

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра галузевого машинобудування

Пояснювальна записка

до бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:

«ПАРАМЕТРИЧНИЙ ОДНОКАСКАДНИЙ ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ
ТИСКУ В РІДИНІ З РЕГУЛЬОВАНИМ ТИСКОМ ЗАКРИТТЯ»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 1ГМ-216

зі спеціальності 133

«Галузеве машинобудування»

(шифр і назва напрямку підготовки)

Шпак О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., професор каф. ГМ

Обертюх Р.Р.

(прізвище та ініціали)

« 6 » червня 2025 р.

Рецензент: д.т.н., проф., професор каф. АТМ

Кашканов А.А.

(прізвище та ініціали)

« 13 » червня 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри ГМ

д.т.н., професор Поліщук Л.К.

« 10 » орб 2025 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань – 13 Механічна інженерія

Спеціальність – 133 – Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма – Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ГМ

Леонід ПОЛЩУК

«24» 03 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Олексію ШПАКУ

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Параметричний однокаскадний генератор імпульсів тиску в рідині з регульованим тиском «закриття».

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи: к. т. н., проф. Роман ОБЕРТЮХ, затверджено наказом № 97 вищого навчального закладу від 20.03. 2025 р.

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи: . . . 2025 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: 1) номінальний тиск p_1 «відкриття» робочої рідини (енергоносія) живлення параметричного генератора імпульсів тиску (ГІТ) – 10 МПа; 2) тип енергоносія – мінеральна олива (мастило) типу И – Г – А 32 – И – Г – А 68; 3) орієнтовний діапазон регулювання частоти імпульсів тиску енергоносія – 10...100 Гц; 4) орієнтовне внутрішнє передатне відношення ГІТ – $u_{21} = 0,06...0,12$; 5) усталена температура робочого циклу ГІТ (термодинамічний режим – ізотермічний) – 313 К;

б) орієнтовні початкові сумарні об'єми напірної порожнини гідроімпульсного привода (ГІП), що керуватиметься розроблюваним ГІТ та циклового гідроаккумулятора, за його наявності в гідросистемі привода, відповідно: – $W_{0\Sigma} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $W_a = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; 7) орієнтовний діапазон регулювання тиску «закриття» ГІТ відносно $p_1 - p_2 \approx (0,49...0,69) p_1$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1) вступ; 2) аналіз відомих принципових і конструктивних схем однокаскадних параметричних генераторів імпульсів тиску в рідині; 3) розроблення принципової схеми та дослідного зразка конструкції (ДЗК) параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 ; 4) розроблення методики проектного розрахунку однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 ; 5) в розділі з охорони праці та безпеки життєдіяльності: визначити основні шкідливі та небезпечні фактори під час експлуатації ДЗК ГІП ВМ (ВУМ) з розробленим ГІТ; обґрунтувати правила техніки безпеки під час обслуговування ГІП, що керуватиметься розробленим ГІТ; розробити організаційні та технічні заходи дотримання правил техніки безпеки та усунення шкідливих і небезпечних факторів під час експлуатації ДЗК ГІП ВМ (ВУМ) з розроблюваним ГІТ.

5. Перелік ілюстративного (графічного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників): 1) умовні схеми приєднання ГІТ до виконавчого (виконавчих) гідродвигуна (гідродвигунів): а) – «на вході»; б) – «на виході»; в) – «комбінована»; 2) принципові та конструктивні схеми відомих однокаскадних параметричних ГІТ в рідині (2 пл. ф.А1); 3) принципова (структурна) схема та конструкція (ДЗК) розробленого ГІТ (2 пл. ф.А1); 4) складальний кресленик ГІТ (ф.А1); 5) основні залежності методики проектного розрахунку ГІТ для визначення його енергетичних, силових і геометричних параметрів (пл. ф.А1); 6) основні розрахункові параметри (ДЗК) ГІТ (пл. ф.А1).

6. Консультанти розділів бакалаврської кваліфікаційної роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Основний	к. т. н., проф. Роман ОБЕРТЮХ	05.03.2025р.	06.06.2025р.
Охорона праці та безпека життєдіяльності	к.т.н., доц.. Олександр ПОЛІЩУК	02.05.2025р.	20.05.2025р.

7. Дата видачі завдання 05.03.2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів БКР		Примітка
1	Аналіз відомих принципів і конструктивних схем однокаскадних параметричних генераторів імпульсів тиску в рідині.	05.03.2025р.	20.03.2025р.	вик
2	Розроблення принципової схеми та дослідного зразка конструкції (ДЗК) параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» р ₂ .	05.03.2025р.	20.03.2025р.	вик
3	Розроблення методики проектного розрахунку однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» р ₂ .	21.03.2025р.	02.05.2025р.	вик
4	Охорона праці	02.05.2025	12.05.2025	вик
5	Підготовка ілюстративної частини БКР	12.05.2025	06.06.2025	вик
6	Нормоконтроль БКР	10.06.2025	10.06.2025	вик
7	Рецензування БКР	11.06.2025	16.06.2025	вик
8	Захист БКР	За графіком кафедри		

Здобувач

(підпис)

Олексій ШПАК
(ім'я та прізвище)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Роман ОБЕРТЮХ
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Розроблено конструктивну схему та конструкцію параметричного однокаскадного ГІТ прямої дії за схемою приєднання «комбінована» з регульованим тиском «закриття» p_2 . Конструктивно ГІТ виконано у вигляді трьох складальних одиниць (блоків) – розподілення енергоносія, дроселя регулювання режиму посадки ЗРЕ 3 (див. рис. 2.2) та регулятора рівнів тисків «відкриття» p_1 та «закриття» p_2 генератора, що дозволяє, у випадку необхідності, відносно просто змінювати їх конструкцію не міняючи суті приєднувальних блоків. Регулювання тиску p_2 «закриття» ГІТ реалізовано за допомогою додаткової пружини, яка вступає в дію після переміщення ЗРЕ 3 на відстань його додатного перекриття h_{en} .

Діапазон регульованого тиску «закриття» p_2 розробленого параметричного однокаскадного ГІТ визначається за заданого діапазону зміни тиску його «відкриття» p_1 варіюванням безрозмірних параметрів θ_1 і ξ – жорсткості та попередньої деформації додаткової пружини.

Створено методику проєктного розрахунку ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 . Визначено всі основні енергетичні, силові та геометричні генератора.

Ключові слова: акумулятор; амплітуда; витрата; генератор імпульсів тиску; гідравлічна ланка; гідронасос; деформація; дросель; енергоносій; подача; частота.

ABSTRACT

A structural diagram and design of a parametric single-stage direct-acting GIT according to the “combined” connection scheme with adjustable “closing” pressure p_2 have been developed. Structurally, the GIT is made in the form of three assembly units (blocks) – energy distribution, a throttle for adjusting the landing mode of the ZRE 3 (see. Fig. 2.2) and a regulator of the “opening” p_1 and “closing” p_2 pressures of the generator, which allows, if necessary, to relatively easily change their design without changing the essence of the connection blocks. The regulation of the “closing” pressure p_2 of the GIT is implemented using an additional spring, which comes into effect after the ZRE 3 is moved to the distance of its positive overlap h_{sp} .

The range of adjustable pressure "closing" p_2 of the developed parametric single-stage GIT is determined for a given range of change in its "opening" pressure p_1 by varying the dimensionless parameters θ_1 and ξ – stiffness and preliminary deformation of the additional spring.

A methodology for design calculation of GIT with adjustable pressure "closing" p_2 has been created. All the main energy, power and geometric characteristics of the generator have been determined.

Keywords: accumulator; amplitude; flow rate; pressure pulse generator; hydraulic link; hydraulic pump; deformation; throttle; energy carrier; supply; frequency.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	3
1	1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ПРИНЦИПОВИХ І КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ ОДНОКАСКАДНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ІМПУЛЬСІВ ТИСКУ В РІДИНІ.....	5
1.1	Приклади використання параметричних однокаскадних ГІТ прямої дії, силові та розподільні ланки яких суміщені з ПЕВЖ, в малогабаритних гідроімпульсних пристроях для деформаційного зміцнення матеріалів і віброточіння.....	13
1.2	Висновки та постановка задачі розроблення параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2	19
2	РОЗРОБЛЕННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА КОНСТРУКЦІЇ ПАРАМЕТРИЧНОГО ОДНОКАСКАДНОГО ГІТ З РЕГУЛЬОВАНИМ ТИСКОМ «ЗАКРИТТЯ» p_2	20
2.1	Розроблення принципової (структурної) схеми параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2	20
2.2	Розроблення конструкції дослідного зразка (ДЗК) параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2	23
2.3	Висновки.....	28
3	3 МЕТОДИКА ПРОЄКТНОГО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРИЧНОГО ОДНОКАСКАДНОГО ГІТ З РЕГУЛЬОВАНИМ ТИСКОМ «ЗАКРИТТЯ»	30
3.1	Початкові (вхідні) дані	30
3.2	Розроблення методики проєктного розрахунку параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2	32
4	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	42
4.1	Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	42
4.2	Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	44

4.3	Технічні рішення з пожежної безпеки.....	48
	ВИСНОВКИ.....	50
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52
	ДОДАТКИ.....	55
	ДОДАТОК А . Технічне завдання	55
	ДОДАТОК Б. Ілюстративна частина.....	62
	ДОДАТОК В. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	72

ВСТУП

Вібраційні технології широко використовуються в різних галузях промисловості та народного господарства, наприклад, виготовлення ливарних форм і залізобетонних конструкцій, вібропресування виробів з порошкових, механічне оброблення деталей машин віброрізанням (віброточіння, вібросвердління тощо), і деформаційне зміцнення поверхневим деформуванням і т. ін. Реалізуються ці технології технологічним вібраційними (ВМ) та віброударними (ВУМ) машинами та пристрої з механічним, пневматичним, гідравлічним, гідроімпульсним, електромагнітним і комбінованим приводами [1, 2]. Гідроімпульсний привод (ГІП) [1, 2] серед відмічених типів приводів дозволяє забезпечити високі робочі зусилля (до 320 кН та більше) і широкий діапазон регулювання параметрів вібронавантаження об'єкта технологічного впливу на виконавчій ланці ВМ і ВУМ (частоти вібрацій – $1...150$ Гц, амплітуди – $(0,1...10) \cdot 10^{-3}$ м). ГІП простий та надійний в експлуатації та має відносно малу металомісткість.

ГІП [1, 2] створено Ігорем МАТВЕЄВИМ, засновником кафедри металорізальних верстатів вінницької філії КПП (нині кафедра галузевого машинобудування (ГМ) ВНТУ). І. МАТВЕЄВ також заснував наукову школу ГІП та виховав і підготував значну кількість фахівців, які продовжують основні напрямки досліджень і розробок школи, створюючи нові конструкції технологічних вібраційних (ВМ) і віброударних (ВУМ) машин і пристроїв на базі ГІП.

Основною складовою ланкою ГІП є параметричний генератор імпульсів тиску (ГІТ) в робочій рідині гідросистеми привода. ГІТ формує та керує робочим циклом ГІП та вібраційної машини в цілому. Пріоритет в створенні нових схем і розробленні конструкцій гідроімпульсних ВМ та ВУМ і, зокрема, ГІТ належить науковій школі ГІП ВНТУ. Удосконалення ГІП та ГІТ проводиться в напрямку покращання та розширення їх технічних

характеристик, що є **актуальною науковою та інженерною задачею**.

Мета та задачі бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР) – розширення технічних і технологічних характеристик однокаскадного параметричного ГІТ в рідині шляхом розроблення конструктивної схеми та конструкції генератора з регульованим тиском p_2 його «закриття».

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- виконати аналіз відомих аналіз відомих принципів і конструктивних схем однокаскадних параметричних генераторів імпульсів тиску в рідині;
- за результатами зробленого аналізу розробити принципову схему параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 ;
- на основі якісного аналізу будови та принципу дії параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 розробити конструкцію дослідного зразка (ДЗК) генератора;
- ґрунтуючись на аналізі конструкції дослідного зразка генератора, прийнятих початкових (вхідних) даних і наведеному в літературних джерелах досвіді проєктуванні ГІП і ГІТ, розробити методику проєктного розрахунку параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 та визначити його основні енергетичні, силові та геометричні параметри;
- визначити основні шкідливі та небезпечні фактори під час експлуатації ДЗК ГІП ВМ (ВУМ) з розробленим ГІТ, обґрунтувати правила техніки безпеки під час обслуговування ГІП та ГІТ і розробити організаційні та технічні заходи дотримання цих правил та усунення шкідливих і небезпечних факторів;
- зробити загальні висновки за результатами виконання БКР.

Особистий внесок здобувача. Розроблено ДЗК ГІТ та створено науково обґрунтовану методику інженерного проєктного розрахунку параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском p_2 його «закриття».

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ПРИНЦИПОВИХ І КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ ОДНОКАСКАДНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ІМПУЛЬСІВ ТИСКУ В РІДИНІ

Основні сучасні напрямки досліджень і розробок ГП: теоретичні та експериментальні дослідження ГП, які полягають в схемному пошуку нових конструкцій з поліпшеними характеристиками ланок ГП, зокрема такої як параметричний ГТ – одна із основних ланок ГП; математичне моделювання динамічних процесів (ММДП) у ГП; удосконалення на основі результатів ММДП та експериментальних досліджень науково-обґрунтованих методики проєктного розрахунку ГП і ГТ та інших ланок привода; створення на основі схемного пошуку та розроблення нових малогабаритних конструкцій гідроімпульсних пристроїв і механізмів на базі пружних елементів високої жорсткості (ПЕВЖ) типу тарілчастих (ТП), прорізних (ПП) і кільцевих (КП) пружин.

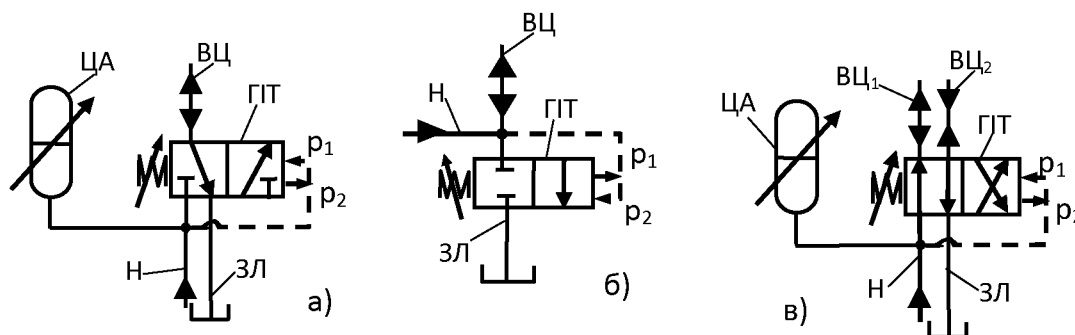
У ГП на відміну від традиційного гідропривода створюється пульсуючий потік (імпульси тиску) робочої рідини (енергоносія) з регульованими амплітудою та частотою імпульсів тиску. Цей потік енергоносія діє на виконавчі ланки – гідродвигуни (гідроциліндри різних типів тощо) технологічних ВМ чи ВУМ, приводячи їх у вібраційний (віброударний) рух – вібронавантаження, яке впливає на об'єкти технологічного впливу ВМ чи ВУМ, реалізуючи таким чином заданий (потрібний) вібраційний технологічний процес.

Параметричний ГТ [3] відноситься до спеціальної автоматично діючої гідроапаратури та є однією з основних ланок ГП, оскільки формує його режими роботи (робочий цикл гідроімпульсних машин і пристроїв) та керує ГП.

В технічній літературі ГТ відомі ще під назвами «клапан – пульсатор» [3] та «гідроімпульсний віброзбуджувач» [4]. Назва «гідроімпульсний віброзбуджувач» більше відображає суть ГП, найпростіша структурна схема

якого складається з ланок: джерело енергоносія – ГІТ – гідродвигун, де ГІТ тільки одна із основних ланок, тому назва для генератора імпульсів тиску енергоносія ГІТ найбільш логічна.

Загально прийнятою та, на твердження школи ГІП ВНТУ, найбільш досконалою є класифікація ГІТ [3 – 6], в якій за головну ознаку взято схему приєднання генератора до виконавчого гідродвигуна. Ця класифікація дозволяє чітко окреслити області застосування ГІТ та їх функціональні і технічні можливості. За цією ознакою ГІТ поділяються на три основні види (класи), умовно названі – «на вході», «на виході» та «комбінована». Використовуючи умовні схематичні зображення стандартних гідророзподільників за ДСТУ (ГОСТ 2.781–68), основні види (класи) ГІТ (без вказівки на кількість каскадів), можна зобразити у вигляді схем (рис. 2.1).



а) – «на вході», б) – «на виході» та в) – «комбінована»

Рисунок 1.1 – Умовні схеми приєднання ГІТ до виконавчого (виконавчих) гідродвигуна (гідродвигунів)

На рис. 1.1 позначено: ЦА – цикловий гідроаккумулятор; ГІТ – генератор імпульсів тиску; Н – гідролінія, постійно з’єднана з гідронасосом привода; ЗЛ – зливна гідролінія; ВЦ (ВЦ₁ та ВЦ₂) – гідролінія (гідролінії), з’єднана з виконавчим (виконавчими) гідродвигуном (гідродвигунами) ВМ; p_1 та p_2 – відповідно, рівні тисків «відкриття» та «закриття» ГІТ.

За схемою приєднання до виконавчого гідродвигуна «комбінована» ГІТ може керувати рухом одного поршневого гідродвигуна з робочими

поршневою і штоковою порожнинами, або двома плунжерними гідродвигунами. За цією схемою гідролінія ВЦ₁ ГІТ (див. рис. 1.1, в) приєднується до гідродвигуна (або до однієї з його порожнин) за схемою «на виході», а гідролінія ВЦ₂ – «на вході».

Важливими ознаками класифікації ГІТ є каскадність і спосіб герметизації запірно – розподільних ланок (елементів) ГІТ. В залежності від величини потоку енергоносія, який може пропускати через відкриті свої щілини ГІТ, генератори ділять на однокаскадні, двокаскадні та багатокаскадні. Однокаскадні ГІТ можуть бути окремими ланками ВМ чи ВУМ або гідроімпульсних пристроїв малої або середньої потужності та часто використовуються як перший каскад (сервопривод) багатокаскадних ГІТ. За способом герметизації запірно – розподільних ланок ГІТ діляться на золотникові, клапанні та клапанно-золотникові, які поєднують елементи герметизації за рахунок додатного золотникового перекриття та притертих кромок (фасок) запірних ланок. Клапанні запірно – розподільні ланки (елементи) ГІТ взаємодіють із сідлом, виконаним як окрема деталь ГІТ або утвореним в його корпусі.

Параметричні однокаскадні ГІТ можуть бути прямої дії та диференціальні. Згідно описаних вище ознак класифікації ГІТ, типові конструктивні схеми однокаскадних параметричних ГІТ показані на рисунку 1.2, а, б, в, г, д [3 – 6]. Найпростішими за схемою та конструктивно є золотниковий (рис. 1.2, а) та кульковий (рис. 1.2, б). Однокаскадні ГІТ прямої дії виконані за схемою приєднання до гідродвигуна (чи другого каскаду) «на виході». ГІТ за цими схемами складаються із запірно-розподільної ланки 1 (золотник або кулька чи клапан), навантаженої пружиною 2, попередня деформація якої може регулюватись гвинтом 3. Напірна порожнина А приєднується безпосередньо до гідронасосної чи гідронасосної з цикловим гідроакумулятором станцій (на рис. 1.2 умовно не показані) та гідродвигуна – виконавча ланка цих вібраційних машин. Цикловий гідроакумулятор накопичує потенціальну енергію на один робочий цикл ВМ або ВУМ.

Найчастіше цикловий гідроаккумулятор це місткість розрахункового об'єму W_a , в якому потенціальна енергія запасється за рахунок власної стисливості робочої рідини (енергоносія). В цих ГІТ проміжна порожнина B відділяється від напірної порожнини A додатним золотниковим перекриттям h_{n1} (див. рис. 1.2, а) або контактом запірного елемента ланки I по кромці сідла (див. рис. 1.2, б), а від зливної порожнини C відокремлюється додатним перекриттям h_{n2} чи h_n для схеми б), причому для схеми а) $h_{n2} > h_{n1}$ на $\sim 0,5$ мм.

