

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ХАРКІВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ТАНКОВИХ ВІЙСЬК
ІМЕНІ ВЕРХОВНОЇ РАДИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ, РЕАКЦІЙ В КІНЕМАТИЧНИХ
ПАРАХ ТА НЕРІВНОМІРНОСТІ РУХУ МАШИНИХ АГРЕГАТІВ**
Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційних робіт з дисципліни
“Теорія механізмів та машин” за напрямком 0902 “Інженерна механіка”

Затверджено
нач. інституту,
як методичні рекомендації

Харків 2004

В даних методичних вказівках приведені загальні положення, рекомендації та вимоги щодо виконання та оформлення кваліфікаційної роботи на звання бакалавра. В додатках до даних методичних вказівок приведені завдання до кваліфікаційних робіт (додаток А), розглянуто приклад виконання кваліфікаційної роботи бакалавра, в якому досліджується кінематика та динаміка двигуна із горизонтальним розташуванням циліндрів, коробка зміни передач і кулачковий механізм газорозподілу (додаток Б), графічна частина кваліфікаційної роботи (додаток В), таблиці асинхронних короткозамкнених трифазних електродвигунів серії 4А (додаток Г), а також програмний модуль із питань дослідження механізмів (на алгоритмічній мові ПАСКАЛЬ) (додаток Д).

Матеріали, викладені в додатках, повинні допомогти курсантам ХІТВ успішно виконати кваліфікаційну роботу на звання бакалавра.

М. А. Ткачук, О. Г. Янчик, В. Б. Зеленський, З. С Сафонова. “Теорія механізмів і машин” за напрямком 0902 “Інженерна механіка”. - Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційних робіт з дисципліни “Теорія механізмів і машин” за напрямком 0902 “Інженерна механіка”. - Харків, НТУ ”ХПІ” - 2004 р., 76 с.

Кафедра теорії механізмів, машин і роботів

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	5
1. Методичні основи розробки і підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра.....	5
2. Методичні рекомендації з розробки кваліфікаційної роботи бакалавра.....	6
3. Державна атестація. Захист кваліфікаційної роботи бакалавра.....	9
4. Методичні рекомендації до розробки розгорнутого плану (плану-проспекту) кваліфікаційної роботи.....	10
5. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра.....	11
6. Спеціальні завдання до виконання кваліфікаційної роботи.....	13
Додаток А. Завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра.....	14
Додаток Б. Приклад виконання кваліфікаційної роботи бакалавра.....	18
Додаток В. Графічна частина кваліфікаційної роботи бакалавра.....	45
Додаток Г. Асинхронні короткозамкнені трифазні електродвигуни серії 4А основного виконання ГОСТ 19523 – 74.....	49
Додаток Д. Програмний модуль з питань дослідження механізмів (на алгоритмічній мові ПАСКАЛЬ).....	52

ВСТУП

Відповідно до Концепції військової освіти в Україні, яка затверджена Постановою Кабінету Міністрів України №1410 від 1.12.1997 року, підготовка військових фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів повинна відповідати вимогам державних стандартів освіти як нормативної бази функціонування системи вищої освіти та передбачати державну атестацію курсантів і слухачів, а також отримання ними державних документів про вищу освіту [1].

Державна атестація курсантів (слухачів) вищих військових навчальних закладів Міністерства оборони України здійснюється екзаменаційними комісіями (ДЕК) після завершення навчання на даному освітньо-кваліфікаційному рівні. Головною метою державної атестації курсантів і слухачів є встановлення відповідності фактичного рівня їхньої освітньої та професійної (фахової) підготовки вимогам державних стандартів вищої освіти та реалізації права випускників на отримання державних документів про вищу освіту. Основою процедури державної атестації є контроль якості вищої освіти.

Для підвищення якості кваліфікаційних робіт бакалавра за напрямком "Інженерна механіка" і підготовлені "Методичні рекомендації...". В "Методичних рекомендаціях..." розглянуті питання підготовки, оформлення і захисту кваліфікаційної роботи бакалавра, питання, які допоможуть курсантам вирішувати не тільки задачу першого етапу проектування пристроїв, що використовуються у військовій техніці, а й проводити наукові дослідження. Розглянутий типовий приклад оформлення розрахунково-пояснювальної записки, велика кількість графічного матеріалу, необхідний довідковий матеріал покликані допомогти курсантам за визначений термін якісно підготуватися та успішно пройти державну атестацію. Крім того, наведені необхідні рекомендації з дослідження машинного агрегату методами теорії механізмів та машин, зауваження до проведення наукових досліджень, рекомендації з використання електронно-обчислювальної техніки при розробці кваліфікаційної роботи.

"Методичні рекомендації..." розроблено на підставі чинного законодавства України. У розробці були враховані сучасні науково-методичні підходи, досвід кафедри теорії механізмів, машин та роботів НТУ з підготовки кваліфікаційних робіт до державної атестації за напрямком 0902 "Інженерна механіка".

Авторський колектив сподівається, що запропоновані "Методичні рекомендації..." допоможуть і курсантам і викладацькому складу більш чітко організувати роботу з підготовки кваліфікаційних робіт, що буде сприяти підвищенню їх якості.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Методичні основи розробки і підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота бакалавра є завершальним етапом засвоєння курсантами освітньо-професійної програми підготовки бакалавра з напрямку 0902 "Інженерна механіка" за спеціальністю 7.090281 "Озброєння та техніка танкових військ" і передбачає:

систематизацію, закріплення, розширення теоретичних знань, умінь та практичних навичок із напряму підготовки;

розвиток навичок самостійної роботи під час вирішення складних задач, оволодіння методикою організації та проведення наукових досліджень;

установлення рівня підготовленості курсанта до самостійної роботи згідно з майбутньою спеціальністю.

Теми кваліфікаційних робіт розроблені кафедрою "Теорія механізмів, машин та роботів" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" за участю начальника інженерного факультету Інституту танкових військ, розглянуті на засіданнях кафедри та раді інженерного факультету, затверджені ректором НТУ і начальником Інституту танкових військ.

Тематика кваліфікаційних робіт відповідає сучасному стану науки і техніки.

Теми кваліфікаційних робіт вибираються курсантами самостійно з урахуванням рекомендацій кафедри.

Закріплення тем за курсантами та визначення керівників кваліфікаційних робіт здійснюються спільним наказом НТУ і Інституту танкових військ.

Після отримання завдання на виконання кваліфікаційної роботи курсант приступає до роботи з організації дослідження і підготовки до захисту отриманих результатів.

У роботі курсантів із виконання кваліфікаційної роботи, як правило, виділяються **три етапи**.

1.1. Змістом **першого** етапу є:

- вибір і затвердження теми кваліфікаційної роботи, затвердження керівника;
- вивчення (оцінка) об'єкту дослідження (визначення вихідних даних, усвідомлення завдання);
- виявлення проблеми і визначення мети та суті дослідження;
- формування мети дослідження (переліку розрахункових, графічних та інших документів, а також документів, що підлягають розробці та оцінці);
- визначення можливих варіантів вирішення поставлених задач і вибір найбільш доцільних;
- розробка і затвердження у керівника календарного плану виконання кваліфікаційної роботи.

Розробити календарний план рекомендується через 10-15 днів після отримання завдання /І/. Виходячи з тематики запропонованих кваліфікаційних робіт, наводимо варіант можливого календарного плану (таблиця 1.1).

Крім того, на цьому етапі підбирається необхідна література, складаються заявки на матеріально-технічне забезпечення експериментальних досліджень. Наприклад, заявка на використання обчислювальної техніки для проведення наукових досліджень.

1.2. Другий етап - безпосереднє виконання кваліфікаційної роботи, що включає:

- вибір методів дослідження;
- розробка та затвердження у керівника розгорнутого плану, (плану-проекту) кваліфікаційної роботи.

1.3. Третій етап - завершальний. Основними завданнями цього етапу є:

- оформлення кваліфікаційної роботи (текстового - 40-60 сторінок, графічного компонентів - 3-4. граф. одиниць формату А1);
- подання кваліфікаційної роботи на відгук керівнику;
- подання кваліфікаційної роботи з відгуком керівника, завідувачу кафедри для прийняття рішень щодо допуску її до захисту, - подання кваліфікаційної роботи на рецензію;
- підготовка доповіді та ілюстрованих матеріалів до захисту;
- захист кваліфікаційної роботи в ДЕК (Попередньо курсант може пройти апробацію захисту на кафедрі).

2. Методичні рекомендації з розробки кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота бакалавра - це підсумкова робота курсанта. Її підготовка та захист є важливим етапом навчання, який дає право курсанту отримати кваліфікацію "бакалавра".

Кваліфікаційна робота бакалавра є продовженням та поглибленням курсового проекту, що виконувався з курсу "Теорія механізмів і машин".

На відміну від курсового проекту, кваліфікаційна робота бакалавра виявляє рівень професійної підготовки курсанта, який забезпечується засвоєнням ряду професійно-орієнтованих і спеціальних дисциплін, визначених професійно-орієнтованим напрямом його підготовки.

У кваліфікаційній роботі бакалавра курсант повинен продемонструвати вміння використовувати отримані теоретичні знання і практичні навички, логічно викладати свої погляди за темою дослідження на підставі сучасних методів, робити обґрунтовані висновки і формулювати конкретні пропозиції та рекомендації.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконується індивідуально, відповідно до затвердженої тематики.

Конкретний зміст роботи визначається темою, проблемою, яку необхідно вирішити в рамках ідеї роботи, вибраною методикою дослідження та іншими факторами, які покладені в основу дослідження.

Виходячи з цього, доцільно спрямувати дослідження в кваліфікаційній роботі на аналіз, оцінку, узагальнення, прогнозування, розробку методики (проекування чи розробки перспективних конструкцій об'єкта (або його складових)).

«Затверджую»

Керівник кваліфікаційної роботи
(проекту)

_____ (посада)

_____ (підпис прізвище)

« _____ » _____ 200_ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної роботи бакалавра
курсанта _____ навчальної групи
_____ курсу _____ факультету

_____ (військове звання, прізвище, ім'я та по батькові)

№ з.п.	Основні заходи щодо розробки, навчання та написання роботи	Термін виконання (тиждень навчального року)	Відмітка про виконання	Примітка (питома вага %)
1	2	3	4	5
1.	Вивчення об'єкту, визначення мети та суті дослідження, підбір необхідної літератури	18-19		3
2.	Геометричний синтез головного механізму і його кінематичне дослідження	28		17
3.	Силове дослідження головного механізму та визначення його ККД	30, 31		15
4.	Розрахунок зубчастої передачі і синтез зачеплення	31		10
5.	Обчислення зведених сил і зведених моментів інерції. Вибір електродвигуна	32		5
6.	Синтез кулачкового механізму	33		10
7.	Дослідження усталеного руху машинного агрегату	36		15
8. *)	Виконання дослідницької частини	38		15
9.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	39		6
10.	Підготовка до захисту	40		4

*) Виконання дослідницької частини може проводитися паралельно з іншими етапами роботи

Курсант

_____ (військове звання, прізвище, ім'я та по батькові курсанта)

_____ (підпис)

« _____ » _____ 200_ р.

Завдання проектування механізмів, як і більшість інших інженерних за-

вдань, є оптимізаційними. У бакалаврській роботі слід показати використання методів оптимізації, проаналізувавши вибір критеріїв оптимальності, та пояснити необхідність компромісних розв'язувань, оформити типові функціональні, міцнісні та технологічні обмеження.

У кожній кваліфікаційній роботі бакалавра необхідно:

- висвітити теоретичну сторону проблеми, що розглядається, показати те нове, що з'явилося останнім часом у науковій літературі та практиці з даного питання;
- всебічно проаналізувати стан (параметри) об'єкта, що досліджується, для виявлення резервів і напрямків підвищення ефективності його діяльності;
- розробити та обґрунтувати пропозиції щодо вдосконалення структури, взаємодії елементів об'єкта, що досліджується;
- провести розрахунок економічної доцільності запропонованих рішень;
- дати оцінку запропонованих рішень із точки зору захисту навколишнього середовища та охорони праці.

Структура кваліфікаційної роботи може включати, як варіант /I/:

- вступ;
- три глави (розділи);
- висновки;
- список літератури, що використовувалась

У вступі, який не повинен перебільшувати 10% текстової частини роботи, обґрунтувати вибрану тему, її місце та роль у сучасних дослідженнях, дати оцінку наукової новизни і практичної цінності дослідження, зробити огляд літератури, що використовувалася (особливо останніх видань), показати структуру роботи та її окремих глав (розділів).

У першій главі (розділі), як правило, викладаються основні теоретичні положення проблеми, що досліджується, відображаються нові розробки (погляди) з даного питання. Викладені теоретичні положення мають сприяти вибору методів і способів аналізу, а також напрямів пошуку підвищення ефективності функціонування об'єкта, що досліджується.

У другій главі (розділі), відповідно до поставленої мети та завдання кваліфікаційної роботи бакалавра, як правило, робиться аналіз об'єкта дослідження і його суттєвих параметрів за вибраною методикою і виявляються невідповідності між розрахунковим та потрібним станом об'єкта. При цьому уважно підбирають критерії (показники), а для аналізу вибирають такі з них, які найбільш повно та конкретно характеризують об'єкт, і можуть бути використані для виконання розрахунків та формулювання висновків у наступних частинах кваліфікаційної роботи. Вибрані критерії (показники) мають бути критично оцінені тому, що вони будуть покладені в основу пропозицій і рекомендацій, які є гаданими компонентами третьої глави (розділу) кваліфікаційної роботи бакалавра.

У третій главі (розділі) кваліфікаційної роботи бакалавра пропонуються

заходи для вирішення проблеми дослідження і даються оцінки ефективності, яка очікується у діяльності об'єкта після реалізації цих заходів. Пропозиції мають базуватися на теоретичних засадах, бути чітко висловленими, реальними і мати практичну вагомість. При обґрунтуванні цих пропозицій необхідно виходити, в першу чергу, з державних (відомчих) інтересів. Важливо також дати фінансово-економічне обґрунтування заходів, що пропонуються для втілення, показати ефективність їх вживання, переваги над традиційними. У висновках коротко підбиваються підсумки зведеного дослідження, вказуються ступінь досягнення мети і виконання завдань, які були поставлені перед кваліфікаційною роботою.

3. Державна атестація. Захист кваліфікаційної роботи бакалавра.

Державна атестація курсанта проводиться з метою виявлення відповідності рівня професійної підготовки курсанта вимогам освітньо-кваліфікаційної характеристики і здійснюється Державною екзаменаційною (атестаційною) комісією (ДЕК) в складі 3-5 осіб. Голова комісії призначається наказом Міністра освіти і науки України. Члени комісії призначаються наказом ректора.

ДЕК за підсумками захисту курсантом кваліфікаційної роботи приймає рішення про присудження курсанту кваліфікації бакалавра з інженерної механіки.

Графік роботи ДЕК визначається розкладом захисту, який розробляється та погоджується з навчальною частиною факультету інституту, кафедрою, за місяць до захисту затверджується проректором із навчальної роботи. У день захисту в графік включається не більш 6-7 чоловік на одну комісію.

Не пізніше, як за добу до захисту кваліфікаційної роботи бакалавра члени комісії знайомляться зі змістом роботи, письмовим відгуком керівника і рецензією.

Захист відбувається на відкритому засіданні.

Тривалість захисту кваліфікаційної роботи, як правило, не повинна перевищувати 40 хвилин. Для розкриття змісту кваліфікаційної роботи курсанту надається до 20 хвилин.

У доповіді курсанта (слухача) під час захисту кваліфікаційної роботи бакалавра коротко викладається:

- вступ, тема та цільова настанова, актуальність та структура роботи (до 2хв.);
- умови та обмеження, що прийняті в роботі (до 2хв.);
- методика дослідження (до 2хв.);
- змістовна частина кожного з основних питань, що підлягали дослідженню (до 10 хв.);
- висновки і рекомендації з усієї роботи та пропозиції щодо їх застосування (до 4 хв.).

Підсумки захисту визначаються оцінками "відмінно", "добре", "задовільно", "незадовільно".

