

# Комплексна магістерська кваліфікаційна робота

за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

на тему:

**Імітаційні дослідження впливу параметрів гідроприводу на характер протікання хвильових процесів в довгій гідравлічній лінії**

**Математичне моделювання хвильових процесів в гідроприводі з довгою гідравлічною лінією**

Виконав: ст. гр. 1ПМ-16м

**Козачишен С. О.**

Керівник: к.т.н., доц. каф. ТАМ

**Дусанюк Ж. П.**

## Мета і завдання дослідження

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є створення і апробація математичної моделі гідроприводу поступального руху з довгою напірною гідролінією, яка давала б можливість проведення імітаційного дослідження впливу конструктивних параметрів гідролінії та приведеного модуля пружності на характер протікання перехідних (хвильових) процесів в гідросистемі, а також параметри об'єкта керування.

Для дослідження поставленої мети вирішувалися наступні **завдання**:

- 1) розробка математичної моделі гідроприводу поступального руху з довгою напірною гідравлічною лінією;
- 2) розробка структурної схеми математичної моделі;
- 3) дослідження перехідних процесів в гідроприводі без урахування хвильових процесів;
- 4) дослідження перехідних процесів в гідроприводі з урахуванням хвильових процесів.

**Об'єкт дослідження.** Довгі напірні гідравлічні лінії технологічних та мобільних машин.

**Предмет дослідження.** Перехідні (хвильові) процеси в довгих напірних гідролініях гідроприводів поступального руху.

**Методи дослідження.** Математична модель досліджується шляхом імітаційного моделювання перехідного (хвильового) процесу в програмному середовищі MATLAB Simulink, що дозволяє отримати перехідні функції зміни тиску та швидкості протікання рідини по довжині гідравлічної лінії.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

- 1) розроблено математичну модель гідравлічного приводу поступального руху з довгою напірною гідравлічною лінією, яка придатна для імітаційного дослідження в програмному середовищі MATLAB Simulink;
- 2) встановлено вплив параметрів довгої напірної гідравлічної лінії на характер протікання перехідного процесу, спричиненого ступінчастою зміною технологічного навантаження;
- 3) встановлено розподілення тиску на виході насоса, в гідроциліндрі, швидкість руху об'єкта керування без урахування та з урахуванням хвильового процесу;
- 4) встановлено розподіл тиску, швидкості руху рідини на ділянках довгої напірної гідролінії при ступінчастій зміні технологічного навантаження.

**Практичне значення одержаних результатів:**

- 1) запропонована математична модель, структурна схема та алгоритм дозволяють проводити імітаційні дослідження перехідних (хвильових) процесів в довгих напірних гідролініях гідроприводів поступального руху з використанням програмного середовища MATLAB Simulink;
- 2) запропонована математична модель дозволяє оцінити вплив параметрів довгої напірної гідролінії на перехідні процеси в гідроприводі та, за необхідності, вжити заходи щодо зменшення цього впливу.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення й результати роботи доповідалися й обговорювалися на двох науково-технічних конференціях:

- 1) XLV науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ (м. Вінниця, 23-24 березня 2016 р.);
- 2) XVIII Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» (м. Вінниця, 3-6 жовтня 2017 р.)

**Публікації.** Опубліковано 2 тези доповідей:

- 1) Математична модель для імітаційного дослідження гідравлічного приводу з довгими гідролініями в середовищі MATLAB Simulink [Електронний ресурс] / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, С. О. Козачишен // Матеріали XLV Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 23-24 березня 2016 р. – Електрон. текст. дані. – 2016. – Режим доступу : <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2016/paper/view/1268>.

- 2) Імітаційне дослідження впливу коливань подачі насоса на динамічні процеси у гідроприводі поступального руху з довгою напірною гідролінією / Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, С. В. Репінський, С. О. Козачишен, Т. В. Муравинець // Матеріали XVIII Міжнародної науково-технічної конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика», Вінниця, 3-6 жовтня 2017 р. – С. 79.

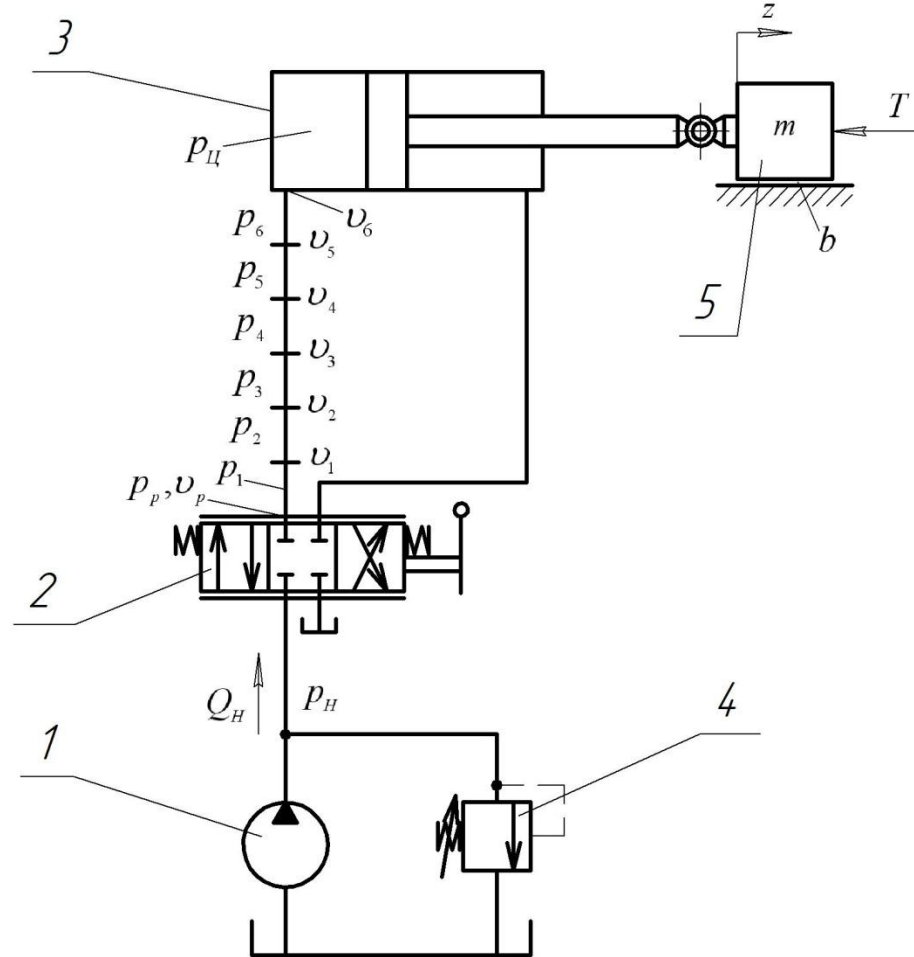
Опубліковано статтю у фаховому виданні України:

- 1) Математична модель для імітаційного дослідження в середовищі MATLAB Simulink гідравлічного приводу поступального руху з довгою напірною гідролінією / Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, С. В. Репінський, Т. В. Муравинець, С. О. Козачишен // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 3. – С. 108–115.

## Види машин, в яких використовуються гідравлічні лінії



## Розрахункова схема гідроприводу з довгою напірною гідролінією



1 – гідронасос постійної продуктивності; 2 – пропорційний гідророзподільник;  
3 – гідроциліндр; 4 – запобіжно-переливний клапан; 5 – об'єкт керування

# Математична модель гідроприводу з довгою напірною гідролінією

Математична модель гідроприводу складена за таких **припущень**:

- робоча рідина – пружна система, яка в процесі деформування підпорядковується закону Гука і має на елементарних ділянках певної довжини однакову густину;
- швидкість руху газової та рідинної фаз робочої рідини однакові;
- швидкість руху рідини набагато менша швидкості звуку;
- режим течії робочої рідини в гідролініях – ламінарний;
- об'єм поршневої порожнини гідроциліндра є сталою величиною;
- сила тертя рідини зі стінками гідролінії в нестационарному русі така, як і в стаціонарному зі швидкістю, що дорівнює миттєвій швидкості процесу, який розглядається;
- довжина гідролінії між насосом і розподільником незначна і тому хвильовими процесами у ній можна знехтувати;
- площа поперечного перерізу отвору трубопроводу напірної гідролінії не змінюється по всій її довжині.

Відповідно до розрахункової схеми і прийнятих припущень математичну модель гідроприводу складають такі рівняння.

