

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну

І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов

Методичні вказівки
до виконання курсового проекту з ТММ
для студентів галузей знань «Механічна інженерія» та «Транспорт».

м. Дніпро
2021

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з ТММ для студентів галузей знань «Механічна інженерія» та «Транспорт» / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2021. – 30 с.

Затверджено до видання редакційною радою НТУ «ДП» (протокол № 9 від 10.09.2021) за поданням кафедри КТЕД (протокол № 1 від 31.08.2021).

Подано методичні вказівки до виконання курсового проекту з ТММ. Наведено зразки виконання усіх пунктів змісту проекту.

Зміст	стор.
1. Загальні зауваження	4
2. Зміст курсового проекту	4
3. Аналіз важільного механізму	5
4. Синтез механізмів	5
4.1. Проектування кінематичної схеми планетарного механізму	5
4.2. Побудова картини евольвентного зовнішнього зачеплення	5
4.3. Синтез кулачкового механізму	5
Перелік посилань	13
Додаток 1. Варіанти завдань курсового проекту з ТММ	15

1. Загальні зауваження

Курсовий проект (КП) з теорії механізмів і машин – це творче індивідуальне завдання, кінцевим результатом виконання якого є аналіз і синтез декількох механізмів, що входять до складу машинного агрегату. Курсовий проект містить розрахунково-пояснювальну записку, креслення та інші матеріали, які визначаються завданням на курсове проектування. Курсовий проект виконується студентом самостійно під керівництвом викладача протягом визначеного терміну в одному семестрі згідно із завданням на основі знань та умінь, набутих з даної та суміжних дисциплін.

На стадії вивчення ТММ і виконання курсового проекту основним для кінематичного та силового аналізів важільних механізмів прийнято графоаналітичний метод за допомогою сучасних комп'ютерних графічних програм. Це не виключає використання математичних комп'ютерних програм для аналітичного розв'язку задач проекту.

Авторами підготовлені методичні вказівки [1], навчально-наочні посібники [2-14] у вигляді відеофільмів та навчальний посібник [15], де розглянуті усі аспекти виконання цього курсового проекту.

2. Зміст курсового проекту

Об'єм, а відповідно і зміст курсового проекту, залежить від часу, відведеного на його виконання. В останні роки цей проект в НТУ «ДП» виконується паралельно з вивченням курсу, тому проект має зменшений формат.

Відповідно до змісту дисципліни «Теорія механізмів і машин» у проекті розглядаються дві основні складові курсу, а саме аналіз і синтез механізмів.

В усіх варіантах завдань проекту аналізу підлягає шарнірно-важільний механізм. Синтезуються такі механізми, як зубчаста та планетарна передача, кулачковий механізм тощо.

Зміст РПЗ наведено нижче.

Вступ

1. Вихідні дані до проекту
2. Структурний аналіз плоского важільного механізму
3. Кінематичний аналіз плоского важільного механізму
4. Силовий аналіз механізму
5. Проектування кінематичної схеми планетарного механізму
6. Розрахунок геометрії зовнішнього евольвентного зачеплення
7. Синтез кулачкового механізму

Перелік посилань

Розрахунково-пояснювальна записка виконується за вимогами до написання технічної документації.

3. Аналіз важільного механізму

В курсовому проекті послідовно виконуються структурний, кінематичний і силовий аналізи важільного механізму відповідно до методичних вказівок [1].

Необхідні для цього графічні побудови (плани механізму, швидкостей, прискорень та сил) виконуються на першому та половині другого листів креслень проекту.

На першому листі, що має назву «Кінематичний аналіз важільного механізму...» (рис. 1) представлені:

- вісім планів важільного механізму для рівновіддалених положень вхідного кривошипу, причому в якості початкового приймається положення, що відповідає одному з крайніх положень вихідної ланки (рис. 2);
- плани швидкостей для цих восьми планів механізму (рис. 3);
- три діаграми (переміщень, швидкостей та прискорень вихідної ланки), що представляють другий метод кінематичного аналізу, а саме метод кінематичних діаграм (рис. 4);
- додатково наведена структура важільного механізму (рис. 5).

Структурний аналіз, побудова планів механізму та планів швидкостей, побудова кінематичних діаграм виконується відповідно до методичних видань [1-8].

На другому листі, що має назву «Кінетостатичний аналіз важільного механізму і синтез кінематичної схеми планетарного механізму» (рис. 6) представлені:

- три плани механізму для динамічного аналізу, а саме початковий та по одному на робочому та холостому ходу вихідної ланки (рис. 7). На робочому ходу приймається план механізму відповідний максимальному значенню сили корисного опору;
- плани прискорень для цих трьох планів механізму (рис. 8);
- плани сил для плану механізму на робочому ходу (рис. 9).

4. Синтез механізмів

4.1. Проектування кінематичної схеми планетарного механізму

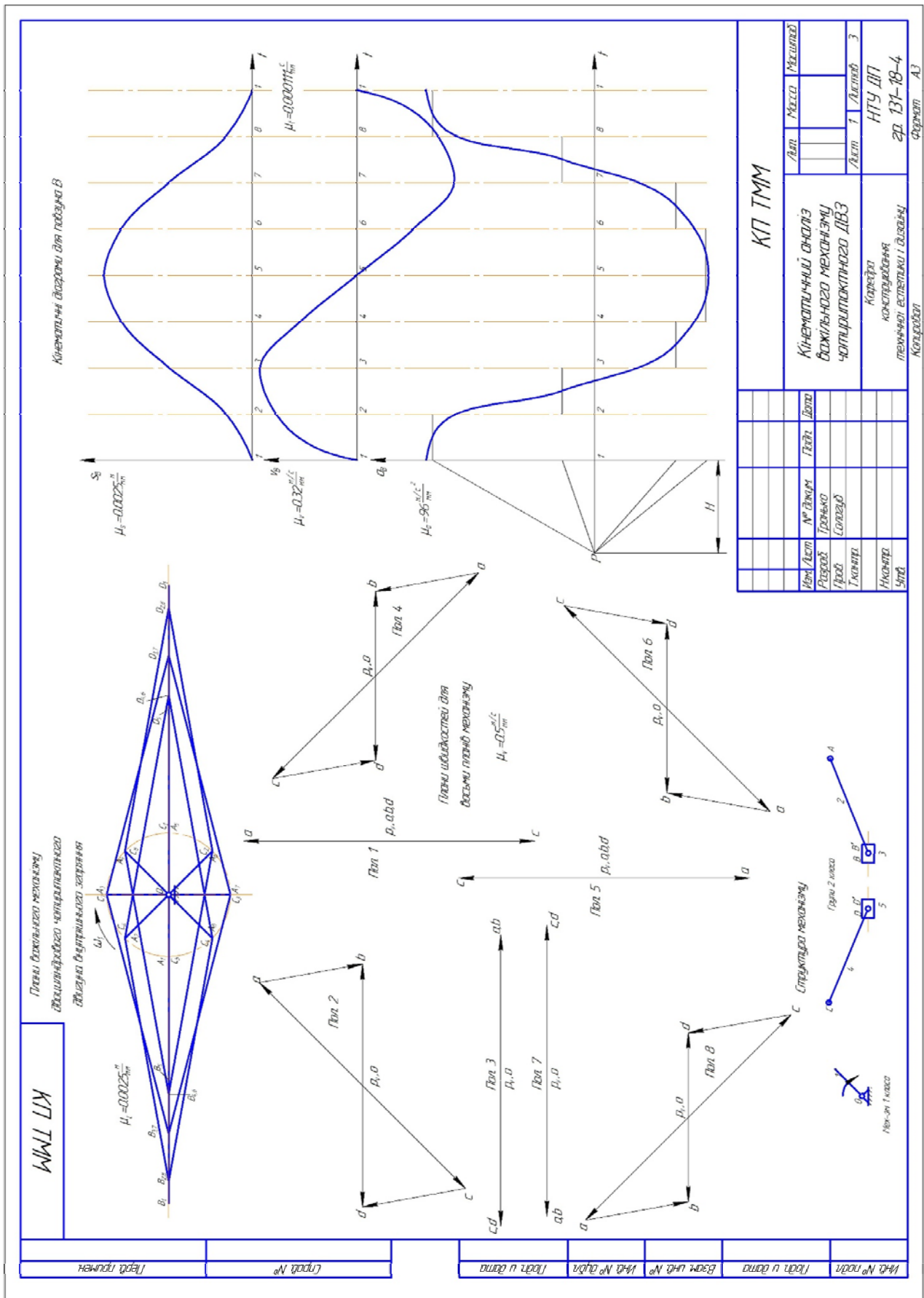
Цей розділ виконується відповідно до [10], а графічні побудови розміщують на другому листі (рис. 10).

4.2. Побудова картини евольвентного зовнішнього зачеплення

Цей розділ виконується відповідно до [9], а графічні побудови виконують на третьому листі (рис. 11).

4.3. Синтез кулачкового механізму

Цей розділ виконується на комп'ютері в комп'ютерному залі за допомогою керівника проекту. Студент приходить до залу зі своїми даними, вводить їх у відповідну програму і отримує потрібний профіль кулачка.