Рішення комісії за підсумками захисту кваліфікаційної роботи про присудження курсанту кваліфікації бакалавра приймається відкритим голосуванням зви-

чайною більшістю голосів членів комісії, які брали участь в засіданні. Якщо голоси поділилися порівну, то вирішальне значення має голос голови комісії.

У разі, якщо захист курсантом кваліфікаційної роботи не відповідає вимогам державної атестації, комісія приймає рішення про неатестацію курсанта, про що робиться запис в протоколі засідання.

Курсант, який отримав незадовільну оцінку із захисту кваліфікаційної роботи бакалавра, не допускається для подальшого навчання. Він має право на повторну атестацію в наступний термін роботи ДЕК.

4. Методичні рекомендації до розробки розгорнутого плану (плану-проспекту) кваліфікаційної роботи

Для розробки розгорнутого плану кваліфікаційної роботи не існує якоїсь визначеної наперед форми, але цей план повинен сприяти послідовності, логічності і чіткості викладання змісту роботи.

Для роботи над запропонованою тематикою кваліфікаційних робіт, пов'язаних із дослідженням головного механізму та нерівномірності руху машинних агрегатів, які використовуються у військовій техніці, розгорнутий план, як правило, має наступні елементи:

4.1. Вступ.

У цьому розділі доцільно обґрунтувати актуальність теми, викласти цільову настанову, дати опис конструкції і принцип роботи машинного агрегату, характер і вид навантаження, описати кінематичну схему та вихідні дані для дослідження кінематики, реакцій в кінематичних парах та нерівномірності руху машини.

4.2. Огляд проблеми.

Під час викладання огляду і поставленої в роботі проблеми, можна, наприклад, розглянути такі питання, як етапи розвитку проблеми, що досліджується, її опрацювання і сучасний стан. Коректний огляд дозволяє виявити певні закономірності, принципи і способи застосування. Такий огляд у подальшому допоможе більш повно розкрити ті чи інші питання дослідження.

4.3. Основна частина досліджень.

Цей розділ є головним елементом розгорнутого плану. При виконанні кваліфікаційної бакалаврської роботи вирішуються наступні етапи:

1. Кінематичне дослідження головного механізму машинного агрегату.
2. Синтез зубчастої передачі. Розгляд двох варіантів схем зубчастої передачі: редуктора з нерухомими осями зубчастих коліс та редуктора з застосуванням планетарної передачі.
3. Силовий аналіз головного механізму, обчислення зведених сил та зведених моментів інерції машинного агрегату. Визначення коефіцієнта корисної дії механізму та машинного агрегату в цілому.
4. Вибір електродвигуна та дослідження руху початкової ланки головного механізму на усталеному режимі.

5. Синтез кулачкового механізму.

6. Визначення технічного рівня машинного агрегату.

Далі слід висвітлити дослідницьку частину кваліфікаційної роботи. Звичайно, проблеми, що досліджуються, в цілому або їх частини, вже розглядалися або вирішувалися в науково-дослідних, проектних та інших установах. У цьому випадку необхідно зазначити нові питання дослідження, якими можуть бути:

- вибір та обґрунтування більш повних показників стану об'єкта дослідження;
- застосування інших, більш ефективних способів дослідження проблеми;
- застосування нових, більш адекватних і повних математичних моделей об'єкта дослідження;
- застосування електронно-обчислювальної техніки для дослідження проблеми.

Детальне розкриття основних питань дослідження в розгорнутому плані дозволить зробити хоч і попередні, але такі висновки, які в результаті дослідження можуть бути підтверджені. Їх визначення і формування вже на початку роботи над кваліфікаційною роботою примушує курсанта замислитися над тим, що ж нового в кінцевому результаті можна досягти проведенням цього дослідження і його ж реалізацією далі. Наявність попередніх висновків дозволяє побудувати в розгорнутому плані структуру закінчення і покласти ці висновки в основу опису досягнутих результатів дослідження.

Зрозуміло, що в розгорнутому плані важко сформулювати усі питання, особливо ті, що належать до закінчення, але орієнтовне їх визначення, без сумніву, необхідне. Розгорнутий план забезпечує послідовність викладення результатів дослідження, їх чіткий і логічний розвиток.

4.4. Закінчення (загальні висновки).

У закінченні (загальних висновках) розгорнутого плану повинні відбиватися найбільш суттєві наукові результати, ступінь їх достовірності і новизни, значення для теорії і практики та рекомендації щодо їх використання.

Детально розроблений розгорнутий план дозволяє визначити наукові результати, що очікуються, виключити безпідставні відхилення від поставленої мети та задач.

5. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційної роботи

Усі матеріали, що входять до складу кваліфікаційної роботи, виконуються особисто курсантом.

Розробка кваліфікаційної роботи включає проектування машинного агрегату і його дослідження або окремих його частин.

Усі розробки виконуються з використанням чернетки. Чернетка повинна бути зрозумілою, чітко і розбірливо написаною. Це має велике значення для вірного рішення окремої задачі і якісної консультації щодо неї. Рекомендується чернетку вести в зошиті (блокноті), записи робити олівцем, чітко й акуратно. На внутрішній стороні обкладинки чернетки накреслити кінематичну схему проектного об'єкта

і виписати вихідні дані для розрахунку. Аркуші чернетки заповнювати з одного боку, окресливши праворуч поле шириною 50 мм для заміток і вказівок керівника.

Рішення задач вести у визначеній послідовності, без пояснювального й описового тексту. Відповідна формула виписується в літерних позначеннях величин, які входять до неї, з наступним обчисленням. Розрахунки вести в прийнятій системі обчислювань, з достатньою точністю. Зворотня (ліву) сторону аркушів чернетки використовувати для чорнових креслень та обчислень. До обчислень треба ставитись сумлінно й уважно, пам'ятаючи про те, що допущені математичні помилки на окремих етапах призводять до помилкового виконання наступних етапів і, як результат, до значної роботи з їх виправлення.

Поля виконання всіх етапів кваліфікаційної роботи записи чернетки використовуються для оформлення (з оптимізацією змісту) розрахунково-пояснювальної записки (РПВ).

Оформлення РПВ здійснюється відповідно до вимог ведення діловодства та єдиної системи, конструкторської документації (ЄСКД). Оптимальний обсяг кваліфікаційної роботи без додатків і списку літератури сягає близько 40-50 сторінок.

Матеріали слід розташовувати у наступному порядку:

- 1 – титульний аркуш;
- 2 – завдання на кваліфікаційну роботу;
- 3 – зміст кваліфікаційної роботи;
- 4 – вступ;
- 5 – основна частина кваліфікаційної роботи з таблицями, схемами, рисунками та іншими наочними матеріалами;
- 6 – закінчення;
- 7 – список літератури, що використалася,
- 8 – додатки.

Усі сторінки кваліфікаційної роботи, а також схеми, таблиці і додатки мають бути пронумеровані.

Текстова частина кваліфікаційної роботи повинна бути написана (надрукована) через два інтервали на аркушах формату А4 (210x297 мм) тільки на непарній сторінці. При цьому необхідно на аркушах залишати поля: зліва - 30, справа - не менш ніж 10 мм, зверху та знизу по 20 мм.

Креслення, графіки, малюнки, схеми, таблиці та інші ілюстровані матеріали повинні виконуватися на стандартних аркушах (А4), мати специфікації з умовними позначеннями, шрифтами і масштабами, які повинні відповідати вимогам діючих державних стандартів (ГОСТ), наказів, керівництв та інших керівних документів Міністерства оборони України.

До списку використаної літератури який має заголовок "Література", заносяться всі літературні джерела, на які є посилання в роботі.

Літературні джерела в списку наводяться в алфавітному порядку, при цьому

спочатку вказують бойові документи, положення, керівництва, настанови, а потім підручники, навчальні посібники, статті тощо.

До кожного літературного джерела вказуються ініціали та прізвище автора (авторів), найменування видавництва, місто і рік видання.

6. Спеціальні завдання до виконання кваліфікаційної роботи

Спеціальні завдання з дослідження окремих питань при виконанні кваліфікаційної бакалаврської роботи пов'язані суто з проблемами теорії механізмів і машин. Метою цих завдань є установлення рівня самостійної наукової роботи курсанта.

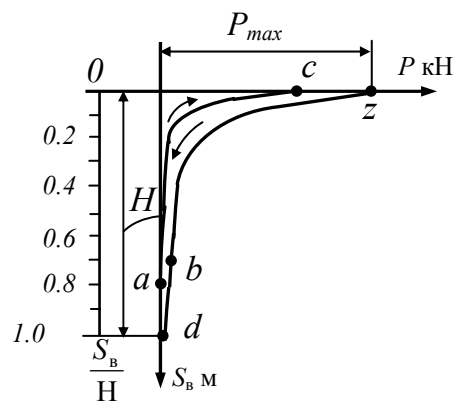
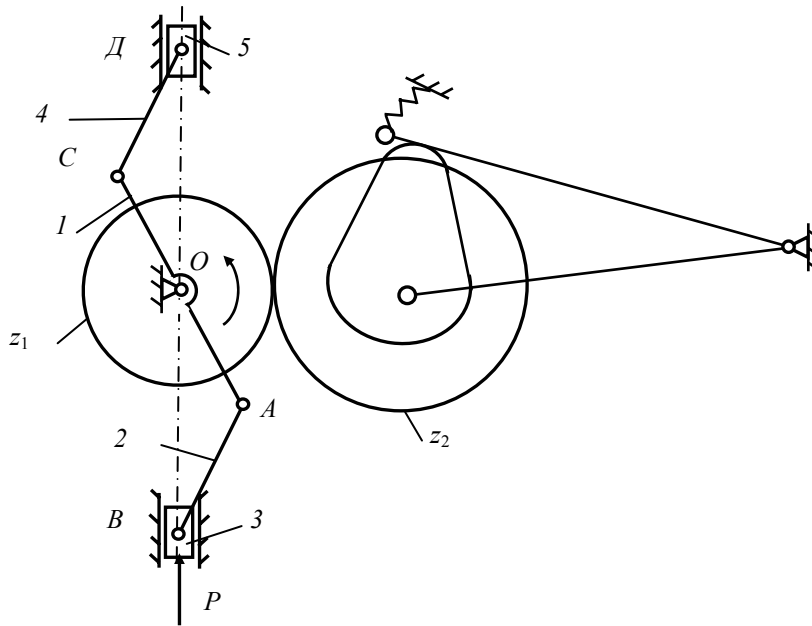
Нижче подається орієнтований перелік спеціальних завдань:

1. Дослідження впливу законів руху вихідної ланки кулачкового механізму на габарити кулачка.
2. Порівняльне дослідження нерівномірності руху машинного агрегату на усталеному режимі за різними методиками.
3. Визначення профіля кулачка кулачкового механізму у полярних координатах за допомогою ЕОМ.
4. Застосування ЕОМ для дослідження нерівномірності руху машинного агрегату на усталеному режимі.

Керівниками кваліфікаційних робіт можуть бути сформульовані й інші спеціальні завдання, пов'язані з тематикою кваліфікаційної роботи.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

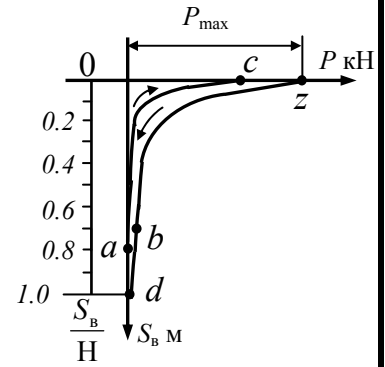
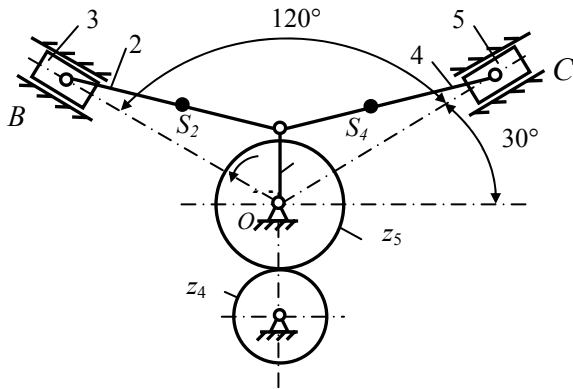
Дизель-електричний агрегат танка Т84



ac – стискання
 cz – горіння,
 zb – розширення,
 bda – вихлоп і продування

Параметр	Один. вим.	Теми				Параметр	Один. вим.	Теми			
		1	2	3	4			1	2	3	4
n_1	об\хв	4100				m	мм	5,0			
$n_{ген}$	об\хв	2200	2300	2400	2300	P_{max}	кН	24,2	22,7	25,6	26
$l_{OA}=l_{OC}$	м	0,04	0,036	0,039	0,041	δ		0,08	0,09	0,01	0,085
$l_{AB}=l_{CD}$	м	0,129	0,131	0,129	0,125	$\varphi_B=\varphi_3$	град	66	60	70	75
$l_{AS_2}=l_{CS_4}$	м	0,036	0,04	0,04	0,037	N		1	2	3	4
$m_2=m_4$	кг	0,95	0,96	0,94	0,90	$\Delta\Psi$	град	10			
$m_3=m_5$	кг	0,7	0,66	0,65	0,74	φ_d	град	0			
$I_{S_2}=I_{S_4}$	кг·м²	0,008									

V- подібний двигун для силової установки БМП-2

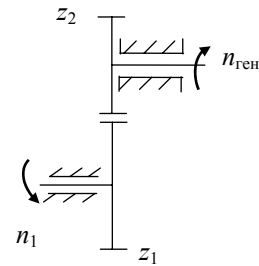
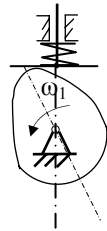


ac – стискання

cz – горіння,

zb – розширення,

bda – вихлоп і продування



Параметр	Один. вим.	Теми				Параметр	Один. вим.	Теми			
		1	2	3	4			1	2	3	4
n_1	об\хв	1800	1750	1800	1850	I_{S_4}	кг·м ²	0,03	0,02	0,02	0,03
$n_{ген}$	об\хв	2800				P_{max}	кН	146	142	148	158
l_{OA}	м	0,084	0,082	0,086	0,08	δ		0,012	0,014	0,01	0,016
$l_{AB} = l_{CD}$	м	0,244	0,244	0,244	0,250	m	мм	5			
$l_{AS_2} = l_{CS_4}$	м	0,122	0,122	0,122	0,125	z_1		20	24	26	20
m_2	кг	6,1	6,2	6,0	6,25	N		2	3	2	1
m_3	кг	3,8	3,8	3,9	3,7	h	м	0,012	0,014	0,015	0,014
m_4	кг	1,8	1,8	1,8	1,9	φ_B	град	80	62	60	70
m_5	кг	3,8	3,8	3,9	3,7	φ_3	град	80	62	60	70
I_{S_2}	кг·м ²	0,09	0,07	0,08	0,10	φ_d	град	10	20	18	16

Двотактний турбопоршневий двигун

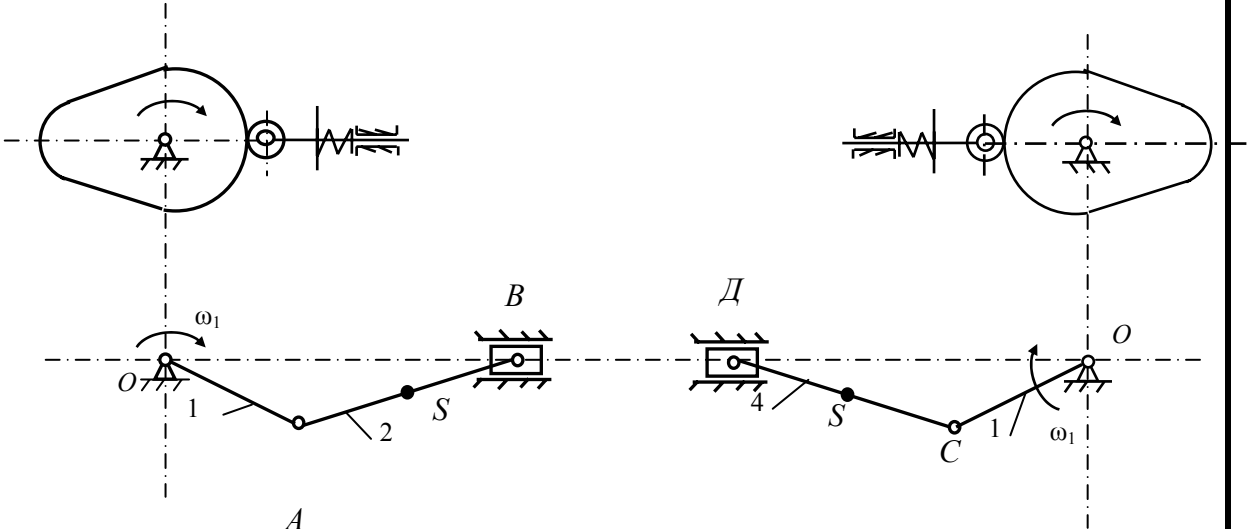
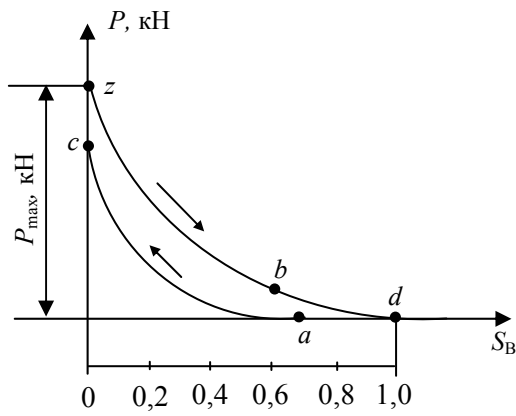


Рис. 1



ac – стискання,
 cz – горіння,
 zb – розширення,
 bda – вихлоп і продування.