Конструктивно у параметричних ГІТ, показаних на рис. 1.2, запірні елементи розподільних ланок I виконані так, що у початковому положенні утворюють дві площі поперечного перерізу запірного елемента I A_1 та A_2 (перший і другий ступені герметизації ГІТ, на рис. 1.2 площі A_1 та A_2 позначені як f_1 та f_2 за традицією позначень величин, прийнятою у радянській термінології для гідропривода, а за стандартами ISO площа позначається буквою A_i , де $i = 1; 2; \dots; n$), причому $A_2 > A_1$. Тиск «відкриття» p_1 ГІТ визначається через площу A_1 [3 – 6]:

$$p_1 \geq k \cdot y_{01} / A_1, \quad (1.1)$$

а тиск «закриття» p_2 через площу A_2 :

$$p_2 \leq k \cdot (y_{01} + h) / A_2, \quad (1.2)$$

де k , y_{01} – відповідно, жорсткість та попередня деформація пружини 2 – регулятора тиску «відкриття» p_1 ГІТ; $h = (h_{n2} - h_{n1}) + h_e$ (для схеми а, див. рис. 1.2, а) і $h = h_n + h_e$ (для схеми б, див. рис. 1.2, б) – хід запірного елемента I (запірно – розподільної ланки ГІТ); h_e – від'ємне перекриття запірного елемента I для повністю відкритого ГІТ.

Виділенням з формули (1.1) добутку $k \cdot y_{01}$ і врахуванням знайденого виразу в залежності (1.2), можна встановити зв'язок між тисками p_1 та p_2 [1 – 6]:

$$p_2 \leq p_1 \cdot A_1 / A_2 + k \cdot h / A_2 = p_1 \cdot (u_{21})^{0,5} + k \cdot h / A_2, \quad (1.3)$$

де $u_{21} = A_1^2 / A_2^2$ – внутрішнє передатне число ГІТ [3 – 6]. У випадку використання в регуляторі тиску «відкриття» p_1 ГІТ витих пружин, оскільки $A_2 > A_1$, величина ходу h невелика то складова $k \cdot h / A_2$ залежності (1.3), -

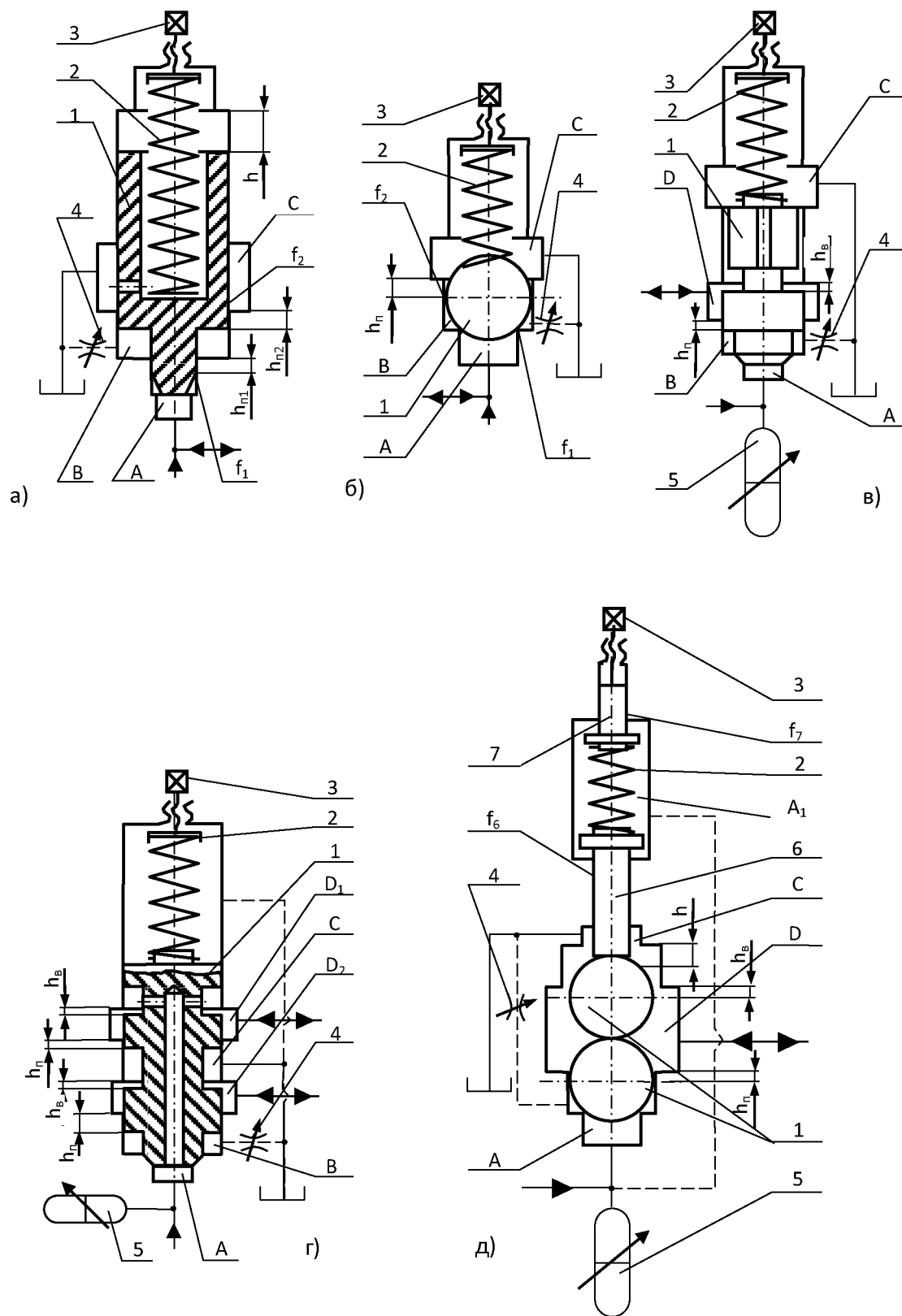


Рисунок 1.2 – Типові конструктивні схеми однокаскадних параметричних ГТ

порівняно зі складовою $p_1 \cdot (u_{21})^{0,5}$ незначна, що дозволяє в проєктних розрахунках ГПП нею знехтувати. $p_1 > p_2$, в результаті чого внаслідок відкривання і закривання ГТТ в напірній порожнині A (див. рис. 1.2, а, б), яка за схеми приєднання ГТТ «на виході» безпосередньо (на пряму) з'єднана з робочою порожниною гідродвигуна ВМ, формуються імпульси тиску з амплітудою $\Delta p = p_1 - p_2$.

Площі поперечного перерізу запірного елемента I A_1 та A_2 (перший і другий ступені герметизації ГТТ, див, рис. 1.2), на які діє тиск енергоносія під час його прямого та зворотного, змінюються зовнішню дією потоку $Q_{ен}$ енергоносія (для схеми приєднання ГТТ «на виході» $Q_{ен} = Q_n$ (тут Q_n – подача гідронасоса ГПП, а для схеми «на вході» – $Q_{ен} = Q_n + Q_{ам}$, де $Q_{ам}$ – середня подача циклового гідроаккумулятора). Потік $Q_{ен}$ енергоносія від гідронасосної чи гідронасосної з цикловим гідроаккумулятором станцій є рідкою гідравлічною ланкою (ГЛ) ГПП, яка здійснює зовнішню дію на тверді рухомі маси ГТТ та інші ланки ВМ чи ВУМ. Це дозволяє віднести розглядувані ГТТ до генераторів параметричного типу, а постійне джерело енергії – гідронасос постійної подачі Q_n станцій живлення ГПП, вказує на наявність ознак автоколивального збудження імпульсів тиску, необхідний (умовний) додатний зворотний зв'язок для якого формується залежністю (1.3) між p_1 та p_2 .

Аналіз формули (1.3) показує, що чим більше A_2 порівняно з A_1 , тим більше $\Delta p = p_1 - p_2$ ($p_1 \gg p_2$, $u_{21} < 0,5$) і нижче верхня межа частоти ν імпульсів тиску та навпаки, що підтверджується експериментальними дослідженнями [3 – 6]. Регулювати частоту ν імпульсів тиску, які генеруються однокаскадними ГТТ, можна зміною подачі гідронасоса Q_n станції живлення ГПП, наприклад, відведенням частини потоку енергоносія через регулятор потоку в зливну гідролінію, або використовуючи гідронасоси змінної подачі. Це можна обґрунтувати на основі відомої залежності для часу t_n зростання тиску в напірній порожнині A гідросистеми ГПП [3 – 6]:

$$t_n = \Delta p \cdot W_{0\Sigma} / (\kappa \cdot Q_n), \quad (1.4)$$

де $W_{0\Sigma}$, κ – відповідно, початковий сумарний об'єм напірної порожнини A гідросистеми ГП та зведений модуль пружності енергоносія в гідросистемі ГП.

Час t_n складова частина періоду T_m імпульсів тиску, які генерує ГПТ, і є тривалістю переднього фронту цього імпульсу, а тривалість t_3 заднього фронту імпульсу визначається швидкістю зворотного ходу рухомої ланки гідродвигуна ГП та гідравлічними опорами відкритого ГПТ і зливної гідролінії і, зазвичай, $t_3 < t_n$ [3 – 6]. Тривалість імпульсу тиску $t_i = t_3 + t_n$. Відношення $\Delta p / t_i$, $\text{МПа}\cdot\text{с}^{-1}$, за аналогією з радіотехнічними пристроями, можна назвати «свердловинністю» імпульсу тиску енергоносія, яка характеризує наростання тиску в імпульсі, що важливо для деяких вібротехнологій, наприклад, вібропресування великогабаритних виробів із тугоплавких порошкових матеріалів [3, 7].

Якщо немає контактних обмежень ходу h запірного елемента I ГПТ у вигляді, наприклад, упорів, то внаслідок інерційності запірного елемента I та потоку енергоносія (затягування процесу закриття ГПТ), особливо за значного $W_{0\Sigma}$, тиск p_r енергоносія в момент закриття ГПТ $p_r < p_2$ може бути навіть рівним тиску $p_{3л}$ в зливній гідролінії, що обумовлює появу площадки рівного тиску $p_r \approx p_{3л}$ (вистою) між імпульсами тиску [3 – 6]. Це явище характерне для ГПТ, що працюють в низькочастотному діапазоні генерування імпульсів тиску $\nu = (2 - 20) \text{ Гц}$ [2 – 4], а за (умовно) високочастотних режимів роботи ГПТ ($\nu \geq 40 \dots 100 \text{ Гц}$) площадка рівного тиску під час закриття ГПТ практично відсутня [3]. Дросель 4 (див. рис. 1.2) призначений для оптимізації процесу закриття запірного елемента I ГПТ в кінці його зворотного ходу.

В однокаскадних параметричних ГПТ, виконаних за схемами приєднання до виконавчого гідродвигуна «на вході» (див. рис. 1.2, в) та «комбінована» (див. рис. 1.2, г), використовують комбіновані золотниково – клапанні запірні елементи I , в яких перший ступінь герметизації клапанного типу (притерта фаска), а другий ступінь герметизації – золотниковий за допомогою додатних перекриттів h_n . Золотникові робочі кромки запірних

елементів I ГІТ розподіляють потоки енергоносія під час здійснення робочого циклу ВМ чи ВУМ шляхом комутації між порожнинами A та D приєднання ГІТ до виконавчого гідродвигуна вібромашини (див. рис. 1.2, в) або D_1 та D_2 – виконавчих гідродвигунів (див. рис. 1.2, г) та зливною C . Розглянуті ГІТ за схемами приєднання до виконавчих гідродвигунів «на вході» формують в робочих порожнинах гідродвигунів D та D_2 імпульси тиску з малою тривалістю переднього t_n та заднього t_z фронтів та амплітудою $\Delta p = p_1 - p_2$, причому $t_z \approx t_n$ [3]. У випадках використання описаних ГІТ (див. рис. 1.2, в, г) для автономного керування ГПІ ВМ чи ВУМ за схемами приєднання до виконавчого гідродвигуна «на вході» в їх напірну гідролінію A обов’язково підключається цикловий гідроакумулятор 5.

Параметричні однокаскадні ГІТ прямої дії, за прийнятних габаритних розмірів, можуть керувати відносно невеликими потоками енергоносія (малий умовний прохід), що накладає певні обмеження на їх безпосереднє використання для керування ГПІ потужних ВМ або ВУМ. Якоюсь мірою розширити технічний діапазон використання однокаскадних ГІТ для керування ГПІ ВМ чи ВУМ, наприклад, середньої потужності, можна за рахунок виконання їх за диференціальними схемами, одна з яких зображена на рисунку 1.2, д [8, 9]. В ГІТ за цією принциповою схемою запірно – розподільний елемент I виконано у вигляді двох, співвісно встановлених кульок (кулькових клапанів). В початковому положенні цей запірно – розподільний елемент I притискається до кромки сидла з боку напірної порожнини A через плунжер 6 пружиною 2 і тиском рідини на площу A_6 (на рис. 1.2, д $A_6 \equiv f_6$) поперечного перерізу плунжера 6 з боку порожнини A_1 , що безпосередньо сполучена напірним гідроканалом з порожниною A . За рахунок такого виконання ГІТ зменшується зусилля і габарити пружини 2, регулювання попередньої деформації y_{01} якої визначає рівень тиску «відкриття» $p_1 \geq k y_{01} / (A_1' - A_6)$ ГІТ (тут $A_1' \equiv f_1$ – площа поперечного перерізу, що перекривається нижньою кулькою запірно – розподільного елемента I). Попередня деформація y_{01} пружини 2 регулюється гвинтом 3

через герметично ущільнений плунжер 7, площа поперечного перерізу $A_7 \equiv f_7$ якого вибирається такою, щоб зусилля на гвинті 3 дозволяло регулювання тиску p_1 під час роботи ГІТ. В параметричних однокаскадних ГІТ за диференціальною схемою навантаження запірно – розподільної ланки 1 порівняно з однокаскадними ГІТ прямої дії більші умовні проходи та пропускна здатність, але складніша конструкція, погіршене регулювання тиску «відкриття» p_1 та більш високий рівень внутрішніх перетікань енергоносія. Під час конструювання і виготовлення такого типу ГІТ ставляться більш високі вимоги до точності його деталей та їх спряжень.

1.1 Приклади використання параметричних однокаскадних ГІТ прямої дії, силові та розподільні ланки яких суміщені з ПЕВЖ, в малогабаритних гідроімпульсних пристроях для деформаційного зміцнення матеріалів і віброточіння

Вище відмічено новий напрям розвитку ГІП (започаткований і розвивається в основному НДР та ДКР Р. ОБЕРТЮХА та А. СЛАБКОГО) – створення шляхом схемного пошуку та розроблення конструкцій гідроімпульсних пристроїв і механізмів на базі використання ПЕВЖ (ТП, ГП і КП), які є складовою частиною або вбудовані в силові та пружні ланки ГІП цих гідроімпульсних механізмів. В основному ці гідроімпульсні механізми поєднані з однокаскадними параметричними ГІТ прямої дії приєднаними (або поєднаними) до (з) силової ланки (ланкою гідродвигуна) за схемою «на виході».

Розглянемо структурно – розрахункову схему гідроімпульсного пристрою для деформаційного зміцнення матеріалів зображену на рис. 1.3 [10]. Особливістю цього пристрою є те, що його силова, пружні та розподільні ланки поєднані з ГІТ, силовим гідроциліндром та механічним акумулятором – накопичувачем потенціальної енергії.

Силовою ланкою пристрою є поршень – ударник *1* на ступінчастому штокові *1.1* якого встановлено ударний наконечник *1.2* (інструмент). Поршнева частина поршня – ударника *1* з боку штока *1.1* оформлена як розподільна ланка ГІТ з першим ступенем герметизації по фасці діаметром d_1 і другим ступенем герметизації золотникового типу по діаметру d_2 поршня – ударника *1*. Напрямна частина поршня – ударника *1* виконана у вигляді ПП *1.3*. Всі елементи поршня – ударника *1* є однією деталлю, що розміщується в корпусі (гідроциліндрі) пристрою (на рис. 1.3 умовно не показаний).

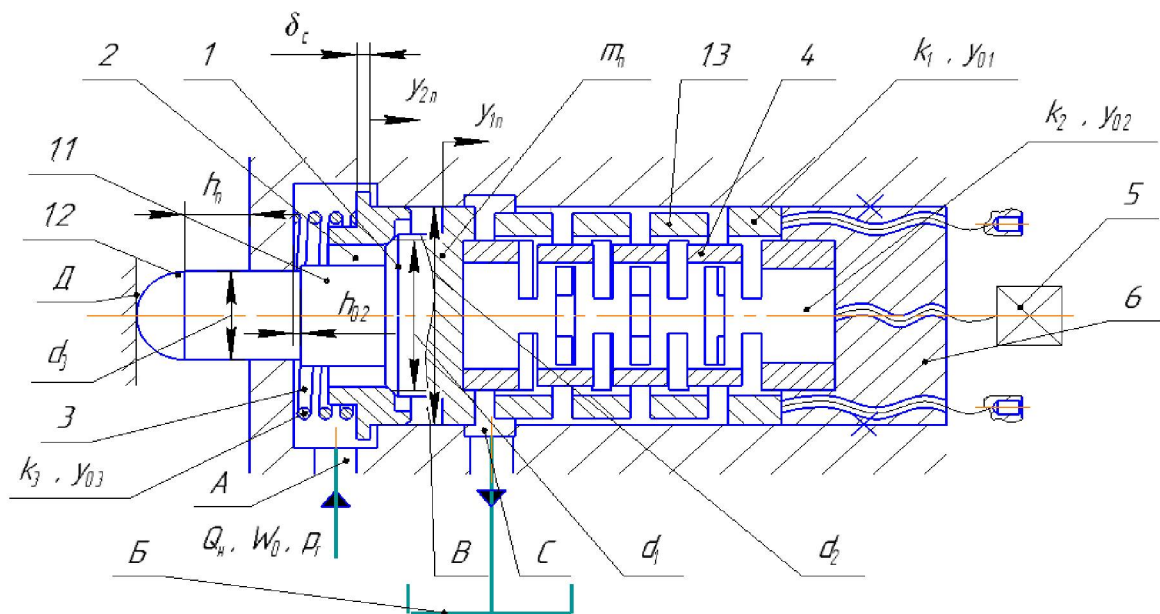


Рисунок 1.3 – Структурно – розрахункова схема гідроімпульсного пристрою для деформаційного зміцнення матеріалів з вбудованим ГІТ

Клапанна (фаскова) частина – першого ступеню герметизації розподільного елемента ГІТ поршня – ударника *1* контактує з фаскою таких ж розмірів, плаваючого сідла *2*, утвореною в ступінчастому отворі сідла *2*, оформленого у вигляді циліндричної втулки, зовнішня поверхня якої складається з трьох частин, що мають різний діаметр і довжину. Напрямна частина сідла *2* за точною посадкою спрягається з розточкою корпусу пристрою по діаметру d_2 (рівний діаметру золотникової частини поршня –

ударника 1). Найбільша за діаметром циліндрична частина сідла 2 є буртом, що обмежує осьове його переміщення h_c в корпусі (умовно не показаний) пристрою. Третя частина циліндричної зовнішньої поверхні сідла 2 служить прямою поверхнею для циліндричної виті пружини 3, зусилля якої створює початкову герметизацію в першому ступені герметизації ГТТ.

З метою збільшення рівня потенціальної енергії пристрою, що накопичується під час прямого ходу поршня – ударника 1, у внутрішню частину ПП 1.3 встановлена додаткова ПП 4. Попередню деформацію ПП 1.3 (y_{01}) і 4 (y_{02}) можна незалежно регулювати, відповідно, гвинтами 5 та 6.

Під час встановлення пристрою на верстаті чи іншому технологічному устаткуванні за рахунок монтажного зусилля створюється невеликий натяг ПП 1.3 та 4 таким чином, щоб утворився невеликий зазор h_{02} ($h_{02} = 0,5 \dots 0,6$ мм) між корпусом пристрою та торцем більшого за діаметром ступеня штока 1.1, розташованим в напірній порожнині А пристрою (див. рис. 1.3). Ступінь штока 1.1 діаметром d_3 спрягається за точною посадкою з поверхнею розточки корпуса пристрою. Довжина цього спряження не менше $(1,5 \dots 2)d_3$. Для забезпечення співвісності, поверхні діаметром d_1 , d_2 і d_3 обробляються з одного встановлення на верстатах. Зазор h_{02} потрібний для того, щоб під час взаємодії ударного наконечника 1.2 з поверхнею деталі Д, що обробляється, енергія удару гарантовано передавалась деталі Д, а не корпусу пристрою.

Після встановлення технологічного зазору h_{02} , за допомогою гвинтів 5 і 6 встановлюється потрібна, згідно заданого рівня тиску p_1 «відкриття» ГТТ, попередня деформація ПП 1.3 і 4, відповідно y_{01} та y_{02} . Попередня деформація y_{03} циліндричної пружини 3 в цьому пристрої є постійною і створюється під час збирання пристрою.