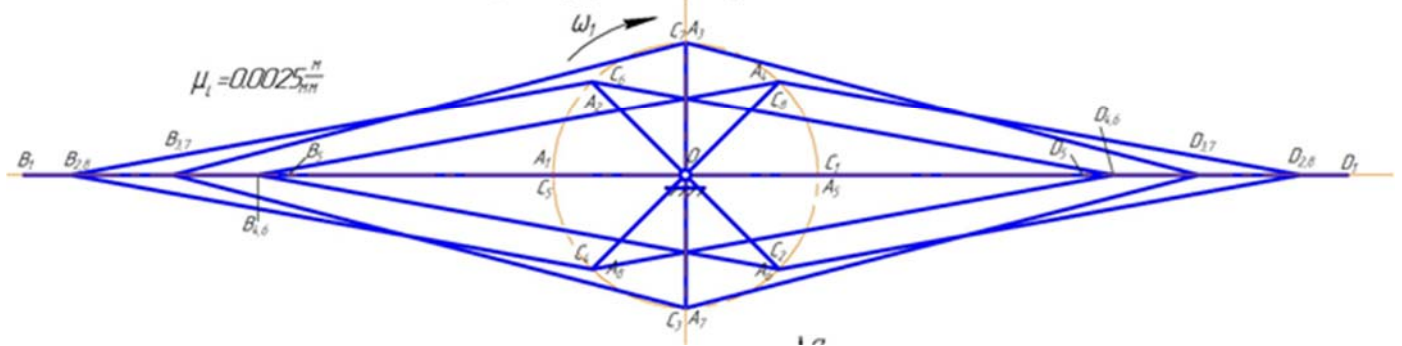


Рис. 2. Плани важільного механізму

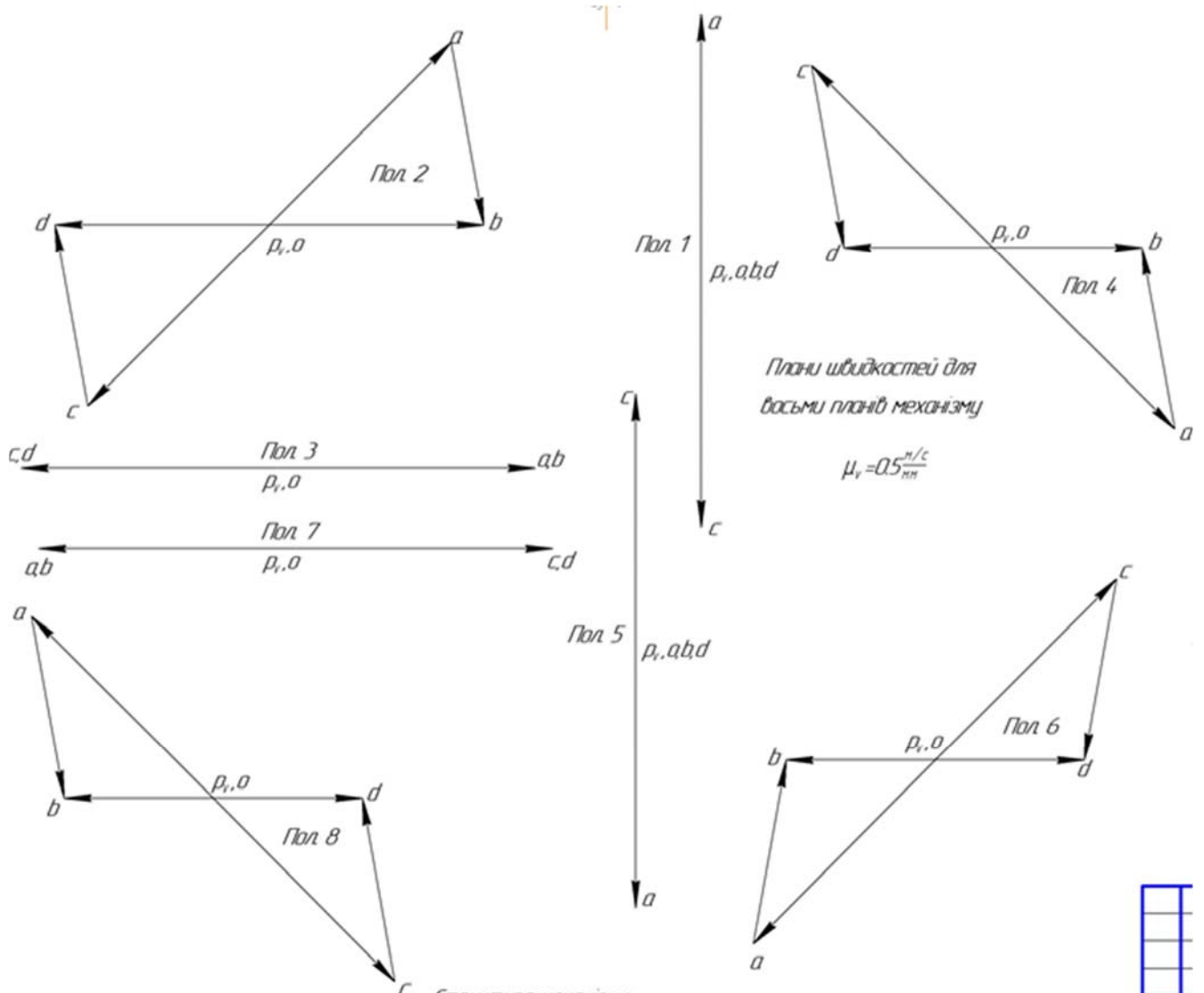


Рис. 3. Плани швидкостей

Кінематичні діаграми для повзуна В

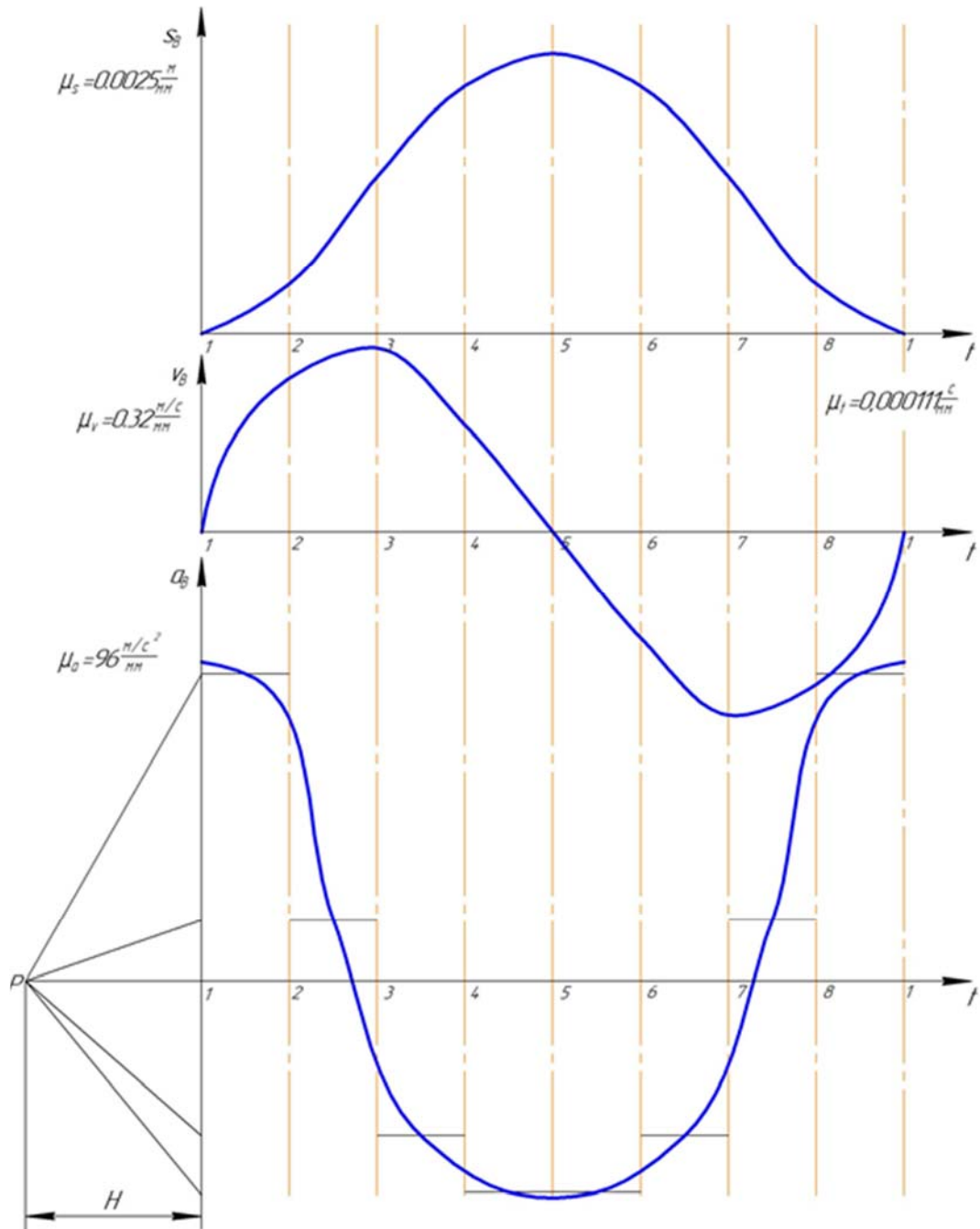


Рис. 4. Кінематичні діаграми для вихідного повзуна

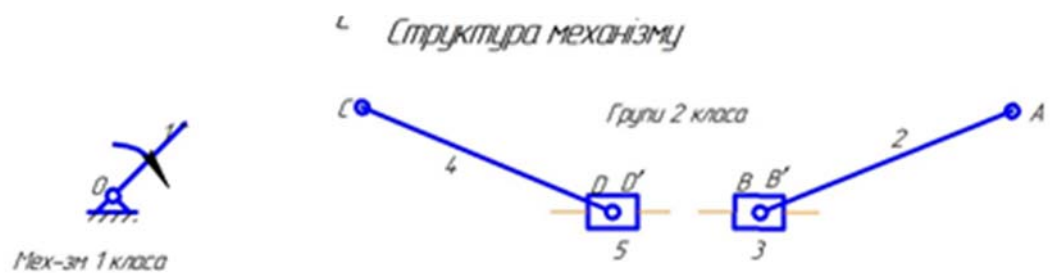


Рис. 5. Структура важільного механізму

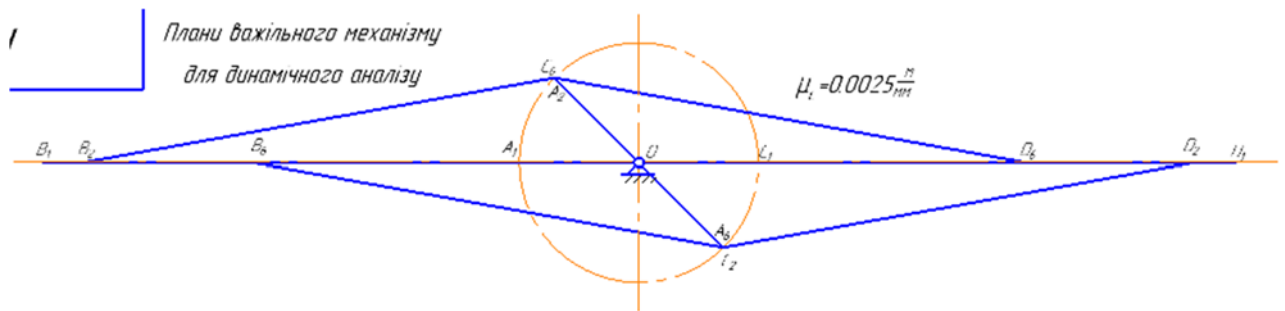


Рис. 7. Плани механізму для динамічного аналізу

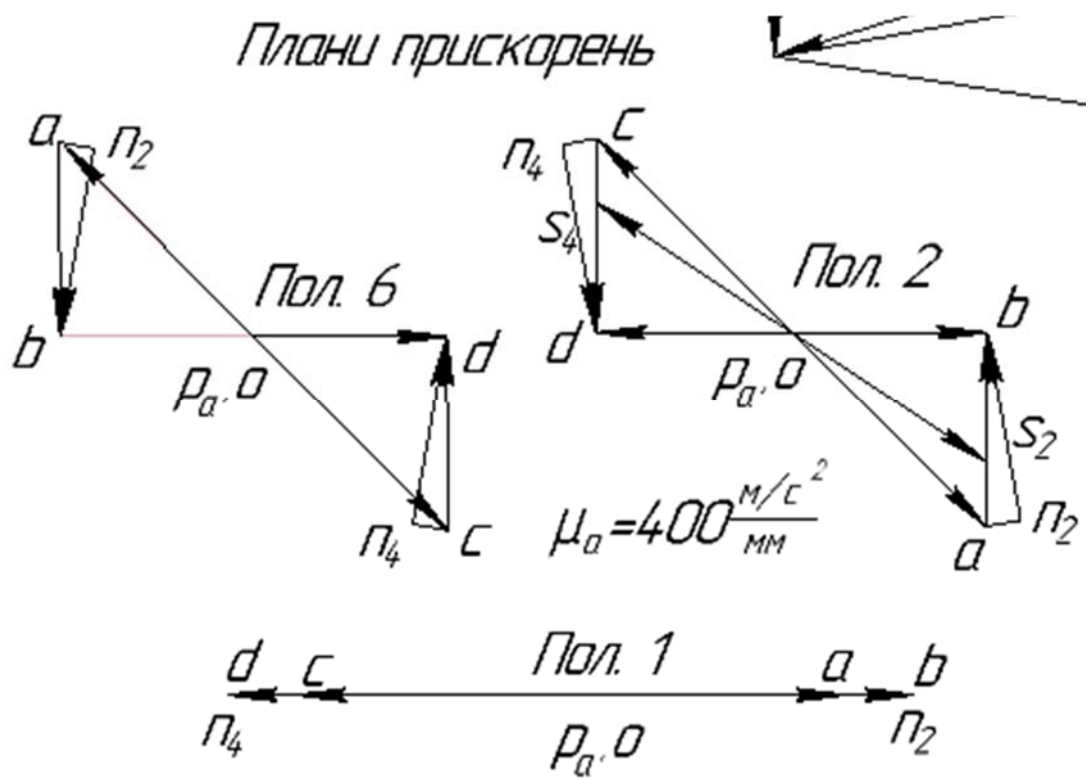


Рис. 8. Плани прискорень

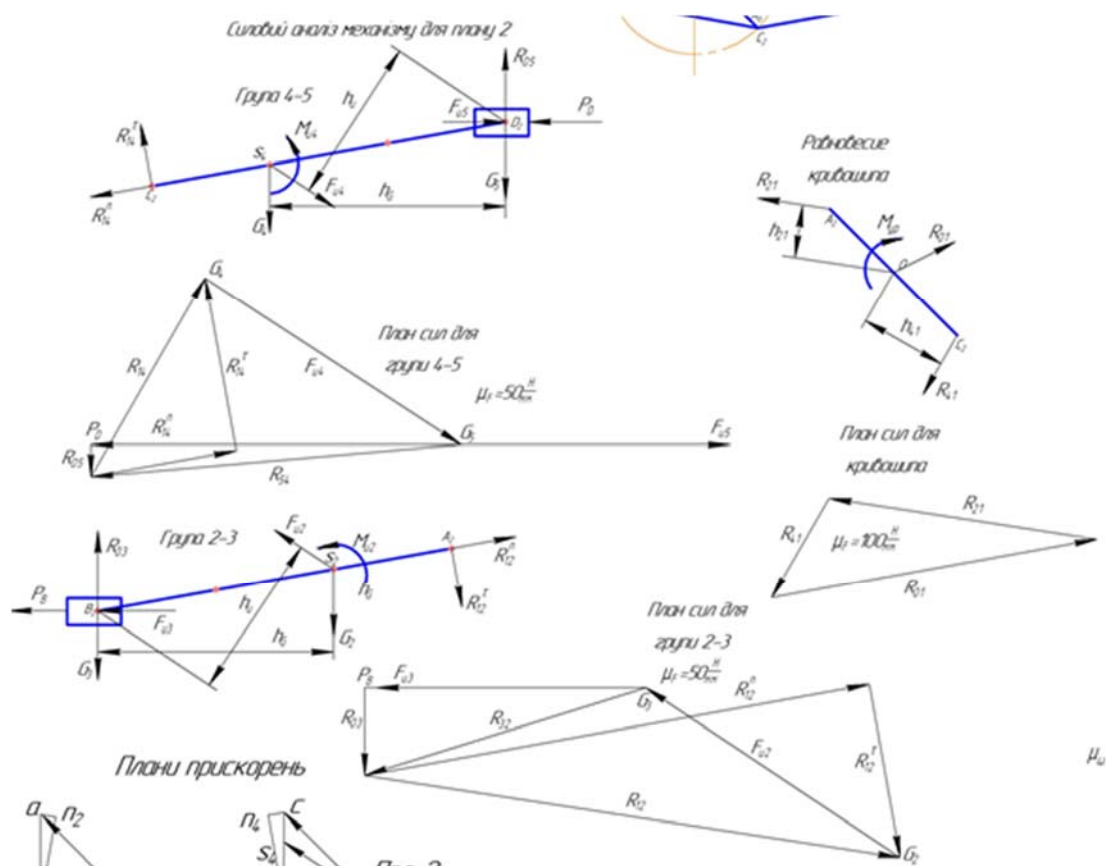


Рис. 9. Плани сил

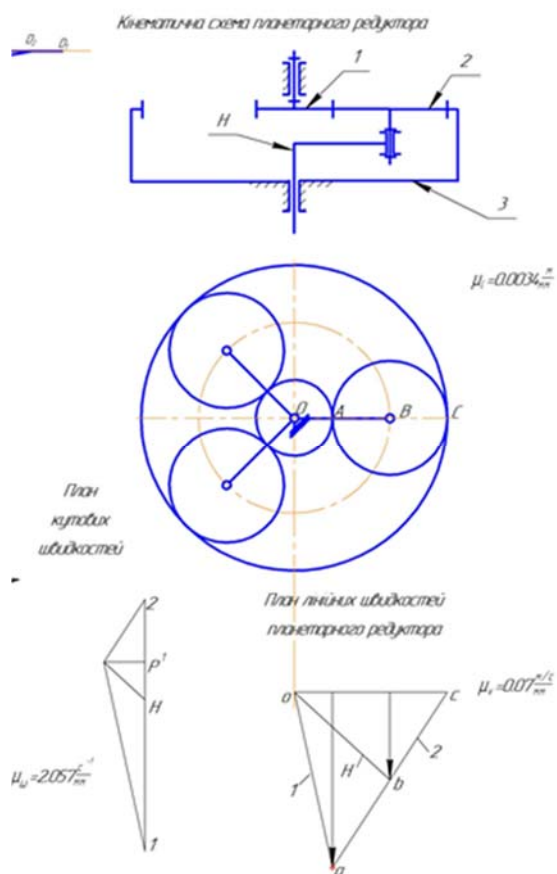


Рис. 10. Синтез кінематичної схеми планетарного редуктора

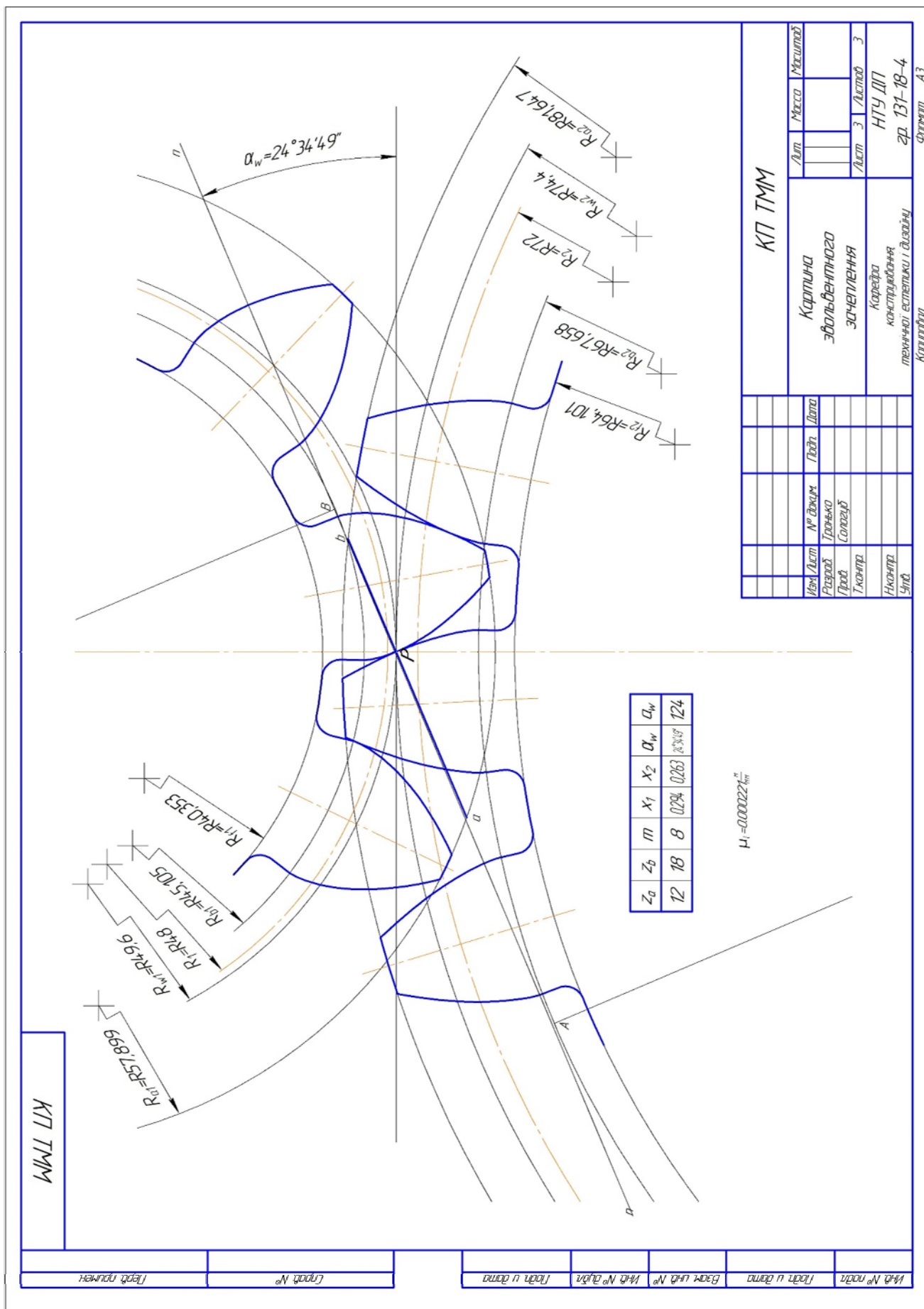


Рис. 10. Картина эвольвентного зацепления

Перелік посилань

1. Мацюк І.М. Аналіз плоского важільного механізму. Методичні вказівки до виконання домашнього завдання з ТММ для студентів, що навчаються за освітньо-професійною програмою «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів» спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2019. – 40 с.
2. Шляхов Е.М. Побудова планів механізму [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / Е.М. Шляхов, І.М. Мацюк; Нац. гірн. ун-т. – Відеофільм. – Д.: ДВНЗ “НГУ”, 2016. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 20.05.2016). – Назва з екрана.
3. Шляхов Е.М. Побудова планів швидкостей [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / Е.М. Шляхов, І.М. Мацюк; Нац. гірн. ун-т. – Відеофільм. – Д.: ДВНЗ “НГУ”, 2016. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 20.05.2016). – Назва з екрана.
4. Мацюк І.М. Побудова планів прискорень [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. гірн. ун-т. – Відеофільм. – Д.: ДВНЗ “НГУ”, 2016. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 20.05.2016). – Назва з екрана.
5. Мацюк І.М. Побудова кінематичних діаграм [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. гірн. ун-т. – Відеофільм. – Д.: ДВНЗ “НГУ”, 2016. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 20.05.2016). – Назва з екрана.
6. Шляхов Е.М. Побудова планів сил [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. гірн. ун-т. – Відеофільм. – Д.: ДВНЗ “НГУ”, 2016. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 20.05.2016). – Назва з екрана.
7. Мацюк І.М. Кінематичний аналіз кривошипно-кулісного механізму [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов, Н.В. Зима; Нац. гірн. ун-т. – Відеофільм. – Д.: ДВНЗ “НГУ”, 2016. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 20.05.2016). – Назва з екрана.
