію програми випуску й серійності та треба розуміти як комплексне рішення задачі, що враховує вимоги технологічних процесів всіх стадій виробництва.

Конструкція буде технологічною, якщо вона має найменшу трудомісткість і найбільш короткий виробничий цикл; найбільшу уніфікацію й нормалізацію складальних одиниць і деталей; широку можливість використання найбільш простих і раціональних операцій, а також можливість автоматизації складання при найменшій кількості матеріалів і обладнання. Треба, щоб для складальних одиниць забезпечувалась простота складання всіх деталей і складальних одиниць без пригонки та доробки, без селективної підгонки, що забезпечується економічно придатними допусками в розмірних, кінематичних й електричних ланцюгах; можливість паралельного складання, що скорочує виробничий цикл; можливість найбільшої диференціації складання.

Для всіх виробів при відпрацюванні конструкції приладу на технологічність стоять такі задачі: зниження трудомісткості виготовлення; використання стандартних складових частин; використання уніфікованих складових частин; використання уніфікованих елементів конструкцій деталей; можливість використання типових технологічних процесів.

Методика визначення конструкції виробу на технологічність та оцінки рівня технологічності виробу встановлена ГОСТ 14.201-73. Всі показники технологічності класифікуються за такими ознаками: об'єкт та область використання; кількість ознак технологічності; області аналізу; спосіб вираження; значимість; система оцінювання.

Показники за об'єктом та області використання поділяються на виробничі й експлуатаційні. Показники за кількістю ознак поділяються на часткові, що характеризують тільки одну ознаку технологічності конструкції виробу, й на комплексні, що характеризують два або більше ознак технологічності. Показники за областю аналізу поділяються на технічні й техніко-економічні. За способом вираження показники поділяються на основні й додаткові; за системою оцінювання показники технологічності є базові й конструкції, що розробляється.

Вибір складу показників технологічності конструкцій здійснюється відносно до конкретного виробу згідно ГОСТ 14.202-73.

К.1. Визначення основних показників технологічності

Абсолютний техніко-економічний показник трудомісткості виготовлення T_e виражається сумою нормо-годин, витрачених на виготовлення виробу $T_e = \sum_i T_i$, де T_i – трудомісткість виготовлення й випробувань i – її складової частини виробу в нормо-годинах.

Рівень технологічності конструкції за трудомісткістю виготовлення K_{ym} визначається як відношення досягнутої трудомісткості виробу T_e до базового показника трудомісткості виготовлення T_{be}

$$K_{ym} = \frac{T_e}{T_{be}}.$$

Попередній розрахунок K_{ym} в процесі проектування виробу можна виконувати за наближеними розрахунками трудомісткості виготовлення

основних складових частин, використовуючи дослідно-статистичні дані за виробом-представником і коефіцієнти для корегування.

Технологічна собівартість виробу C_m визначається як сума витрат на одиницю виробу

$$C_T = C_M + C_3 + C_{Ц.Р.},$$

де C_M – вартість матеріалів, що затрачують на виготовлення виробу; C_3 – заробітна платня виробничника з нарахуваннями; $C_{ЦР}$ – цехові витрати, що включають витрати на електроенергію, споживану устаткуванням, на ремонт і амортизацію обладнання, інструменту і пристосувань, на мастильні, охолоджуючі, обтиральні та інші матеріали, передбачені процесом виробництва виробу.

Рівень технологічності конструкції за технологічною собівартістю визначається як відношення досягнутої собівартості виробу C_m до технологічної собівартості базового виробу $C_{б.м}$

$$K_{y.c} = \frac{C_T}{C_{б.м}}.$$

Попередній розрахунок $K_{y.c}$ в процесі проектування виробу можна проводити за наближеними розрахунками технологічної собівартості основних складових частин, використовуючи дослідно-статистичні дані за виробами-представниками та корегуючи коефіцієнти.

К.2. Визначення додаткових показників технологічності

К.2.1. Техніко-економічні показники трудомісткості

Відносна трудомісткість заготівельних робіт $m_{o.з.р}$ дорівнює відношенню трудомісткості виготовлення всіх видів заготовок $T_{зр}$ до загальної трудомісткості виготовлення виробу $T_в$

$$m_{o.з.р} = \frac{T_{з.р}}{T_в}.$$

Відносна трудомісткість виду процесу виготовлення $m_{o,i}$ визначається як відношення трудомісткості окремого процесу виготовлення (обробки і складання) T_i до загальної трудомісткості

$$m_{o,i} = \frac{T_i}{T_g}.$$

Відносна трудомісткість підготовки виробу до функціонування $m_{o,n,\phi}$ визначається як відношення трудомісткості підготовки виробу до функціонування $T_{n,\phi}$ до трудомісткості виготовлення

$$m_{o,n,\phi} = \frac{T_{n,\phi}}{T_n}$$

Питома трудомісткість виготовлення виробу m_g визначається як відношення трудомісткості виготовлення до номінального значення основного технологічного параметра P виробу

$$m_g = \frac{T_g}{P}.$$

Цей показник є зручною характеристикою для порівняльної оцінки виробів.

Питома трудомісткість підготовки до функціонування $m_{n,\phi}$ дорівнює відношенню трудомісткості підготовки виробу до функціонування до номінального значення основного технічного параметра виробу

$$m_{n,\phi} = \frac{T_{n,\phi}}{P}.$$

Коефіцієнт ефективності взаємозамінності $K_{6.3}$ визначається за формулою

$$K_{6.3} = 1 - \frac{T_{np} + T_{2.6.3}}{T_{cb}}$$

де T_{np} – трудомісткість робіт з підгонки виробу; $T_{2.6.3}$ – трудомісткість робіт за методом групової взаємозамінності; T_{cb} – трудомісткість складальних робіт.

К.2.2. Техніко-економічні показники собівартості

Відносна собівартість підготовки виробу до функціонування $C_{o.n.\phi}$ дорівнює відношенню собівартості підготовки до функціонування до собівартості виготовлення

$$C_{o.n.\phi} = \frac{C_{n.\phi}}{C_{\epsilon}}.$$

Питома технологічна собівартість C_m визначається як відношення технологічної собівартості до номінального значення основного параметра виробу

$$C_m = \frac{C_T}{P}.$$

Питома собівартість підготовки виробу до функціонування C_n дорівнює відношенню собівартості підготовки до функціонування $C_{n.\phi}$ до номінального значення основного технічного параметра виробу

$$C_n = \frac{C_{n.\phi}}{P}.$$

Питома собівартість виготовлення $C_{m.u}$ визначається як відношення собівартості виготовлення C_{ϵ} до номінального значення основного технічного параметра

$$C_{m.u} = \frac{C_{\epsilon}}{P}.$$

К.2.3. Технічні показники уніфікації конструкції

Коефіцієнт уніфікації виробу K_y визначається за формулою

$$K_y = \frac{E_y + D_y}{E + D},$$

де $E_y = E_{y.z} + E_{yn} + E_{cm}$ – кількість уніфікованих складальних одиниць у виробі; $D_y = D_{y.z} + D_{yn} + D_{cm}$ – кількість уніфікованих деталей, що є складовими частинами виробу і що не ввійшли в E_y (стандартні кріпильні деталі не враховуються); $E_{y.z}$ і $D_{y.z}$ – відповідно кількість складальних одиниць і деталей, що запозичаються; E_{yn} і D_{yn} – відповідно кількість купованих уніфікованих складальних одиниць і деталей; E_{cm} і D_{cm} – відповідно кількість стандартних складальних одиниць і деталей; $E = E_y + E_{op}$ – кількість складальних одиниць у виробі; $D = D_y + D_{op}$ – кількість деталей, що є складовими частинами виробу; E_{op} і D_{op} – відповідно кількість оригінальних складальних одиниць і деталей.