Рівняння нерозривності потоку рідини в трубопроводі між насосом і розподільником

$$Q_n = \frac{dp_n}{dt} \beta W_n + Q_p. \quad (1)$$

Рівняння витрати рідини через розподільник

$$Q_p = \mu f_p \sqrt{\frac{2(p_n - p_p)}{\rho}}. \quad (2)$$

## Математична модель гідроприводу з довгою напірною гідролінією (продовження)

Рівняння швидкості рідини на вході в першу ділянку трубопроводу напірної гідролінії (на виході розподільника)

$$v_p = \frac{Q_p}{f_1}. \quad (3)$$

Рівняння в частинних похідних, які описують хвильові процеси в довгому напірному трубопроводі:

$$\frac{\partial v_i}{\partial x} = -\frac{1}{E_n} \cdot \frac{\partial p_i}{\partial t}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial x} = -\rho \left( \frac{\partial v_i}{\partial t} \right) - \xi_i v_i. \quad (5)$$

Для включення рівнянь хвильових процесів в імітаційну обчислювальну структуру використано різницевий метод перетворення рівнянь в частинних похідних (4) і (5) до системи звичайних диференціальних рівнянь. В результаті таких перетворень отримано систему звичайних диференціальних рівнянь, які описують рух рідини в окремих ділянках напірної гідролінії:

$$\begin{aligned} \frac{dp_p}{dt} &= \frac{E}{h}(v_p - v_1); & \frac{dp_1}{dt} &= \frac{E}{h}(v_1 - v_2); & \frac{dp_2}{dt} &= \frac{E}{h}(v_2 - v_3); \\ \frac{dp_3}{dt} &= \frac{E}{h}(V_3 - V_4); & \frac{dp_4}{dt} &= \frac{E}{h}(v_4 - v_5); & \frac{dp_5}{dt} &= \frac{E}{h}(v_5 - v_6); \\ \frac{dv_1}{dt} &= \frac{2}{h\rho}(p_p - p_1) - \frac{\xi_1 v_1}{\rho}; & \frac{dv_2}{dt} &= \frac{1}{h\rho}(p_1 - p_2) - \frac{\xi_2 v_2}{\rho}; & \frac{dv_3}{dt} &= \frac{1}{h\rho}(p_2 - p_3) - \frac{\xi_3 v_3}{\rho}; \\ \frac{dv_4}{dt} &= \frac{1}{h\rho}(p_3 - p_4) - \frac{\xi_4 v_4}{\rho}; & \frac{dv_5}{dt} &= \frac{1}{h\rho}(p_5 - p_6) - \frac{\xi_5 v_5}{\rho}; & \frac{dv_6}{dt} &= \frac{2}{h\rho}(p_6 - p_u) - \frac{\xi_6 v_6}{\rho}. \end{aligned} \quad (6)$$

# Математична модель гідроприводу з довгою напірною гідролінією (продовження)

Рівняння зв'язку між подачею рідини в поршневу порожнину гідроциліндра і швидкістю її руху в шостій (кінцевій) ділянці напірної гідролінії

$$Q_v = v_6 f_6. \quad (7)$$

Рівняння нерозривності потоку рідини в поршневій порожнині гідроциліндра

$$Q_v = \frac{dp_v}{dt} \beta W_v + \frac{dz}{dt} F_v. \quad (8)$$

Рівняння сил, що діють на поршень гідроциліндра

$$P_v = m \frac{d^2 z}{dt^2} + b \frac{dz}{dt} + T. \quad (9)$$

Рівняння тиску в поршневій порожнині гідроциліндра

$$p_v = \frac{P_v}{F_v}. \quad (10)$$

Зведений модуль пружності  $E$ , який залежить від модулів пружності робочої рідини  $E_p$  та стінок трубопроводу напірної гідролінії  $E_m$ , визначався за формулою:

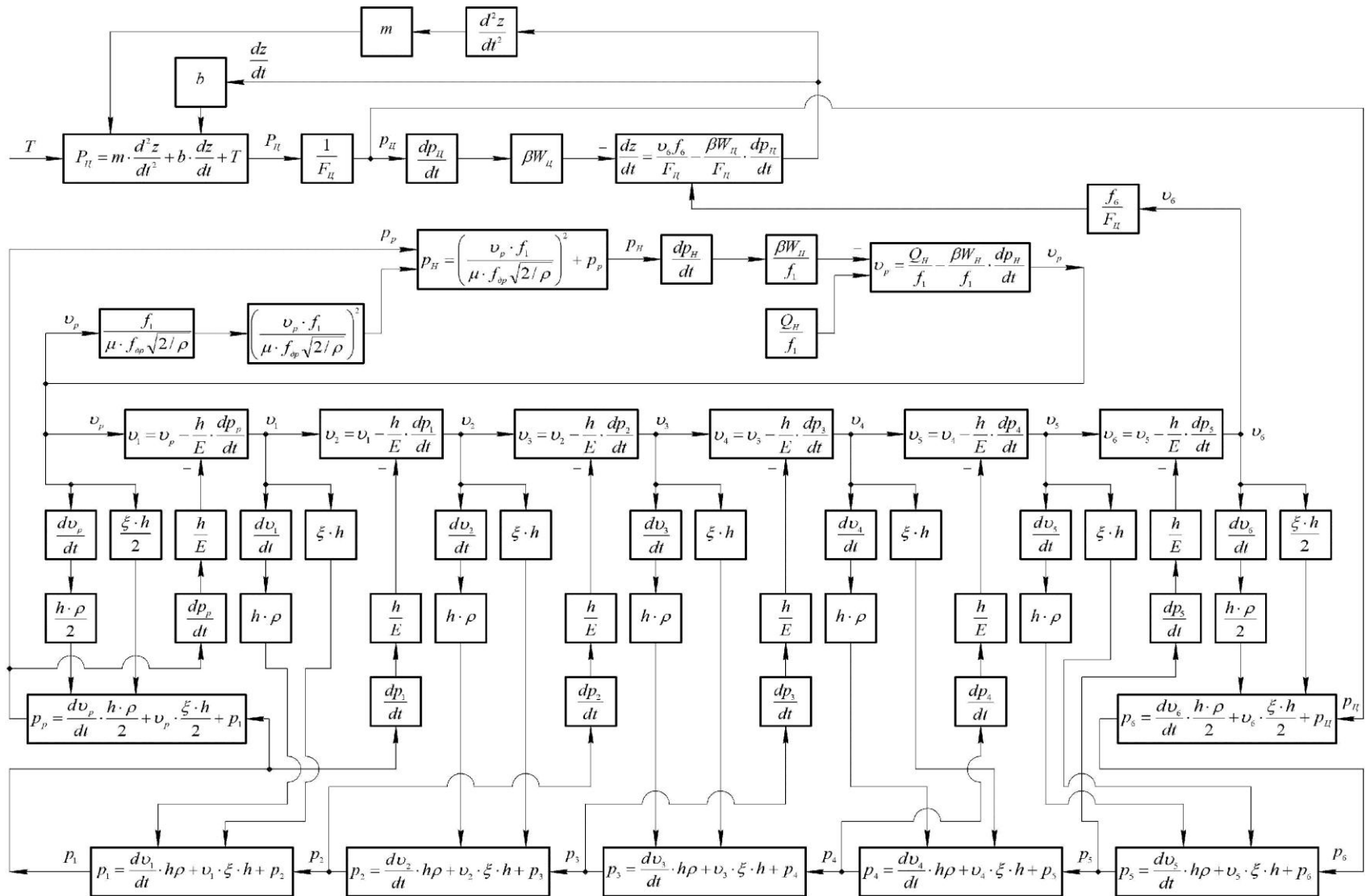
$$E = \frac{1}{\frac{1}{E_p} + \frac{d_m}{\delta_m} \cdot \frac{1}{E_m}}. \quad (11)$$