8. Мацюк І.М. Силовий аналіз кривошипно-кулісного механізму [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов, Н.В. Зима; Нац. гірн. ун-т. – Відеофільм. – Д.: ДВНЗ “НГУ”, 2016. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 20.05.2016). – Назва з екрана.
9. Мацюк І.М. Побудова картини евольвентного зачеплення [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / Е.М. Шляхов, І.М. Мацюк; Нац. гірн. ун-т. – Відеофільм. – Д.: ДВНЗ “НГУ”, 2016. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 20.05.2016). – Назва з екрана.
10. Шляхов Е.М. Синтез кінематичної схеми зубчастої планетарної передачі [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / Е.М. Шляхов, І.М. Мацюк; Нац. гірн. ун-т. – Відеофільм. – Д.: ДВНЗ “НГУ”, 2016. – Режим доступу:

<http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 20.05.2016). – Назва з екрана.

11. Мацюк І.М. Аналітичне дослідження кінематики механізму [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. техн. ун-т. “Дніпровська політехніка” – Відеофільм. – Дніпро: НТУ “ДП”, 2018. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 12.06.2018). – Назва з екрана.

12. Мацюк І.М. Аналітичне дослідження механізму - Частина 1 [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. техн. ун-т. “Дніпровська політехніка” – Відеофільм. – Дніпро: НТУ “ДП”, 2018. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 12.06.2018). – Назва з екрана.

13. Мацюк І.М. Аналітичне дослідження механізму - Частина 2 [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. техн. ун-т. “Дніпровська політехніка” – Відеофільм. – Дніпро: НТУ “ДП”, 2018. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 12.06.2018). – Назва з екрана.

14. Мацюк І.М. Аналітичне дослідження кінематики кривошипно-кулісного механізму [Електронний ресурс]: навч. - наоч. посіб. / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. техн. ун-т. “Дніпровська політехніка” – Відеофільм. – Дніпро: НТУ “ДП”, 2018. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/tmm1.php> (дата звернення: 12.06.2018). – Назва з екрана.

15. Кінематичне і динамічне дослідження плоских важільних механізмів [Текст]: навч. посібник / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов, К.А. Зіборов. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 132 с.

Додаток 1. Варіанти завдань курсового проекту з ТММ

Тема 1. Механізми витяжного пресу (рис. 1, табл. 1)

Маховик встановлюється на валу 0. Силевий розрахунок важільного механізму проводиться для положення, де $P_p = P_{F\max}$

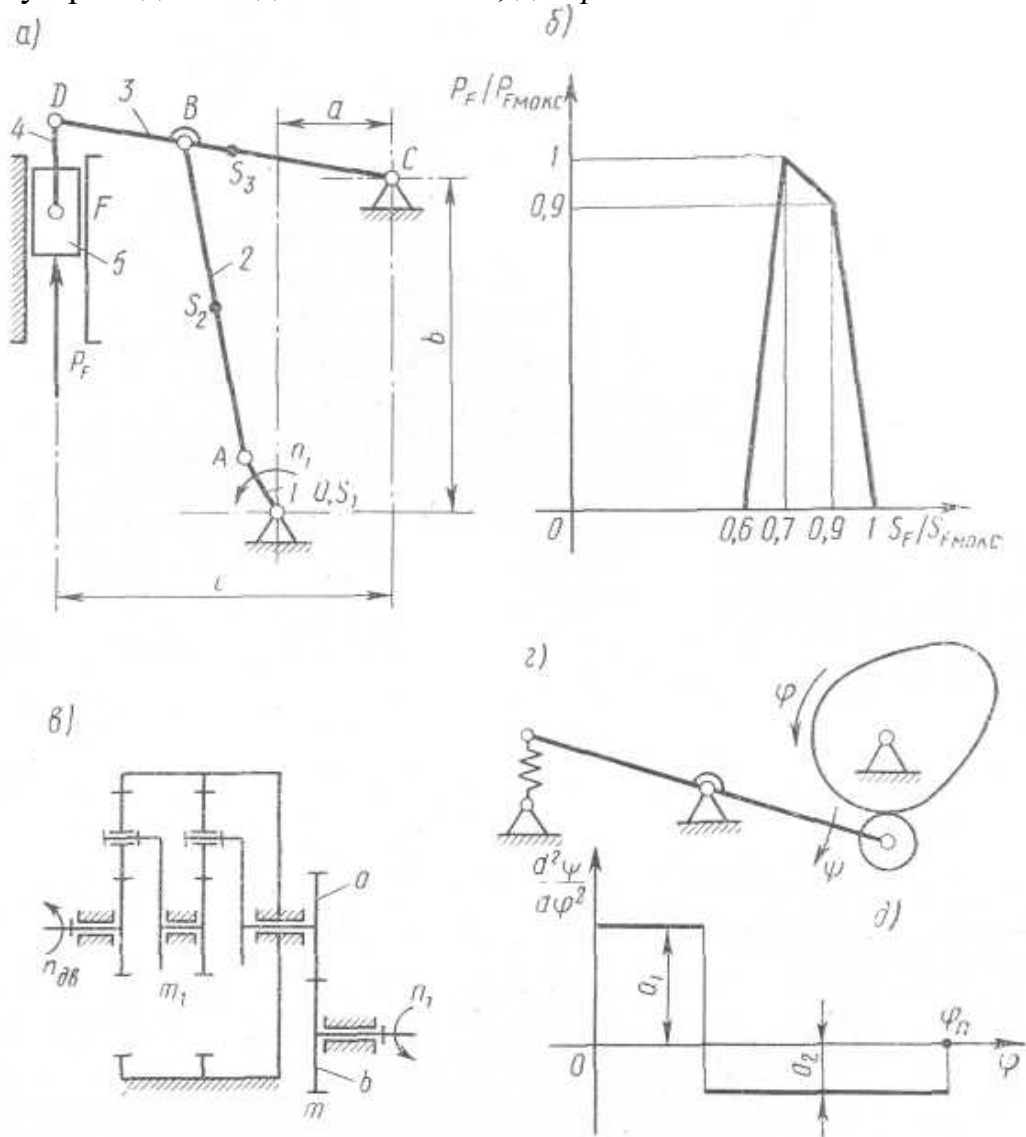


Рис. 1. Механізми витяжного пресу:

a – важільний механізм переміщення повзуна з пуансоном; *б* – графік зміни зусилля витяжки; *в* – схема планетарної та простої ступеней редуктора; *г* – схема кулачкового механізму виштовхування готової деталі; *д* – графік зміни аналога прискорення коромисла кулачкового механізму