Показник уніфікація виробу відображає уніфікацію виробу, враховуючи всі його складові частини, за винятком кріпильні деталей. Коефіцієнт уніфікації характеризує спадкоємність спроектованої конструкцій, а його вираз є початковим для отримання формул окремих складових цього узагальнюючого поняття.

Коефіцієнт уніфікації складальних одиниць $K_{y.c}$ визначається як відношення кількості уніфікованих складальних одиниць до загальної кількості складальних одиниць у виробі

$$K_{y.c} = \frac{E_y}{E} .$$

Коефіцієнт уніфікації деталей виробу $K_{y.d}$ дорівнює відношенню кількості уніфікованих деталей до загальної кількості деталей у виробі виключно з кріпильними

$$K_{y.d} = \frac{D_y}{D} .$$

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів $K_{y.e}$ визначається

за формулою

$$K_{y.e} = \frac{Q_{y.e}}{Q_e}$$

де $Q_{y.e}$ – кількість уніфікованих типорозмірів конструктивних елементів; Q_e – кількість типорозмірів конструктивних елементів у виробі. Прикладами конструктивних елементів виробу є різьби, кріплення, галтелі, фаски, проточки, отвори тощо.

Коефіцієнт стандартизації виробу K_{cm} визначається за формулою

$$K_{cm} = \frac{E_{cm} + D_{cm}}{E + D},$$

де $E_{cm} = E_{cm.z} + E_{cm.n} + E_{cm.u}$ – кількість стандартних складальних одиниць у виробі; $D_{cm} = D_{cm.z} + D_{cm.n} + D_{cm.u}$ – кількість стандартних деталей, що є складовими частинами виробу і що не ввійшли в E_{cm} (стандартні кріпильні деталі не враховуються); $E_{cm.z}$ і $D_{cm.z}$ – відповідно кількість стандартних складальних одиниць і деталей, що запозичаються; $E_{cm.u}$ і $D_{cm.n}$ – відповідно кількість купованих стандартних складальних одиниць і деталей; $E_{cm.n}$ і $D_{cm.n}$ відповідно число складальних одиниць і деталей, стандартизація яких здійснена при розробці даного виробу.

Показник K_{cm} відображає стандартизацію виробу, враховуючи всі складові частини, окрім кріпильних деталей. Стандартні складальні одиниці і деталі, що входять в інші стандартні складальні одиниці, не враховуються.

Коефіцієнт стандартизації складальних одиниць $K_{cm.e}$ визначається як відношення кількості стандартних складальних одиниць до кількості складальних одиниць

$$K_{cm.e} = \frac{E_{cm}}{E}.$$

Коефіцієнт стандартизації деталей $K_{cm.d}$ дорівнює відношенню

кількості стандартних деталей до загальної кількості деталей (окрім кріпильних), які є складовими частинами виробу

$$K_{cm.д} = \frac{D_{cm}}{D}.$$

Коефіцієнт повторюваності $K_{нов}$ визначається за формулою

$$K_{нов} = 1 - \frac{Q}{E + D},$$

Де Q – кількість найменувань складових частин; $E+D$ – загальна кількість складових частин у виробі.

К.2.4. Технічний показник уніфікації вживаних процесів

Коефіцієнт вживання типових технологічних процесів K_{mn} визначається як відношення кількості типових технологічних процесів виготовлення (ремонт, технічного обслуговування) до загальної кількості Q_n , вживаних при цьому технологічних процесів

$$K_{m.n} = \frac{Q_{m.n}}{Q_n}.$$

К.2.5. Технічні показники витрату матеріалів

Маса виробу M є важливою технічною характеристикою виробу, яка покориється як абсолютний показник і для порівняльної оцінки. В ході виготовлення складових частин маса виробу характеризує необхідність використання вантажопідйомних засобів та інших умов процесу виробництва.

Питома матеріаломісткість виробу $K_{ум}$ визначається у вигляді відношення величини маси конструкції виробу до номінального значення

основного технічного параметра виробу (продуктивність, потужність тощо)

$$K_{ym} = \frac{1}{P} \sum M.$$

Коефіцієнт використання матеріалів $K_{u.m}$ характеризує використання конструкційних матеріалів при виготовленні виробу

$$K_{u.m} = \frac{1}{\sum M_m} \sum M,$$

де M_m – маса матеріалу, витраченого на виготовлення відповідної частини виробу.

При визначенні цього коефіцієнта куповані вироби не враховуються.

Коефіцієнт вживаності матеріалу $K_{n.m}$ визначається як відношення сумарної маси даного матеріалу у виробі до загальної маси конструкції виробу

$$K_{n.m} = \frac{M_{c.m}}{\sum M}.$$

К.2.6. Технічні показники обробки

Коефіцієнт точності обробки K_{mz} визначається за формулою

$$K_{mz} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum An_i},$$

де $A_{cp} = \frac{\sum An_i}{\sum n_i} = \frac{0,25n_1 + 0,5n_2 + 1n_3 + 2n_4 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}$ – середній квалітет

точності обробки виробу; A – квалітет точності обробки; n_i – кількість розмірів відповідного квалітету точності. Квалітети 01 і 0 враховувати відповідно як 0,25 і 0,5.

Коефіцієнт шорсткості поверхні $K_{ш}$ визначається як

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} = \frac{\sum n_{iu}}{\sum Bn_{iu}},$$

де $B_{cp} = \frac{\sum B n_{iu}}{\sum n_{iu}} = \frac{n_1 + 2n_2 + \dots + 14n_{14}}{n_1 + n_2 + \dots + n_{14}}$ – середній умовний показник

шорсткості деталей виробу; B – умовний показник шорсткості поверхонь, що визначається згідно таблиці К.1, n_{iu} – кількість поверхонь відповідного параметра шорсткості.

Таблиця К.1. Значення умовних показників шорсткості, що відповідають дійсним значенням шорсткості

Параметри шорсткості	Rz	320	160	80	40	20								0,1	0,05
	Ra						2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08	0,04		
Умовний показник шорсткості	n_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

К.2.7. Технічні показники складу конструкції

Коефіцієнт складаємості K_{cb} визначається як відношення кількості специфікованих складових частин виробу (дорівнює кількості складальних одиниць) до загальної кількості його складових частин

$$K_{cb} = \frac{E}{E + D}$$

Коефіцієнт перспективного використання деталей та складальних одиниць даного виробу в інших виробих $K_{n.u}$ визначається за формулою

$$K_{n.u} = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^Q n_i}$$

де n_i – кількість даних виробів, що використовуються як складова частина i -го виробу; Q – кількість найменувань виробів, в яких планується використання елементів даного виробу.

Цей показник характеризує перспективність виробу для

використовування його як складова частина в інших запланованих виробках.

К.3. Комплексні показники технологічності виробу

Комплексні показники технологічності конструкції на відміну від часткових характеризують не окремі часткові ознаки технологічності, а певну групу ознак технологічності конструкції виробу.