Осьове переміщення h_c сідла 2 – це за суттю початковий зазор між буртом сідла 2 і торцем розточки корпуса пристрою з боку штокової частини поршня – ударника 1, складається з двох частин: $h_c = h_{c_0} - h_{02}$, де $h_{c_0} = (2 \dots 2,3)h_{02}$ – початковий зазор між буртом сідла 2 і торцем розточки

корпуса пристрою до його монтажу в технологічному устаткуванні. З урахуванням зробленого зауваження, $h_c = (1,3 \dots 1,0)h_{02}$.

Енергоносій підводиться в напірну порожнину A пристрою. Між першим та другим ступенями герметизації ГІТ пристрою утворена проміжна порожнина B , яка додатним перекриттям h_d другого (золотникового) ступеня герметизації ГІТ відділена від зливної порожнини C , з'єднаної з гідробаком B гідростанції живлення пристрою.

Для забезпечення нормальної роботи ПП 1.3 і 4, між їх зовнішніми поверхнями робочих частин кілець і напрямними поверхнями передбачено зазори, величина яких обґрунтована в роботі [11]. Принцип роботи ГІТ розглянутого пристрою для деформаційного зміцнення такий же як і ГІТ прямої дії, описаний під час аналізу конструктивних схем, наведених на рис. 1.2, а, б.

Як приклад застосування ПЕВЖ типу КП розглянемо конструктивну – розрахункову схему гідроімпульсного пристрою для радіального віброточіння (рис. 1.4), ГІТ та силова ланка якого суміщені з КП [12].

Пристрій складається з двох гідравлічно зв'язаних блоків – ГІТ та гідроциліндра приводу у вібраційних рух, наприклад, токарного різця для радіального віброточіння. ГІТ містить запірно – розподільний елемент (ЗРЕ) у вигляді клапана – золотника 1, який є частиною KPI , правий торець якої (за креслеником) є опорним кільцем KPI . KPI , жорсткістю k_1 та масою m_{k1} , складається з набору зовнішніх 2 і внутрішніх 3 кілець, які контактують між собою посередністю внутрішніх і зовнішніх конічних поверхонь. Попередня деформація KPI y_{01} (складова частина ГІТ) регулюється через плунжер 5 гвинтом 4. Плунжер 5 оформлено як друге (праве за креслеником) опорне кільце KPI . Плунжер 5 ущільнюється гумовим кільцем 6 круглого перерізу. Корпус ГІТ і пристрою в цілому умовно не показано на рис. 1.4.

З блоком гідроциліндра приводу різця (розташованому в одному корпусі, що й ГІТ) ГІТ сполучено через спільну напірну порожнину A (отвір

діаметром d_1). Гідроциліндр складається з плунжера 7 масою $m_{пл}$ ущільненого гумовим кільцем 8. На правому (за креслеником) торці плунжера 7 утворена виточка, яка є опорною та напрямною поверхнею опорного кільця 9 КП2 гідроциліндра, жорсткістю k_2 та масою m_{k2} .

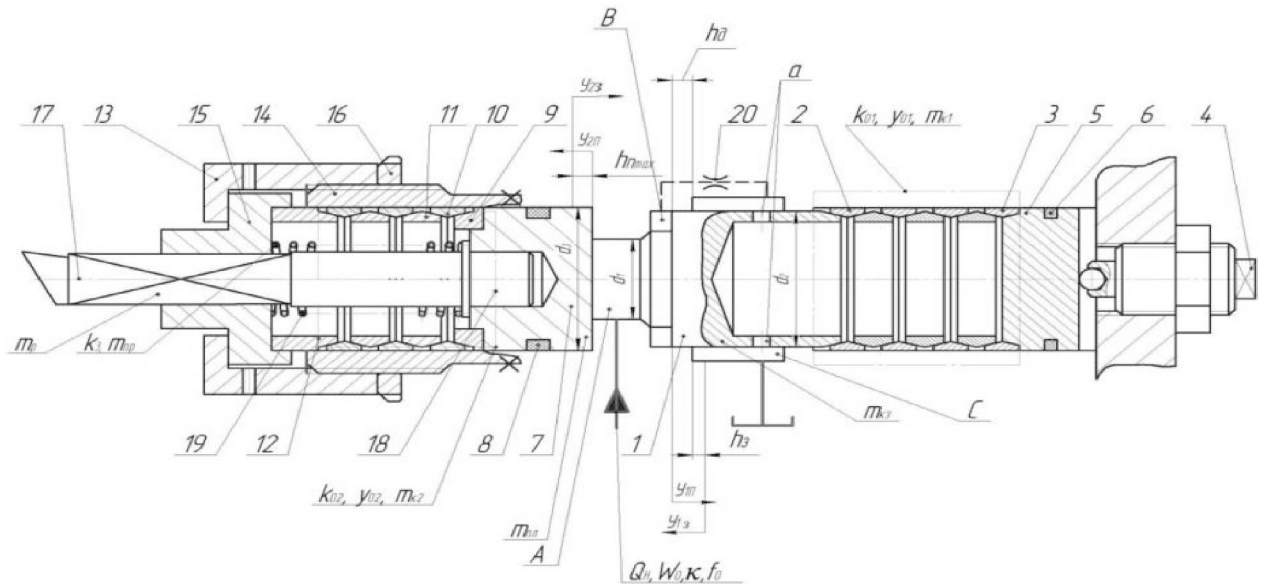


Рисунок 1.4 – Конструктивна схема гідроімпульсного пристрою для радіального віброточіння з вбудованим в КП ГІТ

КП2 складається із зовнішніх 10 і внутрішніх 11 кілець та опорних кілець 9 і 12. Кільця КП2 контактують між собою через внутрішні та зовнішні конічні поверхні. Попередня деформація y_{02} КП2 регулюється за допомогою накидної гайки 13, що нагвинчується на нарізний виступ 14 корпусу пристрою умовно показана значком «X». Накидна гайка 13 натискає на ступінчасту кришку 15 у внутрішній глухій розточці якої розміщується і регулюється ліве (за креслеником) опорне кільце 12 КП2. Гайка 13 контриться шліцевою гайкою 16.

В прямокутному отворі ступінчастої кришки 15 направляється різець 17, оснащений циліндричним штоком 18 з буртовим виступом. Права частина штока 18 (за буртовим виступом) входить за ходовою посадкою в

центральный глухой отвір плунжера 7, а на лівій частині штока 18 (перед буртом) встановлена пружина 19, що одним кінцем впирається в борт штока 18, а іншим в кришку 15. Пружина 19 встановлюється під час збирання блока гідроциліндра з розрахунковою попередньою деформацією і здійснює осьову попередню фіксацію різця 17.

Для забезпечення стабільного режиму посадки клапана – золотника 1 в кінці його зворотного ходу передбачено дросель 20. Функцію дроселя 20 можна забезпечити за рахунок зазору в спряженні золотникової частини клапана – золотника 1 за діаметром d_2 з розточкою в корпусі (або гільзі в реальній конструкції) пристрою або шляхом експериментально підібраної лиски довжиною $l_n \geq h_d$ (тут h_d – додатне перекриття золотникової частини клапана – золотника 1), що з'єднує проміжну В та зливну С порожнини пристрою. Порожнина розміщення КПП1 сполучена зі зливною порожниною С радіальними отворами «а» в напрямній частині клапана – золотника 1.

Живлення пристрою робочою рідиною (енергоносієм) здійснюється від компактної гідронасосної станції (на рис. 1.4 умовно не показана), що з'єднується з пристроєм двома гнучкими рукавами високого тиску. Рукав подачі енергоносія приєднується до напірної порожнини А, а рукав зливної порожнини С сполучає останню з гідробаком гідронасосної станції приводу пристрою.

Із врахуванням радіального розтягування зовнішніх кілець 2 і 10 КПП1 та КПП2 під час їх робочої деформації, циліндричні поверхні зовнішніх кілець 2 і 10, якими КПП1 і КПП2 направляються в розточках корпусу пристрою, спрягаються з поверхнями розточок корпусу за ходовими посадками не вище 9 –10 квалітетів. Оскільки за абсолютною величиною радіальні деформації кілець малі, то зазори, які забезпечують названі квалітети, гарантовано виключають можливе заклинювання кілець.

Принцип роботи та етапи робочого циклу схема гідроімпульсного пристрою для радіального віброточіння з вбудованим в КПП ГІТ аналогічні розглянутому пристрою на базі ГПП (див рис. 1.3).

1.2 Висновки та постановка задачі розроблення параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2

1. ГІТ параметричного типу – одна із основних ланок ГІП, яка формує робочий цикл привода технологічних гідроімпульсних ВМ і ВУМ.

2. Параметричні однокаскадні ГІТ прямої дії за різними схемами приєднання до виконавчих ланок ГІП ВМ чи ВУМ можуть керувати циклом цих машин малої або середньої потужності, чи використовуватись як сервоприводи (перші каскади) дво – та багатокаскадних ГІТ.

3. Підвищити умовні проходи та пропускну здатність параметричних однокаскадних ГІТ можна за рахунок диференціальної схеми навантаження їх запірно – розподільної ланки, але це ускладнює конструкцію генератора, погіршує регулювання тиску «відкриття» p_1 та збільшує рівень внутрішніх перетікань енергоносія.

4. Використання параметричних однокаскадних ГІТ прямої дії, силові та розподільні ланки яких суміщені з ПЕВЖ, дозволяє створити ефективні малогабаритні гідроімпульсні пристрої, наприклад, для віброрізання та деформаційного вібраційного зміцнення матеріалів.

5. У розглянутих параметричних однокаскадних ГІТ в широкому діапазоні регулюється тиск «відкриття» p_1 , але відсутнє регулювання тиску «закриття» p_2 .

6. Розроблення параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 та обґрунтованої методики його проєктного розрахунку суттєво розширює технічні та технологічні можливості однокаскадних ГІТ прямої дії, що є актуальною інженерною та дослідно-конструкторською задачею.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА КОНСТРУКЦІЇ (ДЗК) ПАРАМЕТРИЧНОГО ОДНОКАСКАДНОГО ГІТ З РЕГУЛЬОВАНИМ ТИСКОМ «ЗАКРИТТЯ» p_2

2.1 Розроблення принципової (структурної) схеми параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2

Аналіз результатів експериментальних досліджень ГІП [1 – 6] показує, що у відомих конструкціях ГІТ, в тому числі і в розглянутих в розділі 1 БКР, чітко регулюється тиск енергоносія p_1 «відкриття», а тиск p_2 «закриття», внаслідок інерційності потоку енергоносія і надлишкового переміщення ЗРЕ (відсутність обмеження його робочого ходу h) ГІТ, коливається у відносно широких межах, зазвичай, в бік зменшення від розрахункового значення. Такий характер зміни тиску p_2 впливає на стабільність частоти ν імпульсів тиску та їх амплітуди $\Delta p = p_1 - p_2$, а це погіршує якість технічної характеристики ГІТ та в цілому ГІП.

Описана проблема певною мірою розв'язана в конструкції параметричного однокаскадного ГІТ, наприклад, за схемою приєднання «комбінована» до виконавчих ланок ГІП. Структурна схема цього ГІТ, наприклад, як сервопривод двокаскадного ГІТ, зображена на рис. 2.1 [13]. Особливим виконанням регулятора тиску p_2 «відкриття», який складається з двох, концентрично встановлених пружин 4 та 5, розміщених в розточці стакана регулятора (стакан умовно не показаний). Пружина 4 через плунжер 3 навантажує ЗРЕ / ГІТ. Плунжер 3 розташований в осьовій розточці рухомої ступінчастої втулки 2, притисненої у початковому положенні через буртик до корпусу ГІТ (умовно не показаний) пружиною 5. Попередня деформація пружини 4 (y_{01}) та 5 (y'_{01}) регулюється, відповідно, гвинтами 6 і 7. Гвинт 6 розміщується в осьовому нарізному отворі гвинта 7. Конструктивно вузол регулятора рівнів тиску енергоносія p_1 та p_2 (деталі 2 – 7, корпус регулятора умовно не показаний) оформлюється як окрема складальна одиниця [3].

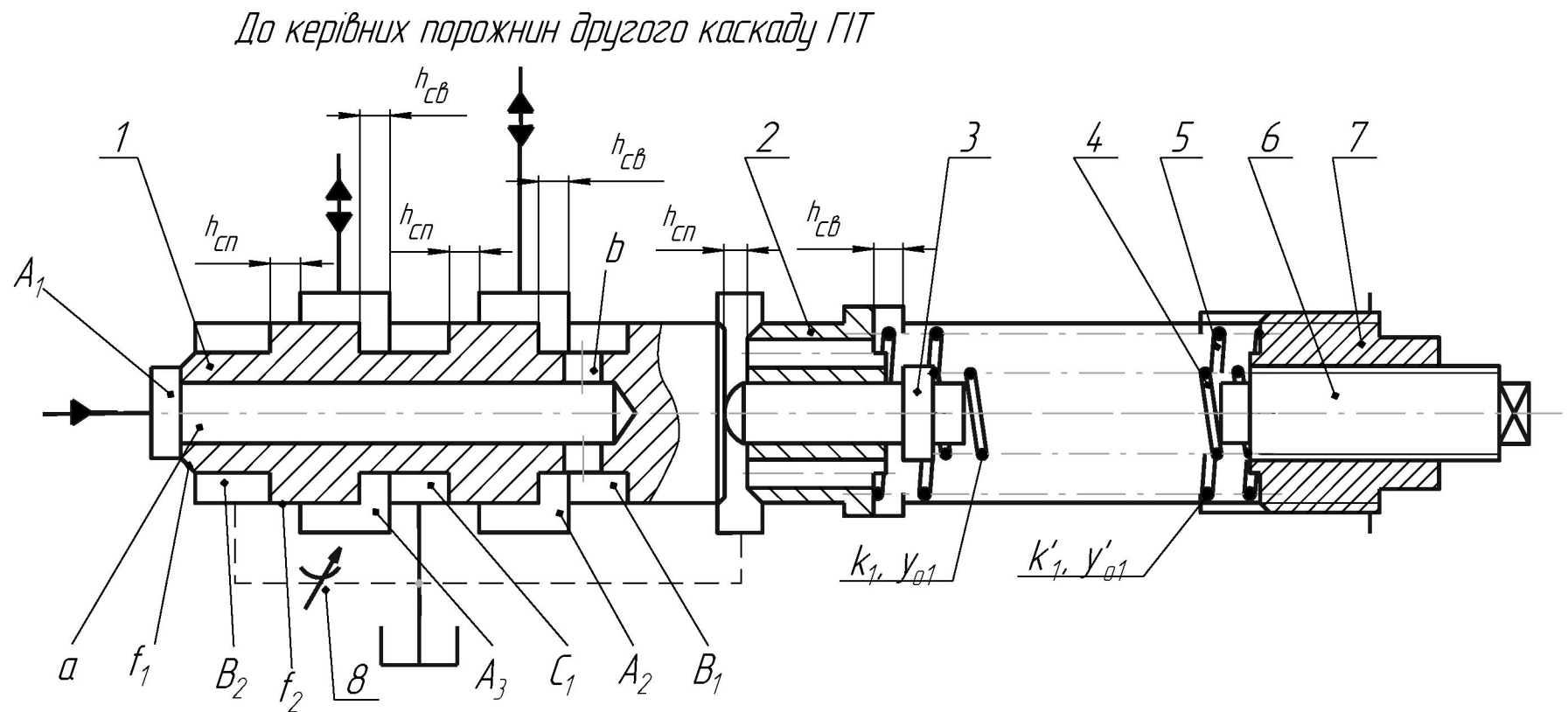


Рисунок 2.1 – Структурна схема параметричного однокаскадного ГІТ із регулюванням тиску p_2 «закриття»

Розмірний ланцюг осевого складання ЗРЕ 1 та втулки 2 розрахований так, що у початковому положенні зазор між правим (за креслеником) торцем ЗРЕ 1 і лівим торцем втулки 2 дорівнює додатному перекриттю h_{cn} золотникової частини ЗРК 1. Хід втулки є рівним від'ємному перекриттю h_{cv} ЗРЕ 1.

Підвищення тиску в напірній порожнині A_1 ГІТ до тиску його «відкриття» $p_1 \geq k_1 \cdot y_{01} / A'_1 = \pi \cdot d_1^2 / 4 \approx 0,785 \cdot d_1^2$ (тут d_1 – діаметр клапанної частини ЗРЕ 1, див. рис. 2.1, а також $A'_1 \equiv f_1$) спричиняє рух ЗРЕ 1, який, проходячи шлях h_{cn} , впирається у втулку 2, через яку додатково навантажується пружиною 5. На шляху h_{cv} ЗРЕ 1 переміщується під навантаженням двох пружин 4 та 5. Тиск p_2 «закриття» ГІТ розраховується за простою залежністю, аналогічною (1.3):

$$p_2 \leq p_1 \cdot A'_1 / A_2 + (k_1 \cdot h_c + k'_1 \cdot h_{cv}) / A_2 + k'_1 \cdot y'_{01} / A_2, \quad (2.1)$$

де k_1, k'_1 – відповідно, жорсткості пружин 4 і 5; $A_2 = \pi \cdot d_2^2 / 4 \approx 0,785 \cdot d_2^2$ (тут d_2 – діаметр золотникової частини ЗРЕ 1 (див. рис. 2.1 і розділ 1 БКР) – площі поперечного перерізу клапанної (A'_1) та золотникової ($A_2 \equiv f_2$) частин ЗРЕ 1; $h_c = h_{cn} + h_{cv}$ (див. розділ 1 БКР). Згідно з формулою (2.1) регулювати рівень p_2 можна тільки зміною попередньої деформації y'_{01} пружини 5. Для аналізу меж зміни y'_{01} та оцінки величини жорсткості пружини 5, виразимо жорсткість k'_1 та деформацію y'_{01} як частки від k_1 та y_{01} :

$$\theta_1 = k'_1 / k_1; \quad (2.3)$$

$$\xi = y'_{01} / y_{01}, \quad (2.4)$$

звідки

$$k'_1 = \theta_1 \cdot k_1; \quad (2.5)$$

$$y'_{01} = \xi \cdot y_{01}. \quad (2.6)$$

З врахування (1.3), (2.3) та (2.4) і $A_2 = A_1' \cdot u_{21}^{0,5}$, перетворимо (2.1) до вигляду

$$p_2 = p_1 \cdot u_{21}^{0,5} \cdot (1 + \theta_1 \cdot \xi) + k_1 \cdot h_c \cdot A_2^{-1} \cdot (1 + \theta_1 \cdot h_c / h_{c0}). \quad (2.7)$$

Візьмемо $\xi = 1$ та $h_c / h_{c0} = 0,5$, тоді, оскільки $k_1 \cdot h_c \cdot A_2^{-1} < p_1 \cdot u_{21}^{0,5}$, основний вплив на рівень p_2 має вираз $u_{21}^{0,5} \cdot (1 + \theta_1)$. Оскільки за параметричним принципом роботи ГІТ $p_2 < p_1$, то $u_{21}^{0,5} \cdot (1 + \theta_1) < 1$. В ГІТ із традиційним регулятором робочого тиску енергоносія величина тиску p_2 визначається тільки передатним відношенням $u_{21}^{0,5}$, а в розглядуваному ГІТ добутком

$u_{21}^{0,5} \cdot (1 + \theta_1 \cdot \xi)$, що дозволяє низькочастотні однокаскадні ГІТ перевести в розряд високочастотних, наприклад, ГІТ із $u_{21} = 0,3$ і звичайним регулятором тиску не може генерувати імпульси тиску високої частоти внаслідок великої різниці між тисками p_1 та p_2 ($p_2 = 0,3p_1$). В генераторі з модернізованим регулятором тиску енергоносія для $\theta = 1$ та $\xi = 1$ $p_2 = 0,3 \cdot 2 \cdot p_1 = 0,6 p_1$, що характерно для швидкодіючих ГІТ [3]. Якщо орієнтуватись на передатні відношення, $u_{21} = 0,5 \dots 0,6$ ($v \geq 40$ Гц), то на основі аналізу (2.7) для ГІТ високочастотного типу слід рекомендувати $\theta_1 < 1$ та $\xi < 1$, а для низькочастотних ($v \leq 20$ Гц, $u_{21} = 0,06 \dots 0,12$), з метою підвищення їх швидкохідності, $\theta_1 \leq 1$ та $\xi \geq 1$.

2.2 Розроблення конструкції дослідного зразка (ДЗК) параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2

Головний фронтальний розріз конструктивної схеми без габаритних розмірів та розмірів посадок спряжень параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 у стиковому виконанні, наприклад, для приєднання до розподільного паралелепіпеда [2, 3] потоку енергоносія ГІП (може бути і, так зване «трубне» [2, 3] виконання), зображено на рис. 2.2 . Конструкція ГІТ побудована з трьох складальних одиниць (блоків) – розподілення енергоносія, дроселя регулювання режиму посадки запірно –

регулювального елемента (ЗРЕ) та регулятора рівнів тисків «відкриття» p_1 та «закриття» p_2 ГІТ.