Рис. 2

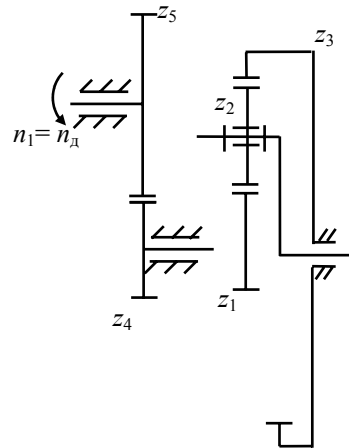
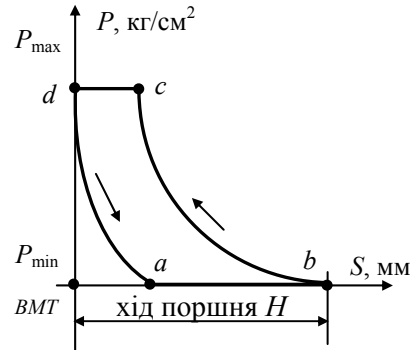
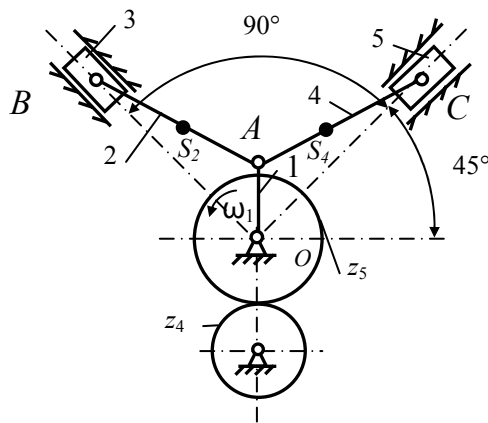


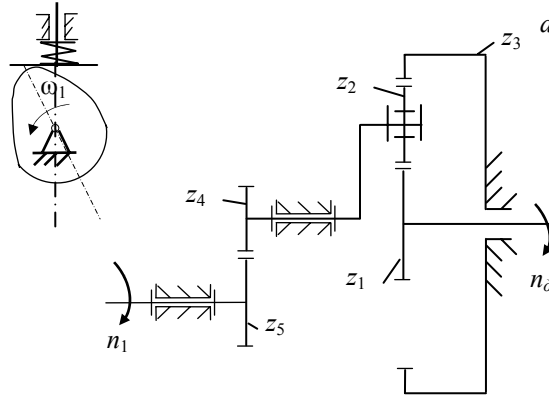
Рис. 3

Параметри	Один. виміру	Варіанти				Параметри	Один. виміру	Варіанти			
		1	2	3	4			1	2	3	4
$n_1 = n_d$	об/хв	2800	2850	2820	2750	m	мм	4			
$l_{OA} = l_{OC}$	м	0,055	0,06	0,061	0,06	z_1		24	30	18	19
$l_{AB} = l_{CD}$	м	0,2	0,21	0,22	0,2	z_2		36	45	27	29
$l_{AS_2} = l_{AS_4}$	м	0,6				z_3		96	120	72	77
$m_2 = m_4$	кг	1,8	1,9	2,0	1,9	z_4		10	11	9	11
$m_3 = m_5$	кг	3,7	3,8	3,9	3,7	z_5		20	22	18	22
$J_{S_2} = J_{S_4}$	кгм ²	0,02				h	м	0,02	0,015	0,02	0,025
J_1	кгм ²	9,0				$\varphi_b = \varphi_3$	град	60	80	40	60
P_{max}	кН	122	130	140	150	φ_d	град	10	20	30	10
δ		0,08	0,09	0,08	0,09	N		1	2	3	4
$[\delta]$	град	30	20	25	30						

Компресор для установки запускання двигуна 5ТД-Ф та 6ТД



ab – всмоктування,
 bc – стискання,
 cd – виштовхування,
 da – розширення залишкового повітря



Параметри	Один. виміру	Теми				Параметри	Один. виміру	Теми			
		1	2	3	4			1	2	3	4
n_1	об/хв	780	750	750	760	m	мм	2			
n_0	об/хв	3000				z_1		30	24	36	30
l_{OA}	м	0,078	0,082	0,088	0,086	z_2		18	18	27	21
$l_{AB} = l_{AC}$	м	0,32	0,33	0,34	0,32	z_3		66	60	90	72
$l_{AS_2} = l_{AS_4}$	м	0,1				z_4		10	11	12	13
$m_2 = m_4$	кг	14	13,5	13,0	12,5	$P_{3_{max}}$	кН	24,1	22,7	21,3	21,2
m_3	кг	12	11,5	11,0	10,5	$P_{3_{min}}$	кН	0			
m_5	кг	7,0	6,5	6,0	6,0	$P_{5_{max}}$	кН	14,6	14,2	14,0	13,8
$J_{S_2} = J_{S_4}$	кгм ²	0,32	0,31	0,3	0,3	$P_{5_{min}}$	кН	7,3	7,0	7,0	6,5
J_1	кгм ²	12,0	13,0	12,5	12,0	N		4	3	2	1
φ_B	град	90	100	120	140	h	м	0,016	0,017	0,018	0,019
φ_3	град	90	100	120	140	φ_d	град	30	40	40	40

ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

Приклад виконання кваліфікаційної роботи бакалавра, що наведений далі, не містить спеціального завдання, яке має бути визначено керівником кваліфікаційної роботи. Окрім того, відсутні також висновки (заключення), що повинні бути зв'язані як із основним змістом роботи, так і з виконанням спеціального завдання.

У разі застосування ЕОМ при виконанні завдання на кваліфікаційну роботу частина графічного матеріалу може бути скорочена. Це стосується, наприклад, кінематичного дослідження, силового розрахунку тощо.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ІНСТИТУТ ТАНКОВИХ ВІЙСЬК ПРИ НТУ “ХПІ”

КАФЕДРА ТЕОРІЇ МЕХАНІЗМІВ, МАШИН ТА РОБОТІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ, РЕАКЦІЙ У КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАХ
ТА НЕРІВНОМІРНОСТІ РУХУ ДВОЦИЛІНДРОВОГО ЧОТИРИТАКТНОГО
МОТОЦИКЛЕТНОГО ДВИГУНА

Виконав: курсант

Харків 2004

Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”

Інститут танкових військ при НТУ “ХПІ”

Кафедра теорії механізмів, машин та роботів

“Затверджую”

“До захисту у ДЕК допускаю”

Завідувач кафедри
доц. Ткачук М. А.

Завідувач кафедри
доц. Ткачук М. А.

“ _____ ” _____ 2004 р.

“ _____ ” _____ 2004 р.

Завдання
на кваліфікаційну роботу бакалавра

(військове звання, прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи:
Дослідження кінематики, реакцій в кінематичних парах та нерівномірності руху двоциліндрового чотиритактного мотоциклетного двигуна.

Закріплена наказом начальника ВВНЗ від “ _____ ” _____ 2004 р.

2. Цільова настанова

Кваліфікаційна робота бакалавра є завершальним етапом засвоєння курсантом IV курсу освітньо-професійної програми підготовки бакалавра з напрямку “Інженерна механіка” і передбачає:

систематизацію, закріплення, розширення теоритичних знань, умінь та практичних навичок з напрямку підготовки;

розвиток навичок самостійної роботи під час вирішення складних задач, оволодіння методикою організації і проведення наукових досліджень і експериментів; устанавлення рівня підготовленості курсанта до майбутньої спеціальності.

3. Основні питання та документи, що підлягають розробці під час виконання завдання:

3.1. Курсант отримує завдання на дослідження машинного агрегату. Кінематичне дослідження механізмів (головного механізму машини) за графоаналітичним методом; накреслення діаграм кінематичних параметрів ланок 4, 5.

3.2. Синтез зубчастої передачі; перевірка умов співосності, сусідства і складання для планетарного редуктора.

3.3. Силовий аналіз головного механізму машини: обчислення зведених сил та зведених моментів інерції машинного агрегату.

3.4. Синтез кулачкового механізму із штовхачем і роликом.

3.5. Вибір електродвигуна.

3.6. Дослідити рух початкової ланки на усталеному режимі. Якщо коефіцієнт нерівномірності перебільшує задане припустиме значення, визначити момент інерції маховика, що зменшує коефіцієнт нерівномірності.

3.7. В разі вирішення окремих питань за допомогою ЕОМ до пояснювальної записки додати тексти відповідних програм для ЕОМ.

4. Початкові дані наведені в додатку до завдання на кваліфікаційну роботу. Числові дані прийняти за темою № .

У таблиці наведеного додатку прийняті позначення параметрів, що є звичними для курсу теорії механізмів та машин.

При визначенні мас та моментів інерції зубчастих коліс ширину зубчастого вінця приймати дорівняною восьми модулям ($b = 8m$).

Припустиме значення коефіцієнта нерівномірності руху $[\delta] = \dots\dots$

5. До захисту подати

- пояснювальну записку кваліфікаційної роботи бакалавра;
- графічну частину роботи;
- відгук керівника на кваліфікаційну роботу бакалавра;
- календарний план виконання кваліфікаційної роботи;

- розгорнутий план кваліфікаційної роботи;
- рецензію на кваліфікаційну роботу.

6. Вимоги до оформлення кваліфікаційної роботи:

пояснювальна записка 30 – 40 сторінок рукописного тексту виконується на листах формату А4; графічна частина складається з двох – трьох аркушів формату А1; в графічну частину долучають всі побудови, що виконуються в масштабі (плани механізму, плани швидкостей та прискорень, плани сил та інше).

7. Основна література, що рекомендується:

Теория механизмов и машин: С. А. Попов и др. Под редакцией К. В. Фролова – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.

А. А. Грунауэр, И. Д. Долгих. Теория механизмов и машин (системный подход). Киев УМК ВО, 1992. – 384 с.

8. Термін виконання кваліфікаційної роботи:

подання закінченої роботи керівнику –
подання роботи на рецензію –

9. Дата видачі завдання _____
керівник

(підпис, прізвище)

“ ____ ” _____ 2004 р.

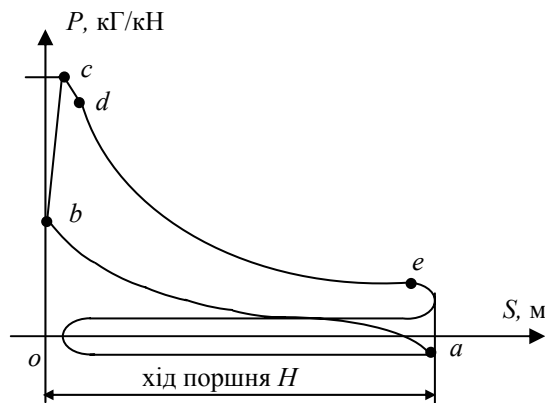
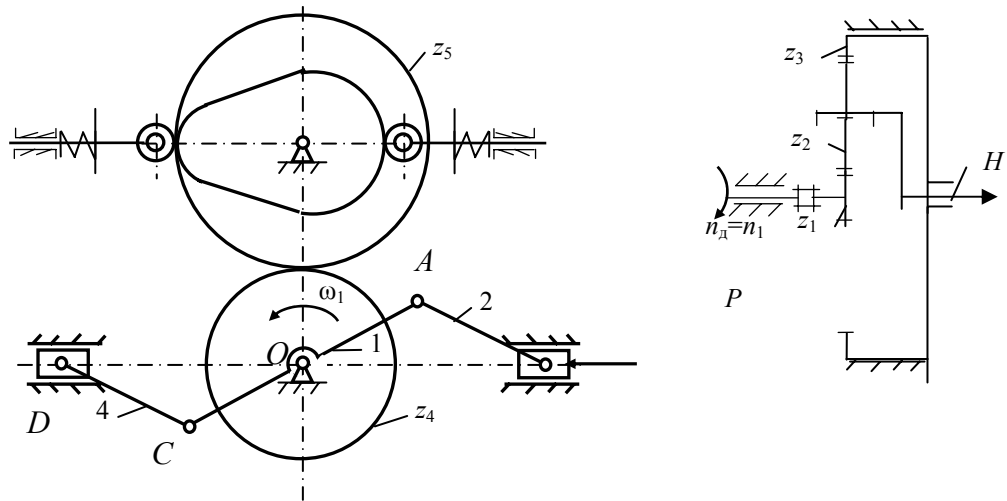
Завдання

одержав

(військове звання, підпис, прізвище курсанта)

“ ____ ” _____ 2004 р.

Двоциліндровий чотиритактний мотоциклетний двигун



ab – стисання
bcd – горіння,
de – розширення,
eo – вихлоп,
oa – всмоктування

Параметри	Один. виміру	Теми				Параметри	Один. виміру	Теми			
		1	2	3	4			1	2	3	4
$n_n = n_1$	об/хв	4500	5100	4800	5000	m	мм	1,5			
$n_x = n_1$	об/хв	700	750	650	700	z_1		24	30	18	19
$l_{OA} = l_{OC}$	м	0,04	0,036	0,039	0,041	z_2		36	45	27	29
$l_{AB} = l_{CD}$	м	0,152	0,133	0,134	0,140	z_3		96	120	72	77
$l_{AS_2} = l_{CS_4}$	м	0,046	0,04	0,04	0,05	z_4		10	11	9	11
$m_2 = m_4$	кг	0,35	0,36	0,34	0,32	z_5		20	22	18	22
$m_3 = m_5$	кг	0,37	0,36	0,35	0,34	h	м	0,007	0,075	0,008	0,085
$J_{S_2} = J_{S_4}$	кгм ²	0,002				$\varphi_B = \varphi_3$	град	55	50	60	55
J_1	кгм ²	0,97				N		1	2	3	4
P_{max}	кН	12,2	11,1	12,8	13,0	$[\theta]$	град	30	25	25	30
δ_{xx}		0,08	0,09	0,01	0,085	φ_d	град	0	10	0	

ЗМІСТ

Вступ.....	25
1. Структурний аналіз механізму.....	25
2. Кінематичне дослідження головного механізму.....	26
3. Зубчастий механізм.....	31
4. Визначення потужності двигуна.....	34
5. Силевий розрахунок головного механізму.....	37
6. Регулювання руху мотоциклетного двигуна.....	40
7. Синтез кулачкового механізму.....	41
8. Список літератури.....	44

Вступ

Двигун із горизонтальним розташуванням циліндрів за допомогою муфти зчеплення зв'язаний із чотиришвидкісною коробкою зміни передач, яка з'єднана із головною передачею трансмісії карданним валом. Відома шестерня головної передачі з'єднана із заднім колесом мотоциклу. Двигун має в складі головний механізм та кулачковий механізм газорозподілу. Головний механізм має колінчастий вал, кут між колінами (кривошипами 1) якого складає 180 градусів та дві шатунно-повзунні групи 2-3 і 4-5, повзуни яких є поршнями двигуна, які рухаються в циліндрах. Вісі циліндрів розташовані зі зсувом одна до одної у площині, перпендикулярній площинам руху ланок головного механізму. Цей зсув становить 40 мм. Коробка зміни передач має планетарну ступінь із трьома сателітами. На колінчастому валі закріплено маховик, який забезпечує потрібний коефіцієнт нерівномірності обертання на холостому ході при вимкненій коробці зміни передач. На рисунку у завданні наведено індикаторну діаграму, яка показує зміну сили, діючої на кожний із поршнів.