## Параметри досліджуваного гідроприводу

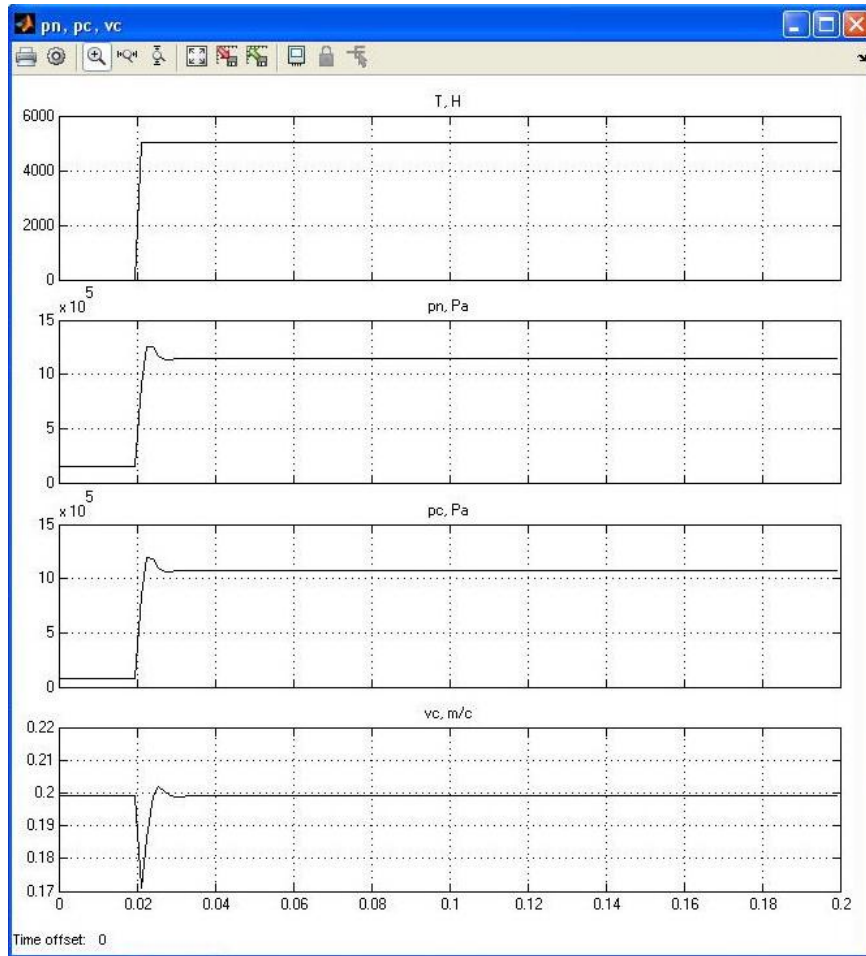
Параметри досліджуваного гідроприводу	Позначення	Прийняте значення в системі СІ
Подача насоса	$Q_H$	$1,0 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$
Технологічне навантаження на шток гідроциліндра	$T$	$5 \times 10^3 \text{ Н}$
Об'єм лінії нагнітання	$W_H$	$1,8 \times 10^{-3} \text{ м}^3$
Об'єм в поршневій порожнині гідроциліндра	$W_{Ц}$	$1,0 \times 10^{-3} \text{ м}^3$
Зведена маса рухомих частин об'єкта керування	$m$	60 кг
Площа робочого вікна розподільника	$f_p$	$1,0 \times 10^{-4} \text{ м}^2$
Внутрішній діаметр напірного трубопроводу	$d_T$	$20 \times 10^{-3} \text{ м}$
Зведений коефіцієнт швидкісного навантаження на штокові гідроциліндра	$b$	2000 <u>Н·с/м</u>
Ефективна площа поршня гідроциліндра	$F_{Ц}$	$5,0 \times 10^{-3} \text{ м}^2$
Коефіцієнт стисливості робочої рідини	$\beta$	$0,625 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{Н}$
Модуль пружності робочої рідини	$E_p$	$1,6 \times 10^9 \text{ Н/м}^2$
Зведений модуль пружності ділянок напірної гідролінії	$E$	$2,1 \times 10^{11} \text{ Н/м}^2$
Товщина стінки напірного трубопроводу	$\delta_T$	$1,8 \times 10^{-3} \text{ м}$
Густина робочої рідини	$\rho$	912 кг/м <sup>3</sup>
Коефіцієнт витрати робочого вікна розподільника	$\mu$	0,79
Коефіцієнт питомого опору ділянки напірної гідролінії	$\xi$	$3,0 \times 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{с}$
Довжина напірної гідролінії	$L$	12,5 м
Кількість ділянок, на які розбито напірну гідролінію по довжині	$n$	6
Крок дискретизації по довжині напірної гідролінії	$h$	2

# Структурна схема математичної моделі гідроприводу з довгою напірною гідролінією

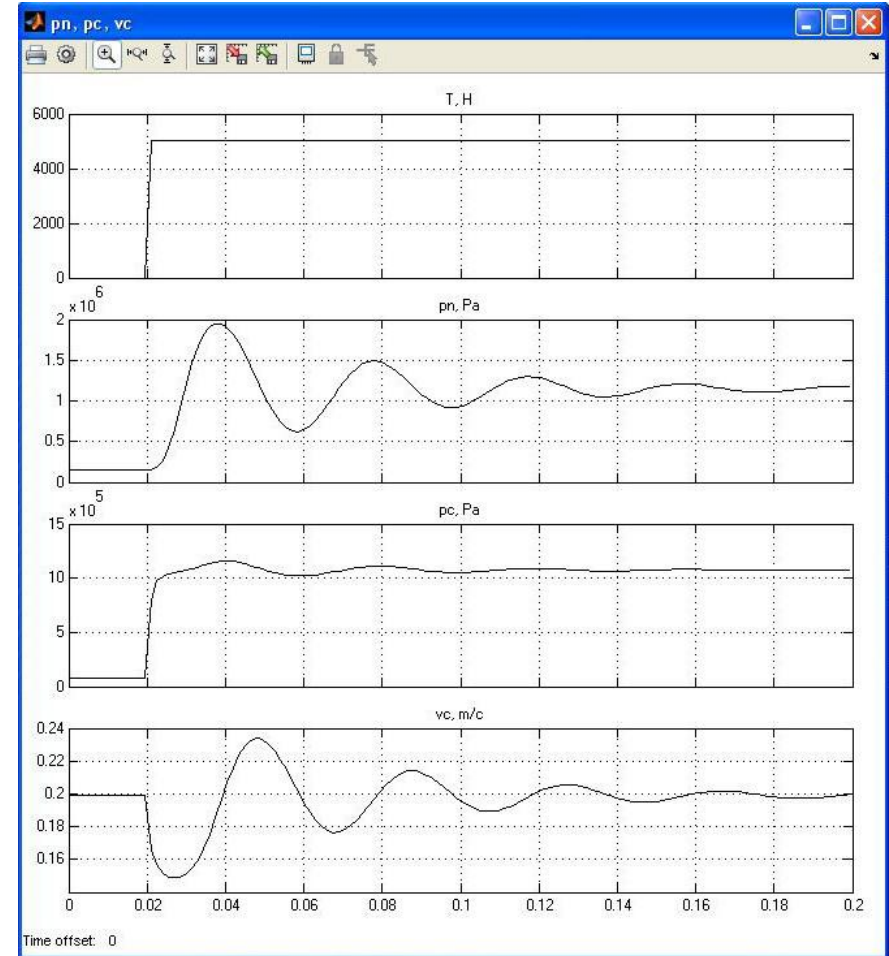




# Імітаційні дослідження хвильових процесів в гідроприводі поступального руху з довгою напірною гідролінією



а)



б)

Рисунок 1 – Перехідні процеси в гідроприводі:

а – без урахування і б – з урахуванням хвильових процесів у напірній гідролінії

На рис. 1 позначено:  $T$  – технологічне навантаження (стрибок  $T$  від 0 до 5 кН);  
 $p_n$  – тиск на виході насоса;  $p_c$  – тиск в гідроциліндрі;  $v_c$  – швидкість руху об'єкта керування

# Імітаційні дослідження хвильових процесів в гідроприводі поступального руху з довгою напірною гідролінією (продовження)