Технологічність конструкції виробу може характеризуватися одним комплексним показником або декількома, що узагальнюють групи часткових показників або виражають різні види технологічності конструкції виробу.

Методика визначення комплексних показників враховує різну економічну ефективність вхідних часткових показників шляхом введення коефіцієнтів економічної ефективності (вагові коефіцієнти) K_e часткових показників технологічності конструкції виробу. Цей коефіцієнт доцільно обмежувати значеннями $0 \leq K_e \leq 1$. При цьому рекомендується коефіцієнти

економічної ефективності визначати з умови $\sum_{i=1}^n K_e = 1$.

Наприклад, технологічність конструкції виробу оцінюється чотирма частковими коефіцієнтами технологічності K_1, \dots, K_u . Вважаємо, що тільки ці чинники істотно впливають на трудомісткість і собівартість даного виробу. Отже, між ними розподіляється 100% ефективності всіх засобів підвищення технологічності виробу. За типовим представником даного виробу (або шляхом опитування фахівців) встановлено співвідношення даних показників як $K_{1e} = 0,5; K_{2e} = 0,3; K_{3e} = 0,1; K_{4e} = 0,1$.

Допускається коефіцієнт економічної ефективності показників технологічності визначати з умови $K_e^{\max} = 1$. Тоді всі інші K_{ie} будуть менше 1. Розподіл величин коефіцієнтів економічній ефективності між показниками

технологічності конструкції виробу визначається на основі:

- аналізу статистичних даних;
- аналізу часткових показників методом кореляційного аналізу;
- використання методу експертних оцінок (опитування фахівців).

Комплексний показник технологічності, що представлений середньою арифметичною або середньою зваженою з врахуванням економічної еквівалентності прийнятих часткових показників і що відповідає вимогам наочності виразу технологічності виробу, визначається за формулою

$$K = \frac{K_1 K_{1e} + K_2 K_{2e} + \dots + K_n K_{ne}}{K_{1e} + K_{2e} + \dots + K_{ne}} = \frac{\sum K_i K_{ie}}{\sum K_{ie}},$$

де K – комплексний показник технологічності; K_i – частковий показник технологічності; K_{ie} – коефіцієнт економічної еквівалентності i – го часткового показника.

Значення комплексного показника, що надано у відсотках, наочно показує ступінь відпрацювання на технологічність конструкції виробу.

При обчисленні вказаних показників необхідно зробити висновки про технологічність конструкції виробу за частковими та комплексними показниками.

В висновках по даному підрозділу треба зробити висновки про технологічність конструкції виробу в цілому. У випадку не технологічності конструкції за окремими показниками необхідно дати рекомендації щодо підвищення технологічності конструкції виробу.

РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ

До приладів пред'являються певні вимоги по точності показань або на вихідні параметри за заданих умов експлуатації. При цьому повинна забезпечуватися надійність роботи приладу та необхідний термін його роботи. Всі ці вимоги забезпечуються правильним і обґрунтованим вибором принципової схеми приладу та його конструкції, а також технологією виготовлення деталей і складання приладу. Однією з основних умов технологічності конструкції приладу при виконанні його складання в серійному і масовому виробництві є взаємозамінність складальних одиниць і деталей.

У процесі виробництва приладів неминучі похибки в виготовленні деталей і складальних одиниць. Тому вихідні параметри складальних одиниць і приладів відрізняються від номінальних значень. Врахувати вплив на вихідні параметри складальних одиниць або приладу – це означає здійснити розрахунок геометричної точності та розрахунок приладу за фізичну взаємозамінність (розрахунок параметричної точності).

Залежно від теми дипломного проекту і змісту розрахунково-конструкторської частини виконується або розрахунок геометричної точності (розмірного ланцюга), або розрахунок фізичної взаємозамінності. Вид розрахунку визначається керівниками технологічної частини проекту.

Необхідна точність складання (геометрична точність) може забезпечуватися різними методами залежно від вимог точності й програми випуску. В приладобудуванні застосовують в основному п'ять методів забезпечення точності:

- метод повної взаємозамінності;
- метод часткової (неповної) взаємозамінності;
- метод підбору (групова взаємозамінність);
- метод регулювання;

– метод пригону (підбору або виготовлення "по місцю").

Розрахунок геометричної точності зводиться до розрахунку розмірного ланцюга. Необхідність розрахунку розмірного ланцюга повинна бути обґрунтована. Розрахунок ланцюга передуює складання конструктивної схеми виробу і його складових частин за складальним кресленням, за якими визначається розмірний ланцюг.

Згідно з ГОСТ 16319-80 розрізняють пряму і обернену задачі розрахунку розмірних ланцюгів.

Найтипівішою в технологічній практиці є рішення прямої задачі. В цьому випадку визначається розмір (номінальний розмір та відхилення) замикаючої ланки за відомими розмірами складових ланок розмірного ланцюга.

Для вирішення оберненої задачі за розміром і відхиленнями замикаючої ланки необхідно визначити розміри та відхилення на всі складові ланки розмірного ланцюга. Кількість невідомих допусків дорівнює кількості складових розмірного ланцюга.

Відповідно до ГОСТ 16320-80 розмірні ланцюги, для яких за умов виробництва доцільно призначати більш широкі допуски на складові розміри (допускаючи для невеликої частини виробів вихід замикаючої ланки за межі поля допуску) повинні розраховуватися методом вірогідності. В цьому випадку в технологічних умовах повинен бути вказано відсоток дефектних виробів в партії та повинні передбачатися додаткові контрольні заходи, що виключають можливість поставки їх споживачу. Згідно цьому стандарту встановлюється у разі потреби забезпечення повної (100%–ої) взаємозамінності виробів за рахунок визначення допусків їх розмірних ланцюгів за методом максимуму – мінімуму (повної взаємозамінності). Розрахунок розмірного ланцюга в технологічній частині проекту може виконуватися одним з вказаних методів. Найбільш часто для цієї мети застосовують метод повної

взаємозамінності й метод теоретичної вірогідності (неповної взаємозамінності).

Номинальний розмір замикаючої ланки дорівнює

$$A_{зам} = \sum_{i=1}^n A_{ізб} - \sum_{j=1}^p A_{ізм}$$

де $A_{зам}$ – номінальний розмір замикаючої ланки; $A_{ізб}$, $A_{ізм}$ – збільшуючі та зменшуючі ланки розмірного ланцюга; n , p – кількість збільшуючих та зменшуючих ланок в ланцюзі відповідно.

Оскільки замикаюча ланка є функцією складових розмірів $A_{зам} = \varphi(A_1; A_2; \dots; A_{m-1})$, то її похибка є функцією від похибок виготовлення початкових ланок

$$\Delta A_{зам} = \varphi(\Delta A_1; \Delta A_2; \dots; \Delta A_{m-1}),$$

де m – загальна кількість ланок в розмірному ланцюзі.

Методика її розрахунку або отримання визначається формою взаємозамінності.

Л.1. Метод повної взаємозамінності

Даний метод передбачає забезпечення необхідної точності складання за будь-яких можливих гранично допустимих відхилень розмірів деталей, які входять до єдиного розмірного ланцюга.

В ході організації складання цей метод є найпростішим, він не потребує додаткових налагоджувальних та регулювальних робіт і зводиться до звичайного стикування та послідовного з'єднання деталей даної складальної одиниці або виробу в цілому. Метод не забезпечує високої точності складання.