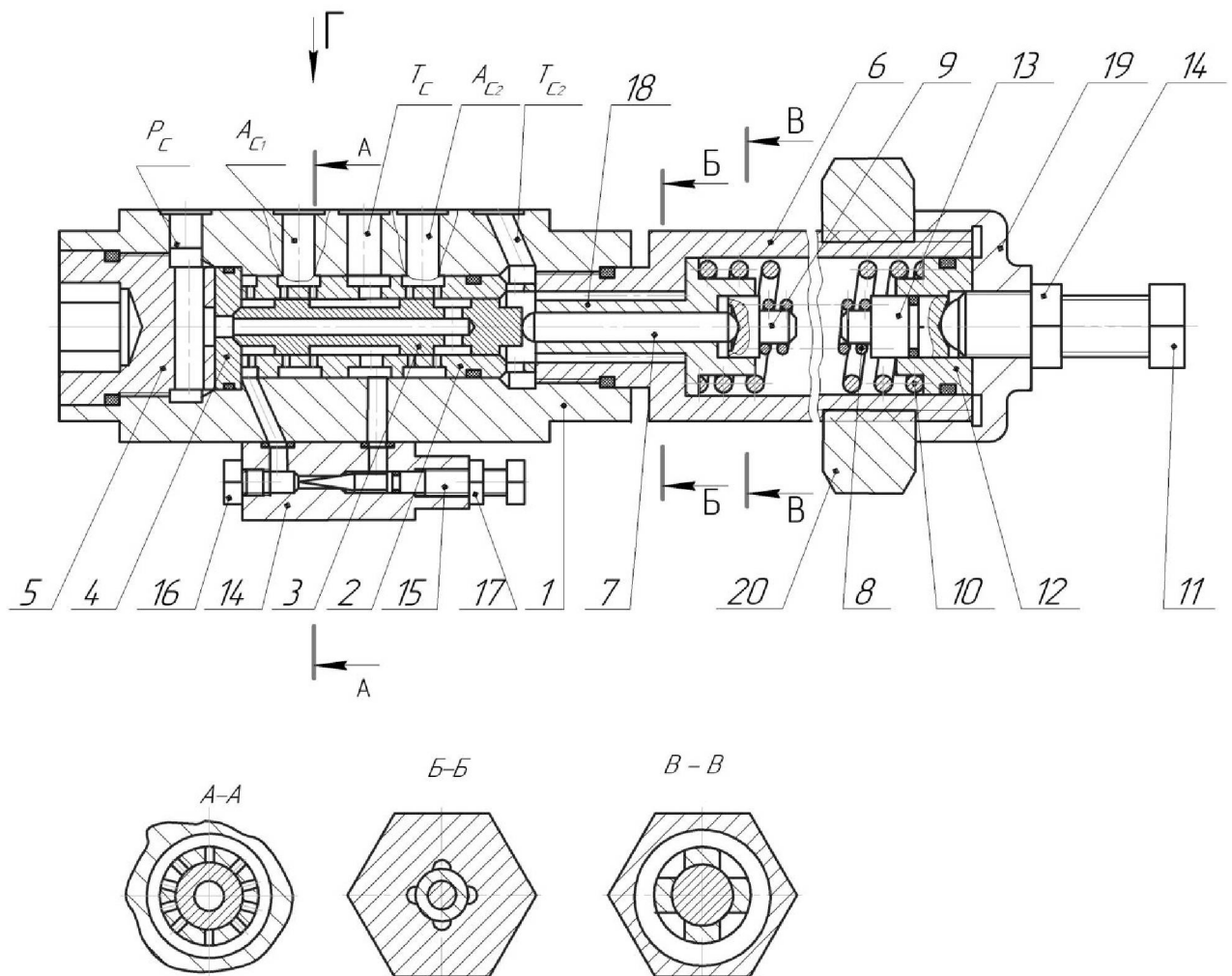
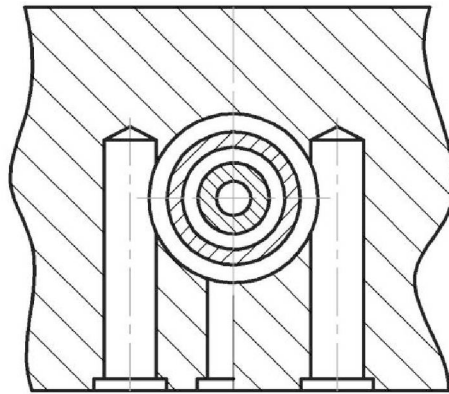


Рисунок 2.2 – Головний фронтальний розріз конструктивної схеми параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2

Блок розподілення енергоносія складається з корпусу 1 , що має в плані квадратну форму (вид B , рис. 2.3), в центральній наскрізній розточці якого встановлена гільза 2 з відповідними виточками, що з'єднуються з вихідними отворами: P_c – напірним, T_c – зливним, A_{c1} – першим керівним та A_{c2} – другим керівним.

$\Delta - \Delta$



Γ

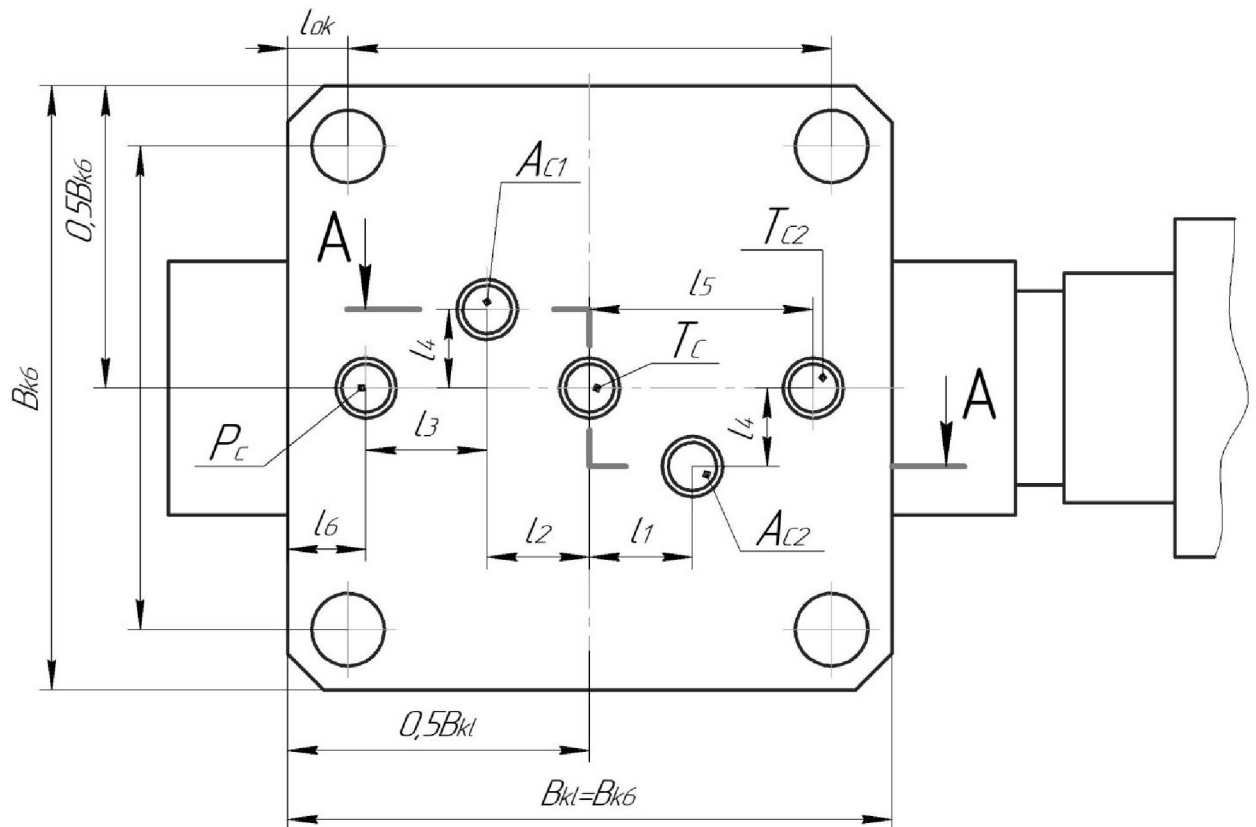


Рисунок 2.3 – Вигляд стикувальної площини (вид В, див. рис.2.2) корпусу 1 ГІТ та спосіб (в загальному вигляді) нанесення координатних розмірів вихідних отворів: P_c , T_c , A_{c1} , A_{c2} та T_{c2}

Вихідні отвори A_{c1} та A_{c2} , відповідно, можуть сполучатись за схемою «на вході» з цикловим гідроаккумулятором і першим плунжерним гідроциліндром, а у випадку застосування у ВМ (чи ВУМ) поршневого гідродвигуна, з поршневою його порожниною, і за схемою «на виході» з другим плунжерним гідроциліндром, чи у випадку використання поршневого гідродвигуна як виконавчої ланки ГІП, з штоковою порожниною цього гідродвигуна (гідроциліндра). У випадку використання розробленого ГІТ як сервопривода двокаскадного ГІТ, вихідні отвори A_{c1} та A_{c2} за відповідними схемами приєднуються до керівних порожнин другого каскаду [3]. В гільзі 2 розміщується ЗРЕ 3 клапанно – золотникової форми. Золотникова частина запірного елемента 3 має чотири робочі кромки, через які ряд(n_o) радіальних отворів малого (розрахункового) діаметра $d_{oz} = h_{cv}$, розташованих в строго радіальній площині (див. перетин $A - A$ на рис. 2.2) в гільзі 2 утворюються додатні h_{cn} та від'ємні h_{cv} перекриття ЗРЕ 3. Кількість n_o отворів, наприклад $\emptyset (2,0 \dots 4,0)$ мм, визначається за умовою забезпечення потрібної прохідної площі повністю відкритої золотникової щілини ЗРЕ 3, $A_{щ} = \pi \cdot d_2 \cdot h_{cv} = \pi \cdot d_{oz}^2 \cdot n_o / 4 \approx 0,785 \cdot d_{oz}^2 \cdot n_o = 0,785 \cdot h_{cv}^2 \cdot n_o$). Клапанна частина (конічна фаска з кутом конуса $60^\circ \pm 30'$, середній діаметр якого відповідає площі поперечного перерізу A'_1 (тут $A'_1 \equiv f_1$, див. рис. 2.1) ЗРЕ 3 контактує із сідлом 4, встановленим в розточці корпусу 1, співвісній з розточкою для гільзи 2, і зафіксованого нарізною пробкою 5 з центральним глухим отвором, з'єднаним наскрізним радіальним отвором в пробці 5 з напірним гідроканалом P_c підведення енергоносія до ГІТ.

Нарізною частиною стакану 6 регулятора рівнів тисків «відкриття» p_1 та «закриття» p_2 ГІТ гільза 2 притискається до сідла 4, а ЗРЕ 3 через натискний плунжер 7 навантажується пружиною 8, торці якої опираються на опори 9, які контактують з сферичними торцями натискного плунжера 7 та кулькою, завальцьованою в торець регулювального плунжера 13, розміщеного в трубчастому поршні 12, який за ходовою посадкою спрягається з поверхнею центральної осьової розточки в стакані 6.

Трубочастий поршень 12 є правою (за креслеником, див. рис. 2,2) опорою пружини 10 регулятора тиску p_2 «закриття» ГІТ. Лівий кінець (за креслеником, див. рис. 2.2) пружини 10 опирається на фланець ступінчастої втулки 17, яка за ходовою посадкою спрягається з поверхнею наскрізного осьового отвору в частині стакану 6, яка вкручена в корпус 1. В центральному осьовому отворі ступінчастої втулки 17 за ходовою посадкою встановлено натискний плунжер 7. Між лівим торцем ЗРЕ 3 і правим торцем ступінчастої втулки 17 (за креслеником, див. рис. 2.3 і рис. 2.2) у початковому положенні передбачено зазор $h_{св}$, рівний додатному перекриттю ЗРЕ 3, після проходження якого на ЗРЕ 3, крім дії на нього зусилля пружини 8, добавляється ще зусилля від пружини 10 – регулятора тиску p_2 «закриття» ГІТ. Пружини 8 та 10, щоб не було у випадку поломки однієї з пружин заклинювання обломками, що можуть застрягти між витками іншої пружини, навивають за різними напрямками; одна має напрям правої гвинтової лінії, а друга – лівої. Крім того такий спосіб виготовлення певною мірою компенсує можливі перекошувальні бокові зусилля від пружин 8 і 10. Попередня деформація y_{01} (див. рис. 2.1) пружини 8 – регулятора тиску p_1 «відкриття» ГІТ, змінюється за допомогою регулювального гвинта 11, вкрученого в трубочастий гвинт 16, який нарізкою на своїй зовнішній поверхні з'єднується з стаканом 6. Трубочастим гвинтом 16 через трубочастий поршень 12 змінюється попередня деформація y'_{01} (див. рис. 2.1) пружини 10 – регулятора тиску p_2 «закриття» ГІТ. Положення гвинта 11 та трубочастого гвинта 16 фіксується, відповідно контргайками 14 та 15. Осьові отвори «а» в стакані 6 з'єднують розточку розміщення пружин 8 і 10 зі проміжною зливною порожниною ГІТ, яка отвором $T_{с2}$ приєднується до зливної порожнини гідростанції живлення енергоносієм ГІП ВМ чи ВУМ.

Дросель регулювання режиму посадки ЗРЕ 3, під час його зворотного ходу, складається з корпусу 18 дроселя, стикованого до корпусу 1 ГІТ, голки 19, яка має конічну (голка), циліндричну і нарізну частини, та нарізної пробки 20. Центральний осьовий отвір корпусу 18 дроселя має ступінчасту

циліндричну форму, менший діаметр якої перекривається голкою 19, двома радіальними гідроканалами сполучається із відповідними розточками корпусу 1: з проміжною порожниною B_2 ЗРЕ 3 ГІТ та зливним отвором T_c (див. рис. 2.1). Нарізний отвір, що закривається пробкою 20, призначено для установки датчика реєстрації зміни тиску в проміжній порожнині ЗРЕ 3. Положення голки 19 фіксується контргайкою 21.

На стикувальній площині (див. рис. 2.3, вид Г) корпусу 1 (див. рис. 2.2) ГІТ наведено в загальному вигляді спосіб нанесення координатних розмірів (l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 і l_6) вихідних отворів P_c, T_c, A_{c1}, A_{c2} та T_{c2} з прив'язкою їх до контуру стикувальної площини розміром $B_{kl} \times B_{kb}$ (тут $B_{kl} = B_{kb}$) і нанесення розмірів координат $l_{ок}$ приєднувальних наскрізних отворів в корпусі 1 ГІТ, наприклад до розподільного блока ВМ чи ВУМ [3 – 6]. Отвори P_c, T_c та T_{c2} розташовані на поздовжній осі симетрії стикувальної площини корпусу 1 ГІТ, а отвори A_{c1} і A_{c2} зміщені на відстань l_4 , відповідно, вгору і вниз (за креслеником, див. вид Г на рис. 2.3) та виконані як глухі гідроканали (див. ступінчастий розріз Д–Д на рис. 2.3).

Ущільнення нерухомих деталей ГІТ та таких, що здійснюють тільки регульовальні переміщення (трубчастого поршня 12, регульовального плунжера 13 і голки 19) виконано стандартними гумовими кільцями круглого перерізу (на рис. 2.2 умовно не позначені позиціями), встановлених в закритих канавках. Отвори корпусу 1, що виходять на його стикувальну площину (див. рис. 2.2 і рис. 2.3), мають розточки для ущільнюючих гумових кілець. Герметизація між окремими виточками гільзи 2 досягається за рахунок точної ковзної посадки гільзи 2 в розточці корпусу 1 (не нижче 6 – 7 квалітетів точності).

2.3 Висновки

1. Встановлено, що керована зміна тиску p_2 «закриття» ГІТ досягається за допомогою додаткової пружини в регуляторі рівнів тисків «відкриття» p_1 та «закриття» p_2 ГІТ, що вступає в дію після переміщення ЗРЕ 3 на відстань $h_{сн}$.

2. Виконання ГІТ у вигляді трьох блоків дозволяє, у випадку необхідності, змінювати їх конструкцію за умови незмінності суті приєднувальних елементів.

3. Виконання пари ЗРЕ 3 – гільза 2, без внутрішніх розточок в гільзі 2 для розподілення енергоносія, підвищує технологічність та надійність ГІТ в цілому.

4. Потрібний прохідний переріз золотникової частини ЗРЕ 3 для пропускання потоку енергоносія під час відкриття та закриття ГІТ рядом n_o радіальних отворів малого (розрахункового) діаметра d_{oz} , розташованих строго в одній радіальній площині.

5. Кількість n_o потрібних радіальних отворів d_{oz} в гільзі 2 визначається за умовою забезпечення потрібної прохідної площі повністю відкритої золотникової щілини ЗРЕ 3, $A_{щ} = \pi \cdot d_2 \cdot h_{св} = \pi \cdot d_{oz}^2 \cdot n_o / 4 \approx 0,785 \cdot d_{oz}^2 \cdot n_o$.

6. Розроблена конструкція регулятора рівнів тисків «відкриття» p_1 та «закриття» p_2 ГІТ може бути використана в ГІТ за схемами приєднання до виконавчих гідродвигунів ГІП «на вході» та «на виході».

3 МЕТОДИКА ПРОЄКТНОГО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРИЧНОГО ОДНОКАСКАДНОГО ГІТ З РЕГУЛЬОВАНИМ ТИСКОМ «ЗАКРИТТЯ»

3.1 Початкові (вхідні) дані

Для розроблення методики проєктного розрахунку параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 основних початкових даних повинно бути достатньо щоб розрахувати всі енергетичні, силові, кінематичні та геометричні параметри ГПП та ГІТ, які дозволяють розробити ДЗК як ГПП так і ГІТ. Досвід проєктування, експериментального дослідження та виготовлення ДЗК ГПП і ГІТ показує, в основному це такі дані:

- тип гідронасоса насосної (чи насосно – гідроаккумуляторної) станції живлення ГПП. На основі досвіду експлуатації ГПП [2 – 6] найкраще себе зарекомендували в ГПП гідронасоси типу НШ, оскільки вони не мають всмоктувальних і нагнітальних клапанів, що швидко виходять з ладу під час роботи в умовах пульсуючого тиску зі значною амплітудою [2 – 5]. Подача Q_n гідронасоса в методиках проєктного розрахунку ГПП технологічних ВМ і ВУМ є розрахунковою величиною, тому конкретний тип гідронасоса вибирається після визначення Q_n ;

- номінальний тиск «відкриття» ГІТ, зазвичай, призначають $p_1 = 10$ МПа (в необхідних випадках можна призначати $p_1 > 10$ МПа, наприклад, коли треба розробити компактний механізм, оскільки сучасні насоси типу НШ можуть працювати з тиском енергоносія до 16 МПа);

- діапазон регулювання частоти імпульсів тиску ν визначається подачею Q_n гідронасоса, початковим сумарним об'ємом $W_{0\Sigma}$ напірної порожнини A гідросистеми ГПП (сюди входить і об'єм W_a циклового гідроаккумулятора за його наявності в гідросистемі привода), внутрішнім передатним числом u_{21} ГІТ та умовним його проходом. Орієнтовно призначаємо $\nu = (10 \dots 100) \text{ Гц}$ ($\nu_{max} = 100 \text{ Гц}$);

- орієнтовно призначаємо попереднє внутрішнє передатне число ГІТ $u_{21} = 0,06 \dots 0,12$ тоді за $\theta = 1$ та $\xi = 1$ тиск «закриття» ГІТ (див. підрозділ 2.1 БДР) буде регулюватись в діапазоні $p_2 \approx (0,49 \dots 0,69) p_1$;
- орієнтовні діапазони регулювання попередньої деформації пружин: $8 - y_{01} = (5,0 \dots 18,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $10 - y'_{01} = (5,0 \dots 18,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (див. рис. 2.1);
- марку робочої рідини (енергоносія) для ГЛ ГІП та ГІТ рекомендується вибирати із ряду мінеральних олив, що застосовуються для гідронасосів типу НШ, наприклад, дизельні оливи ДП 8, ДП 11 або И–Г–А46, И–Г–А68;
- середній модуль пружності енергоносія $\kappa = 1,45 \cdot 10^3 \text{ МПа}$;
- орієнтовні значення рухомих зведених мас m_3 (ЗРЕ 3), деталей 7 (m_7), 9 (m_9), 17 (m_{17}) і пружин 8 і 10 (враховується $\sim 0,3 m_{np}$);
- допустимі швидкості потоку енергоносія в напірних $[v_p]$ і зливних $[v_{zl}]$ гідролініях гідросистеми ГІП та ГІТ, які призначаються за рекомендаціями [14 – 16];
- марки конструкційних сталей основних деталей ГІТ (див. рис. 2.2): корпус 1 – сталь 45, або 40Х, 34...42 HRCe (гартування в мастилі, відпуск); ЗРЕ 3 – сталь ШХ15, 62...64 HRCe (гартування в мастилі, відпуск); гільза 2 – сталь ШХ15, 58...60 HRCe (гартування в мастилі, відпуск); сідло 4 – сталь ШХ15, 58...60 HRCe (гартування в мастилі, відпуск); пружини 8 та 10 – сталь 60С2ВА, 53...57 HRCe (гартування в мастилі, відпуск). Матеріали інших деталей ГІТ та вид їх термічного оброблення під час розроблення його ДЗК призначаються за результатами детального аналізу їх службового призначення та умов роботи;
- способи організації комунікацій між ланками ГІП та ГІТ та гідронасосною (гідронасосноаккумуляторною) станцією живлення енергоносієм ГІТ вибираються конструктором відповідно до умов конкретних технологічних процесів, які реалізуються за допомогою ГІП конкретної ВМ чи ВУМ;
- орієнтовні початкові сумарні об'єм $W_{0\Sigma}$ напірної порожнини А (див.