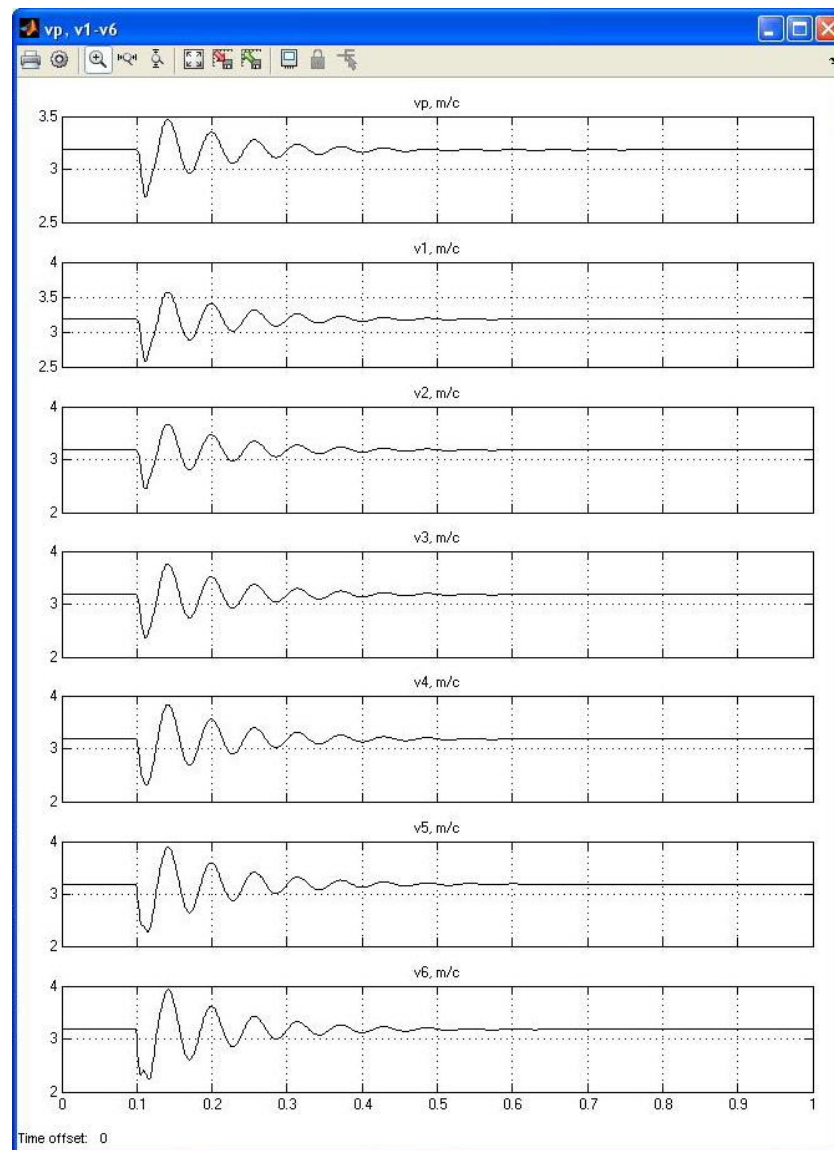
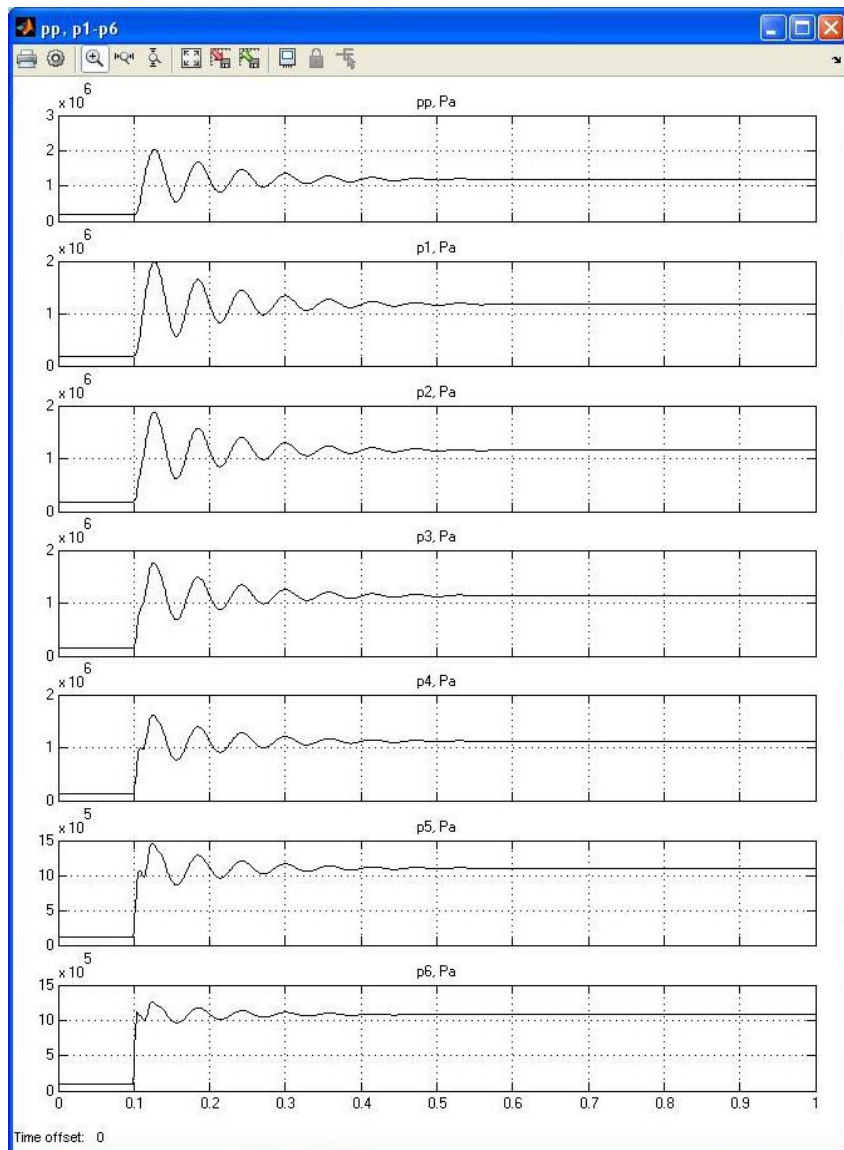


Рисунок 2 – Зміна тиску  $p$  та швидкості  $v$  на ділянках напірної гідролінії при стрибку технологічного навантаження  $T$  від 0 до 5 кН

# Імітаційні дослідження хвильових процесів в гідроприводі поступального руху з довгою напірною гідролінією (продовження)

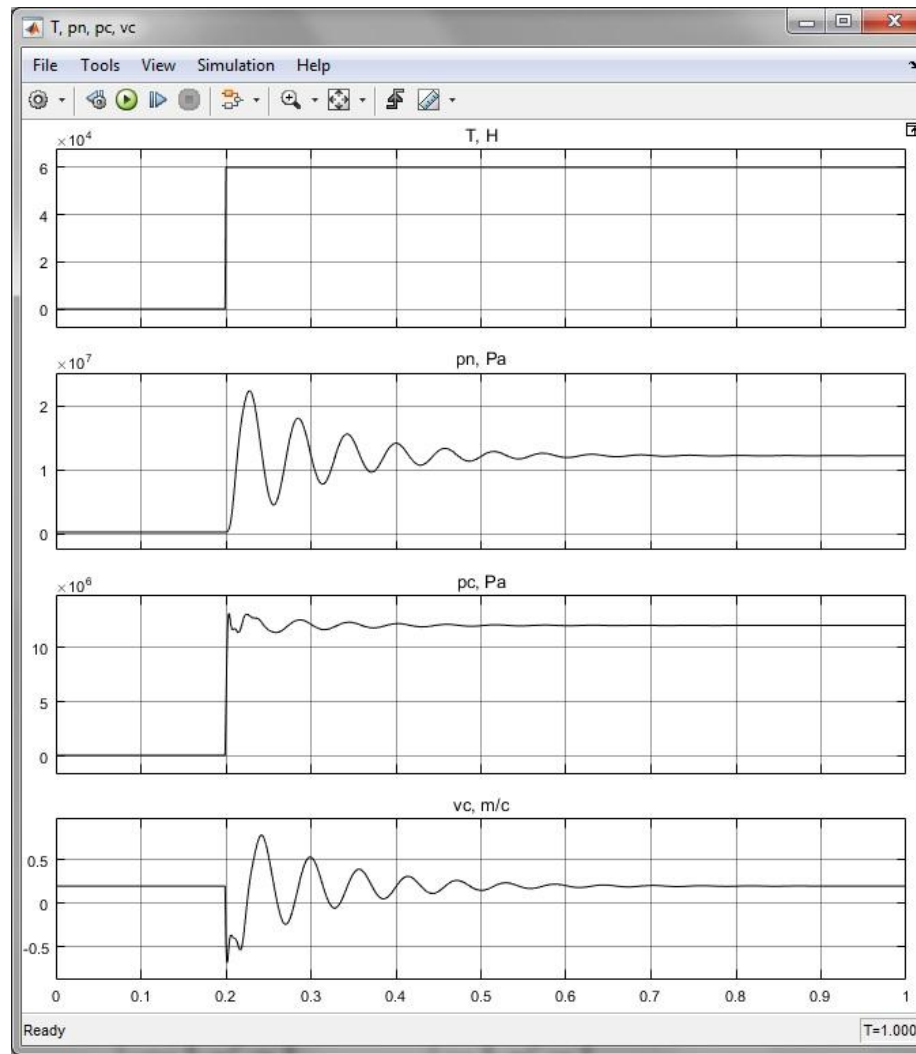


Рисунок 3 – Хвильові процеси в гідроприводі при зміні технологічного навантаження  $T$  від 0 до 60 кН



# Імітаційні дослідження хвильових процесів в гідроприводі поступального руху з довгою напірною гідролінією (продовження)