Оскільки гранично можливі похибки розмірів виготовлення деталей ΔA_i за умови придатності продукції дорівнюють відповідним межам допусків δ складових ланок ланцюга в їх абсолютному значенні, тобто

$\Delta A_1 = |\delta_1|$, $\Delta A_2 = |\delta_2|$, ..., $\Delta A_{m-1} = |\delta_{m-1}|$, то допуск замикаючої ланки дорівнює арифметичній сумі абсолютних значень допуску складових ланок:

$$\delta_{зам} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|, \quad (Л.1)$$

де m – кількість ланок у розмірному ланцюгу; $|\delta_i|$ – допуски складових ланок ланцюга.

Визначати точність складальних елементів зручніше починати з розгляду прямої задачі.

Л.1.1. Пряма задача

Існують три методи розв'язання цієї задачі.

Координатний метод

Знаходимо координату середини кожного допуску зі своїми знаками (+) або (-) згідно посадки допуску відносно базової основної лінії 0-0:

$$K = \frac{(BB) + (HB)}{2} \quad (Л.2)$$

де BB та HB – верхнє та нижнє відхилення кожного допуску розмірної ланки зі своїм знаком (+) або (-). При цьому BB або HB можуть дорівнювати нулю.

Знаходимо величину допуску на замикаючу ланку $\delta_{зам}$ за формулою

$$\delta_{зам} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|$$

Визначимо координату середини допуску $K_{зам}$ зі знаком:

$$K_{зам} = \sum_{i=1}^n K_{i3б} - \sum_{j=1}^p K_{j3м} \quad (Л.3)$$

де $K_{i3б}$ та $K_{j3м}$ – координати середини допусків ланок, що збільшують та зменшують, зі своїми знаками (Л.3).

Визначимо необхідні відхилення допуску замикаючої ланки:

$$\begin{aligned} (BB)_{зам} &= K_{зам} + 0.5 \sum_{i=1}^{m-1} \delta_{зам} \\ (HB)_{зам} &= K_{зам} - 0.5 \sum_{i=1}^{m-1} \delta_{зам} \end{aligned} \quad (Л.4)$$

Екстремальний метод з врахуванням номіналів

На виробництві він має назву метод “максимуму -мінімуму”.

Максимальне та мінімальне значення замикаючої ланки визначається за формулами

$$\begin{aligned} A_{зам}^{max} &= \sum_{i=1}^n A_{i3б}^{max} - \sum_{j=1}^p A_{j3м}^{min} \\ A_{зам}^{min} &= \sum_{i=1}^n A_{i3б}^{min} - \sum_{j=1}^p A_{j3м}^{max} \end{aligned} \quad (Л.5)$$

де суми максимальних та мінімальних величин ланок, які збільшують або зменшують, беруть з урахуванням їх номінальних значень.

Верхнє та нижнє відхилення допуску замикаючої ланки

$$\begin{aligned} (BB)_{зам} &= A_{зам}^{max} - A_{зам} \\ (HB)_{зам} &= A_{зам}^{min} - A_{зам} \end{aligned} \quad (Л.6)$$

Метод екстремальний безномінальний

Цей метод найпростіший і рекомендується виробництву. У разі застосування методу визначають $(BB)_{зам}$ і $(HB)_{зам}$:

$$\begin{aligned} (BB)_{зам} &= \sum_{i=1}^n (BB_i)_{3б} - \sum_{j=1}^p (HB_j)_{3м} \\ (HB)_{зам} &= \sum_{i=1}^n (HB_i)_{3б} - \sum_{j=1}^p (BB_j)_{3м} \end{aligned} \quad (Л.7)$$

де (ВВ), (НВ) – верхнє і нижнє відхилення допусків складових ланок, які взято зі своїми знаками. Очевидно, що даний метод найбільш технологічний і простий у застосуванні.

Визначимо кінцеву відповідь у цифровому виді:

$$A_{зам} \begin{matrix} (ВВ)_{зам} \\ (НВ)_{зам} \end{matrix} \text{ мм.}$$

Наприклад, $5_{-0,12}^{+0,25}$ мм.

Всі три методи повинні мати однакові відповіді.

Л.1.2. Обернена задача

У цьому разі виходячи з умов роботи виробу технічними умовами задають точність замикаючої ланки розмірного ланцюга, тобто потрібну кінцеву точність складання. Слід визначати допуски на складові ланки, що забезпечують цю точність вихідного параметра, методом повної взаємозамінності простим стикуванням деталей. Це завдання на виробництві розв'язують за допомогою за допомогою двох методів.

Метод рівності допусків

У простих розмірних ланцюгах із сумарними розмірами (тобто приблизно однаковими) допуски складових ланок беруть однаковими і прирівнюються до середнього допуску: $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_{cp}$. Тоді згідно з (Л.1)

$$\delta_{cp} = \delta_{зам} / (m - 1)$$

Але в більшості випадків цей метод мало застосовується через несумірність розмірів, оскільки це приводить до значного розбігу квалітетів точності елементів розмірного ланцюга, що недопустимо.

Метод рівності квалітетів точності

Цей метод дає змогу оцінити точність складових елементів з урахуванням їх несумірності з використанням стандартних таблиць

допусків квалітетів точності. Згідно з ГОСТ 25346-82 будь-який допуск для розмірів від 1 до 500 мм визначається виразом:

$$\delta = ai$$

де a – кількість одиниць допуску, що встановлена для кожного квалітета точності (тобто a встановлює зв'язок допуску з квалітетом); i – величина одиниці поля допуску, що пов'язує допуск з номінальними розмірами ланок, в мкм:

$$i = 0.45\sqrt[3]{A} + 0.001A,$$

A – номінальний розмір, мм.

Виходячи з умови рівності квалітетів у всіх ланках розмірного ланцюга маємо $a_1 = a_2 = \dots = a_{m-1} = a_{cp}$. Тоді допуск на замикаючу ланку дорівнює

$$\delta_{зам} = a_{cp} \sum_{j=1}^{m-1} i_j.$$

Орієнтована кількість одиниць поля допуску для розмірного ланцюга визначається як

$$a_{cp} = \frac{\delta_{зам}}{\sum_{j=1}^{m-1} i_j} = \frac{\delta_{зам} \cdot 10^3}{\sum_{j=1}^{m-1} (0.45\sqrt[3]{A_j} + 0.001A_j)}. \quad (Л.8)$$

Одержаний результат корегують за табличним значенням a_T (табл. Л.1), вибираючи найближче значення a (зазвичай, у бік зменшення квалітету).

Таблиця Л.1

Квалітет	<i>IT5</i>	<i>IT6</i>	<i>IT7</i>	<i>IT8</i>	<i>IT9</i>	<i>IT10</i>	<i>IT11</i>	<i>IT12</i>	<i>IT14</i>
Кількість одиниць	7	10	16	25	40	64	100	160	350

За одержаним квалітетом точності з таблиці допусків знаходять допуски на складові ланки і згідно з посадкою вибирають знаки їх відхилень (+) або (-). Унаслідок корегування кількості одиниць ($a_{cp} \neq a_T$) виникає розходження між допуском замикаючої ланки та сумою допусків інших ланок, тобто порушується рівність (Л.1). Тому одну із складових ланок вважають компенсуючою і допуск на неї визначають за виразом

$$\delta_k = \delta_{зам} - \sum_{i=1}^{m-2} |\delta_i|. \quad (Л.9)$$

За компенсуючу ланку беруть той розмір деталі, який можливо виготовити більш просто та економічно.