1. Структурний аналіз механізму

Задача структурного аналізу - визначити ступінь рухомості механізму, кількість структурних груп (груп Ассура), їх клас, порядок та послідовність їх приєднання до початкової ланки.

Розглянемо, наприклад, механізм мотоциклетного двигуна внутрішнього згорання, кінематична схема якого приведена на рис. 1.

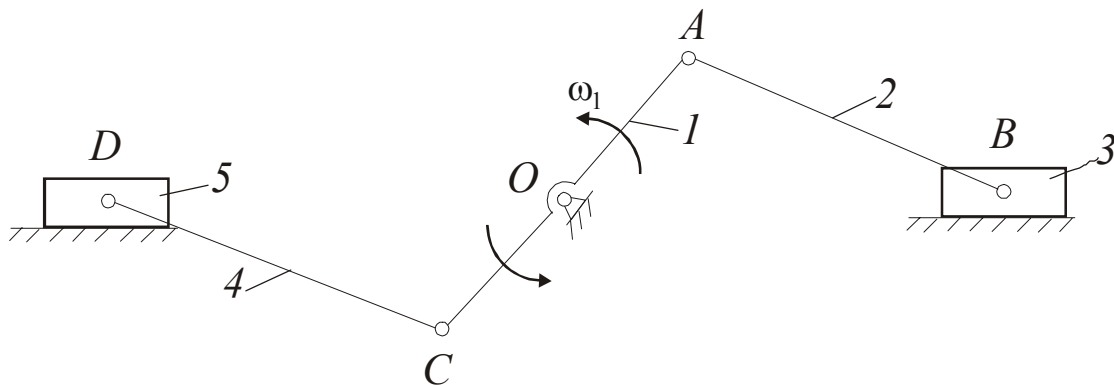


Рис. 1

Визначимо ступінь рухомості цього механізму за формулою Чебишева для плоских шарнірно-важільних механізмів.

$$W=3n-2P_5-P_4,$$

де W - ступінь рухомості; $n=5$ - кількість рухомих ланок; $P_5=7$ - кількість кінематичних пар п'ятого класу.

Це такі пари: в шарнірах O : 0 - 1, A : 1 - 2, B : 2 - 3, C : 1 - 4, D : 4 - 5; і пари 3-0; 5-0.

За характером руху кінематичні пари поділяються на обертові та поступові:

0-1; 1-2; 2-3; 1-4; 4-5 - обертові кінематичні пари; 3-0; 5-0 - поступові кінематичні пари;

$P_4=0$ - кількість кінематичних пар четвертого класу.

Маємо

$$W=3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1$$

Побудуємо структурну схему механізму (рис. 2)

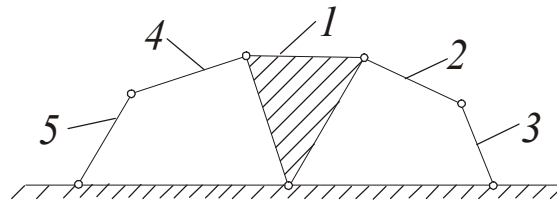
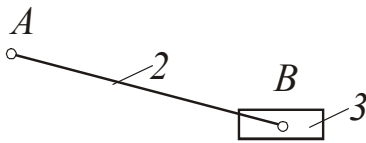


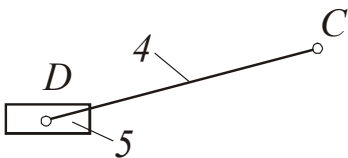
Рис.2

Механізм складається із початкового механізму, до складу якого входять ланки 0 та 1, а також із структурних груп: 2-3 та 4-5.

Кінематичні схеми цих груп:



ланки 2, 3; клас 1-й за Барановим, порядок - другий;



ланки 4, 5; клас 1-й за Барановим, порядок - другий;

2. Кінематичне дослідження головного механізму.

2.1. На аркуші формату А1 накреслено плани положень механізму для 12 положень початкової ланки. Першим положенням механізму є те, що відповідає верхній мертвій точці поршня в правому циліндрі, а при побудові кожного наступного положення кривошип обертається на 30 град. від попереднього положення. Одне положення механізму за вказівкою викладача накреслено основними лініями з умовним зображенням усіх кінематичних пар.

Для побудови планів положення механізму вибирають масштабний коефіцієнт довжин:

$$\mu_l = \frac{l_{OA}}{|OA|},$$

де l_{OA} - довжина ланки 1, м; $|OA|$ - довжина відрізка, який визначає довжину ланки 1 на кресленні, мм.

Розглянемо, наприклад, кінематичну схему мотоциклетного двигуна, вихідні дані якого такі:

$$l_{OA}=0,04 \text{ м}; l_{AB}=l_{CD}=0,152 \text{ м},$$

масштабний коефіцієнт: $\mu_l = \frac{l_{AO}}{|OA|} = \frac{0,04}{40} = 0,001 \text{ м/мм};$

на кресленні

$$|OA|=40 \text{ мм}; |AB|=|CD| = \frac{0,152}{0,001} = 152 \text{ мм}.$$

2.2. Задача кінематичного дослідження - визначення швидкостей та прискорень шарнірних з'єднань, а також кутових швидкостей та прискорень ланок механізму.

Для виконання цієї задачі існують різні методи кінематичного дослідження: графічний, графоаналітичний (метод побудови планів швидкостей та прискорень), аналітичний (за допомогою програм на ЕОМ).

Скористаємось графоаналітичним методом. Для цього запишемо векторні рівняння швидкостей та прискорень, використавши теореми про розподіл швидкостей для твердого тіла (перша теорема механіки) та складання швидкостей у твердому тілі (друга теорема механіки).

Кінематичне дослідження проводимо за структурними групами (групам и Ассура), починаючи з групи, 1-ої в порядку приєднання до початкової ланки.

Побудова плану швидкостей.

Запишемо векторні рівняння швидкостей для груп Ассура.

Група Ассура 2 - 3:

$$\vec{V}_{B_2} = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA} \quad (1\text{-а теорема})$$

$$\vec{V}_{B_3} = \vec{V}_{B_0} + \vec{V}_{3-0} \quad (2\text{-а теорема})$$

У цих рівняннях відомо: $V_A = \omega_1 \cdot l_{AO} = 471 \cdot 0,04 = 18,84 \text{ м/с}$,

$$\text{де } \omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{\pi \cdot 4500}{30} = 471 \text{ с}^{-1}.$$

Вектор швидкості \vec{V}_A спрямований $\perp AO$ в напрямі ω_1 , $V_{B_0} = 0$; $V_{B_2} = V_{B_3}$; $\vec{V}_{3-0} \parallel$ осі X ; $\vec{V}_{BA} \perp BA$.

Для побудови плану швидкостей потрібно вибрати масштабний коефіцієнт плану швидкостей. Для цього необхідно задати відрізок не менше 50 мм, який на плані буде відповідати вектору швидкості точки A .

Задаємось масштабним коефіцієнтом плану швидкостей $\mu_V = 0,4 \text{ м/с} \cdot \text{мм}$, тоді на плані швидкостей $(pa) = \frac{18,84}{0,4} = 47 \text{ мм}$.

Полюс плану - p , із полюсу проведемо $(pa) = 47,2 \text{ мм}$, потім проводимо лінію $\perp BA$, таким чином ми побудували вектори I-го рівняння. Для другого рівняння маємо: в полюсі розміщується точка b_0 , потім проведемо лінію \parallel осі X до перетину з лінією $\perp BA$; на перетині отримали точку b . Тоді $V_{B_2} = V_{B_3} = V_B = (pb) \cdot \mu_V$.

Група 4 - 5

$$\vec{V}_{D_4} = \vec{V}_C + \vec{V}_{DC};$$

$$\vec{V}_{D_5} = \vec{V}_{D_0} + \vec{V}_{5-0},$$

де $V_C = V_A = \omega_1 \cdot l_{OC} = 471 \cdot 0,04 = 18,84 \text{ м/с}$; $\vec{V}_C \perp OC$ в напрямі ω_1 ; $\vec{V}_{DC} \perp DC$; $\vec{V}_{D_0} = 0$; $\vec{V}_{5-0} \parallel$ осі X ; $\vec{V}_{D_4} = \vec{V}_{D_5}$.

Продовжуємо побудову плану швидкостей із того ж полюсу p проведемо
 $(pa) = \frac{V_C}{\mu_V} = \frac{18,84}{0,4} = 47$ мм, потім проводимо лінію $\perp DC$, а з полюсу проведемо лінію

\parallel осі X до перетину з лінією $\perp DC$. На перетині отримаємо точку d .

$$V_{D_4} = V_{D_5} = V_D = (pd)\mu_V.$$

Будуємо плани швидкостей для 12 положень механізму на аркуші 1 формату А1.

Для знаходження швидкостей центрів мас ланок 2 та 4 (точок s_2 та s_4) скористаємось умовою подібності плану швидкостей та плану механізму.

$$\text{Запишемо пропорції: } \frac{(as_2)}{(ab)} = \frac{|AS_2|}{|AB|}, \quad \frac{(cs_4)}{(cd)} = \frac{|CS_4|}{|CD|},$$

звідки

$$(as_2) = (ab) \frac{|AS_2|}{|AB|}; \quad (cs_4) = (cd) \frac{|CS_4|}{|CD|};$$

де (as_2) , (ab) , (cs_4) , (cd) - відрізки на плані швидкостей.

Із побудованих планів швидкостей визначимо кутові швидкості ланок 2 та 4

$$\omega_2 = \frac{V_{BA}}{l_{BA}} = \frac{(ab)\mu_V}{l_{BA}}; \quad \omega_4 = \frac{V_{DC}}{l_{DC}} = \frac{(dc)\mu_V}{l_{DC}},$$

де (ab) , (dc) - відрізки на планах швидкостей, мм; l_{BA} , l_{DC} - довжини ланок 2 та 4, м.

Знайдемо напрямки кутових швидкостей для положення, вказаного викладачем. Для цього знайдемо на плані швидкостей вектор \vec{V}_{BA} та \vec{V}_{DC} і перенесемо ці вектори в точки B та D відповідно на плані положення механізму. Напрямок кутової швидкості співпадатиме з напрямком повороту ланки відносно точок A та C відповідно.

Усі знайдені величини лінійних та кутових швидкостей для 12 положень механізму із побудованих планів швидкостей зведені в табл. 1.

Таблиця 1

№ положення	$V_B = V_D$, м/с	$V_{BA} = V_{DC}$, м/с	$V_{S_2} = V_{S_4}$, м/с	$\omega_2 = \omega_4$, с ⁻¹
0	0	18,84	12,56	124
1	12	18,0	14,4	118,4
2	16,8	8,8	16,0	57,9
3	18,84	0	18,84	0
4	14,0	8,0	18,5	52,6
5	7,2	14,4	12,8	94,7
6	0	18,84	12,56	124
7	7,2	14,4	12,8	94,7
8	14,0	8,0	18,5	52,6
9	18,84	0	18,84	0
10	16,8	8,8	16,0	57,9
11	12,0	18,0	14,4	118,4

Побудова плану прискорень.

Запишемо векторні рівняння для груп 2-3 та 4-5

Група 2-3

$$\vec{a}_{B_2} = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^\tau,$$

$$\vec{a}_{B_3} = \vec{a}_{B_0} + \vec{a}_{3-0}^{\text{кор}} + \vec{a}_{3-0}^{\text{відн}},$$

де $a_A = \omega_1^2 \cdot l_{AO} = 471^2 \cdot 0,04 = 8873,6 \text{ м/с}^2$.

Вектор \vec{a}_A направлений \parallel ланці l від точки A до O .

Масштабний коефіцієнт плану прискорень $\mu_a = 200 \text{ м/с}^2 \text{ мм}$, тоді на плані

$$(\pi a) = \frac{a_A}{\mu_a} = \frac{8873,6}{200} = 44,3 \text{ мм}.$$

Вектор нормальної складової прискорення \vec{a}_{BA}^n направлений $\parallel AB$ від B до A , його модуль дорівнює $a_{BA}^n = \omega_2^2 \cdot l_{BA}$, на плані $(an_1) = \frac{a_{BA}^n}{\mu_a}$.

Вектор тангенціальної складової \vec{a}_{BA}^τ за величиною невідомий, за напрямком $\vec{a}_{BA}^\tau \perp BA$; $\vec{a}_{B_0} = 0$, $a_{3-0}^{\text{кор}} = 2 \cdot V_{3-0} \omega_0 = 0$ - коріолісове прискорення.

Вектор відносного прискорення $\vec{a}_{3-0}^{\text{відн}}$ за напрямком \parallel осі X , за величиною невідомий.

Будуємо план прискорень: з полюсу π проводимо $(\pi a) = \frac{a_A}{\mu_a} = 44,3 \text{ мм}$, по-

тім $(an_1) = \frac{a_{BA}^n}{\mu_a}$, з точки n_1 ведемо лінію $\perp AB$; після цього будуємо вектори другого

рівняння: з полюсу π проводимо лінію \parallel осі X до перетину з лінією $\perp AB$; на перетині отримаємо точку b .

$$a_{B_4} = a_{B_5} = a_B = (\pi b) \cdot \mu_a; a_{BA}^\tau = (n_1 b) \cdot \mu_a.$$

Група 4-5

$$\vec{a}_{D_4} = \vec{a}_C + \vec{a}_{DC}^n + \vec{a}_{DC}^\tau,$$

$$\vec{a}_{D_5} = \vec{a}_{D_0} + \vec{a}_{5-0}^{\text{кор}} + \vec{a}_{5-0}^{\text{відн}},$$

$$\vec{a}_{D_4} = \vec{a}_{D_5}; \vec{a}_{D_0} = 0; a_{5-0}^{\text{кор}} = 2 \cdot V_{5-0} \omega_0 = 0; a_C = a_A = 8873,6 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{DC}^n = a_{BA}^n = \omega_4^2 \cdot l_{DC}.$$

Вектор \vec{a}_{DC}^n направлений $\parallel DC$ від D до C , на плані $(cn_2) = (bn_1) = \frac{a_{DC}^n}{\mu_a}$; ве-

ктор $\vec{a}_{DC}^\tau \perp DC$.

Вектор відносного прискорення \vec{a}_{5-0} \parallel осі X .

Продовжуємо будувати план прискорень: із полюсу π проведемо $(\pi c) = \frac{a_C}{\mu_a}$;

$(cn_2) = \frac{a_{DC}^n}{\mu_a}$; потім з n_2 проведемо лінію $\perp DC$.

Для 2-го рівняння з полюсу ведемо лінію \parallel осі X до перетину з лінією $\perp DC$; на перетині отримаємо точку d .

$$a_{D_4} = a_{D_5} = a_D = (\pi d) \cdot \mu_a.$$

Для знаходження прискорень центрів мас потрібно використати умову подібності плану механізму та плану прискорень.

Тоді маємо:

$$\frac{(as_2)}{(ab)} = \frac{|AS_2|}{|AB|}, \quad \frac{(cs_4)}{(cd)} = \frac{|CS_4|}{|CD|},$$

звідки

$$(as_2) = (ab) \frac{|AS_2|}{|AB|}; \quad (cs_4) = (cd) \frac{|CS_4|}{|CD|};$$

Точки s_2 і s_4 , які побудували на плані прискорень з'єднаємо з полюсом π .

$$a_{s_2} = (\pi s_2) \cdot \mu_a; \quad a_{s_4} = (\pi s_4) \cdot \mu_a.$$

Використаємо побудовані для 12 положень механізму плани прискорень для визначення кутових прискорень ланок 2 та 4:

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^\tau}{l_{BA}} = \frac{(n_1 b) \mu_a}{l_{BA}}; \quad \varepsilon_4 = \frac{a_{DC}^\tau}{l_{DC}} = \frac{(n_2 d) \mu_a}{l_{DC}},$$

де $(n_1 b)$, $(n_2 d)$ - відрізки з планів прискорень.