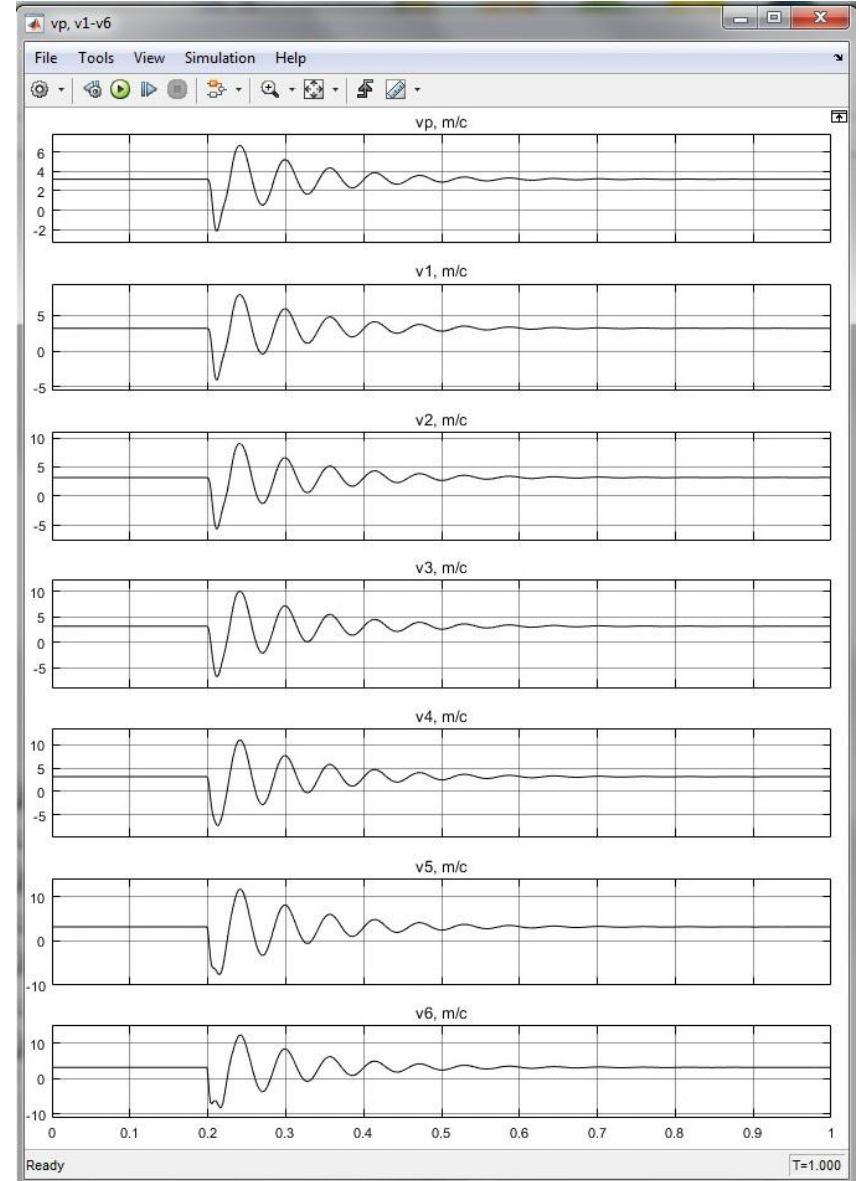
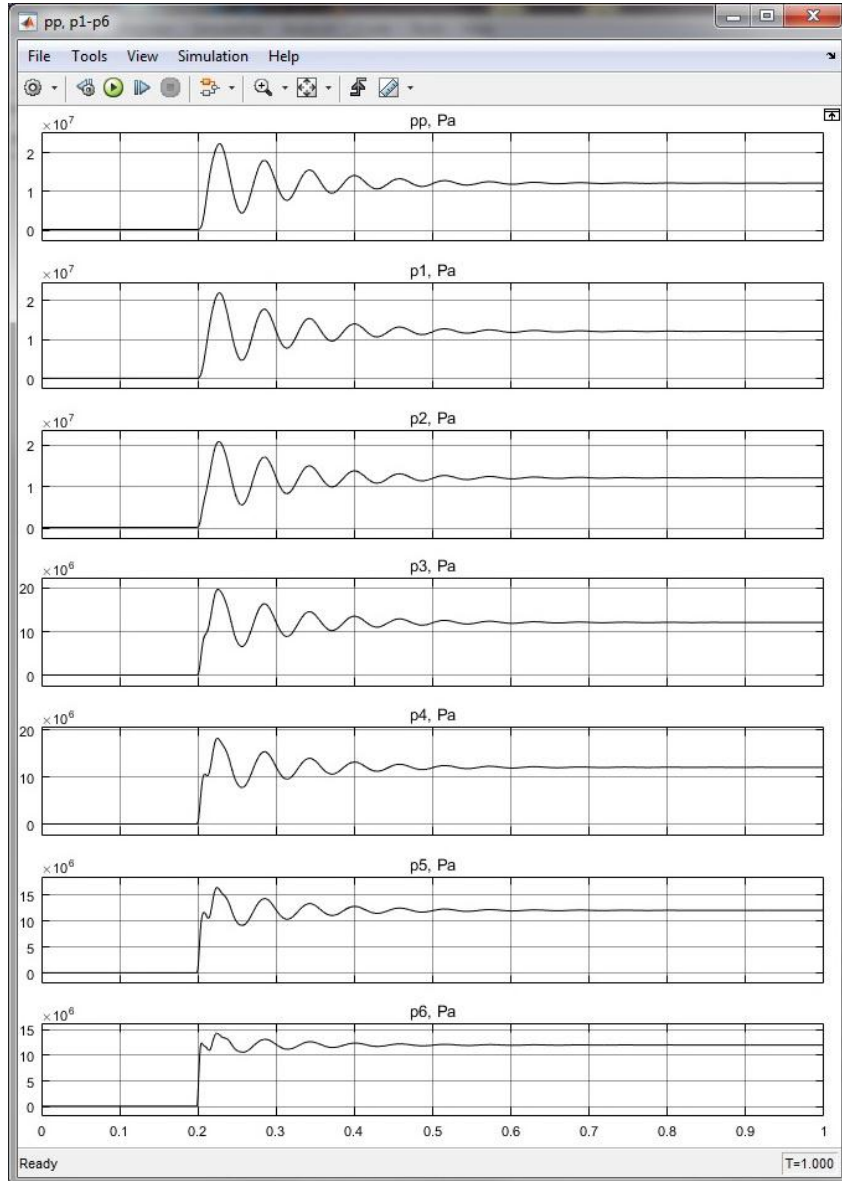


Рисунок 4 – Зміна тиску  $p$  та швидкості  $v$  на ділянках напірної гідролінії при стрибку технологічного навантаження  $T$  від 0 до 60 кН

# Імітаційні дослідження хвильових процесів в гідроприводі поступального руху з довгою напірною гідролінією (продовження)

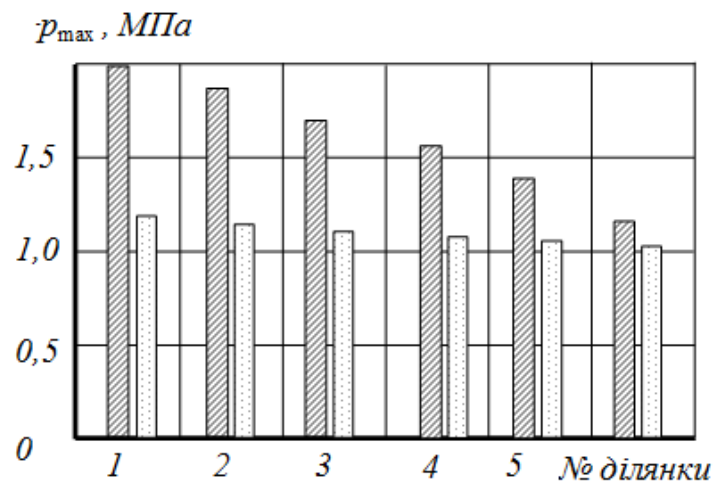




Рисунок 4 – Розподіл значень максимального тиску  і усталеного тиску  по елементарних ділянках напірної гідролінії