Верхнє та нижнє відхилення допуску компенсуючого розміру A_k визначають методом рівності допусків із рівняння (Л.4) зв'язку між координатами середин допусків замикаючої ланки і складових ланок (знак (+) беруть тоді, коли компенсуюча ланка A_k є збільшуючою, знак (-) тоді, коли вона зменшуюча).

$$K_k = \pm [K_{зам} - \left(\sum_{i=1}^n K_{i3б} - \sum_{j=1}^m K_{j3м} \right)] \quad (Л.10)$$

Суми координат середин допусків складових ланок беруть без урахування компенсатора. Верхнє та нижнє відхилення допуску компенсатора визначають за формулою

$$\begin{aligned} (BB)_k &= K_k + 0,5\delta_k \\ (HB)_k &= K_k - 0,5\delta_k \end{aligned} \quad (Л.11)$$

Кінцеве значення розміру компенсатора представляють як:

$$A_k \rightarrow A_{k(BB)_k}^{(BB)_k} \text{ мм.}$$

Наприклад, $8_{-0,43}^{+0,18}$ мм.

Розв'язання методом екстремальним безномінальним

Отримати рішення цієї задачі можна більш простим методом. Для цього необхідний квалітет точності в даному ланцюзі визначають за допомогою (Л.8) і таблиці Л.1 та розраховують компенсуючу ланку за формулою (Л.9).

Тоді, якщо компенсатор є збільшуючою ланкою, то верхнє та нижнє відхилення компенсуючої ланки визначають як:

$$\begin{aligned}(BB)_{кзб} &= ((BB)_{зам} - (\sum_{i=1}^{n-1} (BB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^p (HB_j)_{зм})) \\ (HB)_{кзб} &= ((HB)_{зам} - (\sum_{i=1}^{n-1} (HB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^p (BB_j)_{зм}))\end{aligned}\tag{Л.12}$$

Інакше, якщо компенсатор є зменшуючою ланкою, то маємо:

$$\begin{aligned}(BB)_{кзм} &= -((HB)_{зам} - (\sum_{i=1}^n (HB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^{p-1} (BB_j)_{зм})) \\ (HB)_{кзм} &= -((BB)_{зам} - (\sum_{i=1}^n (BB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^{p-1} (HB_j)_{зм}))\end{aligned}\tag{Л.13}$$

З врахуванням цього розміри компенсатора мають такі значення, вона повинна відповідати значенням попереднього розрахунку:

$$A_k \rightarrow A_{к(BB)_к}^{(BB)_к} \text{ мм.}$$

Л.2. Метод неповної взаємозамінності

Метод неповної взаємозамінності дає змогу, не порушуючи точності складання, збільшити допуски на виготовлення складальних елементів і тим самим значно зменшити вартість їх виготовлення. Найбільшу ефективність даний метод забезпечує в масовому виробництві.

Забезпечення точності складання цим методом ґрунтується на тому, що до складання надходять деталі, справжні розміри яких виконанні не за

граничними значеннями, як передбачалось за повною взаємозамінністю, а мають розкид в межах допусків через наявність виробничих похибок.

Л.2.1. Пряма задача

При використанні цього методу вважають, що допуск $\delta_{зам}$ є результатом сукупності випадкових факторів, він визначають з формулою:

$$\delta_{зам} = K \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2} \quad (Л.14)$$

де m – кількість ланок ланцюга; $\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2$ – сума квадратів допусків складових ланок; K – коефіцієнт, що враховує закон розподілу: $K=1$ – для закону Гауса; $K=1,22$ – для закону Сімпсона; $K=1,73$ – для закону рівномірного збільшення та рівномірного зменшення.

Координати середини поля допуску замикаючої ланки у випадку неповної взаємозамінності розраховуються як:

$$\Delta K_{зам.неп.} = \sum_{i=1}^q (\Delta K_{зб} + \alpha \delta_{зб}) i - \sum_{i=1}^n (\Delta K_{зм} + \alpha \delta_{зм}) i, \quad (Л.15)$$

де q – кількість ланок, що збільшують замикаючий ланцюг; n – кількість ланок, що є зменшуючими; $\delta_{зб}$, $\delta_{зм}$ – відповідно допуски ланок, що збільшують та зменшують; $\Delta K_{зб}$, $\Delta K_{зм}$ – координати середин полів допуску ланок, які збільшують та зменшують; α – величина асиметрії кривих розподілу розмірів складових ланок: для законів Гауса, Сімпсона та рівної ймовірності $\alpha = 0$; для закону рівномірного зростання розмірів $\alpha = 0,166$; для закону рівномірного зменшення розмірів $\alpha = 0,166$.

Тоді граничні відхилення допуску замикаючої ланки ланцюга знаходять з виразу:

$$\Delta \pm_{зам.неп.} = \Delta K_{зам.неп.} \pm \frac{1}{2} K \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2} \quad (Л.16)$$

Л.2.2. Обернена задача

В цій задачі дано допуск замикаючої ланки розмірного ланцюга $\delta_{зам}$.

Допуски складових ланок розмірного ланцюга визначають за формулою:

$$\delta_{зам} = \sqrt[m-1]{\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2},$$

а кількість одиниць допуску для цього випадку знаходять з виразу:

$$\alpha = \frac{\delta_{зам}}{K \sqrt[m-1]{\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2}} \quad (Л.17)$$

Л.3. Приклад розрахунку розмірного ланцюга

Нехай при складанні гіромотора (рис Л.4) необхідно забезпечити щільну між торцем ротора і кришкою. Ця вимога повинна бути забезпечена в умовах серійного виробництва за рахунок постановки економічно виправданих допусків на деталі гіромотора. Схема розмірного ланцюга показана на рис. Л.5.

У таблиці Л.2. наведено номінальні значення ланок розмірного ланцюга та їх допустимі відхилення, які взяті з креслення гіромотора.

Розв'яжемо пряму задачу, яка полягає в визначенні номінального розміру і допуску замикаючої ланки.

В даному розмірному ланцюзі ланки $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3$ - збільшуючі ланки, а $\bar{A}_4, \bar{A}_5, \bar{A}_6, \bar{A}_7, \bar{A}_8, \bar{A}_9, \bar{A}_{10}$ - зменшуючі. Оскільки всі ланки розмірного ланцюга паралельні, то номінальний розмір замикаючої ланки дорівнює

$$A_{зам} = \sum_{i=1}^3 A_i - \sum_{i=4}^{10} A_i = (8 + 56 + 48) - (4 + 20 + 6 + 38 + 32 + 5 + 6) = 1 \text{ (мм)}.$$