Таблиця 1

Параметри	Позна-чення	Одиниці вимірю-вання	Варіанти числових значень									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розміри ланок важільного механізму	l_{OA}	м	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,10	0,07	0,10	0,11	0,08
	$l_{AB} = 2 l_{AS2}$	м	0,32	0,38	0,29	0,40	0,26	0,45	0,23	0,43	0,36	0,36
	l_{BC}	м	0,30	0,26	0,27	0,28	0,24	0,30	0,21	0,29	0,33	0,25
	$l_{CD} = 2 l_{CS3}$	м	0,42	0,37	0,38	0,39	0,34	0,44	0,30	0,42	0,47	0,35
	l_{DF}	м	0,11	0,09	0,10	0,10	0,09	0,11	0,08	0,10	0,12	0,09
	a	м	0,16	0,13	0,14	0,14	0,13	0,15	0,11	0,15	0,17	0,12
	b	м	0,29	0,37	0,26	0,39	0,23	0,44	0,20	0,42	0,32	0,35
	c	м	0,41	0,35	0,37	0,37	0,33	0,41	0,29	0,39	0,45	0,33
Частота обертання електродвигуна	$n_{дв}$	об/хв	940	960	960	960	1440	1440	1420	1440	940	1700
Частота обертання кривошипа 1 і кулачка	$n_1 = n_K$	об/хв	50	45	40	55	60	65	70	75	80	85
Маси ланок важільного механізму	m_1	кг	50	55	60	50	45	45	46	47	45	40
	m_2	кг	9	11	8	12	8	13	7	13	11	10
	m_3	кг	12	10	11	10	10	14	9	12	14	11
	m_5	кг	30	32	35	37	40	42	35	40	30	37
Момент інерції кривошипа 1 (з урахуванням наведених мас редуктора)	J_{S1}	кг м ²	2,0	2,4	2,6	2,5	2,2	2,0	2,2	2,2	2,4	2,0
Моменти інерції ланок	J_{S2}	кг м ²	0,10	0,16	0,08	0,20	0,06	0,26	0,05	0,24	0,14	0,13
	J_{S3}	кг м ²	0,20	0,14	0,16	0,16	0,12	0,28	0,09	0,21	0,31	0,13
	$J_{ДВ}$	кг м ²	0,10	0,11	0,11	0,12	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,10
Максимальне зусилля витяжки	P_{Fmax}	кН	36	40	38	42	40	37	32	39	45	35
Коефіцієнт нерівномірності обертання кривошипа 1	δ	—	1/6	1/7	1/8	1/7	1/6	1/5	1/6	1/7	1/8	1/5
Модуль зубчастих коліс планетарної ступені редуктора	m_1	мм	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
Кількість сателітів	$\bar{k}$	—	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Кількість зубів коліс простої передачі рівнозмщеного зачеплення	z_a	—	12	14	15	12	14	12	14	15	12	14
	z_b	—	18	24	21	20	21	19	25	20	24	26
Модуль зубчастих коліс z_a, z_b	m	мм	5	6	5	6	8	5	6	8	5	6
Довжина коромисла кулачкового механізму	l	м	0,16	0,17	0,18	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,15	0,16
Кутовий хід коромисла	Ψ_{max}	град	25	22	20	25	27	18	20	22	24	20
Відношення величин прискорень коромисла	a_1/a_2	—	1,7	1,6	1,8	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8	1,6	1,5
Фазові кути повороту кулачка	$\varphi_{п} = \varphi_0$	град	60	65	65	55	60	65	65	55	60	65
	$\varphi_{В.В}$	град	10	12	14	15	8	10	11	14	15	10
Допустимий кут тиску	$\theta_{доп}$	град	40	45	45	40	40	45	40	45	40	45
Момент інерції коромисла	J_K	кг-см ²	40	50	55	35	40	50	55	60	37	40