розділ 1 БКР) гідросистеми ГПІ та об'єм W_a циклового гідроаккумулятора, за його наявності в гідросистемі привода, відповідно: $W_{0\Sigma} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $W_a \approx 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

– квалітети точності спряжень і деталей ГПІ призначаються конструктором під час розроблення ДЗК ГПІ за результатами детального аналізу їх службового призначення, фізичних принципів функціонування та умов роботи.

За необхідності, окрім наведених даних, в цей перелік можуть добавлятися додаткові уточнюючі дані, а також необхідно враховувати набутий досвід проєктування та експлуатації ВМ і ВУМ з гідроімпульсним приводом [1 – 13] і технічними показниками призначення, наведеним в технічному завданні

3.2 Розроблення методики проєктного розрахунку параметричного однокаскадного ГПІ з регульованим тиском «закриття» p_2

Подача Q_n гідронасоса ГПІ є основним параметром, який за фіксованих інших параметрів робочого циклу привода ($p_1, p_2, W_{0\Sigma\max} = W_{0\Sigma} + W_a, K, v_{\max}, \eta_{on}$ та A'_1) визначає верхню межу частоти $v_{\max}$ імпульсів тиску, що генеруються ГПІ.

Експериментальними дослідженнями ГПІ [2 – 6] встановлено, що в момент завершення розрядки енергоносія з циклового гідроаккумулятора (на рис. 2.2 умовно не показаний) в порожнину першого виконавчого гідродвигуна (на рис. 2.2 умовно не показаний) ГПІ через гідроканал A_{c1} ГПІ (див. рис. 2.2), витримки тиску на рівні p_1 не має. Гідроканалом A_{c1} ГПІ приєднаний за схемою «на вході» до першого виконавчого гідродвигуна. Розрядка циклового гідроаккумулятора починається відразу після відкриття ЗРЕ 3 ГПІ, а скінченний рівень тиску розрядки циклового гідроаккумулятора дорівнює p_2 тиску «закриття» ГПІ, яке розраховується за формулою (2.7). Зростання тиску в цикловому гідроаккумуляторі до рівня p_1 відбувається за

закритого ЗРЕ 3 ГПТ. Тривалість t_n цього зростання (набору) тиску енергоносія до рівня p_I можна оцінити за класичною залежністю [2, 3]:

$$t_n = p_I \cdot W_{0\Sigma max} / (\kappa \cdot Q_n). \quad (3.1)$$

За такий же час t_n відбувається набір тиску енергоносія до рівня p_I в порожнині другого виконавчого гідродвигуна (на рис. 2.2 умовно не показаний) ГПТ, який через гідроканал A_{c2} (див. рис. 2.2), приєднаний за схемою «на виході» до ГПТ. Необхідно відмітити, що залежність (3.1) характеризує перший імпульс тиску енергоносія після вмикання ГПТ без врахування перехідних процесів. Для наступних імпульсів тиску, коли коливальний процес зміни тиску енергоносія стабілізується, це приблизно настає після другого імпульсу тиску [3 – 12], для розрахунку часу t_n слід використовувати формулу (1.4).

В момент відкриття ЗРЕ 3 ГПТ процес зарядки циклового акумулятора та робочий хід рухомої ланки другого виконавчого гідродвигуна (плунжера чи поршня гідроциліндра) продовжується до повного перемикання ЗРЕ 3. Ґрунтуючись на цих міркуваннях, повний час $t_{зца}$ зарядки циклового акумулятора, який є рівним часу $t_{зца} = t_{px\partial 2}$ повного робочого ходу рухомої ланки другого виконавчого гідродвигуна, можна подати як суму

$$t_{зца} = t_{px\partial 2} = t_n + t_{n2}, \quad (3.2)$$

де t_{n2} – час перемикання (прямого ходу) ЗРЕ 3 ГПТ. Повний період T_m коливань тиску в напірній порожнині A_I (див. рис. 2.1), можна представити як залежність

$$\begin{aligned} T_m &= t_{зца} + t_{pца} + t_{eim} = t_n + t_{n2} + t_{pца} + t_{eim} = \\ &= t_n \cdot [1 + (t_{n2} + t_{pца} + t_{eim}) / t_n] = K_{um} \cdot t_n = v^{-1}, \end{aligned} \quad (3.3)$$

де $K_{\text{цт}} = [1 + (t_{\text{нз}} + t_{\text{пча}} + t_{\text{вим}})] / t_{\text{н}}$ – цикловий коефіцієнт імпульсів тиску, які генерує ГІТ; $t_{\text{пча}} = t_{\text{зхз} \rightarrow 2}$ – повний час розрядки циклового гідроаккумулятора, рівний часу $t_{\text{зхз} \rightarrow 2}$ повного зворотного ходу рухомої ланки другого виконавчого гідродвигуна; $t_{\text{вим}}$ – час витримки тиску енергоносія на рівні p_2 після завершення зворотного ходу ЗРЕ 3. За відсутності витримки тиску на рівні p_1 , тривалість імпульсів тиску в цикловому гідроаккумуляторі та порожнині під рухомої ланкою другого виконавчого гідродвигуна

$$t_{\text{им}} = t_{\text{зца}} + t_{\text{пча}} = t_{\text{н}} + t_{\text{зхз} \rightarrow 2}. \quad (3.4)$$

Пропускна здатність ГІТ визначається площею поперечного перерізу A'_1 першого ступеня герметизації ГІТ (див. рис. 2.1 і рис. 2.2). Діаметр $d_1 = (4(A'_1 / \pi))^{0.5} \approx 1,13 \cdot (A'_1)^{0.5}$, якщо його відраховувати відносно середнього діаметра притертої фаски клапанної частини ЗРЕ 3 (див. рис. 2.1 та рис. 2.2), є фактично діаметром d_y умовного проходу ГІТ, для визначення якого потрібно знати подачу гідронасоса $Q_{\text{н}}$ насосно – гідроаккумуляторної станції живлення ГІП. Теоретичне значення подачі $Q_{\text{нТ}}$ можна розрахувати за відомою для ГІП формулою [3]

$$Q_{\text{нТ}} = K_{\text{цт}} \cdot v_{\text{max}} \cdot p_{1\text{max}} \cdot W_{0\Sigma\text{max}} \cdot \kappa^{-1} \cdot \eta_{\text{он}}^{-1}, \quad (3.5)$$

де $K_{\text{цт}}$ – цикловий коефіцієнт імпульсів тиску; $\eta_{\text{он}}$ – об'ємний ККД гідронасоса (для гідронасосів типу НШ $\eta_{\text{он}} = 0,95 \dots 0,96$ [12]). Точне значення $K_{\text{цт}}$ може бути знайдено тільки за результатами експериментальних досліджень ДЗК ГІТ, тому доцільно ввести у формулу (3.5) коефіцієнта запасу $K_{\text{зв}}$, значення якого може уточнюватись за результатами експериментальних досліджень ГІП і ГІТ. Попередньо рекомендується [3] приймати $K_{\text{зв}} = 1,10 \dots 1,25$ тоді залежність (3.5) набуде вигляду:

$$\begin{aligned} Q_{\text{н}} &= K_{\text{зв}} \cdot K_{\text{цт}} \cdot v_{\text{max}} \cdot p_{1\text{max}} \cdot W_{0\Sigma\text{max}} \cdot \kappa^{-1} \cdot \eta_{\text{он}}^{-1} = \\ &= (1,10 \dots 1,25) \cdot K_{\text{цт}} \cdot v_{\text{max}} \cdot p_{1\text{max}} \cdot W_{0\Sigma\text{max}} \cdot \kappa^{-1} \cdot \eta_{\text{он}}^{-1}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Гарантований без ударний контакт ЗРЕ 3 ГІТ з сідлом 4 під час його зворотного руху забезпечується за умовою здійснення коливального руху ЗРЕ 3 в за резонансному режимі [3]:

$$\omega_{max} / \omega_{\Sigma I} \geq \sqrt{2}, \quad (3.7)$$

де $\omega_{max} = 2\pi\nu_{max}$ – колова частота коливань ЗРЕ 3, яку слід прийняти рівною частоті імпульсів тиску $\omega_{\Sigma I} = \sqrt{(k_{\Sigma I} / m_{1\Sigma})}$ – власна колова частота системи ЗРЕ 3 – ГЛ ГПІ; $m_{1\Sigma} = m_{ЗРЕ} + \rho_e \cdot W_{0\Sigma max}$ – сумарна зведена маса ЗРЕ 3 з урахуванням маси енергоносія в об’ємі $W_{0\Sigma max}$ (тут $m_{ЗРЕ} = m_3 + m_7 + m_{17} + 0,3(m_8 + m_{10})$ – сумарна зведена маса ЗРЕ 3, що складається, відповідно, з мас деталей (див. рис. 2.2) 3, 7, 17, 8 і 10 і ρ_e – густина енергоносія); $k_{\Sigma I} = k_1 + A_2^2 \cdot \kappa / W_{0\Sigma max}$ – зведена сумарна жорсткість пружної ланки ГІТ ГПІ ВМ (чи ВУМ) з врахуванням жорсткості ГЛ відносно площі A_2 поперечного перерізу золотникової частини ЗРЕ 3 ГІТ (див. рис. 2.1 і рис. 2.2).

За умовою (3.7) жорсткість k_1 пружини 8 регулятора тиску p_1 «відкриття» ГІТ повинна задовольняти нерівність

$$k_1 \leq 2\pi^2 m_{1\Sigma} \nu_{max}^2 - (A_2^2 \cdot \kappa / W_{0\Sigma max}). \quad (3.8).$$

За заданих номінального тиску p_1 «відкриття», діапазону зміни попередньої деформації $[y_{01min}, y_{01max}]$ пружини 8 регулятора тиску p_1 та внутрішнього передатного відношення u_{21} ГІТ (див. підрозділ 3.1 БДР), за формулами (2.1) та (2.7), нехтуючи сумою її членів $(k_1 \cdot h_c + k'_1 \cdot h_{ce}) / A_2 + k'_1 \cdot y'_{01} / A_2$, жорсткість k_1 можна оцінити за нерівністю

$$k_1 \leq u_{21}^{0,5} \cdot (1 + \theta_1 \cdot \xi) = u_{21}^{0,5} \cdot p_1 \cdot A_2 \cdot y_{01m}^{-1}, \quad (3.9)$$

де $y_{01m} = 0,5(y_{01min} + y_{01max})$ – середнє значення попередньої деформація пружини 8 регулятора тиску, що відповідає номінальному тиску p_1 «відкриття» ГІТ.

Прирівнявши (3.8) та (3.9) з отриманого квадратного рівняння, взявши додатний корінь (від'ємний корінь не має фізичного змісту), знайдемо залежність для розрахунку площі A_2 поперечного перерізу та діаметра d_2 золотникової частини ЗРЕ 3:

$$A_2 = 0,5 \cdot u_{21}^{0,5} \cdot p_1 \cdot W_{0\Sigma\max} \{ [1 + 8\pi^2 \cdot v_{\max}^2 \cdot \kappa \cdot y_{01}^2 / (u_{21} \cdot p_1 \cdot W_{0\Sigma\max})]^{0,5} - 1 \} \times (y_{01m} \cdot \kappa)^{-1}; \quad (3.10)$$

$$d_2 = (4(A_2 / \pi))^{0,5} \approx 1,13 \cdot (A_2)^{0,5}. \quad (3.12)$$

Середня площа A'_1 поперечного перерізу по фасці клапанної частини ЗРЕ 3 (перший ступінь герметизації ГІТ) розраховується за заданим передатним відношенням u_{21} на основі формули (2.1):

$$A'_1 = u_{21}^{0,5} \cdot (1 + \theta_1 \cdot \xi) \cdot A_2. \quad (3.13)$$

Теоретичними та експериментальними дослідженнями ГПІ та ГІТ [2 – 6] встановлено, що середня $Q_{mг}$ витрата енергоносія через відкриту щілину ГІТ

$A_{щ} = \pi \cdot d_2 \cdot h_{св}$ (див. рис. 2.1) зв'язана з подачею гідронасоса Q_n насосно – гідроаккумуляторної станції живлення ГПІ залежністю

$$Q_{mг} = (Q_n + Q_{ам}) \cdot t_n / t_{\Delta p} = (Q_n + Q_{ам}) \cdot \tau_{\Delta p}, \quad (3.14)$$

де $Q_{ам}$ – середня подача циклового гідроаккумулятора; $\tau_{\Delta p} = t_n / t_{\Delta p}$ – відносний час зменшення тиску енергоносія в цикловому гідроаккумуляторі та в другому виконавчому гідродвигуні ГПІ з рівня p_1 до рівня p_2 , причому $t_{\Delta p} < t_n$ ($\tau_{\Delta p} > 1$), звідки випливає, що $Q_{mг} > (Q_n + Q_{ам})$; $t_{\Delta p} = t_{pца} = t_{хзд}$ – час зменшення тиску енергоносія з рівня p_1 до рівня p_2 .

З метою уникнення під час роботи ГІТ негативних явищ, таких як кавітація тощо, та за правилами проектування гідроприводів [14 – 16], середня швидкість v_{m2} енергоносія через відкриту щілину $A_{щ}$ ГІТ не повинна перевищувати допустиму $[v_p]$ (зважаючи на імпульсний характер потоку енергоносія, можна прийняти $[v_p]_{max} = 15 \text{ м/с}$ [16]).

$$v_{m2} = Q_{m2} / (\pi \cdot d_2 \cdot h_{св}) \leq [v_p] \quad (3.15)$$

звідки
$$Q_{m2} \leq \pi \cdot d_2 \cdot h_{св} \cdot [v_p]. \quad (3.16)$$

Від’ємне перекриття $h_{св}$ золотникової частини ЗРЕ 3 – n_o малих радіальних отворів $d_{оз}$ в гільзі 2, з метою зменшення витрат енергоносія під час відкриття ГІТ за рахунок перетікання робочої рідини із напірної порожнини в зливну, призначається [2 – 6] меншим від додатного перекриття $h_{сн}$ на $\sim (0,5...1,0) \text{ мм}$ в залежності від квалітету точності спряження золотникової частини ЗРЕ 3 з його гільзою 2. Зазвичай, спряження поверхонь типу ЗРЕ 3 – гільза 2 виконуються за квалітетами не нижче 5 – 6, за ходовою посадкою, наприклад, $\emptyset d_2 H6 / g6$, що дозволяє забезпечити надійну герметизацію за додатного перекриття $h_{сн} = (2,5...4,5) \text{ мм}$ [3 – 6].

Для розроблюваного ГІТ було прийнято $d_{оз} = h_{св}$, ($A_{щ} = \pi \cdot d_2 \cdot h_{св} = \pi \cdot d_{оз}^2 \cdot n_o / 4 \approx 0,785 \cdot d_{оз}^2 \cdot n_o = 0,785 \cdot h_{св}^2 \cdot n_o$, див. підрозділ 2.2 БДР), що за $h_{св} = 4,0 \text{ мм}$ дозволяє призначити $h_{сн} = 4,5 \text{ мм}$ та хід ЗРЕ 3 $h = h_{сн} + h_{св} = 4,5 + 4,0 = 8,5 \text{ мм}$. За цих даних і з залежності для $A_{щ}$ знайдемо просту формулу для розрахунку потрібної кількості n_o радіальних отворів в гільзі 2:

$$n_o = 4 \cdot d_2 / h_{св}. \quad (3.17)$$

Сумарну максимальну витрату $Q_{max} = (Q_{пmax} + Q_{амax})$ енергоносія, що проходить через площу $A_{щ}$ повністю відкритої щілини ЗРЕ 3 ГІТ, можна оцінити за формулою, аналогічною (3.16):

$$Q_{\text{max}} = (Q_{\text{нmax}} + Q_{\text{max}}) \cdot \tau_{\Delta p} = \pi \cdot d_2 \cdot h_{\text{св}} \cdot [v_p]_{\text{max}}, \quad (3.18)$$

де експериментальними дослідженнями ДЗК ГІП і ГІТ [2 – 6] встановлено, що

$Q_{\text{max}} = (2 \dots 3) Q_{\text{нmax}}$ – подача енергоносія цикловим гідроаккумулятором в порожнину виконавчого гідродвигуна за час $t_{\text{рца}}$ розрядки гідроаккумулятора, яка відповідає максимально можливій подачі гідронасоса; відносний час $\tau_{\Delta p} = t_{\text{н}} / t_{\Delta p} > 1$ зменшення тиску енергоносія з рівня p_1 до рівня p_2 , можна оцінити за такими міркуваннями: 1) зі зростанням $Q_{\text{нmax}}$ за схеми приєднання ГІТ до гідродвигуна «на виході» час $t_{\text{н}}$ зменшується (див. (1.4) і (3.1)); 2) час $t_{\Delta p}$ за будь-якої схеми приєднання ГІТ в основному визначається швидкістю $v_{\text{те}}$ потоку енергоносія через площу $A_{\text{ц}}$; 3) можна припустити, що $\tau_{\Delta p} \approx [v_p]_{\text{max}} / [v_p]_{\text{ном}} = 15 / (5 \dots 8) \approx 2 \dots 3$ (тут $[v_p]_{\text{ном}} = (5 \dots 8) \text{ м/с}$ – номінальна допустима швидкість потоку енергоносія в напірних гідролініях за тиску $(10 \dots 12) \text{ МПа}$ [14 – 16]).

Грунтуючись на залежності (3.18) та формулі (3.17) і наведених міркуваннях, після не складних алгебраїчних перетворень, отримаємо формулу для розрахунку максимальної подачі $Q_{\text{нmax}}$ гідронасоса, що відповідає максимально допустимій швидкості $[v_p]_{\text{max}}$ енергоносія:

$$Q_{\text{нmax}} = (1,04 \dots 2,08) \cdot d^2 \cdot [v_p]_{\text{max}} \cdot n^{-1}. \quad (3.19)$$

Знайдене значення $Q_{\text{нmax}}$ слід порівняти з розрахованою величиною $Q_{\text{н}}$ за формулою (3.6) та за середнім значенням $Q_{\text{нт}} = 0,5 \cdot (Q_{\text{нmax}} + Q_{\text{н}})$ вибрати конкретну модель гідронасоса типу НШ.

Керуючись встановленими рекомендаціями, жорсткість пружини 10 (див. рис. 2.2) розраховуємо за формулою (2.5) $k'_1 = \theta_1 \cdot k_1 = 0,8 \cdot k_1$, де $\theta_1 = 0,8$. Попередню деформацію $y'_{01} = \xi \cdot y_{01} = 1,05 \cdot y_{01}$ пружини 10 визначаємо за початковими даними (див. підрозділ 3.1) та формулою (2.6), прийнявши $\xi = 1,05$.

Висоту b_c притертої фаски клапанної частини (першого ступеня герметизації) ЗРЕ 3 ГІТ, за якої забезпечується потрібна зносостійкість цієї частини ЗРЕ 3, знаходимо за формулою, приведеною в роботі [3], попередньо визначивши середню рушійну силу $F_{pcm} = 0,5 \cdot \{ k_1 \cdot [h + \theta_1 \cdot h_{cn} + y_{01}(1 + \theta_1 \cdot \xi)] - p_2 \cdot A_2 \}$ руху ЗРЕ 3 на його зворотному ході:

$$b_c \geq 1,38 \cdot d_1 \cdot \sqrt{[F_{pcm} / (d_1^2 \cdot \sigma_{np})] + 1} - l, \quad (3.20)$$

де σ_{np} – межа пружності матеріалу сідла 4 ГІТ. Формула (3.20) справедлива за кута конусів $\alpha = 60^\circ$ клапанної частини ЗРЕ 3 та сідла 4.