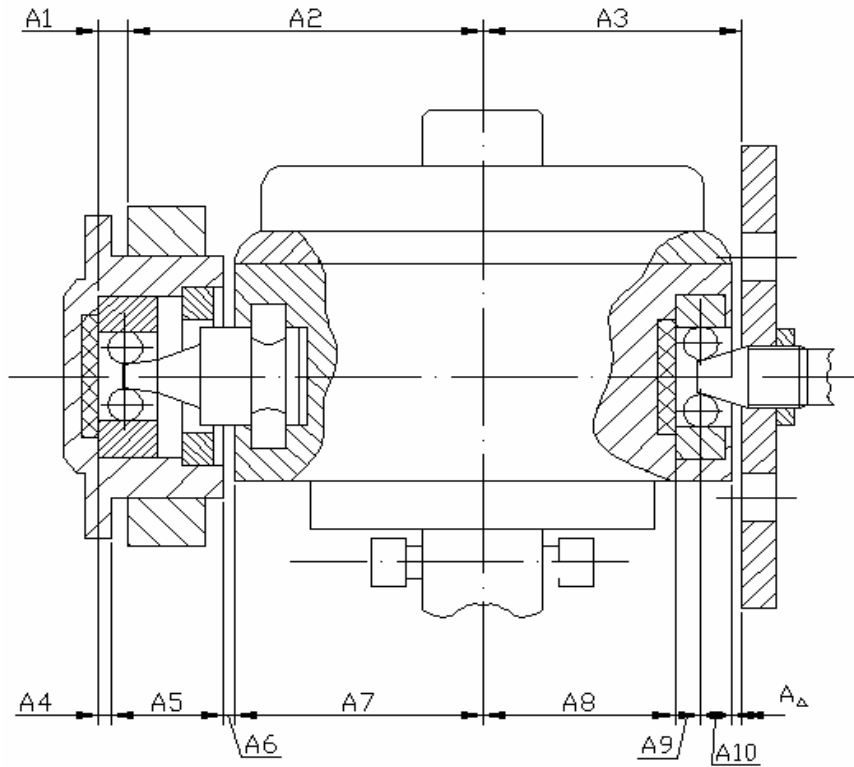


Рис. Л.1. Креслення гідромотора з розмірним ланцюгом.

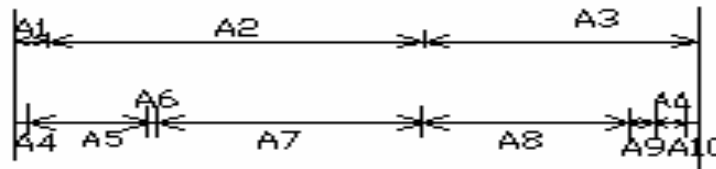


Рис Л.2. Схема розмірного ланцюга.

$$\delta_{зам} = \sum_{i=1}^{10} |\delta_i| = (0,1 + 0,15 + 0,15 + 0,03 + 0,05 + 0,02 + 0,15 + 0,15 + 0,05 + 0,05) = 0,9$$

Координата середини поля допуску замикаючої ланки визначається як

$$K_{зам} = \sum_{i=1}^3 K_i - \sum_{i=4}^{10} K_i = (0,05 + 0,975 - 0,975) - (+0,15 + 0,025 + 0,01 - 0,075 - 0,075 + 0,075 + 0,025 + 0,025) = 0,1(\text{мм}).$$

Таблиця 9.1 Значення розмірів розмірного ланцюга.

Ланка	Номинальний розмір	Допустиме відхилення	Ланка	Номинальний розмір	Допустиме відхилення
A_1	8	+0,1	A_6	6	+0,02
A_2	56	+0,15	A_7	38	-0,15
A_3	48	-0,15	A_8	32	-0,15
A_4	4	+0,03	A_9	5	+0,05
A_5	20	+0,05	A_{10}	6	+0,05

Верхнє і нижнє відхилення розміру замикаючої ланки дорівнюють

$$(BV)_{зам} = K_{зам} + 0,5\delta_{зам} = 0,1 + 0,05 \times 0,9 = 0,55$$

$$(HB)_{зам} = K_{зам} - 0,5\delta_{зам} = 0,1 - 0,05 \times 0,9 = -0,35.$$

Таким чином, у разі повної взаємозамінності замикаюча ланка $A_{зам}$ дорівнює $A_{зам} = (1_{-0,35}^{+0,55})$ мм.

Визначимо допуск замикаючої ланки імовірнісним методом (методом неповної взаємозамінності)

$$\delta_{зам} = K \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (\delta_i)^2}$$

Припускаючи, що закони розподілу складових розмірів ланцюга є нормальними, то поле розсіювання замикаючої ланки дорівнює

$$\delta_{зам} = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (\delta_i)^2} = \sqrt{0,01} \approx 0,33 \text{ (мм)}$$

З урахуванням коефіцієнтів відносного розсіювання розмірів α_i , значення яких для ланок розмірного ланцюга дорівнюють

$$\alpha_1 = 0; \alpha_2 = 0; \alpha_3 = 0; \alpha_4 = 0,2; \alpha_5 = 0,1; \alpha_6 = 0; \alpha_7 = 0; \\ \alpha_8 = 0,4; \alpha_9 = 0; \alpha_{10} = 0.$$

визначимо координату середини поля розсіювання замикаючої ланки як:

$$\Delta K_{\text{замнеп}} = \sum_{i=3}^3 (\Delta K_i + 0,5\alpha_i \delta_i) - \sum_{i=4}^{10} (\Delta K_i + 0,5\alpha_i \delta_i) = 0,0655 \text{ (мм)}.$$

Верхня і нижня границі поля розсіювання замикаючої ланки дорівнюють

$$(BB)_{\text{замнеп}} = \Delta K_{\text{замнеп}} + \frac{\delta_{\text{зам}}}{2} = 0,0655 + \frac{0,33}{2} = 0,2305; \\ (HB)_{\text{замнеп}} = \Delta K_{\text{замнеп}} - \frac{\delta_{\text{зам}}}{2} = 0,0655 - \frac{0,33}{2} = -0,0995.$$

Таким чином, при неповній (частковій) взаємозамінності замикаюча ланка має такий розмір

$$A_{\text{замнеп}} = (1_{-0,0995}^{+0,2305}) \text{ мм}.$$

Л.4. Визначення фізичної (параметричної) взаємозамінності

Визначити фізичну (параметричну) взаємозамінність приладу або складальної одиниці – це означає одержати необхідну величину вихідного фізичного параметра в заданих межах для всієї партії складених приладів. До таких фізичних параметрів відносять: пружність або жорсткість, магнітонапруженність або магнітом'якість, електропровідність, вихідна напруга, електроємність, індуктивність, теплопровідність, в'язкість, величина тиску рідини або газу, витрата рідини або газу, частота обертання двигуна тощо. Ці вихідні фізичні параметри елементів приладів є похідними від цілого ряду первинних (вхідних) параметрів і характеристик, з якими вони знаходяться в певній функціональній залежності. Тому фізичну

взаємозамінність часто називають ще функціональною.