Тема 2. Механізми гайковирубного автомату (рис. 2, табл. 2)

Маховик встановлюється на валу кривошипа. Силевий розрахунок механізму проводиться для положення, де $P_D = P_{D\max}$

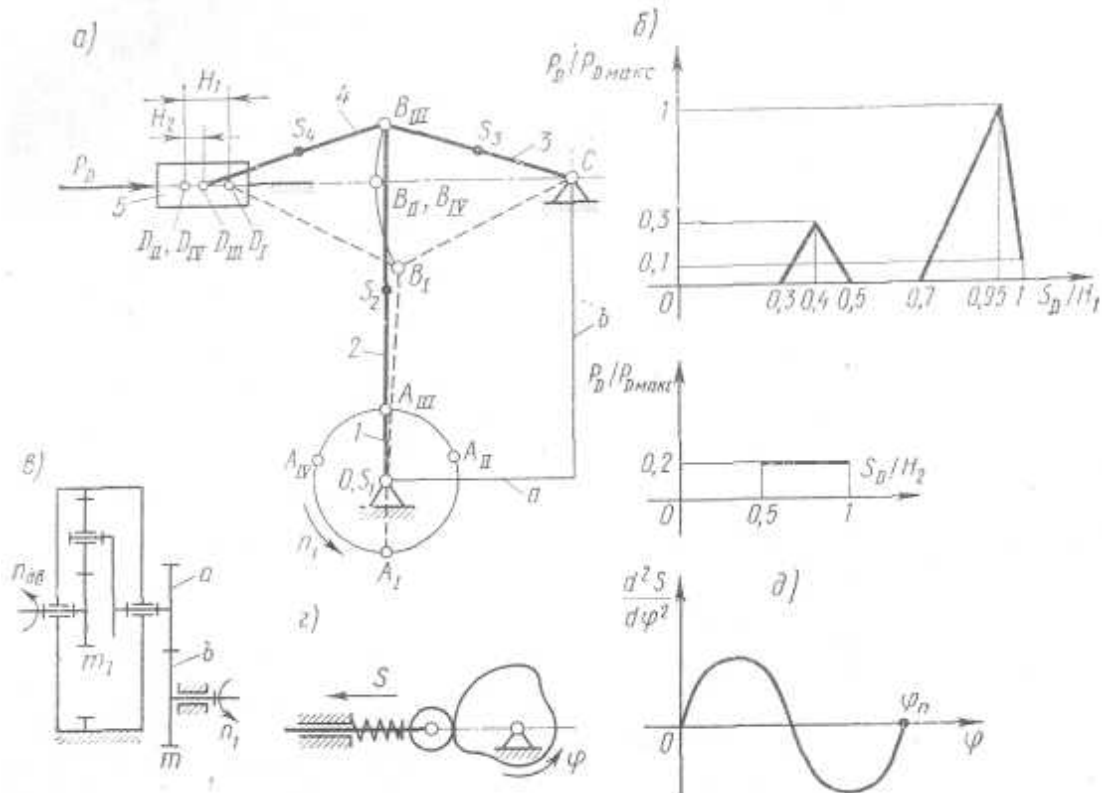


Рис. 2. Механізми гайковирубного автомату:

а - важільний механізм переміщення повзуна з пуансоном; б - графік сили опору, яка додається до пуансону; в - схема планетарної і простої ступенів редуктора; г - схема кулачкового механізму переміщення матриць; д - синусоїдальний закон зміни аналога прискорення штовхача.

Таблиця 2

Параметри	Позначення	Одиниці вимірювання	Варіанти числових значень									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розміри ланок важільного механізму $l_{AS2}=0.5 l_{AB}$; $l_{BS2}=0.5 l_{BC}$; $l_{BS4}=0.5 l_{BD}$	l_{OA}	м	0,09	0,11	0,10	0,12	0,08	0,11	0,12	0,10	0,10	0,12
	l_{AB}	м	0,43	0,41	0,48	0,43	0,38	0,48	0,44	0,44	0,37	0,52
	$l_{BC}=l_{BD}$	м	0,25	0,29	0,28	0,30	0,22	0,28	0,31	0,26	0,26	0,31
	a	м	0,24	0,27	0,27	0,29	0,21	0,27	0,30	0,25	0,25	0,29
	b	м	0,45	0,43	0,50	0,45	0,40	0,50	0,47	0,45	0,39	0,55
Частота обертання електродвигуна	$n_{дв}$	об/хв	860	940	960	1440	1460	940	960	1440	1460	860
Частота обертання кривошипа 1 і кулачка	$n_1 = n_K$	об/хв	100	90	110	120	130	80	85	95	140	90
Маси ланок важільного механізму	m_1	кг	50	55	60	45	40	55	60	50	45	55
	m_2	кг	11	10	12	10	9	12	11	11	9	13
	$m_3=m_4$	кг	15	17	16	20	13	18	19	16	16	18
	m_5	кг	60	62	56	70	46	65	67	57	58	63
Моменти інерції ланок	J_{S1}	кг м ²	1,2	1,4	1,6	1,0	0,9	1,5	1,3	1,1	1,0	1,3
	J_{S2}	кг м ²	0,20	0,17	0,28	0,18	0,13	0,28	0,21	0,21	0,12	0,35
	$J_{S3}=J_{S4}$	кг м ²	0,09	0,14	0,12	0,18	0,08	0,14	0,18	0,11	0,11	0,17
	$J_{ДВ}$	кг м ²	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
Максимальна сила опору, прикладена до повзуна 5	$P_{Дмакс}$	кН	60	65	70	58	55	52	53	54	60	70
Коефіцієнт нерівномірності обертання кривошипа 1	δ	—	1/10	1/9	1/8	1/12	1/15	1/11	1/13	1/10	1/9	1/8
Модуль зубчастих коліс планетарного механізму	m_1	мм	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3
Кількість зубів коліс простої передачі рівнозміщеного зачеплення	z_a	—	14	12	13	12	11	14	12	13	14	10
	z_b	—	24	21	19	24	18	23	20	18	25	20
Модуль зубчастих коліс z_a, z_b	m	мм	4	5	5	6	6	7	8	9	8	7
Хід штовхача кулачкового механізму	h	м	0,015	0,016	0,017	0,018	0,02	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016
Фазові кути повороту кулачка	$\varphi_n = \varphi_0$	град	45	50	55	60	55	50	45	50	55	60
	$\varphi_{В.В}$	град	150	140	130	130	140	150	160	130	120	120
Допустимий кут тиску	$\nu_{доп}$	град	25	26	27	28	30	28	26	30	25	27
Маса штовхача	m_T	кг	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7	0,8	1,0

Тема 3. Механізми поперечно-стругального верстата (рис. 3, табл. 3)

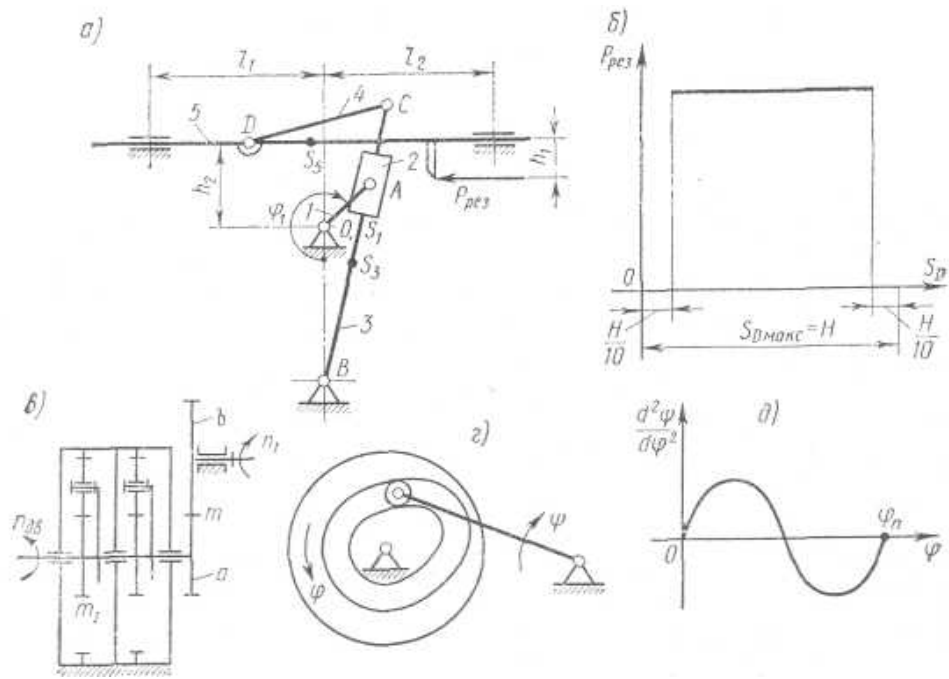


Рис. 3. Тема 3. Механізми поперечно-стругального верстата:

a – кривошипно-кулісний механізм приводу повзуна з різцевою головкою; *б* – діаграма сил різання; *в* – планетарна і проста ступені редуктора; *г* – кулачковий механізм поперечної подачі стола; *д* – синусоїдальний закон зміни аналога прискорення коромисла кулачкового механізму