Напрямок кутового прискорення визначаємо для положення, що задане викладачем, таким методом: знаходимо напрямки векторів тангенціальних складових \vec{a}_{BA}^τ та \vec{a}_{DC}^τ .

Потім перенесемо ці вектори в точки B та D відповідно на плані механізму і дивимось, в якому напрямку повернеться ланка відносно точок A та C відповідно, це і буде напрямком кутового прискорення.

Значення всіх лінійних та кутових прискорень для 12 положень механізму згідно з побудованими планами прискорень зведені в табл.2.

Таблиця 2

№ положення	$a_{BA}^n = a_{DC}^n, \text{ м/с}^2$	$a_B = a_D, \text{ м/с}^2$	$a_{BA}^\phi = a_{DC}^\phi, \text{ м/с}^2$	$\varepsilon_2 = \varepsilon_4, \text{ с}^{-2}$
0	2337	11210,6	0	0
1	2131	9600	3600	23684
2	509	3600	7200	52631
3	0	1600	8800	57894
4	421	5500	7200	52631
5	1363	7200	3600	23684
6	2337	6537	0	0
7	1363	7200	3600	23684
8	421	5500	7200	52631
9	0	1600	8800	57854
10	509	3600	7200	52631
11	2131	9600	3600	23684

2.3. На аркуші 1 побудувати графіки переміщення, швидкості та прискорення ланок 3 та 5, а також графіки кутової швидкості та кутового прискорення ланок 2 та 4. Графіки будують в функції кута обертання кривошипу (ланки 1) на інтервалі повного обертю. Прийнятий за віссю абсцис масштабний коефіцієнт $\mu_\phi = 2$ град/мм.

Масштабні коефіцієнти інших величин показують біля відповідних осей. Допускається сумісництво графіків за віссю абсцис.

3. Зубчастий механізм

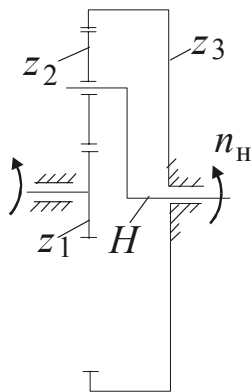


Рис.3

Аналізується планетарна ступінь коробки зміни передач та зубчаста пара коліс приводу розподільчого валу.

Планетарна ступінь коробки зміни передач, кінематична схема якої наведена на рис. 3, складається з коліс z_1, z_2, z_3 та водила H .

$$z_1 = 24;$$

$$z_2 = 36;$$

$$z_3 = 96;$$

$$m = 2 \text{ мм.}$$

Колеса z_1, z_3 – центральні, z_2 – сателіт, кількість яких $k = 3$.

Для планетарної ступені визначаємо:

передаточне відношення

$$i_{1H} = 1 - i_{13}^{(H)},$$

де $i_{13}^{(H)}$ – передаточне відношення складного зубчастого механізму, який маємо при зупинці водила H .

Значення

$$i_{13}^{(H)} = \frac{z_3}{z_2} \left(-\frac{z_2}{z_1} \right) = -\frac{z_3}{z_1} = -\frac{96}{24} = -4.$$

Тоді

$$i_{1H} = 1 - i_{13}^{(H)} = 1 + 4 = 5.$$

Перевіримо умови: співосності, сусідства та складання планетарного механізму.

- співосність

$$m = (z_1 + z_2) = m(z_3 - z_2);$$

$$24 + 36 = 96 - 36; 60 = 60;$$

- сусідство

$$(z_1 + z_2) \sin \frac{\pi}{\kappa} > z_2 + 2h_a^*; 60 \sin 60^\circ > 36 = 2,$$

де $\kappa = 3$, h_a^* - коефіцієнт висоти головки зуба;

- складання

$$\frac{z_1 \cdot z_2 + z_3 \cdot z_2}{\kappa \cdot L} = Q$$

де L і Q - цілі числа; наприклад, $L = 36$, тоді

$$\frac{24 \cdot 36 + 96 \cdot 36}{3 \cdot 36} = 40.$$

Задана планетарна ступінь відповідає всім умовам.

Кінематичний розрахунок зубчастого зачеплення, яке складається із зубчастих коліс $z_4 = 10$; $z_5 = 20$; $m = 2$ мм.

Зубчасті колеса - прямозубі евольвентні циліндричні, нарізані стандартним інструментом - рейкою.

Визначаємо:

- коефіцієнти зміщення рейки із умови відсутності подрізу:

для колеса $z_4 = 10$

$$x_4 = h_a^* \left(1 - \frac{z_4}{z_{\min}} \right) = 1 \cdot \left(1 - \frac{10}{17} \right) = 0,412;$$

для колеса $z_5 = 20$ $x_5 = 0$, так як $z_5 > z_{\min} = 17$;

- кут експлуатаційного зачеплення α_w :

$$\text{inv } \alpha_w = \text{inv } \alpha_0 + 2 \frac{x_4 + x_5}{z_4 + z_5} \text{tg } \alpha_0 = \text{inv } 20^\circ + 2 \frac{0,412 + 0}{10 + 20} \text{tg } 20^\circ = 0,02489.$$

де $\alpha_0 = 20^\circ$ - кут нахилу ріжучої поверхні рейки (стандартне значення). За значенням $\text{inv } \alpha_w = 0,02489$ знаходимо $\alpha_w = 23^\circ 36'$;

- коефіцієнт зміщення, що сприймається:

$$y = \frac{z_4 + z_5}{2} \left(\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_w} - 1 \right) = \frac{10 + 20}{2} \left(\frac{\cos 20^\circ}{\cos 23^\circ 36'} - 1 \right) = 0,37;$$

- коефіцієнт зрівнювального зміщення:

$$\Delta y = x_4 + x_5 - y = 0,412 + 0 - 0,37 = 0,042;$$

- радіальний зазор:

$$c = c^* m = 0,25 \cdot 2 = 0,5 \text{ мм},$$

($c^* = 0,25$ - коефіцієнт радіального зазору);

- міжосьова відстань:

$$a_W = m \frac{z_4 + z_5}{2} \cdot \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_W} = 2 \frac{10 + 20}{2} \cdot \frac{\cos 20^\circ}{\cos 23^\circ 36'} = 30,74 \text{ мм};$$

- радіуси ділительних кіл:

$$r_4 = \frac{m z_4}{2} = \frac{2 \cdot 10}{2} = 10 \text{ мм};$$

$$r_5 = \frac{m z_5}{2} = \frac{2 \cdot 20}{2} = 20 \text{ мм};$$

- радіуси основних кіл:

$$r_{b_4} = \frac{m z_4}{2} \cos \alpha_0 = \frac{2 \cdot 10}{2} \cos 20^\circ = 9,39 \text{ мм};$$

$$r_{b_5} = \frac{m z_5}{2} \cos \alpha_0 = \frac{2 \cdot 20}{2} \cos 20^\circ = 18,78 \text{ мм};$$

- радіуси початкових кіл:

$$r_{W_4} = \frac{m z_4}{2} \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_W} = \frac{2 \cdot 10}{2} \frac{\cos 20^\circ}{\cos 23^\circ 36'} = 10,25 \text{ мм};$$

$$r_{W_5} = \frac{m z_5}{2} \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_W} = \frac{2 \cdot 20}{2} \frac{\cos 20^\circ}{\cos 23^\circ 36'} = 20,49 \text{ мм};$$

(перевірка $a_W = r_{W_4} + r_{W_5}$; $30,74 = 10,25 + 20,49 = 30,74$ мм);

- радіуси кіл вершин;

$$r_{a_4} = m \left(\frac{z_4}{2} + h_a^* + x_4 - \Delta y \right) = 2 \left(\frac{10}{2} + 1 + 0,412 - 0,042 \right) = 12,74 \text{ мм};$$

$$r_{a_5} = m \left(\frac{z_5}{2} + h_a^* + x_5 - \Delta y \right) = 2 \left(\frac{20}{2} + 1 + 0 - 0,042 \right) = 21,92 \text{ мм};$$

- радіуси кіл западин

$$r_{f_4} = m \left(\frac{z_4}{2} + x_4 - h_a^* - c^* \right) = 2 \left(\frac{10}{2} + 0,412 - 1 - 0,25 \right) = 8,32 \text{ мм};$$

$$r_{f_5} = m \left(\frac{z_5}{2} + x_5 - h_a^* - c^* \right) = 2 \left(\frac{10}{2} + 0 - 1 - 0,25 \right) = 17,5 \text{ мм};$$

(перевірка $r_{a_4} + r_{f_5} + c = r_{a_5} + r_{f_4} + c = a_W$; $12,74 + 17,5 + 0,5 = 21,92 + 8,32 + 0,5 = 30,74$; $30,74 = 30,74 = 30,74$);

- товщини зубів за ділительними колами:

$$S_4 = \frac{\pi m}{2} + 2x_4 m \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{\pi 2}{2} + 2 \cdot 0,412 \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 3,74 \text{ мм};$$

$$S_5 = \frac{\pi m}{2} + 2x_5 m \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{\pi 2}{2} + 2 \cdot 0 \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 3,14 \text{ мм};$$

- відстань зачеплення за ділільним колом:

$$P = \pi m = \pi \cdot 2 = 6,28 \text{ мм.}$$

Розрахунок коефіцієнта перекриття.

Коефіцієнт перекриття враховує неперервність і плавність зачеплення в передачі.

Мінімально допустиме значення коефіцієнта перекриття дорівнює 1,05.

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{r_{a4}^2 - r_{b4}^2} + \sqrt{r_{a5}^2 - r_{b5}^2} - a_w \sin \alpha_w}{\pi m \cos \alpha_0} =$$

$$\frac{\sqrt{12,74^2 - 9,39^2} + \sqrt{21,92^2 - 18,78^2} - 30,74 \sin 23^\circ 36'}{\pi \cdot 2 \cos 20^\circ} = 1,29 > 1,05$$

4. Визначення потужності двигуна

Розглянемо процеси, які відбуваються в мотоциклетному двигуні в обох циліндрах за 2 повних оберти колінчастого вала (ланки 1). Покажемо це в вигляді циклограми (табл.3).

Таблиця 3

	ВМТ	НМТ	ВМТ	НМТ	ВМТ
правий циліндр	розширення	вихлоп	всмоктування	стиснення	
лівий циліндр	всмоктування	стиснення	розширення	вихлоп	
	← 2π		← 2π		

Індикаторна діаграма процесу, який відбувається в циліндрі двигуна, показана на рис.4.

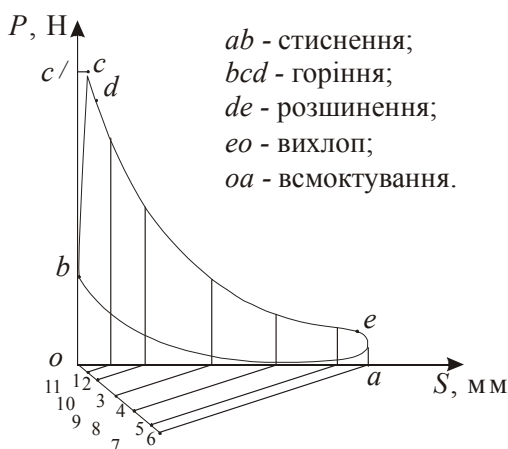


Рис. 4

Ця індикаторна діаграма одночасно є графіком сил тиску газу на поршень в масштабі:

для номінального режиму

$$\mu_{P_H} = \frac{(P_{\max})_H}{(OC')} = \frac{24000}{60} = 400 \frac{H}{\text{мм}},$$

де $(P_{\max})_H = 24000 \text{ Н}$ - величина максимального тиску газу; $(OC') = 60 \text{ мм}$ - відрізок на індикаторній діаграмі, який на кресленні визначає $(P_{\max})_H$;

а також для режиму холостого руху, тільки

$$(P_{\max})_X = \frac{(P_{\max})_H}{2,5}; \text{ тоді } \mu_{P_X} = \frac{400}{2,5} = 160 \text{ Н/мм.}$$

Щоб використати індикаторну діаграму для визначення сил тиску газу, необхідно хід поршня 3 та 5 на аркуші привести до масштабу, який ми маємо на індикаторній діаграмі. Це робимо таким чином: хід поршня 3 від ВМТ до НМТ із помітками ходу поршня від 0 до 6 перенесемо на індикаторну діаграму і прикладемо до осі абсцис під любым кутом, потім з'єднаємо мітку 6 з кінцем ходу поршня на діаграмі, а інші мітки 5, 4, 3, 2, 1 перенесемо на вісь абсцис, проводячи лінії паралельні лінії (6 - а).

Для поршня 3 і 5 на номінальному режимі скористаємось індикаторною діаграмою, масштабним коефіцієнтом та циклограмою процесів і матимемо значення сил тиску газу, які занесені в табл.4.

Таблиця 4

№ по-лож.	1 ^й оберт колінчастого валу											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$P_{Г3}, \text{ Н}$	0	20800	14400	7600	4400	3200	2800	0	0	0	0	0
$P_{Г5}, \text{ Н}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	2400	4400
	2 ^й оберт колінчастого валу											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$P_{Г3}, \text{ Н}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	2400	4400
$P_{Г5}, \text{ Н}$	0	20800	14400	7600	4400	3200	2800	0	0	0	0	0

Значення сил тиску газу на поршень 3 та 5 для холостого руху занесені в табл. 5.

Таблиця 5

№ по-лож.	1 ^й оберт колінчастого валу											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$P_{Г3}, \text{ Н}$	0	83200	5760	3040	1760	1280	1120	0	0	0	0	0
$P_{Г5}, \text{ Н}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	960	1760
	2 ^й оберт колінчастого валу											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$P_{Г3}, \text{ Н}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	960	1760
$P_{Г5}, \text{ Н}$	0	83200	5760	3040	1760	1280	1120	0	0	0	0	0

Визначимо зведені до колінчастого валу моменти сил тиску газу та сил ваги ланок за 2 оберта валу на номінальному режимі та на режимі холостого руху.

$$M_{зв} = M_{зв3} + M_{зв5} + M_{звG},$$

де

$$M_{зв3} = \frac{1}{\omega_1} P_{Г3} V_B \cos\left(P_{Г3} \hat{V}_B\right), \quad M_{зв5} = \frac{1}{\omega_1} P_{Г5} V_D \cos\left(P_{Г5} \hat{V}_D\right),$$

$$M_{звG} = \frac{1}{\omega_1} [G_2 V_{S_2} \cos\left(G_2 \hat{V}_{S_2}\right) + G_3 V_B \cos 90^\circ + G_4 V_{S_4} \cos\left(G_4 \hat{V}_{S_4}\right) + G_5 V_D \cos 90^\circ].$$

Значення $M_{зв3}$ та $M_{зв5}$ занесені в табл.6 для номінального режиму, а також в табл.7 для режиму холостого руху

Таблиця 6

№ полож.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$M_{зв3}, \text{Нм}$	0	574,9	550,3	304	130,8	54,3	0	0	0	0	0	0
$M_{зв5}, \text{Нм}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-40	-91,7	-121,4
$M_{зв}, \text{Нм}$	0	574,9	550,3	304	130,8	54,3	0	0	0	-40	-91,7	-121,4

Таблиця 7

№ полож.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$M_{зв3}, \text{Нм}$	0	230	220,1	121,6	52,3	21,7	0	0	0	0	0	0
$M_{зв5}, \text{Нм}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-16	-36,7	-48,6
$M_{зв}, \text{Нм}$	0	230	220,1	121,6	52,3	21,7	0	0	0	-16	-36,7	-48,6

На аркуші №4 зображені графіки залежності зведених моментів сил тиску газу для режимів номінального ходу та холостого від кута обертання (φ) колінчастого валу. Масштабні коефіцієнти графіків показані на кресленні.