Забезпечення фізичної взаємозамінності за деяким необхідним параметром ґрунтується на визначенні всіх первинних чинників і параметрів, від яких залежить вихідний фізичний параметр, й встановленні функціональної залежності, що зв'язує вихідний параметр з вхідними (початковими). Якщо номінальне значення вихідного параметра A представляється у вигляді

$$A_0 = \varphi(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n),$$

то з урахуванням відхилень початкових параметрів ΔA_i реальне значення

$$A = A_0 + \Delta A = \varphi(A_1 + \Delta A_1, A_2 + \Delta A_2, \dots, A_n + \Delta A_n).$$

За умови диференціювання початкової функціональної залежності вираз A можна розкласти в ряд Тейлора в околиці номінальних значень початкових незалежних параметрів

$$A = A_0 + \sum_i \frac{\partial A}{\partial A_i} /_{A_i} (A_i - A_0) + \dots = \varphi(A_1, A_2, \dots, A_n) + \sum \frac{\partial A}{\partial A_i} \Delta A_i + \dots$$

Враховуючи те, що відхилення ΔA_i малі порівняно зі значенням параметрів A_i , можна нехтувати членами вищого порядку ряду Тейлора. Тоді

$$A \approx \varphi(A_1, A_2, \dots, A_n) + \frac{\partial A}{\partial A_1} \Delta A_1 + \frac{\partial A}{\partial A_2} \Delta A_2 + \dots + \frac{\partial A}{\partial A_i} \Delta A_i.$$

Для функції декількох змінних при умові її диференційованості повний диференціал дорівнює

$$dA \approx \frac{\partial A}{\partial A_1} d\Delta A_1 + \frac{\partial A}{\partial A_2} d\Delta A_2 + \dots + \frac{\partial A}{\partial A_i} d\Delta A_i.$$

Здійснивши заміну диференціалів dA і dA_i кінцевими приростами ΔA і ΔA_i з урахуванням їх малості, одержимо похибку вихідного параметра

$$A = \frac{\partial A}{\partial A_1} \Delta A_1 + \frac{\partial A}{\partial A_2} \Delta A_2 + \dots + \frac{\partial A}{\partial A_n} \Delta A_n.$$

Часткові похідні $\frac{\partial A}{\partial A_i}$ є коефіцієнтами впливу первинного чиннику A_i

на вихідний параметр A приладу. Вони визначають характер зміни вихідної величини від похибки кожного з параметрів A_i .

При визначенні взаємозамінності приладу у відносних одиницях величина його похибки представляється у вигляді

$$\delta_{i\partial i} = \frac{\Delta \dot{A}}{\dot{A}} = \frac{1}{\varphi(A_1 + A_2 + \dots + A_n)} \left(\frac{\partial A}{\partial A_1} \Delta A_1 + \frac{\partial A}{\partial A_2} \Delta A_2 + \dots + \frac{\partial A}{\partial A_i} \Delta A_i \right).$$

У виробничих умовах відхилення кожного з початкових параметрів в межах допуску підкоряється певному закону розподілу. З урахуванням цього величину відносного розкиду параметра δ_A вихідного параметра та його середнє квадратичне відхилення σ_A можна визначити наступним чином

$$\delta_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i)^2 (U_i)^2 (\delta_i)^2};$$

$$\sigma_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i)^2 (\delta_i)^2}.$$

Тут $U_i = \frac{\partial A}{\partial A_i} / A_i$; $K_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_{i,\zeta}}$; $\alpha_i = \frac{\sigma_i}{\delta_i}$; σ_i ; δ_i середнє квадратичне

відхилення та величина допуску на i -й параметр; α_i – відносне розсіювання i -го параметра; $\alpha_{i,\zeta}$ – відносне розсіювання i -го параметра при нормальному законі розподілу, $\alpha_{i,\zeta} = 0,1667$.

Вираз для обчислення δ_A одержано при умові, що всі початкові параметри A_i незалежні. Якщо між параметрами A_1 і A_2 існує кореляційний зв'язок, необхідно ввести поправку, яка з урахуванням кожної величини розкиду параметра A дорівнює, що дорівнює

$$\delta_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i)^2 (U_i)^2 (\delta_i)^2 + 2RU_1K_1\delta_1U_2K_2\delta_2},$$

де R – коефіцієнт кореляції.

Л.5. Приклад розрахунку приладу на фізичну взаємозамінність

Визначити похибку вихідного параметра – кількості обертів якоря малогабаритного двигуна постійного струму з незалежним збудженням, що в різноманітних рахункових та самописних приладах.

Для цього двигуна число оборотів якоря в хвилину визначається виразом

$$n = Ea \frac{60 \cdot 10^8}{p \Phi_{\delta} N},$$

де E – електрорушійна сила якоря, $E = U - I \cdot R_A - \Delta U_n$; U – напруга живлення електродвигуна; I – сила струму в обмотці якоря; R_A – опір обмотки якоря; ΔU_n – перехідне падіння напруги на щітках; $2a$ – кількість пар паралельних гілок, обмотки якоря; $2p$ – кількість пар полюсів електродвигуна; Φ_{δ} – магнітний потік в повітряному зазорі; N – кількість провідників обмотки якоря.

Похибка кількості обертів викликана відхиленням початкових параметрів в межах допуску при виготовленні електродвигуна. До таких параметрів відносяться:

$$R_A = (25 \pm 1) \text{ Ом}; \quad \Phi_{\delta} = (5340 * 240,3), \text{ Мкс};$$

$$\Delta U_n = (1,5 \pm 0,5) \text{ В}; \quad N = (2700 * 9) \text{ витків}.$$

Значення допусків на вказані параметри взяті з технічних умов на електродвигун.

Оскільки зміна параметрів в межах допусків являється випадковою, то значення похибки кількості обертів якоря двигуна дорівнює

$$n = \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial \Phi_{\delta}} / \Phi_{\delta} \delta_{\Phi_{\delta}} K_{\Phi_{\delta}}\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial R_A} / R_A \delta_{R_A} K_{R_A}\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial U_n} / U_n \delta_{U_n} K_{U_n}\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial N} / N \delta_N K_N\right)^2}.$$

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ ВИРОБУ

Проектування технологічного процесу складання включає вибір найбільш раціональних процесів і способів складання, визначення послідовності з'єднання деталей і складальних одиниць, регулювання і контролю виробу та складальних одиниць, вибір необхідного устаткування, робочих і вимірювальних інструментів та нормування операцій технологічного процесу.

При цьому треба передбачати всі заходи з забезпечення заданої програми випуску виробів, що повністю відповідають технічним вимогам, скорочення трудомісткості, тривалості циклу складання і зниження вартості виробу.

Розробку технологічного процесу зазвичай розпочинають з вивчення і аналізу конструкції за кресленнями, схемами, технічними вимогами та програмою випробувань. В результаті цього аналізу треба встановити взаємозв'язок складальних одиниць приладу, умови взаємозамінності та функціонування, визначені процеси, що мають найбільш істотний вплив на якість приладу. Комплексно аналізуючи об'єкт складання (складальну одиницю або прилад), необхідно звернути увагу на такі особливості складання:

– ступінь розчленування приладу, тобто кількість складальних одиниць, що входять в даний прилад. Розчленованість приладу на складальні одиниці призводить до скорочення виробничого циклу його виготовлення за рахунок організації паралельного складання складальних одиниць;

– характер з'єднання окремих деталей.

Потреба розчленування приладу на складальні одиниці

визначається в першу чергу умовами роботи й експлуатації, можливістю виготовлення та з'єднання деталей.

Кількість складальних одиниць в приладі визначає можливість скорочення трудомісткості й тривалості (циклу) складання за рахунок створення умов для виконання складальних операцій, поділу процесу складання на паралельні потоки, автоматизації і механізації процесів, тобто поділ на складальні одиниці проводиться ще з технологічних міркувань.

Після такого аналізу конструкції приладу виконується розробка послідовності складання, послідовності й змісту кожної операції та оформляється технологічна документація.

М.1. Схема складального складу

На підставі аналізу конструкторської документації створюється схема складального складу. Побудова таких схем дозволяє визначити конструктивні і складальні елементи приладу та їх взаємозв'язок, а також представити в наочному вигляді проект технологічного процесу складання.