Таблиця 3

Параметри	Позна-чення	Одиниці вимірювання	Варіанти числових значень									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розміри ланок важільного механізму	l_{OA}	м	0,12	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11
	l_{OB}	м	0,27	0,35	0,30	0,27	0,30	0,27	0,35	0,27	0,35	0,30
	l_{BC}	м	0,49	0,64	0,56	0,49	0,56	0,49	0,64	0,49	0,64	0,56
	l_{CD}	м	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21	0,20	0,21	0,20	0,21	0,20
	h_2	м	0,19	0,29	0,25	0,21	0,25	0,20	0,28	0,20	0,28	0,24
	l_2	м	0,35	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,32	0,32	0,32
	l_{BS3}	м	0,25	0,34	0,30	0,25	0,30	0,25	0,34	0,25	0,34	0,30
	l_{DS5}	м	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10
	h_1	м	0,13	0,10	0,13	0,11	0,12	0,14	0,15	0,10	0,11	0,12
Частота обертання електродвигуна	$n_{дв}$	об/хв	1420	1440	950	930	940	1250	1100	1440	1350	1410
Частота обертання кривошипа 1 і кулачка	$n_1 = n_K$	об/хв	71	72	68	74	72	72	70	75	65	82
Маси ланок важільного механізму	m_3	кг	18	20	19	18	20	18	20	19	18	20
	m_5	кг	40	60	50	40	50	40	60	50	40	50
Моменти інерції ланок	J_{S1}	кг м ²	2,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0	1,8	3,5	3,0	2,5
	J_{S3}	кг м ²	0,43	0,82	0,60	0,43	0,60	0,43	0,82	0,43	0,80	0,60
	$J_{дв}$	кг м ²	0,06	0,05	0,12	0,09	0,10	0,05	0,06	0,07	0,08	0,06
Сила різання	$P_{рез}$	кН	1,8	2,0	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4	2,6	2,0	2,5
Коефіцієнт нерівномірності обертання кривошипа 1	δ	—	1/30	1/20	1/25	1/30	1/20	1/25	1/30	1/25	1/20	1/30
Модуль зубчастих коліс планетарного механізму	m_I	мм	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3
Кількість зубів коліс простої передачі рівнозміщеного зачеплення	z_a	—	12	12	12	14	11	13	12	14	15	13
	z_b	—	24	20	26	26	25	26	22	20	25	23
Модуль зубчастих коліс z_a, z_b	m	мм	10	12	13	14	15	16	15	14	12	10
Довжина коромисла кулачкового механізму	l	м	0,14	0,12	0,15	0,14	0,13	0,12	0,15	0,16	0,14	0,12
Кутовий хід коромисла	$\psi_{макс}$	град	20	16	15	17	18	15	20	22	25	18
Фазові кути повороту кулачка	$\varphi_n = \varphi_0$	град	65	60	65	50	65	60	65	50	65	60
	$\varphi_{в.в}$	град	15	10	15	10	15	10	10	15	10	15
Допустимий кут тиску	$\nu_{доп}$	град	35	30	32	35	30	32	35	32	30	35

Тема 4. Механізми довбального верстата (рис. 4, табл. 4)

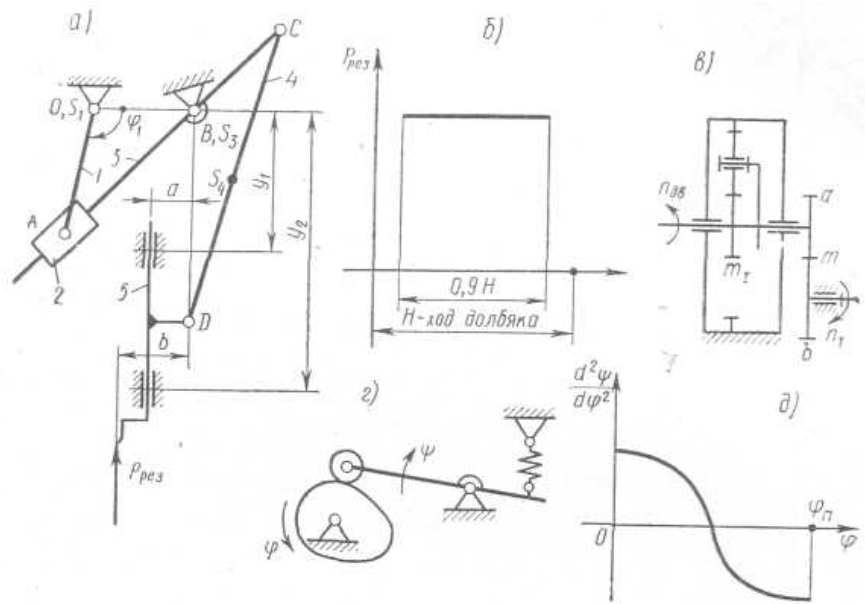


Рис. 4. Механізми довбального верстата:

a – важільний механізм переміщення довбача; *б* – діаграма сил різання;
в – планетарна та проста ступені редуктора; *г* – кулачковий механізм
 поперечної подачі стола; *д* – косинусоїдальний закон зміни аналога
 прискорення коромисла кулачкового механізму.

Таблиця 4

Параметри	Позначення	Одиниці вимірювання	Варіанти числових значень									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розміри ланок важільного механізму $l_{CS4} = 0,5 l_{CD}$	l_{OA}	м	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,10	0,15	0,12	0,16	0,14
	l_{OB}	м	0,05	0,05	0,04	0,06	0,08	0,04	0,05	0,06	0,08	0,07
	l_{BC}	м	0,10	0,11	0,08	0,12	0,12	0,09	0,10	0,14	0,15	0,15
	l_{CD}	м	0,40	0,45	0,35	0,50	0,56	0,30	0,50	0,48	0,60	0,55
	a	м	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
	b	м	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02
	y_1	м	0,30	0,34	0,27	0,38	0,44	0,21	0,40	0,34	0,45	0,40
	y_2	м	0,50	0,56	0,43	0,62	0,68	0,39	0,60	0,52	0,75	0,70
Частота обертання електродвигуна	$n_{дв}$	об/хв	1500	1200	1500	1400	1500	1000	1500	1400	1000	1000
Частота обертання кривошипа 1 і кулачка	$n_1 = n_K$	об/хв	200	120	180	140	160	100	150	120	80	110
Маси ланок важільного механізму	m_3	кг	20	22	22	21	24	18	25	20	28	22
	m_4	кг	5	5	6	5	6	4	6	5	7	5
	m_5	кг	30	35	34	32	35	25	40	32	42	35
Моменти інерції ланок	J_{S1}	кг м ²	0,20	0,25	0,20	0,30	0,40	0,20	0,30	0,24	0,25	0,18
	J_{S3}	кг м ²	0,32	0,40	0,25	0,48	0,60	0,18	0,60	0,44	0,90	0,60
	J_{S4}	кг м ²	0,08	0,10	0,07	0,12	0,18	0,04	0,15	0,11	0,25	0,15
	$J_{ДВ}$	кг м ²	0,05	0,08	0,05	0,06	0,05	0,10	0,05	0,06	0,10	0,10
Сила різання	$P_{рез}$	кН	2,0	1,75	1,5	1,8	1,35	1,9	1,6	1,7	1,85	2,5
Коефіцієнт нерівномірності обертання кривошипа	δ	—	0,05	0,08	0,03	0,04	0,03	0,06	0,04	0,07	0,08	0,05
Модуль зубчастих коліс планетарного механізму	m_I	мм	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
Кількість зубів коліс простої передачі рівнозміщеного зачеплення	z_a	—	12	14	13	10	9	12	9	10	9	14
	z_b	—	20	28	26	22	20	24	22	26	27	26
Модуль зубчастих коліс z_a, z_b	m	мм	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
Довжина коромисла кулачкового механізму	l	м	0,30	0,25	0,28	0,27	0,26	0,25	0,26	0,27	0,29	0,32
Кутовий хід коромисла	$\psi_{\max}$	град	20	18	15	16	18	20	22	25	16	15
Фазові кути повороту кулачка	$\varphi_{\Pi} = \varphi_0$	град	55	60	65	70	65	60	55	60	65	55
	$\varphi_{В.В}$	град	25	10	10	0	15	20	10	0	20	15
Допустимий кут тиску	$\nu_{\text{доп}}$	град	35	36	38	35	36	38	40	35	30	40
Момент інерції коромисла	J_K	кг м ²	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06

Тема 5. Механізми коливального конвеєра (рис. 5, табл. 5)

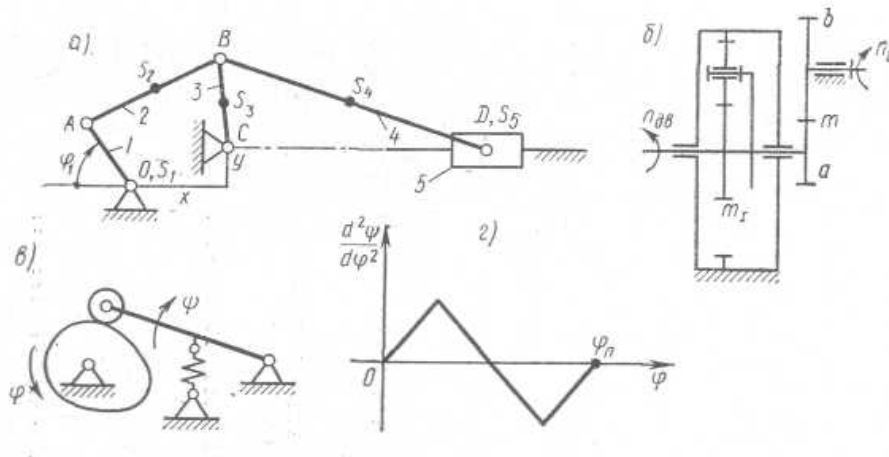


Рис. 5. Механізми коливального конвеєра:

a – важільний механізм переміщення транспортного жолоба; b – планетарна та проста ступені редуктора; $в$ – кулачковий механізм подачі матеріалу на конвеєр; $г$ – закон зміни аналога прискорення коромисла кулачкового механізму.