Параметри витих пружин 8 і 10 розраховуються за стандартною методикою, наведеною в ДСТУ (ГОСТ 13764-68, ГОСТ 23776-68), а всі інші геометричні розміри ГІТ визначаються конструктором під час розроблення ДЗК ГІТ за загальноприйнятими правилами конструювання гідравлічних і, зокрема, гідроімпульсних машин, механізмів і пристроїв [1 – 11].

Після розроблення ДЗК ГІТ також необхідно перевірити на міцність (на зріз і зминання) нарізку пробок 5 і 20 (див. рис. 2.2), що піддаються цикловому навантаженню через дію на ці деталі пульсуючого високого тиску з амплітудою $\Delta p = p_1 - p_2$. Згідно з прийнятими вхідними даними (див. підрозділ 3.1 БДР) матеріал корпусу 1 – сталь 45, або 40X, 34...42 HRCe (гартування в мастилі, відпуск). З такого ж матеріалу та термічним обробленням доцільно виготовити корпус 18 дроселя регулювання режиму посадки ЗРЕ 3, а для пробок 5 і 20 використати сталь 45, 240...250 HB (поліпшення, відпуск). Оскільки відповідно з призначеним видом термічного оброблення, матеріали корпусів 1 і 18 більш міцні, то розрахунок за напруженнями зрізу $\tau_{зр}$ та зминання $\sigma_{зм}$ потрібно виконувати для нарізок пробок 5 і 20 за формулами, наведеними в підручниках з курсу «Деталі машин» [17, 18]:

$$\tau_{зр} = F_{jарmax} / (\pi \cdot d_j \cdot k_{np} \cdot H_{jp} \cdot k_{mp}) \leq [\tau_{зр}]; \quad (3.21)$$

$$\sigma_{зм} = 4 \cdot F_{jарmax} / [\pi \cdot (d_j^2 - D_{1k}^2) \cdot z_{jp}] \leq [\sigma_{зм}], \quad (3.22)$$

де $F_{jарmax} = p_1 \cdot A_{jn}$ – максимальна осьова сила, що діє на площу A_{jn} поперечного перерізу пробок 5 і 20 ($j = 5; 20$); d_j – зовнішній діаметр нарізки пробок 5 і 20; k_{np} – коефіцієнт повноти нарізки ($k_{np} \approx 0,87$ – для метричної трикутної нарізки); H_{jp} – висота нарізки пробок 5 і 20; $k_{mp} \approx 0,55$ – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження за витками нарізки; D_{1k} – внутрішній діаметр нарізки в корпусах 1 і 18 ($k = 1; 18$); $z_{jp} = H_{jp} / p_j$ – число витків на довжині скручування нарізки (довжині нарізки) пробок 5 і 20; p_j – крок нарізки пробок 5 і 20 ($j = 5; 20$); $[\tau_{зр}] = 125 \text{ МПа}$, $[\sigma_{зм}] = 610 \text{ МПа}$ – відповідно, допустимі напруження зрізу та зминання для сталі 45 за пульсуючого режиму навантаження [19, 20]. За необхідності можуть виконуватись й інші види перевірних розрахунків, наприклад, розрахунок надійності функціонування ГІТ з визначенням основних показників надійності [17, 18] – безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збереженості.

Основні параметри ДЗК параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 , визначені за викладеною методикою проєктного розрахунку, наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні розрахункові параметри ДЗК ГІТ

Найменування параметра	Одиниця вимірювання	Числове значення параметра
Номінальна (середня) витрата $Q_{нт}$ енергоносія	$\text{м}^3/\text{с}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$
Номінальний тиск «відкриття» p_1	МПа	10
Діапазон регулювання частоти ν імпульсів тиску за номінальної витрати $Q_{нт}$	Гц	10...100

Продовження таблиці 3.1

Максимальна площа прохідного перерізу дроселя регулювання режиму посадки ЗРЕ 3	m^2	$5 \cdot 10^{-8}$
Жорсткість пружин: 5 – регулятора тиску «відкриття» $p_1 - k_1$ 10 – регулятора тиску «закриття» $p_2 - k'_1$	H/m	$6,08 \cdot 10^4$
	H/m	$4,86 \cdot 10^4$
Уточнені межі регулювання попередньої деформації пружин: 8 – регулятора тиску «відкриття» – y_{01} 10 – регулятора тиску «закриття» – y'_{01}	m	$(5...17) \cdot 10^{-3}$
	m	$(5...18) \cdot 10^{-3}$
Діаметр умовного проходу ГІТ d_y , рівний діаметру d_1 першого ступеня герметизації ГІТ	m	$12 \cdot 10^{-3}$
Діаметр d_2 другого ступеня герметизації ГІТ	m	$18 \cdot 10^{-3}$
Уточнене внутрішнє передатне число ГІТ u_{21} за $\theta = 0,8$ та $\xi = 1,05$	—	0,058
Номінальний тиск «закриття» p_2 , визначений за вказаних величин p_1 , u_{21} , θ і ξ	MPa	4,42
Додатне перекриття ЗРЕ 3 h_{cn}	m	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Від'ємне перекриття ЗРЕ 3 $h_{cv} = d_{oz}$	m	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Повний хід ЗРЕ 3 $h = h_{cn} + h_{cv}$	m	$8,5 \cdot 10^{-3}$
Розрахункова кількість n_o радіальних отворів в гільзі 2	—	18
Зведена сумарна жорсткість пружної ланки ГІТ, ГП $k_{\Sigma 1} = k_1 + k_{ГЛ} = k_1 + A^2_2 \cdot \kappa / W_{0\Sigma max}$	H/m	$1,23 \cdot 10^5$
Зведена сумарна жорсткість ГЛ $k_{ГЛ}$ за $W_{0\Sigma max} = 1,5 \cdot 10^{-3} m^3$	H/m	$6,25 \cdot 10^4$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

На дільниці де проводиться процес розробки параметричного однокаскадного генератора імпульсів тиску в рідині з регульованим тиском закриття виникають наступні шкідливі та небезпечні фактори:

- фізичні: рухомі частини виробничого обладнання; вироби, що переміщуються; підвищений рівень шуму; гострі кромки, заусенці; підвищена напруга в електричній мережі, замикання якої може пройти через тіло людини; недостатня освітленість робочої зони; недостатнє природне освітлення;

- хімічні: загально токсичні (CO_2 – джерело – міжцеховий автотранспорт; вуглеводні містяться у парах ЗОР); роздратовуючі (пари лугів з ЗОР);

- психологічні: фізичні перенавантаження (при перенесені деталей до робочого місця); нервово-психічні перенавантаження (викликаються монотонністю праці).

4.1. Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Обладнання повинно бути безпечним при монтажу, експлуатації і ремонту як окремо, так і в складі технологічних систем, при зберіганні, повинно бути пожежно-вибухобезпечним і не забруднювати навколишнє середовище вище норм.

Об'єм промислового приміщення на одного працюючого не повинен бути менше 15 м^3 , а площа – $4,5 \text{ м}^2$.

Для забезпечення безпеки повинні встановлюватися пристрої, що виключають можливість проникнення робітника в небезпечну зону; захисні екрани для верстатів; переносні огорожі; блокуючі пристрої; пристрої

сигналізації у верстатах; застосовуватись особливі конструкції кнопок керування, що роблять неможливим попадання робітника у небезпечну зону.

Робітники дільниці при обробці різанням повинні мати засоби індивідуального захисту: спецодяг, взуття.

4.1.2 Електробезпека

Дільниця по небезпеці ураження електричним струмом відноситься до особливо небезпечних приміщень, оскільки на цій дільниці існують струмопровідні поли і можливість одночасного дотику людини до механізмів, що мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів з іншого. Безпека при експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок забезпечується засобами захисту.

В якості захисного засобу на дільниці використовується занулення для трьохфазної чотирьох провідної мережі із заземленою нейтраллю. Занулення в електроустановках не знаходиться під напругою до 1000 В – спеціальне заземлення частин, які нормально не знаходяться під напругою, з глухо-заземленою нейтраллю генератора або трансформатора в мережах трьохфазного струму.

Занулення перетворює замикання на корпус в однофазне коротке замикання між фазним і нульовим проводами з метою утворення більшого струму, здатного забезпечити спрацювання захисту і відключення установки від мережі.

Другим основним засобом електробезпеки є захисне заземлення всіх струмопровідних корпусів обладнання на дільниці.

Захисна дія заземлення ґрунтується на зменшенні напруги дотику між корпусом обладнання і землею. При замиканні будь-якої фази на струмопровідний корпус через провідник заземлення фаза замикається на землю. Це є однофазне коротке замикання, від струму якого спрацює захисне обладнання, яке відключає дану установку від електромережі.

На ділянці виконане природне заземлення – всі струмопровідні корпуси установок та механізмів заземлені на підземні трубопроводи.

Крім того, на ділянці використовують різні електрозахистні засоби: діелектричні рукавиці, гумові килими, ізолюючі підставки, показники напруги. В різних місцях встановлені різні попереджувальні плакати: дозволяючи, остерігаючи та нагадуючи.

4.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1. Мікроклімат

Мікроклімат у виробничих приміщеннях визначається наступними параметрами: температура повітря t , °C; відносною вологістю ϕ , %; швидкістю руху повітря на робочому місці v , м/с; атмосферним тиском p , мм.рт.ст.

Метеорологічні умови визначаються для робочої зони на висоті 2 м над рівнем підлоги. Людина почуває себе гарно, якщо температура навколишнього повітря $t = 18...22$ °C; відносна вологість $\phi = 40...60\%$, швидкість руху повітря на робочому місці $v = 0,1...0,2$ м/с.

Роботи відносять до категорії робіт II б – роботи середньої важкості, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням та перенесенням невеликих вантажів до 10 кг, які вимагають помірних фізичних напруг, параметри мікроклімату наведені у таблиці 4.1 відповідно до [17].

Таблиця 4.1 – Показники мікроклімату

Період року	Категорія	Температура t , °C					Відносна		Швид.	
		Оптимальні	На робочих місцях				Оптимальні	Допустимі на роб.	Оптимальні	Допустимі
			Верхня		Нижня					
			пост	непост	пост	непост				
Холодний	II б	17...19	21	23	15	13	40...60	75	0,2	>0,4

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного обладнання не повинно перевищувати 100 Вт/м^2 при опроміненні не більше 25% поверхонь тіла.

Оптимальні параметри мікроклімату підтримувати економічно недоцільно, тому підтримують допустимі параметри.

У механічному цеху застосовують витяжну загальну обмінну вентиляцію [18].

4.2.2 Виробниче освітлення

Виробниче освітлення характеризується кількісними та якісними показниками. Кількісні показники: світловий потік, сила світла, освітленість, яскравість. Якісні: фон, контраст об'єкта з фоном, видимість і т. д.

Зорова робота на розробляє мій ділянці відноситься до II групи: розрізнення об'єктів зорової роботи здійснюється при фіксованому направленні лінії зору робітників на робочу поверхню (виробничі приміщення промислових підприємств) [18].

Природне освітлення на ділянці є верхнє з боковим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості – це відношення освітленості зовні.

Таблиця 4.2 – Нормування освітленості

Характер зорової роботи	Найменший розмір об'єкту	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту розрізнення	Характер фону	Штучне,	Природне,
						Комб.	Комб.
Високоточне	більше 0,15 до 0,3	2	в	середній	середній	750	2,5

Нестачу природної освітленості компенсує штучне. Воно складається з загального освітлення виробничої площі та місцевого освітлення. Місцеве

освітлення реалізується лампами розжарювання; загальне – газорозрядними лампами.

4.2.4 Виробничий шум

Шум має великий вплив на працездатність людини. Джерелами шуму на ділянці є працююче обладнання, шум з сусідніх ділянок та шум автотранспорту.

Для постійних робочих місць у виробничих приміщеннях і території підприємства допустимі рівні звукового тиску наведені у таблиці 4.3 [19].

Таблиця 4.3 – Допустимі рівні звукового тиску

Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах з середньо герметичними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	82	82	78	75	73	71	69	80

Для зниження шуму у виробничих приміщеннях застосовують різні методи: зменшення рівня шуму в джерелі його виникнення; звукопоглинання і звукоізоляція; установка глушників шуму; раціональне розміщення обладнання; застосування засобів індивідуального захисту.

4.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація виникає при зворотно-поступальних рухах системи, обертання нерівноважених мас, ударів деталей. По дії на людину вібрація поділяється на загальну та локальну. Систематична дія вібрації призводить до різноманітних порушень здоров'я людини.

На ділянці механічної обробки на робітників діє локальна та загальна вібрація, джерелом якої є працююче обладнання. На постійних робочих

місцях у виробничих приміщеннях допустимі такі рівні вібрації (табл. 4.4) для категорії вібрації 3 тип «а» – технологічна вібрація, що діє на операторів стаціонарних машин та обладнання, чи передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації [20].

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні вібрації

Вид вібрації	Категорії вібрації по СН	Напрявленні дії	Нормативне корегування по частоті і еквівалентне корегування значення			
			Вібро-прискорення	Рівень віброприскорення	Вібро-швидкість	Рівень вібро-швидкості
			м с ⁻¹	дБ	м с ⁻¹ 10 ⁻²	дБ
загальна	3 типа «а»	z0, y0, x0	0.1	100	0,2	92

Санітарні норми одночисельних показників вібраційного навантаження на оператора для тривалості зміни 8 год. також наведені в таблиці 4.4.

Технічні заходи захисту від вібрацій полягають у зниженні вібрації в джерелі її виникнення та зменшенні вібрації на шляхах її поширення від джерела.

Зменшення вібрації в джерелі її виникнення досягається шляхом застосування таких кінематичних та технологічних схем, які усувають чи мінімально знижують дію динамічних сил. Так, вібрація послаблюється при заміні кулачкових та кривошипних механізмів на механізми, що обертаються з рівномірною швидкістю, механічних приводів – на гідравлічні та ін. Зменшення вібрації досягається також статичним та динамічним зрівноважуванням механізмів та об'єктів, що обертаються.

Контакту працівника з віброоб'єктом, а відтак і шкідливої дії вібрації можна уникнути шляхом використання дистанційного керування,

автоматичного контролю та сигналізації, а також застосування захисного огородження. Якщо цього досягти неможливо, то необхідно при контакті працівника з віброоб'єктом домогтися зменшення параметрів вібрації на шляху її поширення від джерела змушувальної сили. Цього можна досягти за допомогою вібропоглинання, віброгасіння та віброізоляції.

4.3. Технічні рішення з пожежної безпеки

В якості робочої рідини використовується мінеральне мастило. Температура спалаху у нього більше 61 °С тому дане виробництво слід віднести до категорії «В». В відповідності з [9] приміщення має ступінь вогнестійкості – II, допустиме значення поверхів – фактично 1, площа поверху не обмежується. Межі вогнестійкості будівлі II ступеня стійкості:

Стіни	межа вогнестійкості
Несучі і сходові клітки	2
Самонесучі	1
Зовнішні не несучі	0,25
Колони	2
Сходові площадки, ступені, балки	1
Плити, настили і інші перекриття	0,25
Елементи покриття:	
Плити, настили, прогони	0,25
Балки, ферми, арки	0,25

Для забезпечення гасіння пожежі в початковому стані його джерело треба встановити найшвидше, тому встановлюємо внутрішній пожежний кран.

З метою забезпечення пожежобезпеки слід контролювати установку по допускній температурі, так як в ній використовується мінеральне мастило, а також не допускати перегріву електродвигунів.

В приміщенні висота від підлоги до низу виступаючих конструкцій повинна бути не менша 2,2 м. Висота від підлоги до низу виступаючих

частин конструкцій і обладнання у місцях регулярного проходження людей і на шляхах евакуації – не менше 2 м.

Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщеннях споруд, через евакуаційні виходи. Кількість евакуаційних виходів з будівель слід приймати не менше двох.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця приміщення до евакуаційного виходу із будівлі для даного приміщення згідно [9] не обмежується. Ширина виходу із приміщення: через двері – 1 м, через розсувні ворота – 2,5 м. Кількість людей на 1 метр складає близько 10 чоловік. Згідно [21] кількість до 120 чоловік. В механічному цеху знаходиться пожежний щит з вогнегасником, сокирою, лопатою, відром, біля щита ящик з піском.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз принципів і конструктивних схем параметричних ГІТ ГІП, показав, що параметричні однокаскадні ГІТ прямої дії за різними схемами приєднання до виконавчих ланок ГІП ВМ чи ВУМ можуть керувати циклом цих машин малої або середньої потужності або використовуватись як сервоприводи (перші каскади) дво – та багатокаскадних ГІТ.

2. Встановлено, що у відомих параметричних однокаскадних ГІТ в широкому діапазоні регулюється тиск «відкриття» p_1 , але відсутнє регулювання тиску «закриття» p_2 , внаслідок чого це, певною мірою, обмежує технічні та технологічні можливості ГІП ВМ і ВУМ.

3. За результатами аналізу відомих схем і конструкцій і принципів функціонування параметричних ГІТ ГІП за різними схемами приєднання до виконавчих ланок ГІП ВМ чи ВУМ на «на вході», «на виході» та «комбінована», розроблено конструктивну схему та конструкцію параметричного однокаскадного ГІТ прямої дії за схемою приєднання «комбінована» з регульованим тиском «закриття» p_2 .

4. Компоновка розробленого параметричного однокаскадного ГІТ прямої дії виконана у вигляді трьох складальних одиниць (блоків) – розподілення енергоносія, дроселя регулювання режиму посадки ЗРЕ 3 (див. рис. 2.2) та регулятора рівнів тисків «відкриття» p_1 та «закриття» p_2 ГІТ, в якому керована зміна тиску p_2 «закриття» ГІТ досягається за допомогою додаткової пружини, що вступає в дію після переміщення ЗРЕ 3 на відстань його додатного перекриття h_{cn} . Така компоновка блоків ГІТ дозволяє, у випадку необхідності, відносно просто змінювати їх конструкцію не міняючи суті приєднувальних блоків.

5. Діапазон регульованого тиску «закриття» p_2 (див. (2.7) розробленого параметричного однокаскадного ГІТ визначається за заданого діапазону зміни тиску його «відкриття» p_1 варіюванням безрозмірних параметрів θ_1 і ζ (див. (2.3 і (2.4).

6. На основі аналізу процесу (див. залежності (2.1) та (2.7) регулювання тиску «закриття» p_2 , розробленого параметричного однокаскадного ГІТ, встановлено, що для високочастотного типу ГІТ ($\nu \geq 40 \text{ Гц}$, $u_{21} = 0,5 \dots 0,6$) слід рекомендувати $\theta_1 < 1$ та $\xi < 1$, а для низькочастотних ($\nu \leq 20 \text{ Гц}$, $u_{21} = 0,06 \dots 0,12$), з метою підвищення їх швидкохідності, $\theta_1 \leq 1$ та $\xi \geq 1$.

7. Розроблена методика проєктного розрахунку параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 дозволяє визначити всі основні енергетичні, силові та геометричні параметри генератора та може бути використана для проєктного розрахунку однокаскадних ГІТ інших типів і схем приєднання до виконавчих гідродвигунів (гідроциліндрів) ГІП ВМ або ВУМ.

8. Визначено основні шкідливі та небезпечні фактори під час експлуатації ДЗК ГІП ВМ (ВУМ) з розробленим ГІТ, обґрунтовані правила безпеки під час обслуговування ГІП та ГІТ і розроблено організаційні та технічні заходи дотримання цих правил та усунення шкідливих і небезпечних факторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Искович-Лотоцкий Р. Д. Машины вибрационного и виброударного действия / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. Б. Матвеев, В.А. Крат – К.: Техніка – Київ, 1982.– 206 с.
2. Искович-Лотоцкий Р. Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій : монографія / Искович-Лотоцкий Р. Д., Обертюх Р. Р., Севостьянов І. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця 2006. – 291 с.
3. Искович-Лотоцкий Р. Д. Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин : монографія / Искович-Лотоцкий Р. Д., Обертюх Р. Р., Архипчук М. Р. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця 2008. – 171 с.
4. Обертюх Р. Р. Генератори імпульсів тиску із параметричним принципом керування другим каскадом / Обертюх Р. Р., Архипчук М. Р. // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – №4 (56). – С. 60 – 65.
5. Обертюх Р. Р. Параметричні однокаскадні генератори імпульсів тиску підвищеної пропускної здатності / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Андрухов С. Р., Кудраш В. О. // Віснику машинобудування та транспорту – №1, 2019. – С. 40 – 48.
6. Искович-Лотоцкий Р. Д. Використання гідроімпульсного привода в обладнанні переробних виробництв : монографія / Искович-Лотоцкий Р. Д., Обертюх Р. Р., Поліщук О. В. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 116 с.
7. Генератори імпульсів тиску для гідроімпульсних приводів технологічних машин / Искович-Лотоцкий Р. Д., Обертюх Р. Р., Обертюх М. Р., Томчук В. І. // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Вип. 7. – Кіровоград : КДТУ, 2000. С. 9 – 14.
8. Пат. 7804 U, Україна, 7. МПК F15B21/12. Генератор імпульсів тиску / Р. Р. Обертюх., Р. Д., Искович-Лотоцкий, М. Р. Архипчук, Бернада М. А (Україна). - №20041109354; Заявл. 15.11.2004; Опубл. 15.07.2005, Бюл. №7. – С. 61.