На рис. М.1 наведено схему складального складу. На цій схемі окремі деталі і складальні одиниці зображують у вигляді прямокутників, де вказують номер позиції деталі або складальної одиниці згідно з специфікацією, її найменування та необхідну кількість. Схема складального складу використовується для аналізу й синтезу приладу та процесу складання. Під аналізом розуміють ступінь розчленовування приладу в процесі складання. Під синтезом приладу й складального процесу мають на увазі прийняття правил (порядку) побудови приладу із його елементів і складального процесу з його операцій та їх частин.

В схемі складального складу можуть бути вказані джерела надходження елементів і терміни готовності різних операцій складання і

приладу в цілому. Схему можна використовувати як диспетчерський документ, згідно з яким зручно спостерігати за процесом виробництва виробу і вживати заходи, якщо готовність тих або інших елементів не відповідає графіку. В той же час схема складального складу не дає уявлення про послідовність складання та способи забезпечення з'єднань.

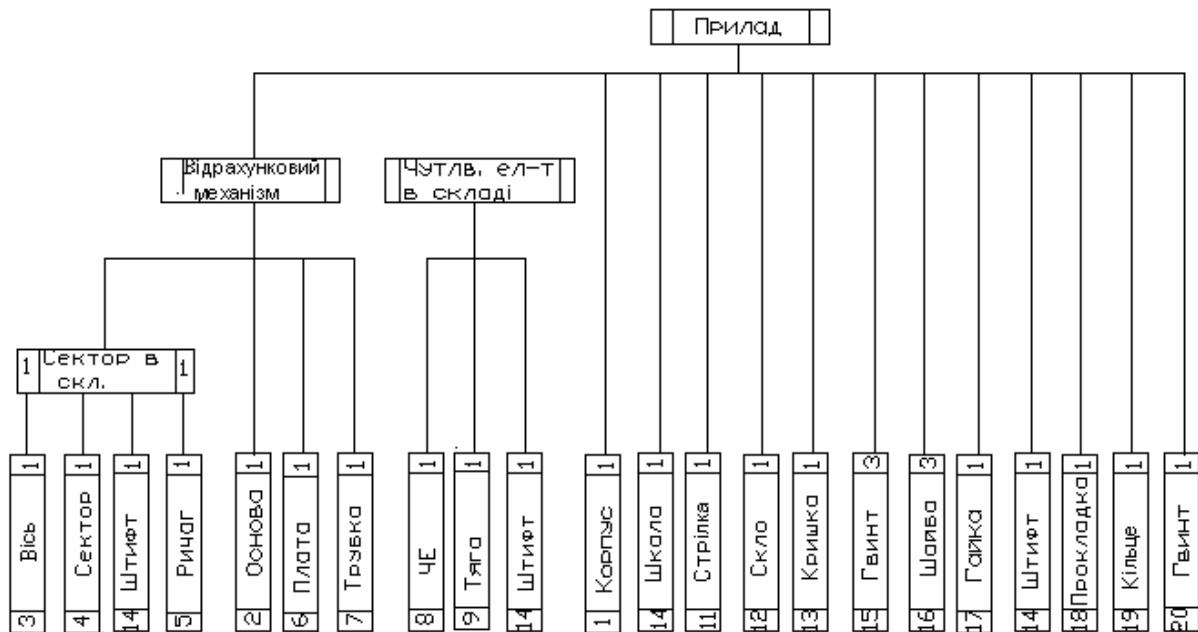


Рис.М.1. Схема складального складу приладу.

М.2. Технологічна схема складання

Послідовність складання, способи забезпечення з'єднань, періодичність і зміст процесу регулювання, випробування та контролю визначає технологічна схема складання. На рис. М.2 наведено технологічну схему складання. Деталі і складальні одиниці в цій схемі виконуються також у вигляді прямокутників, розділених на три частини, аналогічно зображенню на схемі складального складу виробу. У першій частині прямокутника проставляється номер позиції деталі згідно специфікації, в другій – її найменування, в третій – кількість деталей

від лінії складання по її ходу. Кріпильні деталі, за допомогою яких кріпляться основні деталі й складальні одиниці до базових або до деталей, раніше приєднаних до базової деталі, показують зліва від лінії складання. Також зліва від лінії складання за її напрямком на виносних лініях роблять технологічні надписи, що обумовлені технологічними вимогами на складання, та додаткові технологічні деталі, що використовуються при складанні складальної одиниці та приладу в цілому.

Технологічна схема складання сприяє аналізу конструкції приладу з технологічної точки зору, дозволяє вносити зміни в конструкцію приладу, що спрощують технологічний процес складання. Технологічна схема складання є собою наочним зображенням складального процесу та є основним документом, що фіксує технологічний процес складання.

М.3. Маршрутний технологічний процес

Одним з основних етапом проектування технологічного процесу є розробка маршруту складання, що є переліком операцій в порядку їх виконання. При встановленні послідовності операцій необхідно керуватися наступними загальними принципами:

- попередні операції не повинні затрудняти виконання подальших операцій і в наступних операціях точність складання повинна зростати;
- при точному складанні розбиття процесу на операції диктується режимом складання, причому час, що витрачається на виконання кожної операції, повинен бути однаковим або кратним;
- операції, на яких можливий брак, виконуються спочатку та після них виконується операція контролю.

Маршрут складання зазвичай розпочинається з підготовчої операції, в процесі якої здійснюється отримання, розконсервація, розмагнічування сталевих, промивка, очищення і контроль основних деталей тощо. Надалі

маршрут будується з урахуванням розбиття приладу на складальні одиниці. При цьому послідовність складальних, операцій визначається рівнем складальних одиниць згідно схемі складального складу – чим нижчий їх рівень, тим раніше виконується складання. Загальна кількість складальних операцій повинна відповідати кількості складальних одиниць. Технологічний процес складання зазвичай завершується контрольно-юстирувальними та повірочними операціями. Маршрутний технологічний процес оформляється в маршрутні карти згідно ГОСТ 3.1118.82.

М.4. Операційний технологічний процес

Операційна технологічна карта є детальною розробкою кожної технологічної операції з урахуванням її елементів згідно технологічної схеми складання. Операційний технологічний процес представляється у вигляді послідовності переходів, при цьому запис кожного переходу починається з дієслова наказового нахилу, що вказує вид роботи. Потім записується об'єкт роботи (базова деталь або деталь, раніше приєднана до базової деталі) й результат виконання роботи на даному технологічному переході. Кожній точці на лінії складання (місцю приєднання прямокутників з найменуванням деталей до лінії складання на технологічній схемі складання) повинен відповідати свій перехід. Операційна технологія забезпечується операційними ескізами тих деталей, які застосовуються в даній операції. Операційний технологічний процес оформляється в вигляді операційних карт згідно ГОСТ 3.1118-82. Останні описують технологічні операції з вказанням переходів, умов складання й даних про засоби технологічного оснащення.

На додаток до маршрутної і операційної технологій (маршрутним і операційним картам), картам ескізів і схем згідно ГОСТ 3.1105-84 на технологічну документацію складається технологічна інструкція і

відомість оснащення (ГОСТ 3.1122-84).

Технологічна інструкція дає опис прийомів роботи при складанні, правил експлуатації засобів технологічного оснащення, опис фізичних і хімічних явищ, що відбуваються при виконанні окремих операцій.

Відомість оснащення містить перелік технічних засобів, вживаних при складанні, в технологічній послідовності згідно з маршрутною картою.