Таблиця 5

Параметри	Позначення	Одиниці вимірювання	Варіанти числових значень									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розміри ланок важільного механізму $l_{AS2} = 0,5 l_{AB}$; $l_{BS3} = 0,5 l_{BC}$; $l_{BS4} = 0,5 l_{BD}$	l_{OA}	м	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,10	0,12	0,14	0,12	0,10
	L_{AB}	м	0,38	0,46	0,42	0,46	0,28	0,45	0,55	0,53	0,45	0,38
	l_{BC}	м	0,30	0,33	0,35	0,39	0,35	0,40	0,40	0,45	0,38	0,32
	x	м	0,30	0,34	0,32	0,33	0,32	0,35	0,41	0,40	0,35	0,29
	y	м	0,06	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05
	l_{BD}	м	1,40	1,50	1,40	1,50	1,60	1,50	1,50	1,60	1,50	1,30
Частота обертання електродвигуна	$n_{дв}$	об/хв	1200	1360	1460	1350	1260	1260	1580	1470	880	1570
Частота обертання кривошипа 1 і кулачка	$n_1 = n_K$	об/хв	60	68	73	70	63	63	79	74	50	80
Маси ланок важільного механізму	m_2	кг	16	17	18	18	20	18	18	20	18	18
	m_3	кг	20	21	20	20	25	20	22	25	20	20
	m_4	кг	80	90	100	85	100	90	95	100	90	90
	m_5	кг	400	450	500	500	500	400	450	500	450	400
Маса матеріалу, який транспортується	m_M	кг	800	900	900	900	950	800	900	950	900	850
Моменти інерції ланок	$J_{O1} = J_{S3}$	кг м ²	1,0	1,1	1,0	1,2	1,4	1,0	1,2	1,4	1,2	1,0
	J_{S2}	кг м ²	0,4	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4
	J_{S4}	кг м ²	40	42	35	40	38	42	45	35	45	40
	$J_{дв}$	кг м ²	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Сила опору під час руху поршня зліва направо	P_{C1}	кН	1,5	1,4	1,2	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5	1,4
Сила опору під час зворотного руху	P_{C2}	кН	4,0	3,8	3,5	4,0	3,9	4,0	4,0	4,5	4,0	3,5
Коефіцієнт нерівномірності обертання кривошипа	δ	—	0,10	0,09	0,07	0,06	0,08	0,07	0,06	0,08	0,10	0,09
Модуль зубчастих коліс планетарного механізму	m_l	мм	5	4	5	6	5	4	5	6	5	4
Кількість зубів коліс простої передачі рівнозміщеного зачеплення	z_a	—	15	14	16	13	12	14	15	10	12	13
	z_b	—	45	42	48	39	40	45	48	35	36	39
Модуль зубчастих коліс z_a , z_b	m	мм	8	7	9	10	8	7	9	10	8	7
Довжина коромисла кулачкового механізму	l	м	120	110	100	110	120	110	100	110	120	110
Кутовий хід коромисла	$\psi_{\max}$	град	20	22	24	25	24	22	20	22	25	20
Фазові кути повороту кулачка	$\varphi_{\Pi} = \varphi_0$	град	85	60	70	60	80	70	85	65	60	70
	$\varphi_{В.В}$	град	0	40	30	30	10	40	10	50	40	35
Допустимий кут тиску	$\nu_{\text{доп}}$	град	40	35	45	35	40	30	35	30	40	35
Момент інерції коромисла	J_K	кг м ²	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03

Тема 6. Механізми двоступінчастого двоциліндрового повітряного компресора (рис. 6, табл. 6)

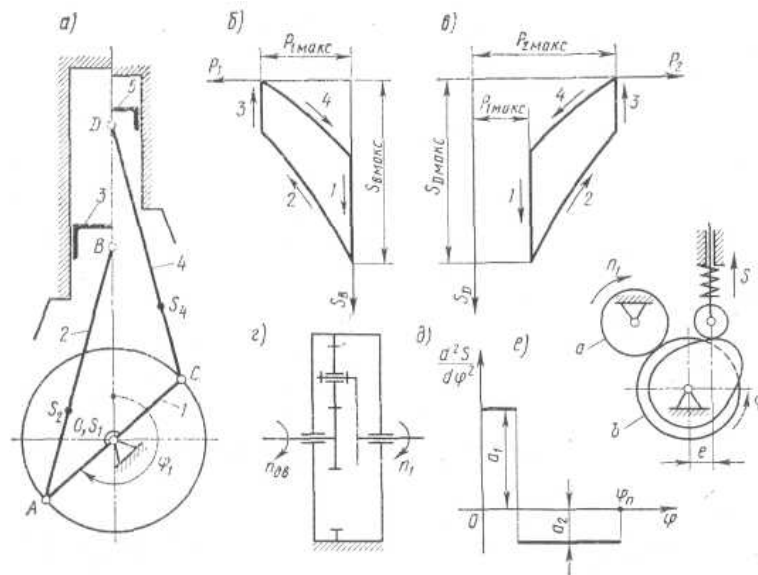


Рис. 6. Механізми двоступінчастого двоциліндрового повітряного компресора:

а – важільний механізм компресора; *б* – індикаторна діаграма I ступені компресора; *в* – індикаторна діаграма II ступені компресора (фази індикаторних діаграм: 1 – всмоктування; 2 – стиск; 3 – нагнітання; 4 – розширення); *г* – схема планетарного редуктора; *д* – закон зміни аналога прискорення штовхача кулачкового механізму; *е* – кулачковий механізм масляного насоса з приводом від зубчастих коліс

Таблиця 6

Параметри	Позначення	Одиниці вимірювання	Варіанти числових значень									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розміри ланок важільного механізму $l_{AS2} = l_{CS4} = l_{AB}/3$	$l_{OA} = l_{OC}$	м	0,14	0,13	0,15	0,12	0,14	0,15	0,14	0,12	0,14	0,13
	$l_{AB} = l_{CD}$	м	0,55	0,52	0,62	0,48	0,59	0,60	0,56	0,50	0,60	0,55
Частота обертання електродвигуна	$n_{дв}$	об/хв	3000	2950	2940	2930	2920	3000	2950	2940	2930	2900
Частота обертання колінчастого вала 1	n_1	об/хв	750	650	655	700	680	600	615	580	600	630
Маси ланок важільного механізму	$m_2 = m_4$	кг	22	26	19	23	22	20	25	22	25	20
	m_3	кг	43	50	40	51	42	40	50	44	52	45
	m_5	кг	26	32	21	36	29	28	35	25	36	30
Моменти інерції ланок	J_{S1}	кг м ²	0,80	0,85	0,78	0,85	0,80	0,75	0,80	0,70	0,78	0,75
	$J_{S2} = J_{S4}$	кг м ²	0,55	0,50	0,60	0,50	0,55	0,60	0,55	0,50	0,60	0,55
	$J_{дв}$	кг м ²	0,10	0,11	0,12	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,09	0,10
Максимальний тиск в циліндрі I ступені	$p_{1\max}$	МПа	0,24	0,25	0,26	0,27	0,30	0,28	0,25	0,27	0,28	0,30
Максимальний тиск в циліндрі II ступені	$p_{2\max}$	МПа	0,80	0,84	0,87	0,90	1,00	0,94	0,84	0,90	0,94	1,00
Діаметри циліндрів:												
I ступені	d_1		0,35	0,37	0,38	0,36	0,31	0,34	0,40	0,38	0,36	0,34
II ступені	d_2		0,20	0,21	0,22	0,20	0,18	0,20	0,23	0,22	0,21	0,18
Коефіцієнт нерівномірності обертання колінчастого вала	δ	—	1/80	1/90	1/100	1/90	1/80	1/90	1/100	1/90	1/80	1/100
Модуль зубчастих коліс планетарного редуктора	m_1	мм	2	3	3	3	2	3	2	3	2	3
Кількість зубів коліс привода масляного насосу	z_a	—	14	13	12	15	13	14	13	12	11	10
	z_b	—	20	19	18	21	18	21	20	19	20	22
Модуль зубчастих коліс z_a, z_b	m	мм	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3
Хід штовхача кулачкового механізму	h	м	20	25	18	20	22	25	18	22	20	25
Позавісність штовхача	e	мм	8	0	10	0	10	8	6	5	0	10
Відношення величин прискорень	a_1/a_2	—	2,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	1,5
Фазові кути повороту кулачка $\varphi_{в.в.}=0$	$\varphi_{п} = \varphi_0$	град	90	110	120	100	105	110	115	120	125	130
Допустимий кут тиску	$\nu_{доп}$	град	20	22	25	24	22	20	22	24	25	20
Маса штовхача	m_T	кг	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,60

Залежність тиску повітря від переміщення поршня (індикаторна діаграма)

Відносне переміщення поршня			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Тиск у циліндрі	I ступінь; рух $p_1/p_{1\max}$	вгору	1,0	1,0	1,0	0,55	0,38	0,27	0,18	0,12	0,08	0,04	0
		вниз	1,0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	II ступінь; рух $p_1/p_{1\max}$	вгору	1,0	1,0	1,0	0,7	0,59	0,5	0,42	0,37	0,34	0,32	0,3
		вниз	1,0	0,54	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Тема 7. Механізми привода глибинного насоса (рис. 7, табл. 7)

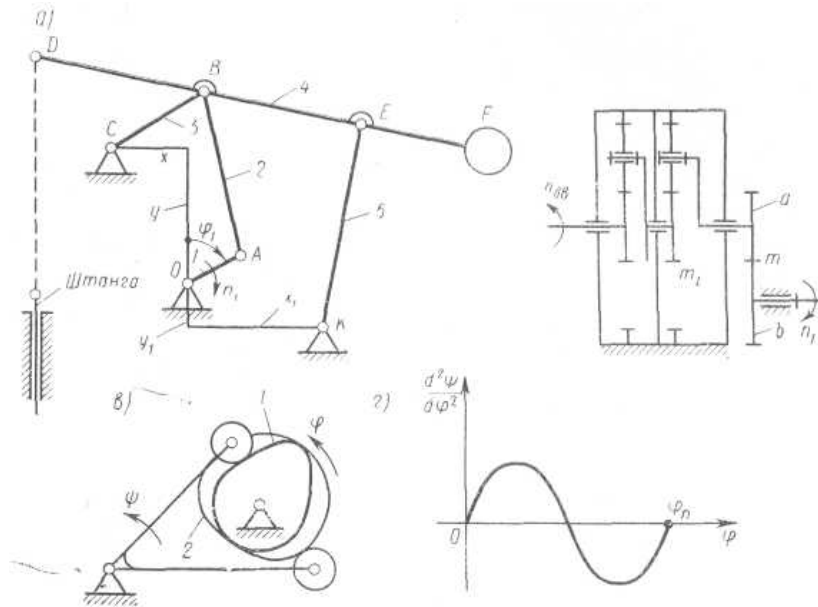


Рис. 7. Механізми привода глибинного насоса:
Тема 7. Механізми привода глибинного насоса (рис. 7, табл. 7)