9. Пат. 37418 Україна, F 15B 21/00. Кульковий двокаскадний генератор імпульсів тиску / Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Архипчук М. Р., Поліщук О. В. Опубл. 25. 12. 2009. Бюл. № 24.

10. Пат. № 103684 Україна, МПК (2015, 12) B24B 39/04. Гідроімпульсний віброударний пристрій для деформаційного зміцнення деталей / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Марущак М. В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. Опубл. 25. 12. 2015. Бюл. № 24.

11. . Обертюх Р. Р. Пристрої для віброточіння на базі гідроімпульсного привода : монографія / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 164 с.

12. Obertyukh R., Slabkyi A., Polishchuk L., Povstianoi O. Dynamic and mathematical models of the hydroimpulsive vibro-cutting device with a pressure pulse generator bult into the ring spring. Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Środowiska. 2022. Vol 12, No 3. P. 54-58.

13. Пат. 13858 U, Україна, F15B 21/00. Генератор імпульсів тиску / Р. Р. Обертюх, Р. Д. Іскович-Лотоцький, М. Р. Архипчук, Бернада М. А, М. О. Мовчанюк (Україна). – № u200510479; Заявл. 07.11.2005; Опубл. 17.04.2006, Бюл. №4 –С. 61.

14. Ковальов, І. О. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навч. посіб. / І. О. Ковальов, О. В. Ратушний. – Суми : СумДУ, 2016. – 250 с.

15. Гідравліка, гідро- та пневмопривод : підручник / за ред. О. О. Федорця, О. Ф. Саленка. – 2-ге вид., переробл. і допов. – Київ : Знання, 2009. – 502 с.

16. Машинобудівна гідравліка. Задачі та приклади розрахунків / В. І. Мандрус, Н. П. Лещій, В. М. Звягін. – Львів: Світ, 1995. – 264 с.

17. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / Павлище В. Т. – Л. : Афіша, 2004. – 578 с.

18. Мархель І. І. Деталі машин: Навчальний посібник / Мархель І. І. – К. : Алерта, 2005. – 368 с.

19. Деталі машин. Навчальний посібник. В. Павлов, Г. Борозенець, І. Семак. – К. :Кондор, 2021. – 220 с.
20. 12. Стадник В.А. Деталі машин. Електронне навчальне видання – К.: –НТУУ КПІ, 2012. – 650 с.

Додаток А
(обов'язковий, ДСТУ 3973-2000)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ГМ
Леонід ПОЛЩУК

(підпис)
« ____ » _____ 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

**на розроблення параметричного однокаскадного генератора імпульсів
тиску в рідині з регульованим тиском закриття**

Розробив студент

Спеціальності 133 – Галузеве машинобудування

Олексій ШПАК

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник: к. т. н., проф. Роман ОБЕРТЮХ

« ____ » _____ 2025 р.

1 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР) є індивідуальне завдання на БКР та наказ ректора по ВНТУ про закріплення тем БКР.

2 Мета і призначення виконання БКР

Мета БКР – розширення технічних і технологічних характеристик однокаскадного параметричного генератора імпульсів тиску (ГІТ) в рідині шляхом розроблення конструктивної схеми та конструкції генератора з регульованим тиском p_2 його «закриття». Призначення: параметричні однокаскадні ГІТ прямої дії за різними схемами приєднання до виконавчих ланок ГІП ВМ чи ВУМ можуть керувати циклом цих машин малої або середньої потужності, чи використовуватись як сервоприводи (перші каскади) дво – та багатокаскадних ГІТ. Призначення дослідницької (наукової) частини БКР – розроблення науково обґрунтованої методики проєктного розрахунку ГІТ шляхом аналізу відомих схем і конструкцій параметричних однокаскадних ГІТ розроблення та аналізу функціонування нової конструкції ГІТ регульованим тиском p_2 його «закриття».

3 Вихідні дані для проведення НДР (БКР – різновид НДР)

Перелік основних літературних джерел, на основі яких буде виконуватись БКР.

3.1. Іскович-Лотоцький Р. Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій : монографія / Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Севостьянов І. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця 2006. – 291 с.

3.2. Іскович-Лотоцький Р. Д. Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних

машин : монографія / Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Архипчук М. Р. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця 2008. – 171 с.

3.3. Обертюх Р. Р. Генератори імпульсів тиску із параметричним принципом керування другим каскадом / Обертюх Р. Р., Архипчук М. Р. // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – №4 (56). – С. 60 – 65.

3.4. Обертюх Р. Р. Параметричні однокаскадні генератори імпульсів тиску підвищеної пропускної здатності / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Андрухов С. Р., Кудраш В. О. // Віснику машинобудування та транспорту – №1, 2019. – С. 40 – 48.

3.5. Іскович-Лотоцький Р. Д. Використання гідроімпульсного привода в обладнанні переробних виробництв : монографія / Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Поліщук О. В. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 116 с.

3.6. Генератори імпульсів тиску для гідроімпульсних приводів технологічних машин / Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Обертюх М. Р., Томчук В. І. // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Вип. 7. – Кіровоград : КДТУ, 2000. С. 9-14.

4 Виконавці НДР: студент спеціальності 133 – Галузеве машинобудування Олексій ШПАК.

5 Вихідні дані для розроблення пристрою та проведення НДР:

5.1 Основні технічні характеристики ГІТ, що повинні бути досягнуті в результаті розроблення його конструкції:

- 1) номінальний тиск «відкриття» ГІТ – $p_1 = 10 \text{ МПа}$;
- 2) діапазон регулювання частоти імпульсів тиску ν орієнтовно призначити $\nu = (10 \dots 100) \text{ Гц}$ ($\nu_{\max} = 100 \text{ Гц}$);
- 3) орієнтовно попереднє внутрішнє передатне число ГІТ $u_{21} = 0,06 \dots 0,12$;
- 4) орієнтовні діапазони регулювання попередньої деформації пружин:

регулятора тиску «відкриття» ГІТ – $y_{0I} = (5,0 \dots 18,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$; регулятора тиску «закриття» ГІТ – $y'_{0I} = (5,0 \dots 18,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

5) марка робочої рідини (енергоносія) для ГЛ ГП та ГІТ рекомендується вибирати із ряду мінеральних олив, що застосовуються для гідронасосів типу НШ, наприклад, дизельні оливи ДП 8, ДП 11 або И– Г– А46, И–Г–А68;

6) середній модуль пружності енергоносія $\kappa = 1,45 \cdot 10^3 \text{ МПа}$;

7) усталена температура робочого циклу ГІТ (термодинамічний режим – ізотермічний) – 313 К;

8) орієнтовні початкові сумарні об'єм $W_{0\Sigma}$ напірної порожнини A (гідросистеми ГП з розроблюваним ГІТ та об'єм W_a циклового гідроаккумулятора, за його наявності в гідросистемі привода, відповідно: $W_{0\Sigma} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
 $W_a \approx 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;

5.2 Інші технічні характеристики і вимоги до конструкції розроблюваного ГІТ:

- регулювання ланок настроювання параметрів ГІТ– безступінчасте;
- вимоги монтажної придатності до ГІТ – поставка в зібраному вигляді;
- маса продукції для ГІТ з межовими робочими параметрами – до (10.. ..15) кг;
- захист розподільних і силових ланок ГІТ від вологи, шкідливого випаровування і корозії, здійснюється за рахунок герметичності та покриттів;
- складові частини ГІТ – взаємозамінні;
- деталі та вузли ГІТ, повинні виготовлятися з матеріалів стійких до дії миючих засобів, мастила та інших похідних перероблення нафти;
- одиничний вид виробництва деталей, запасні частини не передбачаються.

5.3 Вимоги до надійності:

- довговічність – не менше 6 тис. год;
- безвідмовність – напрацювання на відмову – 1 тис. год;

- збереженість – повинна забезпечуватися працездатність пристрою в режимі очікування, роботи та консервації;

- ремонтпридатність – компоновочне рішення пристрою повинно бути таким, що забезпечує легкодоступність до деталей, які вірогідно можуть мати найменший термін служби та відносно простий їх ремонт.

5.4 Вимоги до технологічності розробки, виробництва та експлуатації – конструкція деталей ГІТ повинна бути такою, щоб забезпечувати їх виготовлення без застосування спеціального обладнання та устаткування.

5.5 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації – по можливості під час розроблення конструкції ГІТ використовувати уніфіковані деталі та стандартні вироби.

5.6 Конструкція ГІТ повинна відповідати естетичним та ергономічним вимогам, повинна бути зручною в обслуговуванні та керуванні.

5.7 Матеріали для деталей ГІТ слід призначати відповідно до рекомендацій, що наведені у довідниковій літературі та нормативних документах для контрольно – розподільної гідроапаратури.

5.8 Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговуванню та ремонту ГІТ:

- ГІТ призначено для використання у середньо широтних кліматичних умовах;

- час підготовки ГІТ до використання після транспортування та зберігання – 1 тиждень;

- вид технічного обслуговування ГІТ – періодичний з орієнтовною трудомісткістю технічного обслуговування та ремонту – 4 дні (один раз в три місяці).

5.9 Вимоги до транспортування та зберігання ГІТ:

- можливість транспортування на будь-якому виді транспортних засобів;

- захист від ударів під час завантаження та розвантаження генератора;

- зберігання на складі готової продукції;

– зберігання у законсервованому вигляді та складування на типових стелажах.

5.10 Аналіз відомих схем і конструкцій параметричних однокаскадних ГІТ провести за технічною літературою, періодичними виданнями (науково-технічні журнали) і патентними матеріалами.

5.11 Під час розроблення методики проєктного розрахунку параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» та його ДЗК використовувати загальновідомі напрацювання створення методик проєктних розрахунків ГІП і гідроімпульсних пристроїв, гідромеханізмів та інших механічних систем.

6 Економічні показники:

- орієнтований термін окупності витрат на розробку – 3,5 роки,
- освоєння виробництва продукції – 1 рік.

7 Етапи БКР і терміни їх виконання:

- аналіз відомих принципових і конструктивних схем однокаскадних параметричних ГІТ в рідині;
- розроблення принципової (структурної) схеми параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 ;
- розроблення конструкції дослідного зразка (ДЗК) генератора;
- розроблення методики проєктного розрахунку параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 та визначення його основних енергетичних, силових та геометричних параметрів;
- визначення основних шкідливих та небезпечних факторів під час експлуатації ДЗК ГІП ВМ (ВУМ) з розробленим ГІТ, обґрунтування правила техніки безпеки під час обслуговування ГІП та ГІТ і розроблення

організаційних та технічних заходів дотримання цих правил та усунення шкідливих і небезпечних факторів;

- загальні висновки;
- розробка складального кресленика ДЗК ГІТ;
- оформлення текстової документації та ілюстративних матеріалів для захисту БКР.

Терміни виконання етапів БКР регламентуються графіком навчального процесу у ВНТУ, часом, що відведений на переддипломну практику та на виконання і оформлення БКР, а також графіком консультацій зі спеціальної частини та розділу з охорони праці і безпеки життєдіяльності БКР.

8 Порядок контролю та приймання МКР

8.1 Поточний і рубіжний контроль керівника та консультанта розділу з охорони праці і безпеки життєдіяльності БКР за ходом виконання роботи.

8.2 Попередній захист БКР на випусковій кафедрі ГМ.

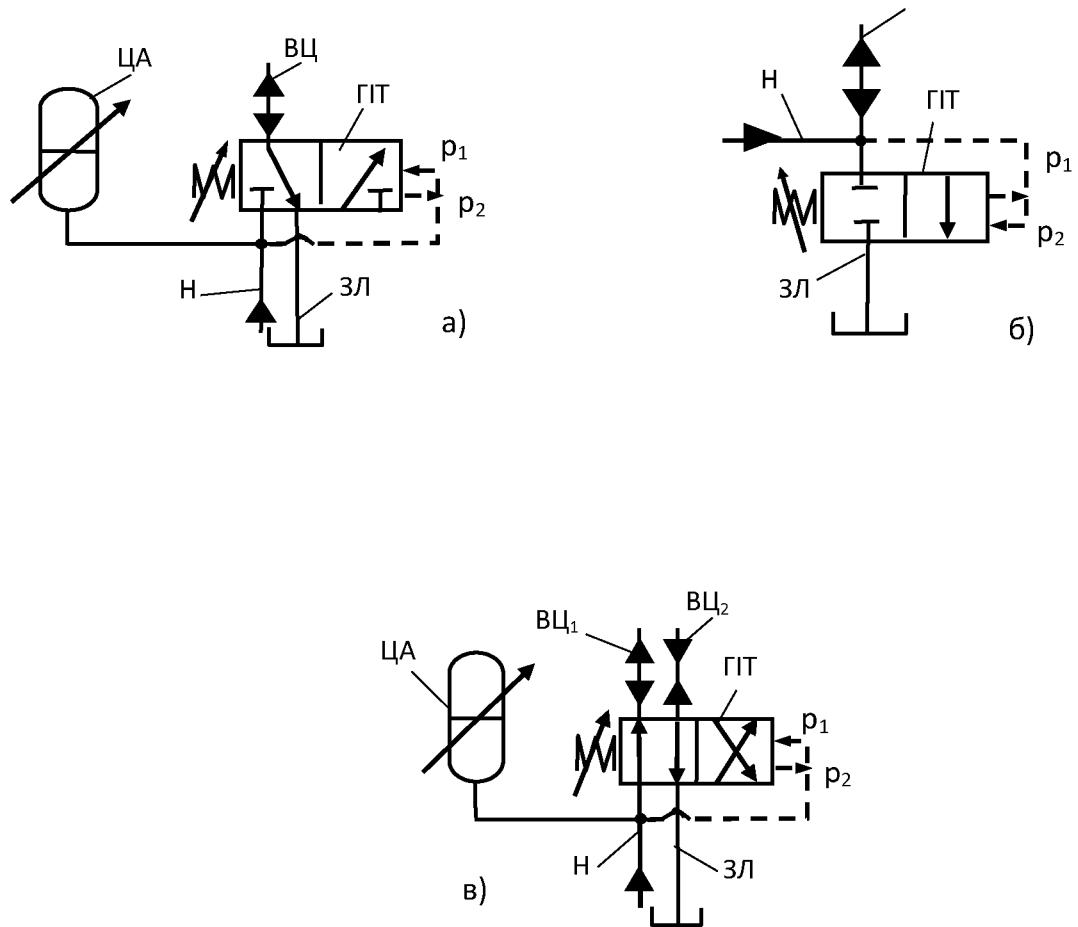
8.3 Захист БКР перед ЕК.

Додаток Б
(довідниковий)

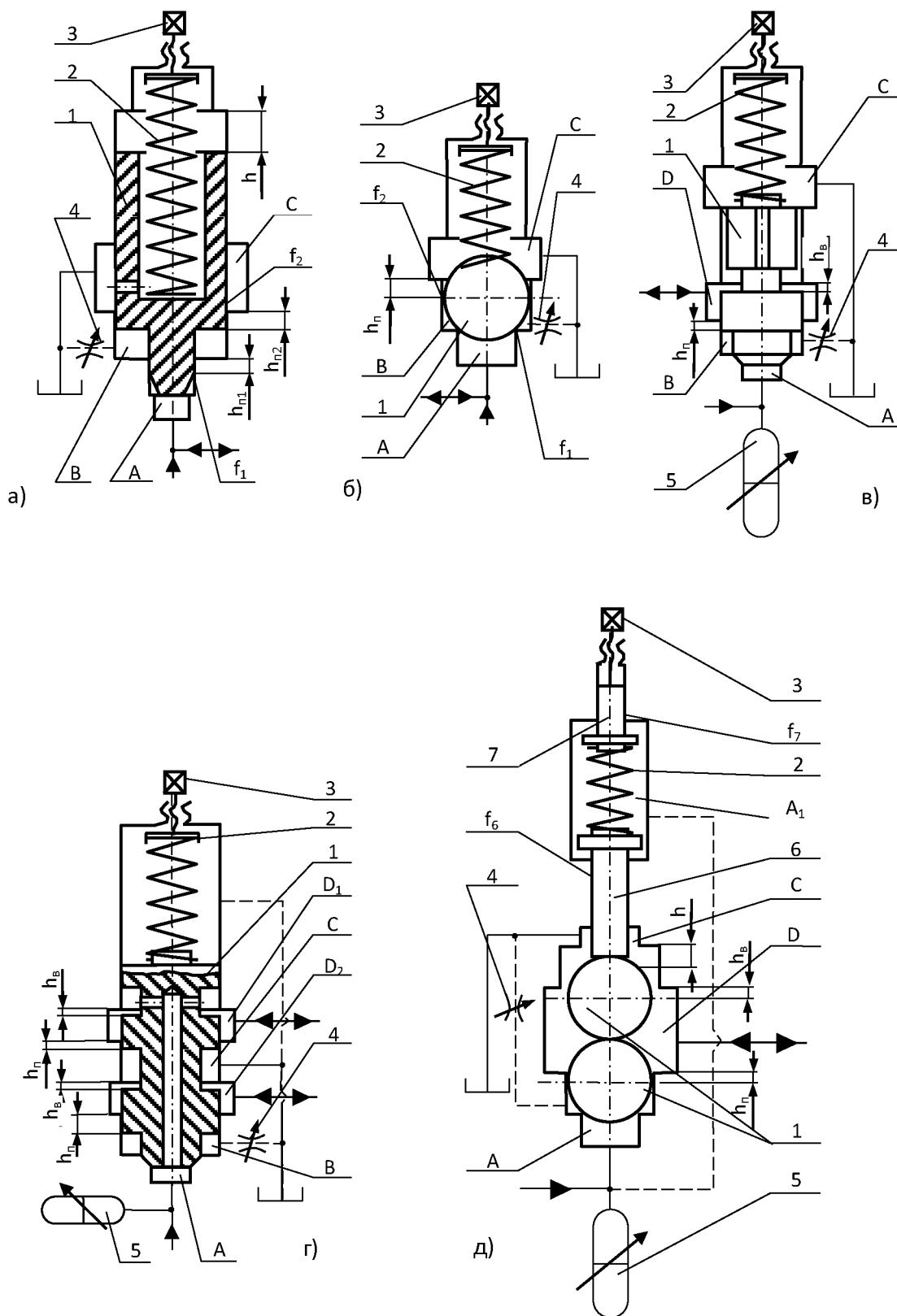
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА БКР
«Параметричний однокаскадний генератор імпульсів
тиску в рідині з регульованим тиском закриття»

**УМОВНІ СХЕМИ ПРИЄДНАННЯ ГІТ ДО ВИКОНАВЧОГО
(ВИКОНАВЧИХ) ГІДРОДВИГУНА (ГІДРОДВИГУНІВ):**

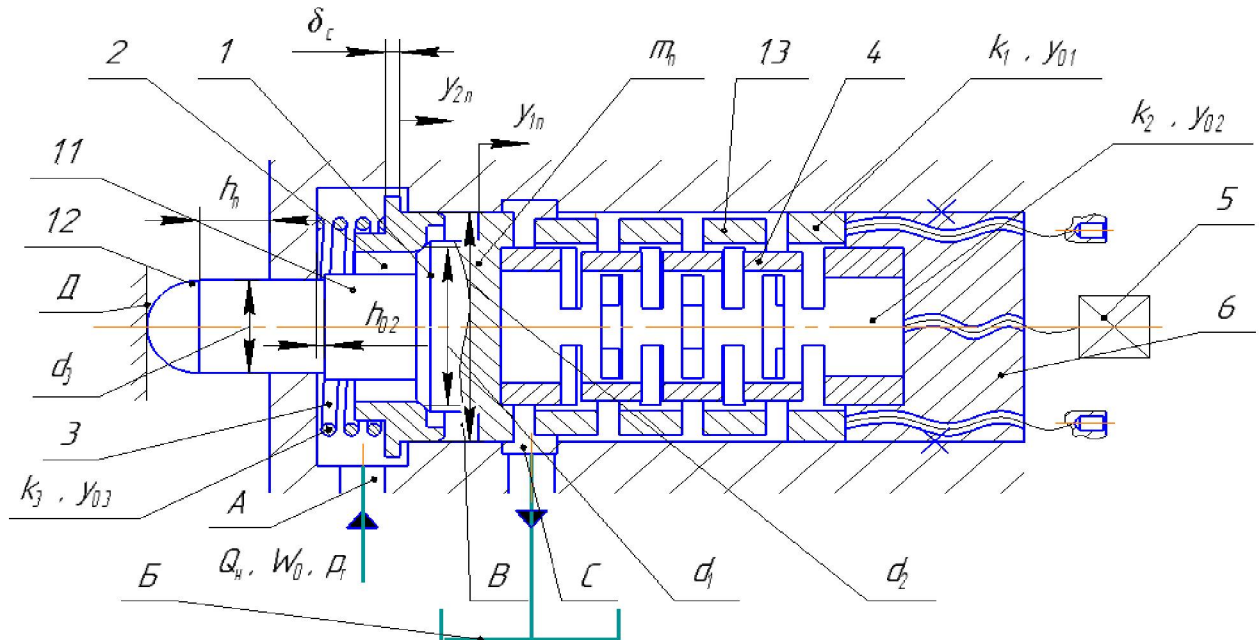
а) – «НА ВХОДІ»; б) – «НА ВИХОДІ»; в) – «КОМБІНОВАНА»