Графічним інтегруванням графіків $M_{звH}(\varphi_1)$ та $M_{звX}(\varphi_1)$ визначаємо роботу сил тиску газу $A_H(\varphi_1)$ та $A_X(\varphi_1)$ за період сталого руху відрізка від 0 до 4π .

Для графічного інтегрування задаємо полюсну відстань $H=15$ мм.

Масштабний коефіцієнт осі ординат графіка $A_H(\varphi_1)$ та $A_X(\varphi_1)$ визначаємо по формулам:

$$\mu_{A_H} = H \cdot \mu_{M_H} \cdot \mu_{\varphi_1} = 15 \cdot 20 \cdot 0,21 = 62,8 \frac{\text{Нм}}{\text{мм}},$$

$$\mu_{A_X} = H \cdot \mu_{M_X} \cdot \mu_{\varphi_1} = 15 \cdot 8 \cdot 0,21 = 25,12 \frac{\text{Нм}}{\text{мм}},$$

де $H=15$ мм - полюсна відстань; $\mu_{M_H} = 20 \frac{\text{Нм}}{\text{мм}}$ - масштабний коефіцієнт осі ординат

графіка; $\mu_{M_X} = 8 \frac{\text{Нм}}{\text{мм}}$ - масштабний коефіцієнт осі ординат графіка; $\mu_{\varphi_1} = 0,21 \frac{\text{Нм}}{\text{мм}}$ -

масштабний коефіцієнт осі абсцис.

Визначимо роботу сил тиску газу на номінальному режимі по формулі

$$A_H = \mu_{A_H} \cdot \varphi_A = 25 \cdot 62,8 = 1570 \text{ дж},$$

де $\varphi_A = 25$ мм - довжина останньої ординати на графіку $A_H(\varphi_1)$.

Потужність двигуна визначаємо по формулі

$$N = \frac{A_H \cdot \eta_{\text{ГМ}}}{2T \cdot 10^3} = \frac{1570 \cdot 0,8}{2 \cdot 0,013 \cdot 10^3} = 48,3 \text{ кВт},$$

де $\eta_{\text{ГМ}} = 0,8$ (задаємо)

$$T = \frac{60}{n_1} = \frac{60}{4500} = 0,013 \text{ с} - \text{ час одного оберта колінчастого валу.}$$

5. Силовий розрахунок головного механізму

Задача силового розрахунку - визначення реакцій в усіх кінематичних парах механізму та зрівноважуючого моменту. Силовий розрахунок проводиться для даного положення механізму, вказаного викладачем.

Силовий розрахунок виконуємо за групами Асура, починаючи з групи Асура, останньої в порядку приєднання до початкової ланки.

5.1. Визначаємо - величину сили тиску газів на поршні 3 та 5.

$$P_{r_3} = 4400 \text{ Н}; P_{r_5} = 0 \text{ Н}.$$

Сили ваги ланок механізму

$$G_2 = G_4 = m_4 g = 0,35 \cdot 9,81 = 3,43 \text{ Н}; G_3 = G_5 = m_3 g = 0,37 \cdot 9,81 = 3,63 \text{ Н}.$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння.

Сили ваги прикладаємо в центрах мас S_2, S_4 , а для повзунів (3 та 5) центри мас співпадають з шарнірними точками B та D .

Сили інерції та моменти сил інерції ланок механізму

Ланка 2: $P_{i_2} = |m_2 a_{S_2}| = 0,35 \cdot 7000 = 2450 \text{ Н}$; вектор \vec{P}_{i_2} має напрямок протилежний прискоренню центра мас S_2 (a_{S_2}); момент інерції $M_{i_2} = |I_{S_2} \cdot \varepsilon_2| = 0,002 \cdot 5263 \text{ л} = 10,526 \text{ Нм}$. Момент M_{i_2} спрямований протилежно кутовому прискоренню ланки 2 (ε_2).

Ланка 3: $P_{i_3} = |m_3 a_B| = 0,37 \cdot 5500 = 2035 \text{ Н}$, \vec{P}_{i_3} направлений проти \vec{a}_B ; M_{i_3} відсутній, тому що ланка 3 рухається поступово.

Ланка 4: $P_{i_4} = |m_4 a_{S_4}| = 0,35 \cdot 7000 = 2450 \text{ Н}$; вектор \vec{P}_{i_4} має напрямок протилежний напрямку прискорення центра мас S_4 (a_{S_4}); $M_{i_4} = |I_{S_4} \cdot e_4| = 0,002 \cdot 5263 \text{ л} = 10,526 \text{ Нм}$

Напрямок M_{i_4} протилежний напрямку кутового прискорення ланки 4 (ε_4).

Ланка 5: $P_{i_5} = |m_5 a_D| = 0,37 \cdot 5500 = 2035 \text{ Н}$, вектор \vec{P}_{i_5} спрямований протилежно прискоренню \vec{a}_D ; $M_{i_5} = 0$.

Проаналізуємо всі сили, прикладені до ланок механізму. Знайдемо величину 2% від найбільшої сили: $0,02 \cdot 4400 = 88 \text{ Н}$.

Якщо сили мають величини менші, ніж 88 Н, ними нехтують. Це такі сили: G_2, G_3, G_4, G_5 .

5.2. Силовий розрахунок групи 4 - 5.

На аркуші № 2 показуємо в масштабі $\mu_1 = 0,002 \text{ м/мм}$ цю групу, прикладаємо всі сили, які діють на ланки, та моменти сил. Дію відкинутих ланок замінюємо реакціями. Це такі реакції: в шарнірі $C - R_{41}$, в поступовій парі 5-0 - R_{50} . Ці реакції називаються зовнішніми. У шарнірі D має місце реакція $\vec{R}_{45} = -\vec{R}_{54}$, яка називається-

ся внутрішньою. Для визначення зовнішніх реакцій розкладемо реакцію \vec{R}_{41} на дві складові: \vec{R}_{41}^n спрямована по ланці 4, \vec{R}_{41}^τ перпендикулярна ланці ($\vec{R}_{41}^\tau \perp \vec{R}_{41}^n$).

Розглянемо рівновагу сил, прикладених до ланки 4, в такому вигляді $\sum m_D(\vec{F}_i) = 0$:

$$R_{41}^\tau l_{CD} - P_{i_4} h_{P_{i_4}} \mu_l - M_{i_4} = 0;$$

$$R_{41}^\tau = \frac{M_{i_4} + P_{i_4} h_{P_{i_4}} \mu_l}{l_{CD}} = \frac{105,26 + 2450 \cdot 32 \cdot 0,002}{0,152} = 1724,0 \text{ Н.}$$

Розглянемо рівновагу сил, прикладених до ланок групи 4-5 у вигляді $\sum \vec{F}_i = 0$:

$$\vec{R}_{41}^n + \vec{R}_{41}^\tau + \vec{P}_{i_4} + \vec{P}_{i_5} + \vec{R}_{50} = 0.$$

Будуємо на аркуші №2 план сил, із якого знаходимо:

$$R_{41}^n = 46 \cdot \mu_p = 46 \cdot 100 = 4600 \text{ Н; } R_{50} = 6 \cdot \mu_p = 6 \cdot 100 = 600 \text{ Н,}$$

де $\mu_p = 100 \text{ Н/мм}$ - масштабний коефіцієнт плану сил.

Для визначення внутрішньої реакції розглянемо рівновагу сил, які діють на ланку 4, у вигляді $\sum \vec{F}_i = 0$

$$\vec{R}_{41}^n + \vec{R}_{41}^\tau + \vec{P}_{i_4} + \vec{R}_{45} = 0.$$

Із побудованого на аркуші №2 плану сил знаходимо $R_{45} = 2700 \text{ Н}$ (на плані цей вектор показано пунктиром)

Знайдемо точку прикладання реакції R_{50} із рівноваги сил ланки 5 у вигляді $\sum m_D(\vec{F}_i) = 0$ маємо $R_{50} X_{50} = 0$, звідки $X_{50} = 0$, тобто реакція R_{50} проходить через шарнір D .

- вектор сумарної реакції \vec{R}_{41} знаходимо із плану, складаючи вектори \vec{R}_{41}^n і \vec{R}_{41}^τ , а величину підраховуємо за формулою

$$R_{41} = \sqrt{(R_{41}^n)^2 + (R_{41}^\tau)^2} = \sqrt{4600^2 + 1724^2} = 4912,5 \text{ Н.}$$

5.3. Силевий розрахунок групи 2-3

На аркуші №2 показана в масштабі μ_1 кінематична схема групи 2-3. Всі діючі сили та моменти прикладені до ланок 2 та 3. Дію відкинутих ланок замінимо реакціями в шарнірі A – \vec{R}_{21} , а в поступовій парі 3-0 реакція \vec{R}_{30} . Ці реакції зовнішні. У шарнірі B , який з'єднує ланки 2 та 3, маємо реакцію внутрішню: $\vec{R}_{23} = -\vec{R}_{32}$.

Розкладемо реакцію \vec{R}_{21} на дві складові: нормальну \vec{R}_{21}^n , яка спрямована по ланці 2, та тангенціальну \vec{R}_{21}^τ , яка перпендикулярна нормальній. Напрямки векторів цих складових задаємо довільно. Якщо в результаті розрахунків будемо мати величину із знаком мінус - вектор спрямовуємо в протилежну сторону.

Визначаємо:

- із рівноваги сил, діючих на ланку 2 у вигляді $\sum m_B(\vec{F}_i) = 0$ знайдемо R_{21}^τ :

$$R_{21}^\tau l_{AB} - M_{i_2} - P_{i_2} h_{P_{i_2}} \mu_l = 0;$$

$$R_{21}^\tau = \frac{M_{i_2} + P_{i_2} h_{P_{i_2}} \mu_l}{l_{AB}} = \frac{105,26 + 2450 \cdot 32 \cdot 0,002}{0,152} = 1724,0 \text{ Н};$$

- із рівноваги сил, прикладених до ланок 2 та 3, у вигляді $\sum \vec{F}_i = 0$ знаходимо R_{21}^n і R_{30} :

$$\vec{R}_{21}^n + \vec{R}_{21}^\tau + \vec{P}_{i_2} + \vec{P}_{i_3} + \vec{P}_{r_3} + \vec{R}_{30} = 0.$$

На аркуші №2 будемо план сил, із якого маємо

$$R_{21}^n = 87 \cdot \mu_p = 87 \cdot 100 = 8700 \text{ Н}; R_{30} = 18,5 \cdot \mu_p = 18,5 \cdot 100 = 18500 \text{ Н},$$

де $\mu_p = 100 \text{ Н/мм}$.

Вектор сумарної реакції R_{21} знаходимо із плану, а величину її - розрахунком:

$$R_{21} = \sqrt{(R_{21}^n)^2 + (R_{21}^\tau)^2} = \sqrt{8700^2 + 1724^2} = 8869 \text{ Н};$$

- плече прикладення реакції R_{30} визначаємо із рівноваги сил ланки 3 в вигляді $\sum m_B(\vec{F}_i) = 0$; $R_{30} X_{30} = 0$, звідки $X_{30} = 0$, тому реакція R_{30} проходить через шарнір B .

- Внутрішню реакцію R_{23} визначаємо із рівноваги сил ланки 2 у вигляді $\sum \vec{F}_i = 0$

$$\vec{R}_{21}^n + \vec{R}_{21}^\tau + \vec{P}_{i_2} + \vec{R}_{23} = 0;$$

із плану сил маємо: $R_{23} = 61 \cdot \mu_p = 61 \cdot 100 = 6100 \text{ Н}$.

5.4. Силовий розрахунок початкової ланки (ланки 1)

Ланка 1 знаходиться в рівновазі під дією таких сил: в шарнірі A – реакція $\vec{R}_{12} = -\vec{R}_{21}$; в шарнірі C – реакція $\vec{R}_{14} = -\vec{R}_{41}$, а також реакція \vec{R}_{10} в шарнірі O .

Для визначення реакції запишемо рівновагу сил, прикладених до ланки 1 у вигляді $\sum \vec{F}_i = 0$

$$\vec{R}_{12} + \vec{R}_{14} + \vec{R}_{10} = 0.$$

Будемо план сил; із плану сил

$$\vec{R}_{10} = 42 \cdot \mu_p = 42 \cdot 100 = 4200 \text{ Н}.$$

5.5. Перевірка правильності силового розрахунку

Визначимо зрівноважуючий момент на ланці 1, розглянувши рівновагу сил, діючих на ланку 1 в вигляді $\sum m_O(\vec{F}_i) = 0$:

$$M_{3P} = (R_{12} h_{R_{12}} + R_{14} h_{R_{14}}) \mu_l = (8869 \cdot 12 + 4912,5 \cdot 9) \cdot 0,002 = 301,28 \text{ Нм}$$

Зрівноважуючий момент на ланці 1 за теоремою динаміки

$$M_{3P}^* = \frac{1}{\omega_1} [P_{i_2} V_{S_2} \cos(P_{i_2} \hat{V}_{S_2}) + (P_{i_3} + P_{r_3}) V_B \cos 0^\circ + P_{i_4} V_{S_4} \cos(P_{i_4} \hat{V}_{S_4}) + P_{i_5} V_D \cos 0^\circ - M_{i_2} \omega_2 - M_{i_4} \omega_4] = \frac{1}{471} [2450 \cdot 18,5 \cos 70^\circ + (2035 + 4400)14 + 2450 \cdot 18,5 \cos 70^\circ + 2035 \cdot 14 - 2 \cdot 105,26 \cdot 59,2] = 291,13 \text{ Нм.}$$

Похибка силового розрахунку

$$\Delta = \left| \frac{M_{3P}^* - M_{3P}}{M_{3P}^*} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{291,13 - 301,28}{291,13} \right| \cdot 100\% = 3,5\%,$$

що менше допустимого значення похибки: $[\Delta] = (5 \dots 10)\%$.

6. Регулювання руху мотоциклетного двигуна

Регулювання руху здійснюємо на режимі холостого ходу. Для цього потрібно визначити момент інерції маховика, тобто додаткову масу, яка забезпечила б заданий коефіцієнт нерівномірності руху ($\delta_x = 0,08$).

Підрахуємо значення зведеного до колінчастого валу моменту інерції мас головного механізму для 12 положень ланки 1 за формулою:

$$I_{3B} = 2 \frac{1}{\omega_1^2} [m_2 V_{S_2}^2 + m_3 V_B^2] + I_0,$$

де $I_0 = 0,9 \text{ кгм}^2$ - зведений до ланки 1 момент інерції трансмісії колеса та екіпажу.

Результати розрахунку зведені в табл.8.

Таблиця 8

№ ПОЛОЖ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$I_{3B}^{\text{з.в}}$, кг·м ²	0,0005	0,0013	0,00216	0,0023	0,0017	0,0009	0,0005	0,00066	0,00146	0,0023	0,00216	0,00127
$I_{3B\Sigma}^{\text{з.в}}$, кг·м ²	0,9005	0,9013	0,90216	0,9023	0,9017	0,9009	0,9005	0,90066	0,90146	0,9023	0,90216	0,90127

На аркуші №4 будуюмо графік залежності зведеного моменту інерції від кута обертання ланки 1 – $I_{3B}(\varphi_1)$. Масштабні коефіцієнти на кресленні.

В одній системі координат з графіком роботи сил тиску газу на режимі холостого руху будуюмо графік роботи сил шкідливого опору $A_{ш}(\varphi_1)$, враховуючи, що в першому наближенні, зведений момент сил шкідливого опору постійний, а також, що на режимі холостого руху робота сил тиску газу дорівнює роботі сил шкідливого опору.

Оскільки зведений момент постійний, його робота буде пропорційна куту обертання ланки 1 (φ_1), а з другого боку - його робота за період сталого руху дорівнює роботі A_x , тобто відрізка φ_{Ax} , тому проводимо лінію, яка з'єднує початок координат (O) з точкою C, пряма OC буде графіком роботи сил шкідливого опору $A_{ш}$.

Відкладаємо різницю ординат діаграм $A_X(\varphi_1)$ та $A_{III}(\varphi_1)$ вгору або вниз від осі абсцис (в залежності від її знаку) і будуємо діаграму $\Delta A(\varphi_1)$, масштаб цієї діаграми по осі ординат дорівнює масштабу μ_A .