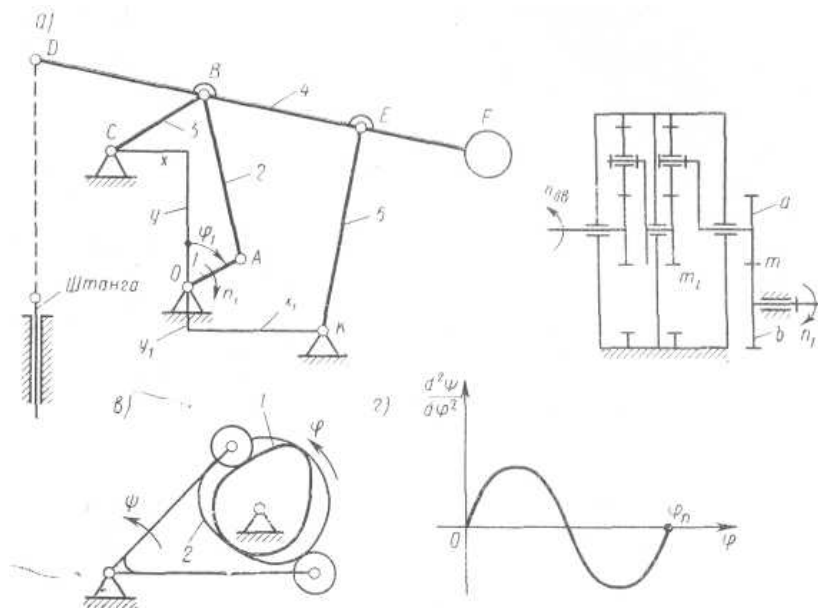


Рис. 7. Механізми привода глибинного насоса:

a – важільний механізм приводу глибинного насоса; *б* – планетарна та проста ступені редуктора; *в* – схема кулачкового механізму (1 – основний кулачок; 2 – допоміжний кулачок); *г* – синусоїдальний закон зміни аналога прискорення коромисла кулачкового механізму

Таблиця 7

Параметри	Позначення	Одиниці вимірювання	Варіанти числових значень									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розміри ланок важільного механізму	l_{OA}	м	0,62 5	0,56	0,50	0,47	0,53	0,58	0,37	0,42	0,31	0,25
	L_{AB}	м	2,5	2,25	2,0	1,87	2,12	2,33	1,5	1,66	1,25	1,0
	l_{BC}	м	1,12	1,01	0,9	0,84	0,95	1,05	0,67	0,74	0,56	0,45
	l_{BD}	м	1,54	1,39	1,23	1,15	1,3	1,44	0,92	1,03	0,77	0,62
	l_{BE}	м	2,14	1,92	1,71	1,6	1,81	2,0	1,28	1,42	1,07	0,86
	L_{EK}	м	2,58	2,32	2,06	1,93	2,19	2,4	1,55	1,72	1,29	1,03
	L_{EF}	м	3,68	3,31	2,94	2,75	3,12	3,43	2,2	2,45	1,84	1,47
	x	м	1,5	1,35	1,2	1,12	1,27	1,4	0,90	1,0	0,75	0,60
	y	м	2,18	1,96	1,74	1,63	1,85	2,03	1,3	1,45	1,09	0,87
	$x_I=y_I$	м	0,94	0,85	0,75	0,70	0,80	0,88	0,56	0,63	0,47	0,38
Частота обертання електродвигуна	$n_{дв}$	об/хв	770	770	1000	1000	770	770	1520	1000	1520	1520
Частота обертання кривошипа 1	n_1	об/хв	8	9	12	13	10	7	20	14	21	24
Сила ваги штанги	$G_{ш}$	кН	40	45	25	20	35	30	15	18	17	12
Сила ваги противаги	G_F	кН	45	50	30	25	40	35	18	20	20	15
Сила ваги рідини, яка піднімається	$G_{ж}$	кН	10	12	10	9	10	8	6	5	6	5
Моменти інерції ланок	J_I	кг м ²	2,0	1,8	1,5	1,3	2,0	2,5	1,0	1,4	0,8	0,5
	$J_{ДВ}$	кг м ²	0,2	0,15	0,15	0,12	0,2	0,2	0,1	0,14	0,1	0,05
Коефіцієнт нерівномірності обертання кривошипа	δ	—	1/10	1/12	1/15	1/15	1/8	1/7	1/20	1/15	1/20	1/20
Модуль зубчастих коліс планетарної ступені редуктора	m_I	мм	3	3,5	4	3,5	3	4	3,5	3	4	3
Кількість зубів коліс простої передачі рівнозміщеного зачеплення	z_a	—	10	12	9	10	12	9	11	12	10	9
	z_b	—	32	34	30	30	35	28	34	36	29	24
Модуль зубчастих коліс z_a, z_b	m	мм	6	7	8	7	6	8	7	6	8	6
Довжина коромисла кулачкового механізму	l	м	120	130	140	150	160	150	140	130	120	170
Кутовий хід коромисла	$\psi_{\max}$	град	25	22	20	18	15	18	20	22	25	15
Фазові кути повороту кулачка	$\varphi_{п} = \varphi_0$	град	50	55	60	55	50	55	60	55	50	60
	$\varphi_{В.В}$	град	120	110	100	100	110	120	90	120	130	80
Допустимий кут тиску	$\nu_{\text{доп}}$	град	35	40	45	40	35	40	45	40	35	30

Тема 8. Механізми дизель-повітрядувної установки (рис. 8, табл. 8)

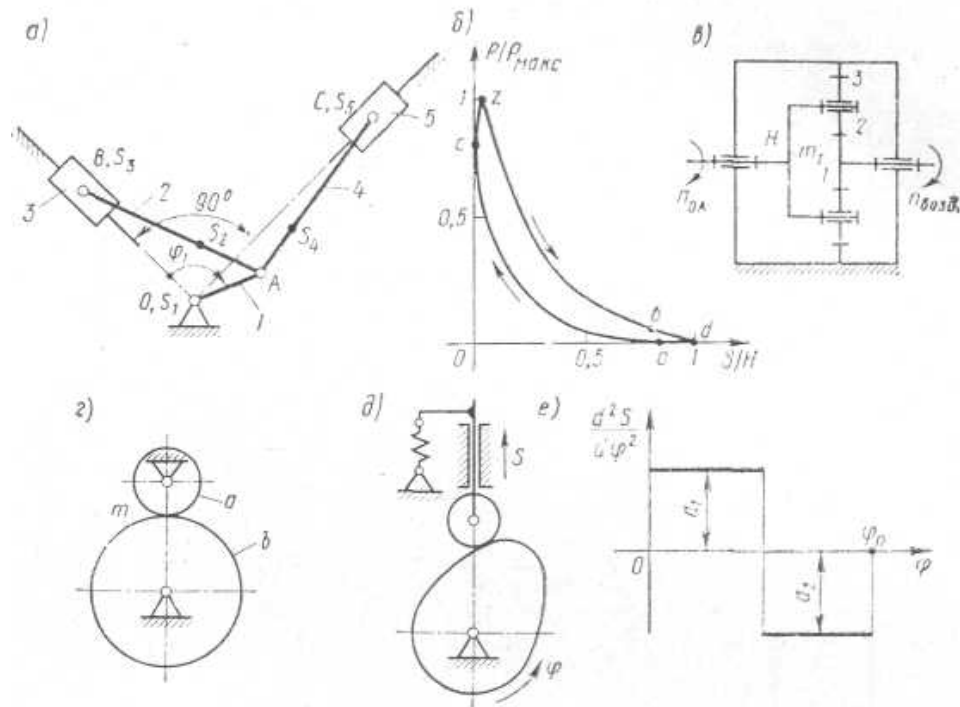


Рис. 8. Механізми дизель-повітрядувної установки:

a – важільний механізм V-подібного двотактного двигуна внутрішнього згоряння; *б* – індикаторна діаграма двигуна (фази індикаторної діаграми: *ac* – стиск; *czb* – згоряння і розширення; *bda* – випуск і продування); *в* – схема планетарного механізму приводу повітрядувки; *г* – схема стартерної зубчастої передачі; *д* – схема кулачкового механізму; *е* – закон зміни аналога прискорення штовхача кулачкового механізму ($a_1 = a_2$).

Таблиця 8

Параметри	Позна-чення	Одиниці вимірювання	Варіанти числових значень									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розміри ланок важільного механізму $l_{AS2} = l_{AS4} = l_{AB}/3$	l_{OA}	м	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,09
	$l_{AB}=l_{AC}$	м	0,32	0,30	0,36	0,28	0,33	0,29	0,36	0,31	0,34	0,38
Частота обертання кривошипа 1 і кулачка	$n_1=n_K$	об/хв	2200	1900	2100	1800	2000	2100	1800	2000	1900	2200
Маси ланок	$m_2=m_4$	кг	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,3	3,0	2,8	2,6	2,5
	$m_3=m_5$	кг	2,7	3,0	3,3	3,6	3,6	3,6	3,3	3,0	2,8	2,7
Моменти інерції ланок	J_{S1}	кг м ²	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12
	$J_{S2}=J_{S4}$	кг м ²	0,05	0,07	0,07	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05
	$J_{\text{вобд}}$	кг м ²	0,26	0,20	0,16	0,14	0,12	0,14	0,16	0,20	0,26	0,18
Максимальний тиск у циліндрах двигуна	$p_{\text{макс}}$	МПа	6,0	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1	6,6	6,4	6,0
Діаметр циліндрів	d	м	0,10	0,12	0,10	0,09	0,11	0,09	0,11	0,10	0,12	0,09
Коефіцієнт нерівномірності обертання колінчастого вала	δ	—	1/10 0	1/11 0	1/12 0	1/11 0	1/10 0	1/90	1/80	1/90	1/10 0	1/12 0
Число зубів коліс приводу масляного насоса рівнозміщеного зачеплення	z_a	—	10	10	9	8	8	9	10	10	9	8
	z_b	—	26	28	27	26	28	25	27	30	26	27
Модуль коліс стартерної передачі та планетарного механізму	$m=m_1$	мм	2,5	3	3	3	3,5	3	2,5	3	3,5	3
Передаточне відношення планетарного механізму привода	u_{HI}	—	1/3	1/3,5	1/4	1/4,5	1/5	1/4,5	1/4	1/3,5	1/3	1/5
Хід штовхача кулачкового механізму	h	м	9	10	11	12	13	12	11	10	9	12
Фазові кути повороту кулачка $\varphi_{в.в.}=0$	$\varphi_{\text{п}} = \varphi_0$	град	77	74	70	67	63	65	70	75	80	65
Допустимий кут тиску	$\nu_{\text{доп}}$	град	24	25	26	28	30	27	26	25	30	28
Маса штовхача	m_T	кг	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4

Залежність тиску газу в циліндрі двигуна від переміщення поршня (індикаторна діаграма)

Переміщення поршня (в частинах ходу H)		s/H	0	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Тиск газу (в частинах $P_{\text{макс}}$)	$P/P_{\text{макс}}$	Рух поршня вниз	0,8	1,0	0,79	0,55	0,34	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,06	0,02	0
		Рух поршня вгору	0,8	0,5	0,35	0,22	0,12	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01	0,003	0	0

Циклограма двигуна

Циліндри	Кут повороту колінчастого вала, град			
	0	90	180	270 360
Лівий	Стиск		Розширення	
Правий	Розширення	Стиск		Розширення