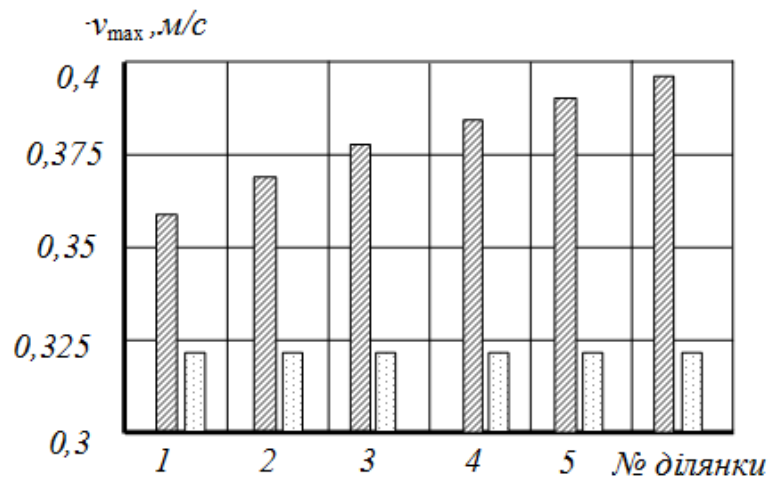


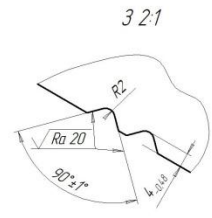
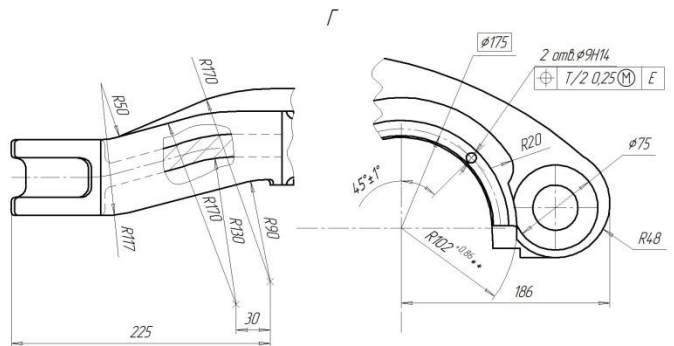
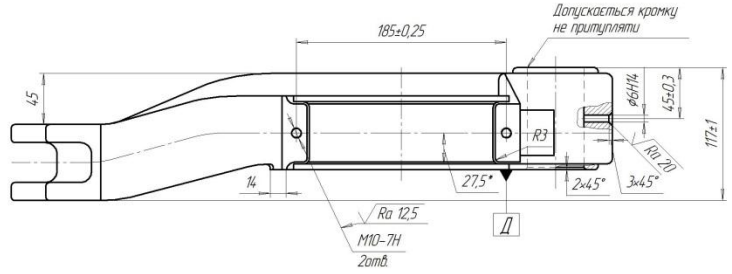
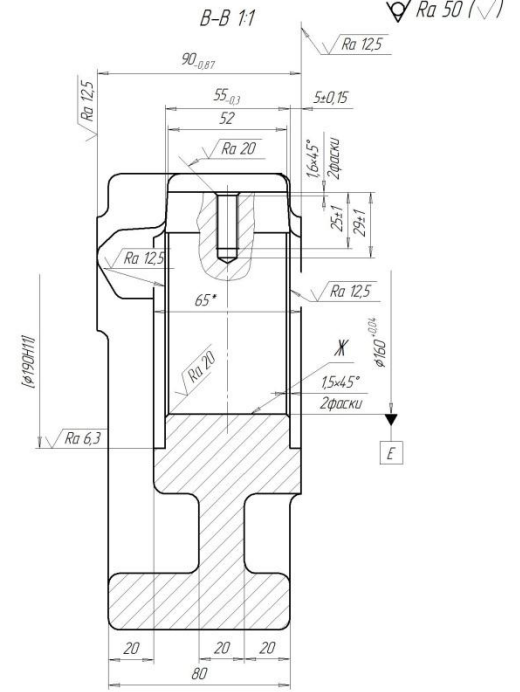
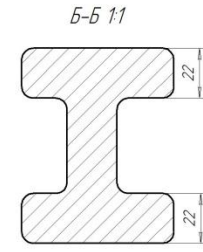
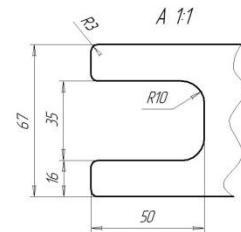
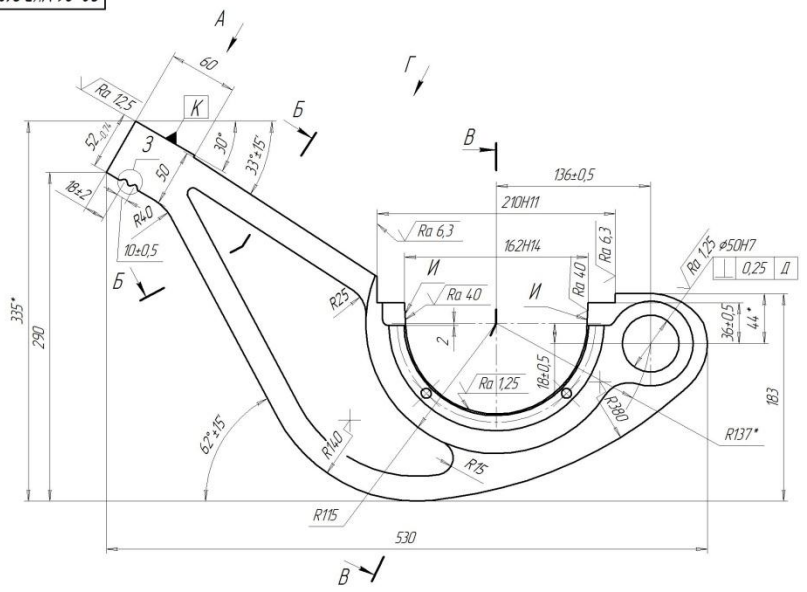


Рисунок 5 – Розподіл значень максимальної швидкості рідини  і усталеної швидкості рідини  по елементарних ділянках напірної гідролінії

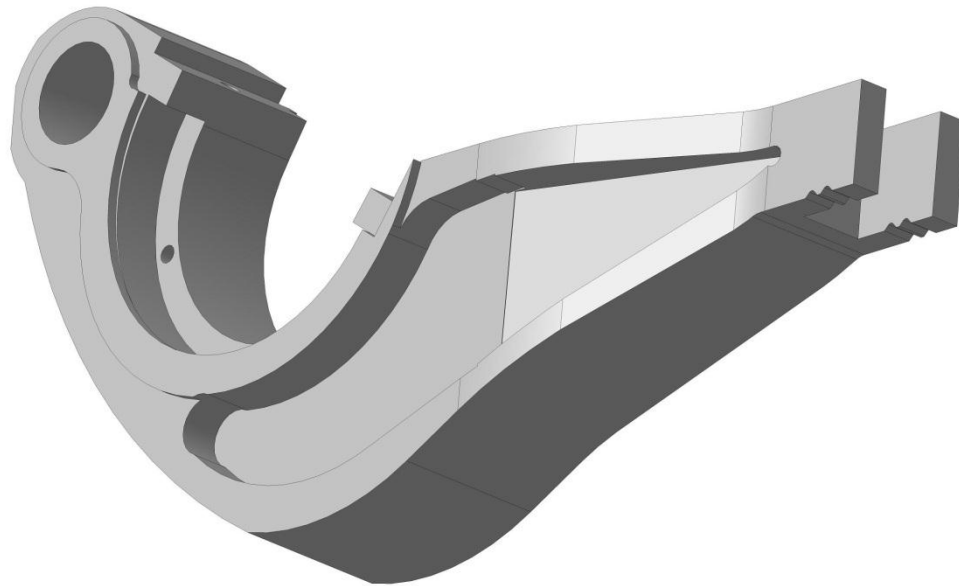


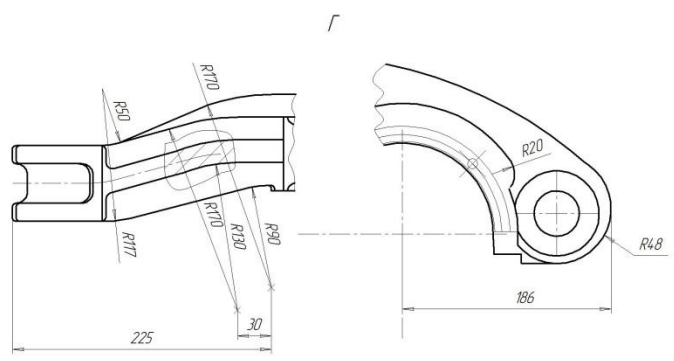
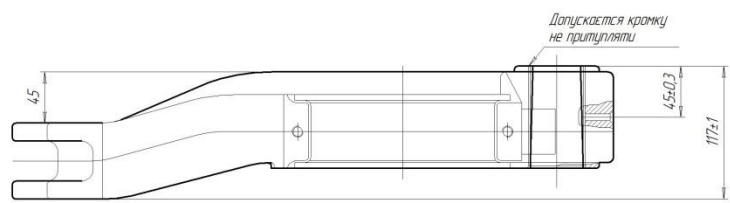
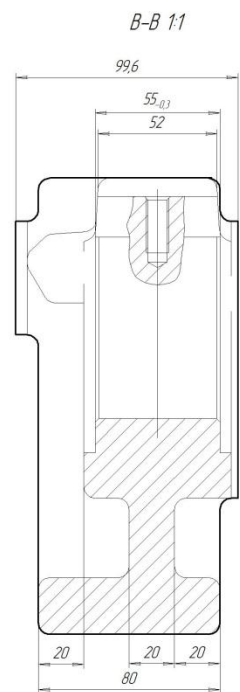
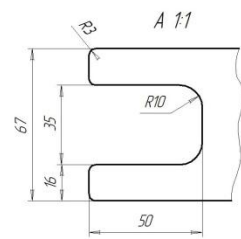
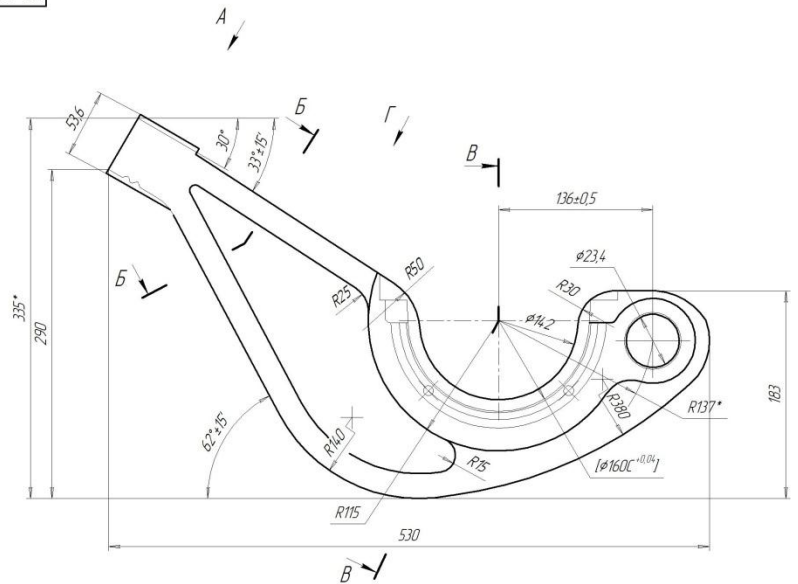


1. Точність вилочки 10-8-19-97 ГОСТ26645-85.
2. Невказані лідарні радіуси 5 мм.
3. Формотворочні нахили по ГОСТ3212-80.
4. Обробку по розмірам в квадратних дужках виготовляти спільно з деталлю А1-Б3Н01019.
5. Обвальність та конусність поверхні Ж не більш 0,02 мм.
6. \*Розміри для довідки.
7. Поверхня - хім.акспрм, крім оброблених поверхнь.
8. На поверхні ІІ допускається необробка.
9. Допуск непаралельності поверхні К відносно осі отвору φ50H7 - 0,25 мм.
10. Допускається виготовлення із С425 ГОСТ1412-79.
11. Деталь піддати шліфунію або звичайному старінню.
12. Межа міцності при розтягу, не менше м/мм<sup>2</sup> (кгс/мм<sup>2</sup>) 196 (20), НВ 170\_24.1.
13. \*\* Передірити інструментом.
14. Допускається надріз ребра не більше 5 мм на поверхні ІІ.