Методом графічного виключення кута φ_1 будуємо діаграму "енерго - мас" $\Delta A(I)$, яка також має назву кривої Вітгенбауера.

Побудована діаграма має масштаби μ_A і μ_I .

Для визначення моменту інерції маховика до побудованої кривої проведемо дотичні відповідно під кутами ψ_{\max} та ψ_{\min} відносно осі I ; ці дотичні відсікають на осі ординат відрізок BD .

Цей відрізок BD відображає в масштабі найбільшу зміну кінетичної енергії маховика за період сталого руху машини. Куты ψ_{\max} та ψ_{\min} визначаються за формулами

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \psi_{\max} &= \frac{\mu_I}{2\mu_A} \omega_{cp}^2 (1 + \delta) = \frac{10^{-4}}{2 \cdot 25,12} 73,26^2 (1 + 0,08) = 1,15 \cdot 10^{-2}, \\ \psi_{\max} &= 0,66^\circ, \\ \operatorname{tg} \psi_{\min} &= \frac{\mu_I}{2\mu_A} \omega_{cp}^2 (1 - \delta) = \frac{10^{-4}}{2 \cdot 25,12} 73,26^2 (1 - 0,08) = 0,0098, \\ \psi_{\min} &= 0,56^\circ, \end{aligned}$$

*)

Підрахуємо момент інерції маховика за формулою

$$I_M = \frac{(BD)\mu_A}{\delta\omega_{cp}^2} = \frac{11,5 \cdot 25,12}{0,08 \cdot 73,26^2} = 0,67 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де $\mu_A = 25,12 \frac{\text{Дж}}{\text{мм}}$ - масштабний коефіцієнт осі ординат $A_X(\varphi_1)$; $\mu_I = 10^{-4} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{мм}}$ - масштабний коефіцієнт осі ординат $I_{зв}(\varphi_1)$; $(BD) = 11,5 \text{ мм}$ - відрізок на осі ординат $\Delta A(\varphi_1)$; δ_X - заданий коефіцієнт нерівномірності руху машини;

$\omega_{cp} = \omega_1 = \frac{\pi n_X}{30} = \frac{\pi \cdot 700}{30} = 73,26$ - кутова швидкість ланки I на режимі холостого руху.

7. Синтез кулачкового механізму

Задача синтезу кулачкового механізму - за заданим законом руху штовхача, циклограмою кулачкового механізму та деяких додаткових умовах спроектувати профіль кулачка. Якщо штовхач має в своєму складі ролик, тоді додатковою умовою для проектування кулачка є обмеження кута тиску, допустиме значення якого

*) При розрахунках кутів ψ_{\max} та ψ_{\min} може статися, що ці кути будуть досить великими і тоді дотичні з віссю ординат не будуть перетинатися. В зв'язку з цим рекомендується до початку креслення діаграм підібрати масштаби μ_A і μ_I так, щоб кути ψ_{\max} та ψ_{\min} , які мало відрізняються один від одного, мали значення не більш, ніж 45 ... 60 градус.

Для цього в формулі для ψ_{\max} потрібно задати бажане значення кута ψ_{\max} , а потім визначити відношення μ_A/μ_I і цим відношенням скористатися при виборі масштабів μ_A та μ_I .

20...30 град. для штовхача, який рухається поступово, і 40...45 град. для штовхача, який обертається (тобто коромислового штовхача).

При проектуванні кулачка, у якого штовхач тарільчатий, додатковою умовою є умова випуклості профілю кулачка, тобто радіус кривини профілю повинен бути додатним ($\rho > 0$).

Для мотоциклетного двигуна проектується кулачковий механізм, який буде регулювати фази газорозподілу двигуна. Кулачковий механізм має штовхач з роликом, який рухається поступово.

Вихідні дані:

$S'' = a \sin k\varphi$ - закон руху штовхача у вигляді аналогу прискорення;

$\varphi_B = 60^\circ$ - кут віддалення,

$\varphi_3 = 60^\circ$ - кут зближення,

$\varphi_{д.в} = 30^\circ$ - кут дальнього вистою

} фазові кути, які задаються циклограмою

$h = 0,025$ - хід штовхача; $[\delta] = 30^\circ$ - допустиме значення кута тиску.

За заданим аналогом прискорення визначаємо закон руху штовхача. Для цього двічі аналітично інтегруємо задану функцію

$$S'' = a \sin k\varphi, \text{ де } k = \frac{2\pi}{\varphi_B} = \frac{360^\circ}{60^\circ} = 6,$$

одержимо функції $S'(\varphi)$ та $\Delta S(\varphi)$.

$$S' = \int S'' d\varphi = \int a \sin k\varphi \cdot d\varphi = -\frac{a}{k} \cos k\varphi + C_1.$$

Постійну інтегрування визначаємо при початкових умовах: $\varphi = 0$; $S' = 0$, тоді $C_1 = \frac{a}{k}$, $S' = \frac{a}{k}(1 - \cos k\varphi)$.

$$\Delta S = \int S' d\varphi = \int \frac{a}{k}(1 - \cos k\varphi) d\varphi = \frac{a}{k}\varphi - \frac{a}{k^2} \sin k\varphi + C_2,$$

Постійну інтегрування C_2 визначаємо при початкових умовах: $\varphi = 0$; $\Delta S = 0$, тоді $C_2 = 0$.

$$\Delta S = \frac{a}{k}\varphi - \frac{a}{k^2} \sin k\varphi.$$

Визначення параметра a : при $\varphi = \varphi_B = 60^\circ$,

$$\Delta S_{\max} = h = 0,025 \text{ м}; h = \frac{a}{k}\varphi_B = \frac{a}{6} \cdot 1,046 = 0,174 \cdot a; a = \frac{h}{0,174} = \frac{0,025}{0,174} = 0,143 \text{ м},$$

де $\varphi_B = \frac{\pi \cdot 60^\circ}{180^\circ} = 1,046$ рад.

Таким чином маємо: $S'' = 0,143 \sin 6\varphi$; $S' = 0,024(1 - \cos 6\varphi)$;
 $\Delta S = 0,024\varphi - 0,004 \sin 6\varphi$.

Підрахуємо значення S'' , S' та ΔS для деякої кількості значень φ , з кроком $\Delta\varphi = 10^\circ$ на інтервалі віддалення і занесемо результати в табл. 9.

Таблиця 9

$\varphi_K, ^\circ$	0	10	15	20	30	40	45	50	60
$S'', \text{м}$	0	0,123	0,143	0,123	0	-0,123	-0,143	-0,123	0
$S', \text{м}$	0	0,012	0,024	0,036	0,048	0,036	0,024	0,012	0
$\Delta S, \text{м}$	0	0,00072	0,0023	0,005	0,0125	0,020	0,0228	0,0244	0,025

На аркуші 4 формату А1 приведені графіки залежності $S'' = S''(\varphi_K)$, $S' = S'(\varphi_K)$, $\Delta S = \Delta S(\varphi_K)$.

Масштабні коефіцієнти: $\mu_{S''} = 0,004 \text{ м/мм}$; $\mu_{S'} = \mu_{\Delta S} = 0,002 \text{ м/мм}$,

$$\mu_{\varphi_K} = 1 \frac{\text{град.}}{\text{мм}}.$$

Визначаємо основні параметри кулачкового механізму.

Для кулачкового механізму з штовхачем, який має ролик, основні параметри (S_0 - мінімальний радіус кулачка, e - зміщення осі штовхача відносно осі кулачка) визначаються із умови обмеження кута тиску ($\delta < [\delta] = 30^\circ$).

Для цього будуюмо графік залежності $\Delta S(S')$, і під допустимим кутом тиску $[\delta] = 30^\circ$ проведемо дві дотичні до графіку $\Delta S(S')$, перетин цих дотичних на осі ординат визначить величину $S_0 = 140 \text{ мм}$ при цьому $e = 0$.

Скористаємось методом інверсії, побудуємо центровий профіль кулачка, для чого проведемо радіусом $S_0 = 140 \text{ мм}$ коло, потім в напрямі $-\omega_K$ відкладаємо кут віддалення, від кола радіуса S_0 відкладаємо ΔS_i відповідно значенням φ_i , через одержані точки проводимо криву на куті віддалення, потім на куті дальнього вистою крива буде дугою кола, а на куті зближення крива буде така, як і на куті віддалення. Таким чином, одержимо центровий профіль кулачка.

Для побудови робочого профілю кулачка необхідно знайти радіус ролика. Радіус ролика знаходимо із таких рекомендацій:

$$r_p \leq 0,4S_0 = 0,4 \cdot 140 = 56 \text{ мм}; r_p \leq 0,8\rho_{\min} = 0,8 \cdot 28 = 22,4 \text{ мм},$$

де $\rho_{\min} = 28 \text{ мм}$ - мінімальний радіус кривини центрального профілю.

Приймаємо $r_p = 25 \text{ мм}$.

Тепер будуюмо робочий профіль, як криву, еквідистантну центральному профілю і віддалену від нього на відстань $r_p = 25 \text{ мм}$.

Розрахунок параметрів замикаючої пружини.

Для того, щоб між кулачком та роликом існувала кінематична пара на куті зближення, необхідно на штовхачі поставити пружину, параметри якої визначаємо із наступної нерівності:

$$Q_0 + C\Delta S \geq -1,3m_{\text{ш}}a,$$

де Q_0 - сила попередньої затяжки пружини, Н; C - жорсткість пружини, Н/м; ΔS - переміщення штовхача, м; $m_{\text{ш}} = 2 \text{ кг}$ - маса штовхача (задається); $a_M = S_M'' \cdot \omega_K^2$ - прискорення штовхача, ω_K - кутова швидкість кулачка, ω_K визначаємо із співвідношення:

$$\frac{\omega_1}{\omega_K} = \left| \frac{z_5}{z_4} \right| = \frac{20}{10} = 2; \quad \omega_K = \frac{\omega_1}{2} = \frac{471}{2} = 235,5 \text{ с}^{-1}.$$

На аркуші №4 будемо графік $m_{ш} \cdot a(\Delta S)$, тобто силу інерції штовхача в залежності від переміщення штовхача (ΔS), потім з точки початку координат проведемо пряму дотичну до графіка і паралельно їй пряму на відстані $0,3m_{ш}a_M$, де $a_M = S_M'' \omega_K^2$ - прискорення штовхача в точці дотику M . Ця пряма і буде графіком для визначення характеристик пружини.

Сила попередньої затяжки пружини

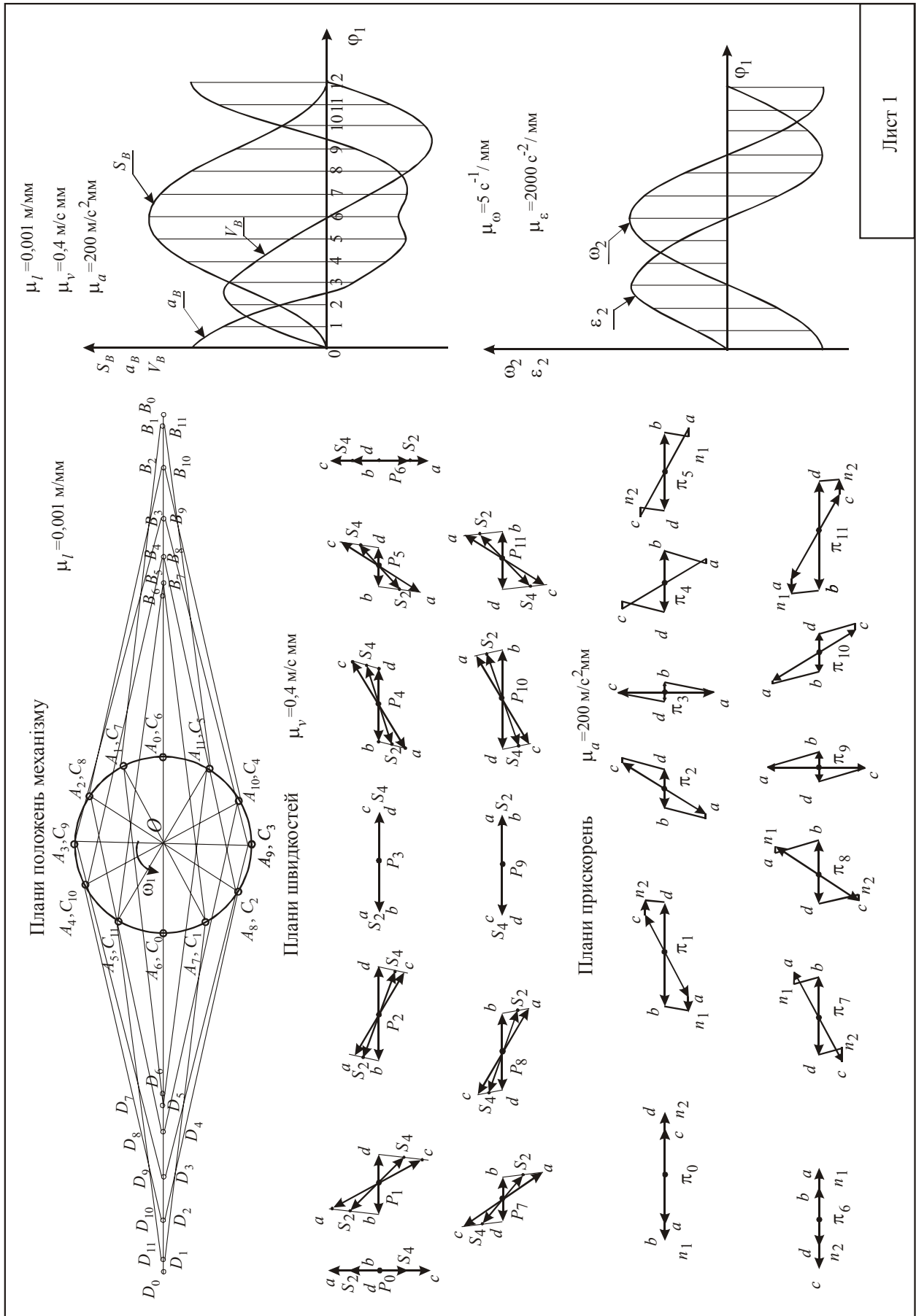
$$Q_0 = 0,3m_{ш}S_M'' \cdot \omega_K^2 = 0,3 \cdot 0,143 \cdot 235,5^2 = 4758,5 \text{ Н.}$$