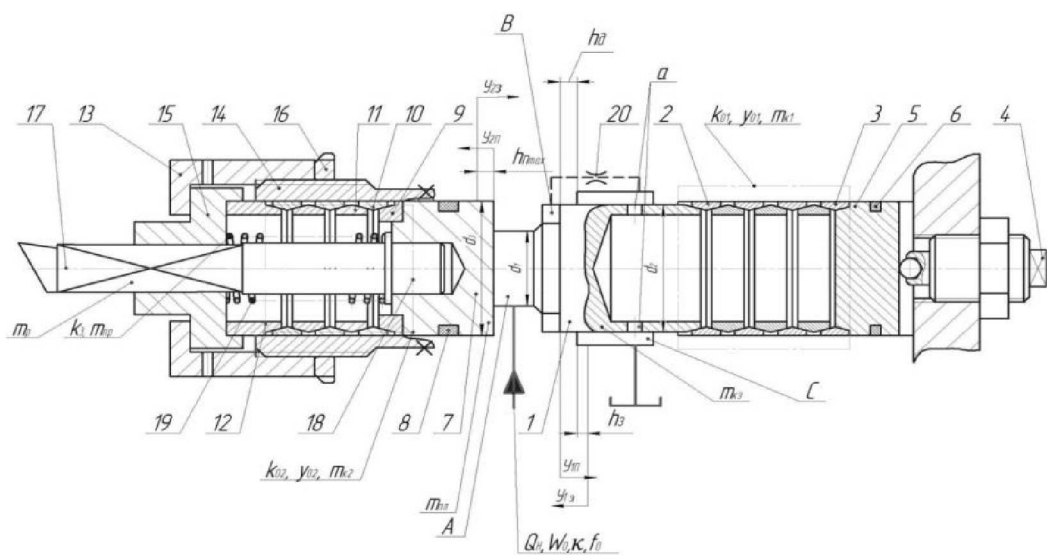
ТИПОВІ КОНСТРУКТИВНІ СХЕМИ ОДНОКАСКАДНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ ГІТ



**ВИКОРИСТАННЯ ПАРАМЕТРИЧНИХ ОДНОКАСКАДНИХ
ГІТПРЯМОЇ ДІЇ, СИЛОВІ ТА РОЗПОДІЛЬНІ ЛАНКИ ЯКИХ
СУМІЩЕНІ З ПЕВЖ, В МАЛОГАБАРИТНИХ ГІДРОІМПУЛЬСНИХ
ПРИСТРОЯХ**



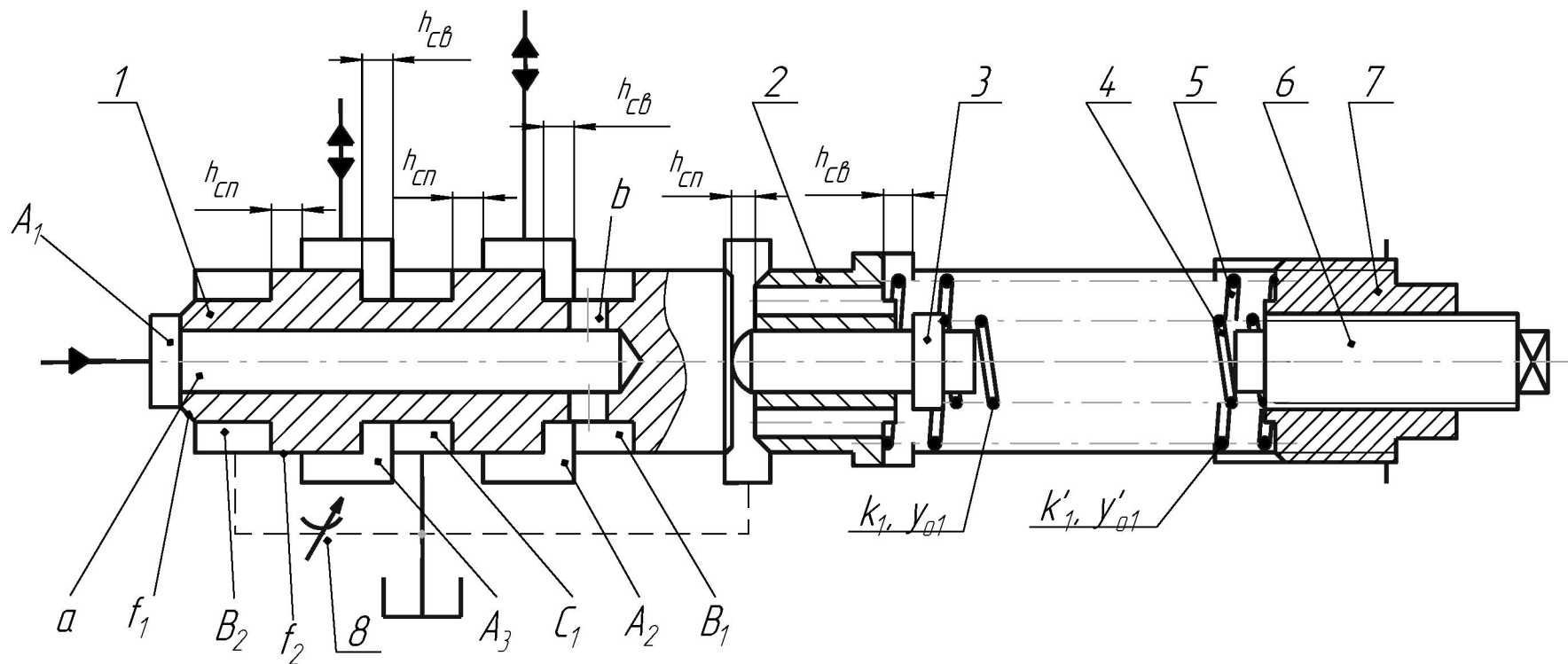
**Структурно – розрахункова схема гідроімпульсного
пристрою для деформаційного зміцнення матеріалів з вбудованим ГТТ**



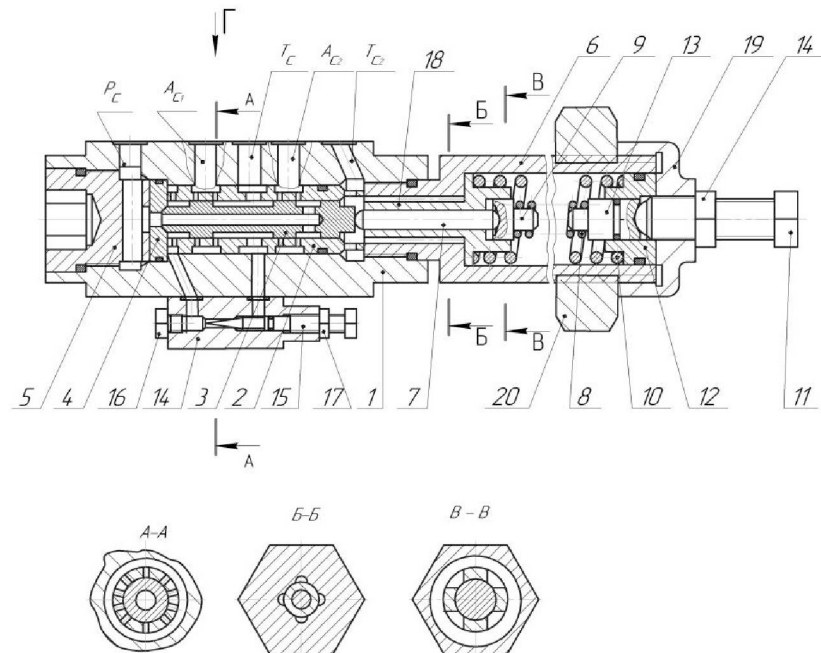
**Конструктивна схема гідроімпульсного пристрою
для радіального віброточіння з вбудованим в КП ГТТ**

СТРУКТУРНА СХЕМА ПАРАМЕТРИЧНОГО ОДНОКАСКАДНОГО ГІТ ІЗ РЕГУЛЮВАННЯМ ТИСКУ P_2 «ЗАКРИТТЯ»

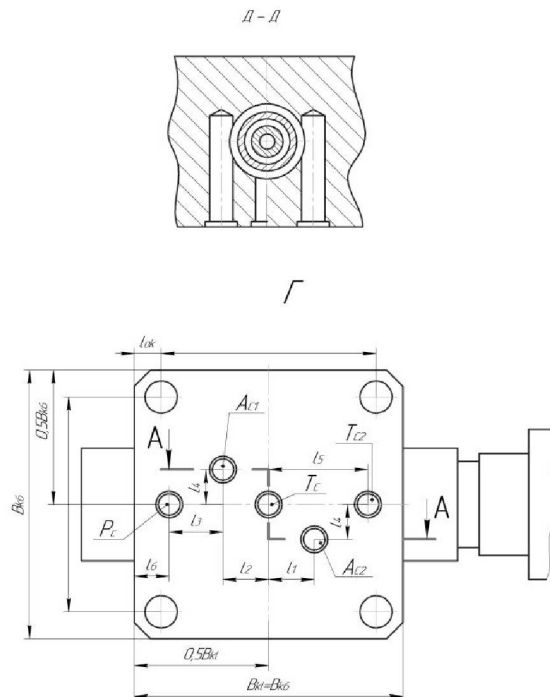
До керівних порожнин другого каскаду ГІТ



ГОЛОВНИЙ ФРОНТАЛЬНИЙ РОЗРІЗ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ОДНОКАСКАДНОГО ГІТ З РЕГУЛЬОВАНИМ ТИСКОМ «ЗАКРИТТЯ» P_2



Вигляд стикувальної площини (вид В) корпусу 1 ГІТ та спосіб (в загальному вигляді) нанесення координатних розмірів вихідних отворів: P_c , T_c , A_{c1} , A_{c2} та T_{c2}



ОСНОВНІ ЗАЛЕЖНОСТІ МЕТОДИКИ ПРОЄКТНОГО РОЗРАХУНКУ ГІТ

$$1. T_m = t_{зца} + t_{рца} + t_{сим} = t_n + t_{nz} + t_{рца} + t_{сим} = \\ = t_n \cdot [1 + (t_{nz} + t_{рца} + t_{сим}) / t_n] = K_{цм} \cdot t_n = v^{-1},$$

де $K_{цм} = [1 + (t_{nz} + t_{рца} + t_{сим}) / t_n]$ – цикловий коефіцієнт імпульсів тиску, які генерує ГІТ; $t_n, t_{nz}, t_{рца}, t_{сим}, t_{зца} = t_{рх202}$ – складові циклу.

2. $Q_n = (1,10 \dots 1,25) \cdot K_{цм} \cdot v_{max} \cdot p_{1max} \cdot W_{0\Sigma max} \cdot \kappa^{-1} \cdot \eta_{он}^{-1}$ – розрахункова подача гідронасоса ГПШ, де $p_1 \geq k_1 \cdot y_{01} / A'_1 = \pi \cdot d_1^2 / 4 \approx 0,785 \cdot d_1^2$ – рівень тиску «відкриття» ГІТ; $k_1 \leq u_{21}^{0,5} \cdot (1 + \theta_1 \cdot \xi) = u_{21}^{0,5} \cdot p_1 \cdot A_2 \cdot y_{01m}^{-1}$ – жорсткість пружини регулятора тиску «відкриття» ГІТ.

3. $A_2 = 0,5 \cdot u_{21}^{0,5} \cdot p_1 \cdot W_{0\Sigma max} \{ [1 + 8\pi^2 \cdot v_{max}^2 \cdot \kappa \cdot y_{01}^2 / (u_{21} \cdot p_1^2 \cdot W_{0\Sigma max})]^{0,5} - 1 \} \times \\ \times (y_{01m} \cdot \kappa)^{-1}, d_2 = (4(A_2 / \pi))^{0,5} \approx 1,13 \cdot (A_2)^{0,5}$ – відповідно, площа поперечного перерізу та діаметр золотникової частини (другого ступеня герметизації) ЗРЕ ГІТ.

4. $A'_1 = u_{21}^{0,5} \cdot (1 + \theta_1 \cdot \xi) \cdot A_2, d_1 = (4(A'_1 / \pi))^{0,5} \approx 1,13 \cdot (A'_1)^{0,5}$ – відповідно, площа поперечного перерізу та діаметр клапанної частини (першого ступеня герметизації) ЗРЕ ГІТ.

5. $p_2 = p_1 \cdot u_{21}^{0,5} \cdot (1 + \theta_1 \cdot \xi) + k_1 \cdot h_c \cdot A_2^{-1} \cdot (1 + \theta_1 \cdot h_c / h_{св})$ – рівень тиску «закриття» ГІТ, де $u_{21} = (A'_1) / (A_2)^2$ – внутрішнє передатне число ГІТ, $\theta_1 = k'_1 / k_1, \xi = y'_{01} / y_{01}$ – відповідно, відносні жорсткості і деформація, які зв'язують жорсткості пружин регулювання рівнів тиску p_1 «відкриття» (k_1) та p_2 «закриття» (k'_1) та попередніх деформацій (y_{01} і y'_{01}) цих пружин: для $u_{21} = 0,5 \dots 0,6$ ($v \geq 40$ Гц), $\theta_1 < 1$ та $\xi < 1$, а для ($v \leq 20$ Гц, $u_{21} = 0,06 \dots 0,12$), $\theta_1 \leq 1$ та $\xi \geq 1$; $h_c = h_{сн} + h_{св}$ – хід ЗРЕ ГІТ (тут $h_{сн} = h_{св} + 0,5$ мм).

ОСНОВНІ РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ ДЗК ГІТ

Найменування параметра	Одиниця вимірювання	Числове значення параметра
Номінальна (середня) витрата $Q_{\text{ит}}$ енергоносія	$\text{м}^3/\text{с}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$
Номінальний тиск «відкриття» p_1	МПа	10
Діапазон регулювання частоти ν імпульсів тиску за номінальної витрати $Q_{\text{ит}}$	Гц	10...100
Максимальна площа прохідного перерізу дроселя регулювання режиму посадки ЗРЕ 3	м^2	$5 \cdot 10^{-8}$
Жорсткість пружин: 5 – регулятора тиску «відкриття» $p_1 - k_1$ 10 – регулятора тиску «закриття» $p_2 - k'_1$	Н/м	$6,08 \cdot 10^4$
	Н/м	$4,86 \cdot 10^4$
Уточнені межі регулювання попередньої деформації пружин: 8 – регулятора тиску відкриття» – y_{01} 10 – регулятора тиску «закриття» – y'_{01}	м	$(5...17) \cdot 10^{-3}$
	м	$(5...18) \cdot 10^{-3}$
Діаметр умовного проходу ГІТ d_y , рівний діаметру d_1 першого ступеня герметизації ГІТ	м	$12 \cdot 10^{-3}$
Діаметр d_2 другого ступеня герметизації ГІТ	м	$18 \cdot 10^{-3}$
Уточнене внутрішнє передатне число ГІТ u_{21} за $\theta = 0,8$ та $\xi = 1,05$	–	0,058
Номінальний тиск «закриття» p_2 , визначений за вказаних величин p_1 , u_{21} , θ і ξ	МПа	4,42
Додатне перекриття ЗРЕ 3 $h_{\text{сн}}$	м	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Від'ємне перекриття ЗРЕ 3 $h_{\text{св}} = d_{03}$	м	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Повний хід ЗРЕ 3 $h = h_{\text{сн}} + h_{\text{св}}$	м	$8,5 \cdot 10^{-3}$
Розрахункова кількість n_o радіальних отворів в гільзі 2	–	18
Зведена сумарна жорсткість пружної ланки ГІТ, ГІП $k_{\Sigma I} = k_1 + k_{\text{ГЛ}} = k_1 + A^2_2 \cdot \kappa / W_{0\Sigma \text{max}}$	Н/м	$1,23 \cdot 10^5$
Зведена сумарна жорсткість ГЛ $k_{\text{ГЛ}}$ за $W_{0\Sigma \text{max}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	Н/м	$6,25 \cdot 10^4$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз принципів і конструктивних схем параметричних ГІТ ГІП, показав, що параметричні однокаскадні ГІТ прямої дії за різними схемами приєднання до виконавчих ланок ГІП ВМ чи ВУМ можуть керувати циклом цих машин малої або середньої потужності або використовуватись як сервоприводи (перші каскади) дво – та багатокаскадних ГІТ.

2. Встановлено, що у відомих параметричних однокаскадних ГІТ в широкому діапазоні регулюється тиск «відкриття» p_1 , але відсутнє регулювання тиску «закриття» p_2 , внаслідок чого це, певною мірою, обмежує технічні та технологічні можливості ГІП ВМ і ВУМ.

3. За результатами аналізу відомих схем і конструкцій і принципів функціонування параметричних ГІТ ГІП за різними схемами приєднання до виконавчих ланок ГІП ВМ чи ВУМ на «на вході», «на виході» та «комбінована», розроблено конструктивну схему та конструкцію параметричного однокаскадного ГІТ прямої дії за схемою приєднання «комбінована» з регульованим тиском «закриття» p_2 .

4. Компоновка розробленого параметричного однокаскадного ГІТ прямої дії виконана у вигляді трьох складальних одиниць (блоків) – розподілення енергоносія, дроселя регулювання режиму посадки ЗРЕ 3 (див. рис. 2.2) та регулятора рівнів тисків «відкриття» p_1 та «закриття» p_2 ГІТ., в якому керована зміна тиску p_2 «закриття» ГІТ досягається за допомогою додаткової пружини, що вступає в дію після

переміщення ЗРЕ 3 на відстань його додатного перекриття h_{cn} . Така компоновка блоків ГІТ дозволяє, у випадку необхідності, відносно просто змінювати їх конструкцію не міняючи суті приєднувальних блоків.

5. Діапазон регульованого тиску «закриття» p_2 (див. (2.7) розробленого параметричного однокаскадного ГІТ визначається за заданого діапазону зміни тиску його «відкриття» p_1 варіюванням безрозмірних параметрів θ_1 і ξ (див. (2.3 і (2.4).

6. На основі аналізу процесу (див. залежності (2.1) та (2.7) регулювання тиску «закриття» p_2 , розробленого параметричного однокаскадного ГІТ, встановлено, що для високочастотного типу ГІТ ($\nu \geq 40$ Гц, $u_{21} = 0,5 \dots 0,6$) слід рекомендувати $\theta_1 < 1$ та $\xi < 1$, а для низькочастотних ($\nu \leq 20$ Гц, $u_{21} = 0,06 \dots 0,12$), з метою підвищення їх швидкохідності, $\theta_1 \leq 1$ та $\xi \geq 1$.

7. Розроблена методика проєктного розрахунку параметричного однокаскадного ГІТ з регульованим тиском «закриття» p_2 дозволяє визначити всі основні енергетичні, силові та геометричні параметри генератора та може бути використана для проєктного розрахунку однокаскадних ГІТ інших типів і схем приєднання до виконавчих гідродвигунів (гідроциліндрів) ГПІ ВМ або ВУМ.

8. Визначено основні шкідливі та небезпечні фактори під час експлуатації ДЗК ГПІ ВМ (ВУМ) з розробленим ГІТ, обґрунтовані правила безпеки під час обслуговування ГПІ та ГІТ і розроблено організаційні та технічні заходи дотримання цих правил та усунення шкідливих і небезпечних факторів.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Параметричний однокаскадний генератор імпульсів тиску в рідині з регульованим тиском закриття.

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра галузевого машинобудування, ФМТ, гр. 1ГМ-216
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 12 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Поліщук Л.К., зав. кафедри ГМ
(прізвище, ініціали, посада)

Мокішук
(підпис)

Шенфельд В.Й., доцент кафедри ГМ
(прізвище, ініціали, посада)

Шенфельд В.Й.
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

Шенфельд В.Й.
(підпис)

Шенфельд В.Й.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

Обертюх Р.Р.
(підпис)

Обертюх Р.Р., к.т.н., доцент

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

Шпак О.В.
(підпис)

Шпак О.В.

(прізвище, ініціали)