				08-26.МКР.018.00.001		
				Вилка		
				Лист	Масса	Масштаб
				25	12	
				С420 ГОСТ1412-79		
				ВНТЧ		
				ст. зр. 17М-16м		
				Фарма 17		

*3D-модель деталі "Вилка"*





1. Точність вилочки 12-9-15-12-7 ГОСТ 26645-85.
2. Масса 25-10,0-0,8-46,5 ГОСТ 26645-85.
3. Неказані літарні радіуси R6 мм, формувальні нахили 1°31'.
4. НВ 170\_241.
5. На необроблених поверхнях допускається раковина до φ2 та заглиблення не більше 2 мм.

08-26.МКР.018.00.002				Лист			Масса			Материал		
Вилка				38			12					
(вилочка в південно-західній формі)				Лист			Листов			Т		
СЧ20 ГОСТ 14.12-85				ВНТЗ,			ст. зр. 117М-16М					
Контракт				Варіант								

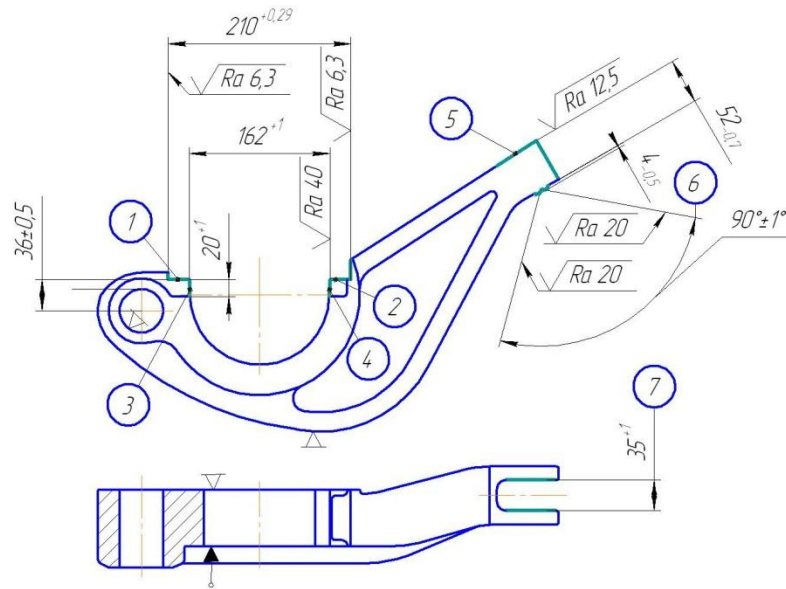
## Маршрут механічної обробки

№ п.п.	Назва операції: зміст переходу	Ескіз обробки, схема установки	Обладнання
005	<p>Свердлильно-фрезерно-розточувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та закріпити деталь.</li> <li>2. Фрезувати торець 1.</li> <li>3. Розточити однократно отвір 2 в розмір <math>\phi 38^{(+0,6)}</math> мм.</li> <li>4. Зенкерувати попередньо отвір 2 в розмір <math>\phi 48^{(+0,6)}</math> мм.</li> <li>5. Зенкерувати остаточно отвір 2 в розмір <math>\phi 49,7^{(+0,16)}</math> мм, фаску 3.</li> <li>6. Розвернути попередньо отвір 2 в розмір <math>\phi 49,93^{(+0,06)}</math> мм.</li> <li>7. Розвернути остаточно отвір 2.</li> <li>8. Зняти деталь.</li> </ol>		<p>Свердлильно-фрезерно-розточний верстат 2254ВМФ4</p>

010

Фрезерна

1. Встановити та закріпити деталь.
2. Фрезерувати поверхню 1 та 2 однократно.
3. Фрезерувати поверхню 3 та 4 однократно.
4. Фрезерувати поверхню 5.
5. Фрезерувати 2 канавки 6 під кутом.
6. Фрезерувати перемички 7.
7. Зняти деталь.

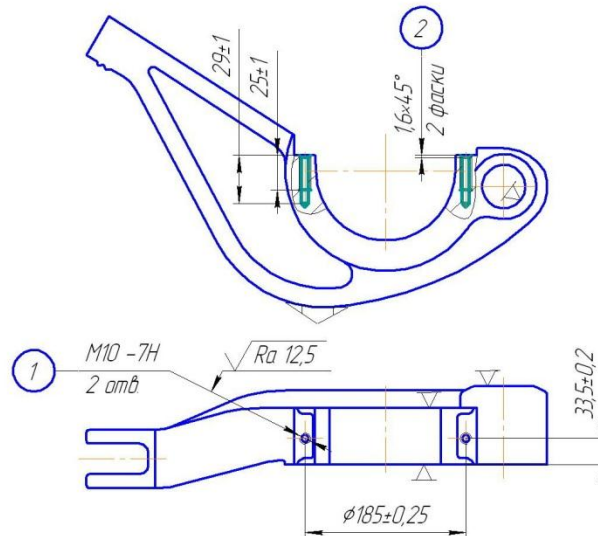


Вертикально-  
фрезерний  
6P13PФ3  
з ЧПК

015

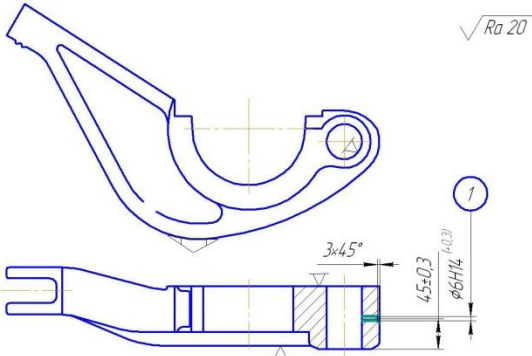
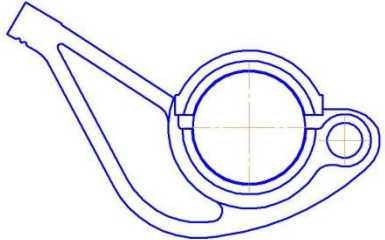
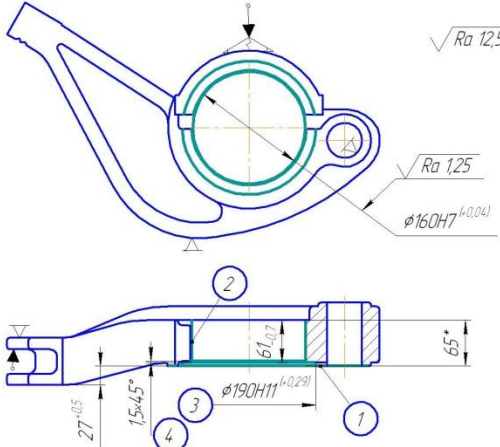
Свердлильна

1. Встановити та закріпити деталь.
2. Центрувати 2 отв. 1 в розмір  $\phi 6$  на довжину 5 мм.
2. Свердлити 2 отвори 1 в розмір  $\phi 8,43^{+0,3}$  мм.
3. Зенкерувати 2 фаски 2 в отворі 1.
4. Нарізати різь в 2 отворах 1.
5. Зняти деталь.



Вертикально-  
свердлильний  
2P135Ф2 ЧПК

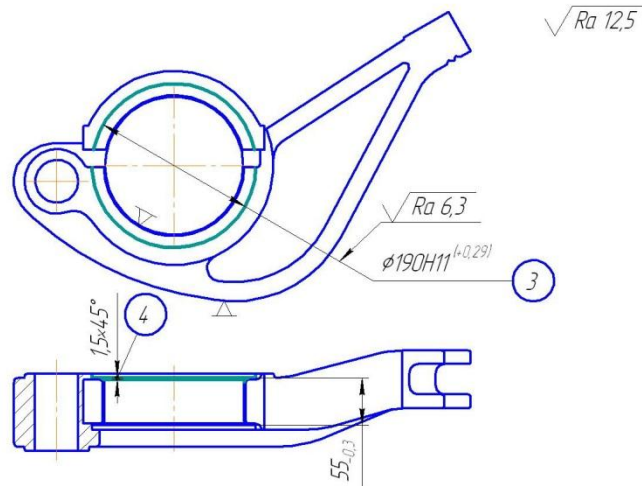


№ п.п	Назва операції: зміст переходу	Ескіз обробки, схема установки	Обладнання
020	<p>Свердлильна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та акріпити деталь.</li> <li>2. Свердлити отвір 1.</li> <li>3. Зняти деталь</li> </ol>		Токарно-гвинторізний 16К20Ф3
025	<p>Зібрати кришку з корпусом за допомогою 2-ох болтів М10.</p>		Ключ М17
030	<p>Токарна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та акріпити деталь.</li> <li>2. Підрізати торець 1.</li> <li>3. Розточити отвір 2 попередньо в розмір <math>\phi 155,04_{(-0,4)}</math> мм.</li> <li>4. Розточити отвір 2 попередньо в розмір <math>\phi 159,04_{(-0,16)}</math> мм.</li> <li>5. Розточити отвір 2 попередньо в розмір <math>\phi 159,84_{(-0,063)}</math> мм.</li> <li>6. Розточити отвір 2 остаточно.</li> <li>7. Розточити канавку 3 попередньо.</li> <li>8. Розточити канавку 3 остаточно.</li> <li>9. Розточити фаску 4.</li> <li>10. Зняти деталь.</li> </ol>		Токарно-гвинторізний 16К20Ф3

035

Токарна

1. Встановити та закріпити деталь.
2. Розточити канавку 3 попередньо в розмір  $\phi 189,49_{(-0,46)}$  мм.
3. Розточити канавку 3 остаточно.
4. Розточити фаску 4.
5. Зняти деталь.

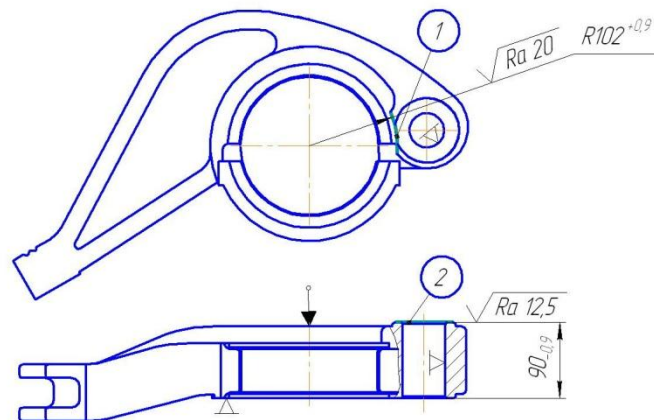


Токарно-  
гвинторізний  
16К20ФЗ

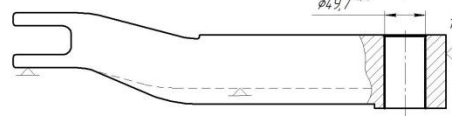
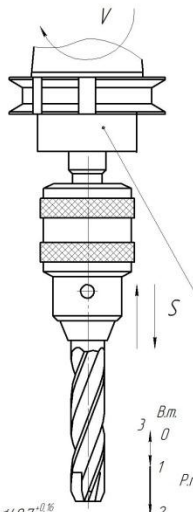
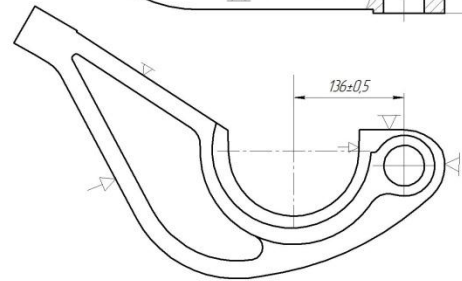
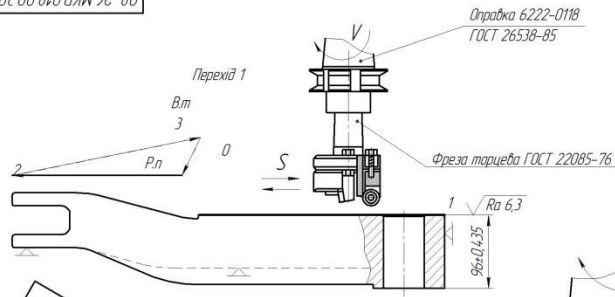
040

Фрезерна

1. Встановити та закріпити деталь.
2. Фрезерувати поверхню 1.
3. Фрезерувати поверхню 2.
4. Зняти деталь.

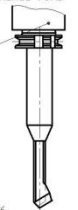


Вертикально-  
фрезерний  
6Р13РФЗ  
з ЧПК

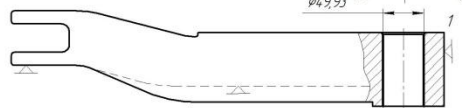


Зенкер сучільний Т6К5

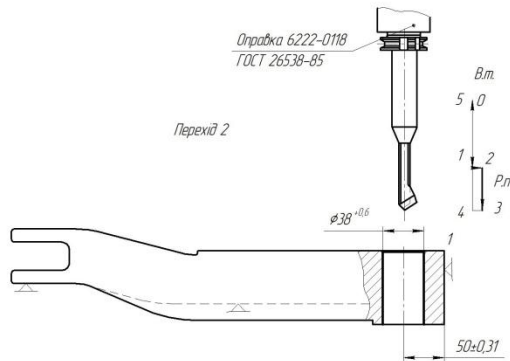
Оправка 6222-0118  
ГОСТ 26538-85



Перехід 5

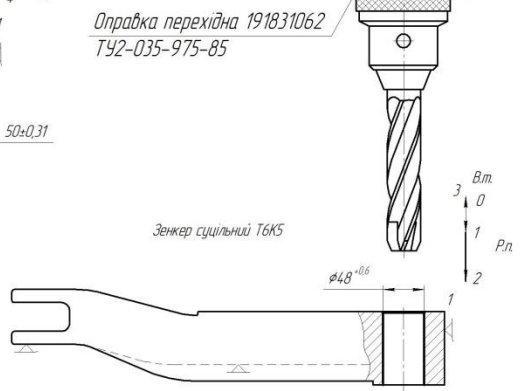


Різець розточний із твердою пластинкою Т6К5



Різець розточний із твердою пластинкою Т6К5

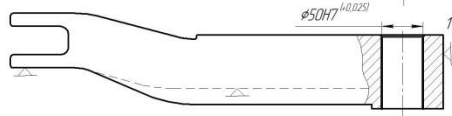
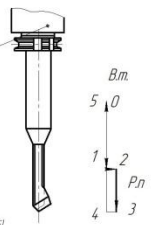
Оправка перехідна 191831062  
ТУ2-035-975-85



Зенкер сучільний Т6К5

Оправка 6222-0118  
ГОСТ 26538-85

Перехід 6



Різець розточний із твердою пластинкою Т6К5

№ операції	№ операції	Найменування операції	Матеріал	V, м/хв	f, мм/об	S, мм/об	Режими різання		
							Авт	Укрупн	
005	6	Розвернути остаточно отвір в розмір $\phi 50H7^{+0,025I}$	4,9	0,04	375	1,0			
	5	Розвернути попередньо отвір в розмір $\phi 49,93^{+0,06}$	4,9	0,1	375	1,0			
	4	Зенкерувати остаточно отвір в розмір $\phi 49,7^{+0,16}$ фаску в розмір $3 \times 45^\circ$	4,9	0,85	375	1,0			
	3	Зенкерувати попередньо отвір в розмір $\phi 48^{+0,6}$	4,8	5,0	375	1,0			
	2	Розточити одноразово отвір в розмір $\phi 38^{+0,6}$	190	4,0	375	1,0			
	1	Фрезувати тарцеву в розмір $66 \times 0,4$	98	4,0	250	1,0			
№ операції	№ операції	Найменування операції	Матеріал	V, м/хв	f, мм/об	S, мм/об	Режими різання		
		Базисальмова з ЧПК	2254-ВМФ4						
			Обладнання						
			Режими різання						
08-26-MKP.018.00.300									
Карта налагоджень									
Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет
Рисувальник	Проєктувальник	Виконавець	Перевірив	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет
Фізич	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет
Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет
Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет	Мет
-								ВНТУ	
-								ст. 20	
-								24	



## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто гідравлічний привод поступального руху, що включає довгу напірну гідролінію.

1. Проведено аналітичний огляд робіт по дослідженню процесів, що виникають в гідроприводах технологічних та мобільних машин з довгими гідравлічними лініями. Встановлено, що в таких лініях виникають хвильові процеси (неусталений рух рідини), що спричиняються різними факторами (включення гідропривода, зміна подачі насоса, зміна технологічного навантаження і т. п.). Тому при дослідженнях, проектуванні гідроприводів технологічних машин, що мають в конструкції довгі гідролінії необхідно враховувати хвильові процеси.

2. Запропоновано математичну модель для імітаційного дослідження гідравлічного приводу поступального руху, конструкція якого включає довгу напірну гідравлічну лінію.

3. Розроблена структурна схема математичної моделі.

4. Виконано дослідження в середовищі MATLAB Simulink перехідних процесів, що виникають в гідроприводі з довгою напірною гідролінією при ступінчастій зміні технологічного навантаження по математичній моделі, що не враховує хвильові процеси і по математичній моделі з урахуванням хвильових процесів.

5. Встановлено відмінність в результатах моделювання по різних математичних моделях, вплив на параметри перехідних процесів.

6. Побудовані графічні залежності, одержані значення зміни тиску (на виході насоса, в гідравлічній лінії, в гідроциліндрі), швидкості руху робочої рідини, вихідної ланки свідчать про необхідність врахування рівнянь хвильових процесів при математичному моделюванні та проведенні імітаційних досліджень в гідроприводах технологічних та мобільних машин, що включають довгі гідравлічні лінії.

7. Удосконалено технологічний процес механічної обробки деталі типу «Вилка», що є складовою одного із вузлів механізму, який входить до складу машини з гідроприводом поступального руху. Виконані необхідні розрахунки, що підтверджують економічну доцільність виконаної роботи.

*Дякую за увагу!*