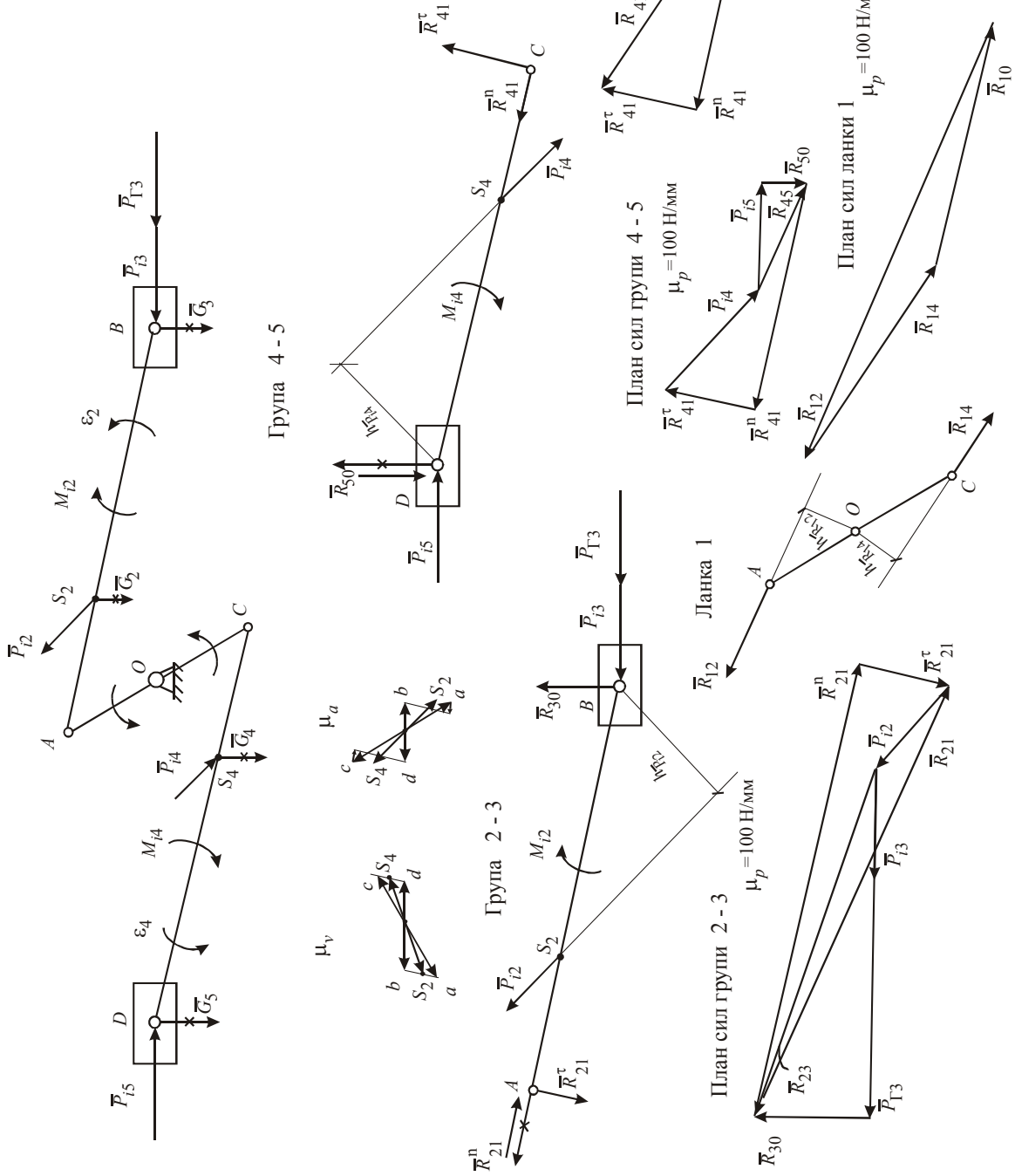
Жорсткість пружини

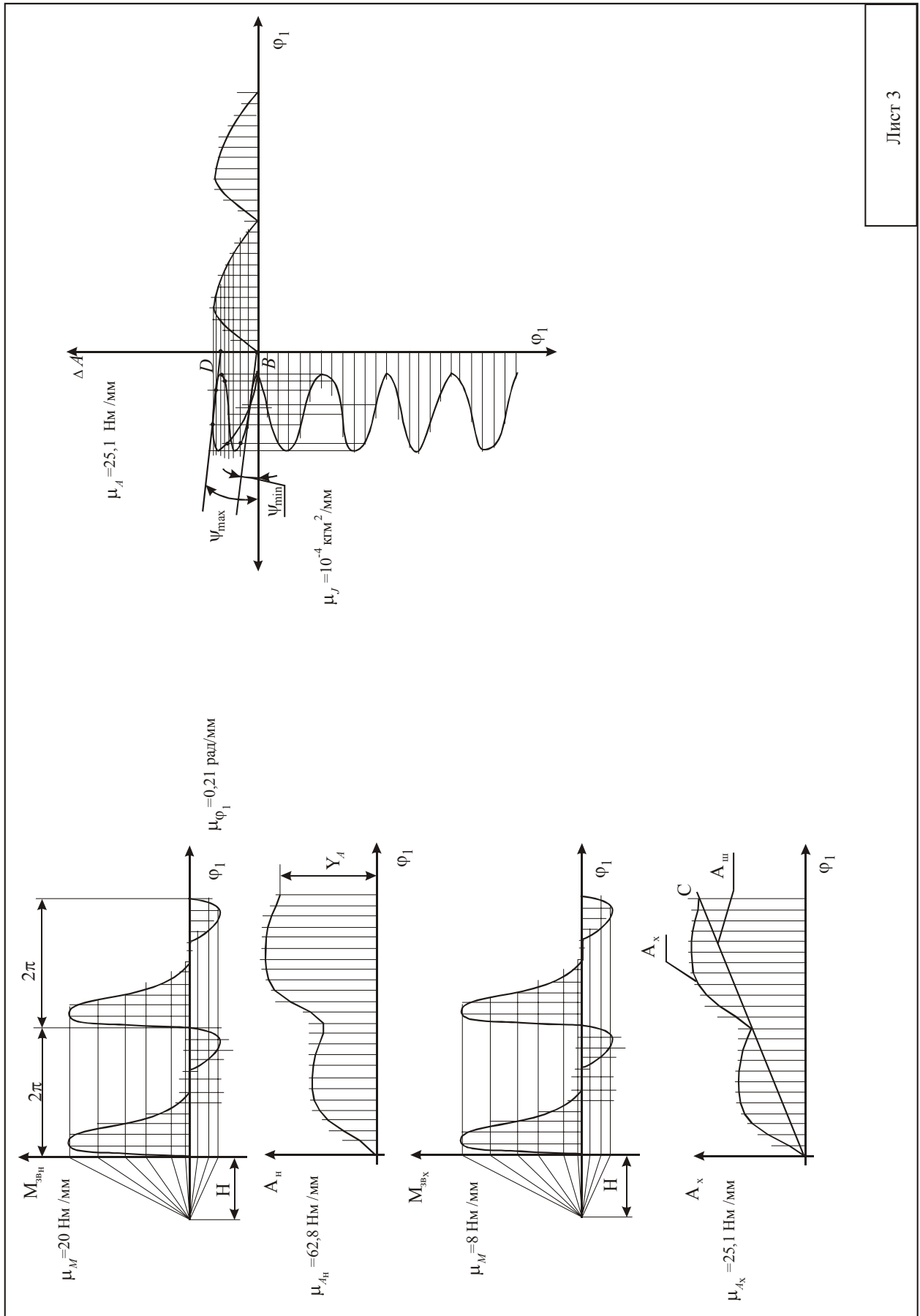
$$C = \frac{m_{ш}a_M}{\Delta S_M} = \frac{2 \cdot 0,143 \cdot 235,5^2}{0,143} = 110920 \text{ Н/м.}$$

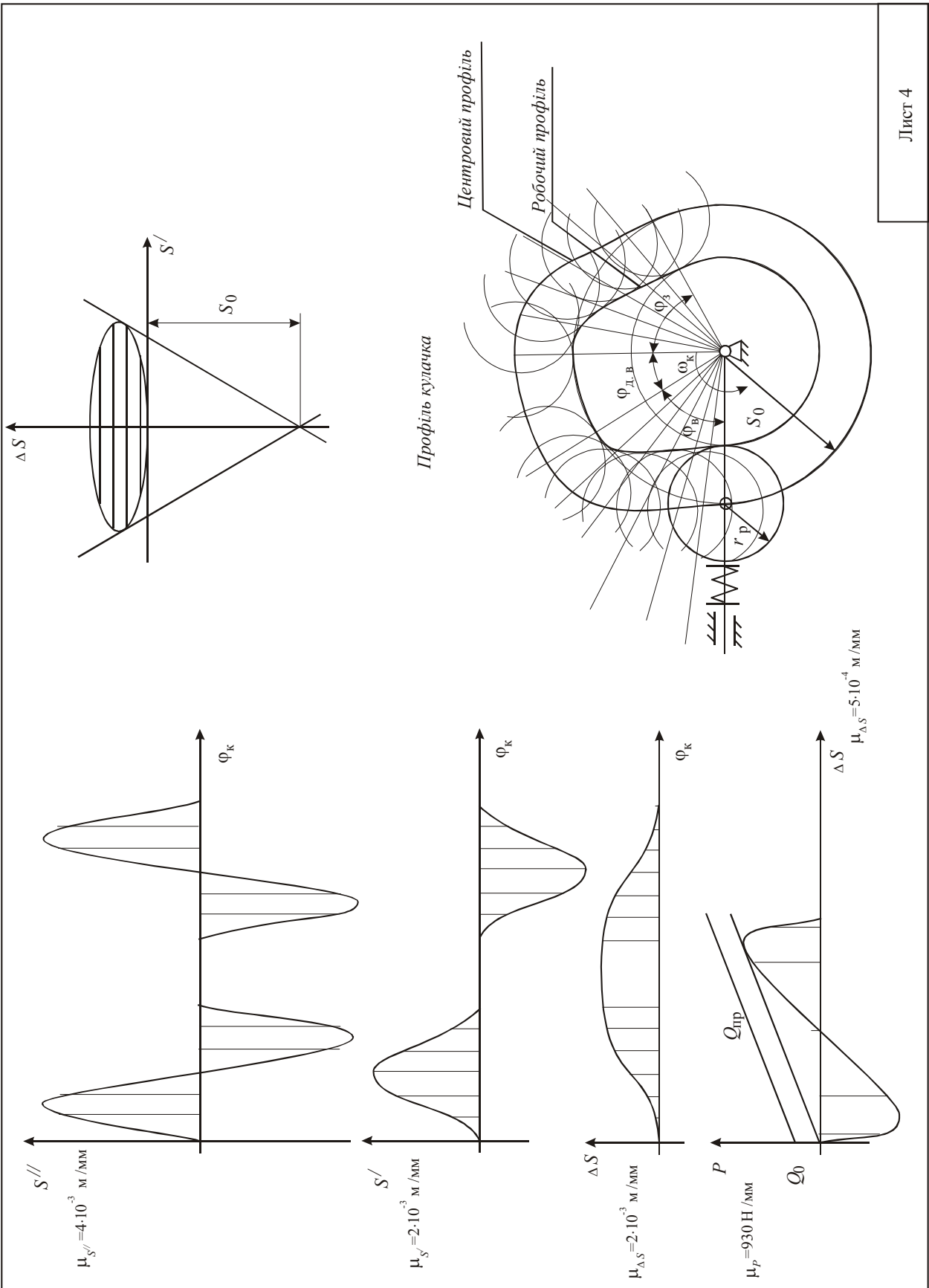
Список літератури

1. Теория механизмов и машин: С. А. Попов и др. Под редакцией К. В. Фролова – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.
2. А. А. Грунауэр, И. Д. Долгих. Теория механизмов и машин (системный подход). Киев УМК ВО, 1992. – 384 с.
3. Методические указания по применению ЭВМ при выполнении курсового проекта по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей/Сост. В. А. Новгородцев, В. Б. Зеленский и др. – Харьков: ХГПУ, 1998.- 37 с.









**АСИНХРОННІ КОРОТКОЗАМКНЕНІ ТРИФАЗНІ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ
СЕРІЇ 4А ОСНОВНОГО ВИКОНАННЯ ГОСТ 19523 – 74**

Закриті обдуваємі

Тип двигуна	N , кВт	n_n , об/хв	I_p , кг·м ²	Тип двигуна	N , кВт	n_n , об/хв	I_p , кг·м ²
$n_c = 3000$ об/хв							
4AA50A2Y3	0,09	2740	0,0000245	4A160S2Y3	15	2940	0,0475
4AA50B2Y3	0,12	2710	0,0000267	4A160M2Y3	18,5	2940	0,0525
4AA56A2Y3	0,18	2800	0,000165	4A180S2Y3	22	2945	0,07
4AA56B2Y3	0,25	2770	0,000465	4A180M2Y3	30	2945	0,085
4AA63A2Y3	0,37	2750	0,00076	4A200M2Y3	37	2945	0,095
4AA63B2Y3	0,55	2740	0,0009	4A200L2Y3	45	2945	0,1925
4AX71A2Y3	0,75	2840	0,000975	4A225M2Y3	55	2945	0,25
4AX71B2Y3	1,1	2810	0,00105	4A250S2Y3	75	2960	0,465
4AX80A2Y3	1,5	2850	0,00182	4A250M2Y3	90	2960	0,7275
4AX80B2Y3	2,2	2850	0,00212	4A280S2Y3	110	2970	1,09
4AX90L2Y3	3	2840	0,00355	4A280M2Y3	132	2970	1,19
4A100S2Y3	4	2880	0,00593	4A315S2Y3	160	2970	1,4
4A100L2Y3	5,5	2900	0,00748	4A315M2Y3	200	2970	1,625
4A112M2Y3	7,5	2900	0,0099	4A355S2Y3	250	2970	2,85
4A132M2Y3	11	2940	0,02278	4A355M2Y3	315	2970	3,225
$n_c = 1500$ об/хв							
4AA50A4Y3	0,06	1380	0,0000287	4A160S4Y3	15	1465	0,04
4AA50B4Y3	0,09	1370	0,0000325	4A160M4Y3	18,5	1465	0,1025
4AA56A4Y3	0,12	1375	0,00007	4A180S4Y3	22	1470	0,19
4AA56B4Y3	0,18	1365	0,000788	4A180M4Y3	30	1470	0,2325
4AA63A4Y3	0,25	1380	0,001238	4A200M4Y3	37	1475	0,3675
4AA63B4Y3	0,37	1365	0,00128	4A200L4Y3	45	1475	0,445
4AX71A4Y3	0,55	1390	0,0013	4A225M4Y3	55	1480	0,64
4AX71B4Y3	0,75	1390	0,00143	4A250S4Y3	75	1480	1,02
4AX80A4Y3	1,1	1420	0,00323	4A250M4Y3	90	1480	1,1675
4AX80B4Y3	1,5	1415	0,00333	4A280S4Y3	110	1470	2,3
4AX90L4Y3	2,2	1425	0,0056	4A280M4Y3	132	1480	2,475
4A100S4Y3	3	1435	0,008675	4A315S4Y3	160	1480	3,075
4A100L4Y3	4	1430	0,011225	4A315M4Y3	200	1480	3,625
4A112M4Y3	5,5	1445	0,011375	4A355S4Y3	250	1485	6
4A132S4Y3	7,5	1455	0,0175	4A355M4Y3	315	1485	7,05
4A132M4Y3	11	1460	0,00275				

Тип двигуна	N , кВт	n_n , об/мин	I_p , кг·м ²	Тип двигуна	N , кВт	n_n , об/мин	I_p , кг·м ²
$n_c = 1000$ об/хв							
4AA63A6Y3	0,18	885	0,00124	4A160M6Y3	15	975	0,1825
4AA63B6Y3	0,25	890	0,0014	4A180M6Y3	18,5	975	0,28
4AX71A6Y3	0,37	910	0,00172	4A200M6Y3	22	980	0,4
4AX71B6Y3	0,55	900	0,00203	4A200L6Y3	30	980	0,4475
4AX80A6Y3	0,75	915	0,00335	4A225M6Y3	37	985	0,7375
4AX80B6Y3	1,1	920	0,00458	4A250S6Y3	45	985	1,155
4AX90L6Y3	1,5	915	0,00733	4A250M6Y3	55	985	1,26
4A100L6Y3	2,2	950	0,0131	4A280S6Y3	75	985	2,925
4A112MA6Y3	3	955	0,01725	4A280M6Y3	90	985	3,375
4A112MB6Y3	4	950	0,02115	4A315S6Y3	110	985	4
4A132S6Y3	5,5	965	0,04038	4A315M6Y3	132	985	4,5
4A132M6Y3	7,5	970	0,05775	4A355S6Y3	160	985	7,25
4A160S6Y3	11	975	0,1375	4A355M6Y3	200	985	8,8
$n_c = 750$ об/хв							
4AX71B8Y3	0,25	680	0,00185	4A180M8Y3	15	730	0,25
4AX80A8Y3	0,37	675	0,00338	4A200M8Y3	18,5	735	0,4
4AX80B8Y3	0,55	675	0,00405	4A200L8Y3	22	730	0,4525
4AX90LA8Y3	0,75	700	0,00625	4A225M8Y3	30	735	0,7375
4AX90LB8Y3	1,1	700	0,0086	4A250S8Y3	37	735	1,155
4A100L8Y3	1,5	695	0,0129	4A250M8Y3	45	740	0,8625
4A112MA8Y3	2,2	700	0,0176	4A280S8Y3	55	735	3,175
4A112MB8Y3	3	700	0,0245	4A280M8Y3	75	740	4,125
4A132S8Y3	4	720	0,0424	4A315S8Y3	90	740	4,925
4A132M8Y3	5,5	720	0,0581	4A315M8Y3	110	740	5,85
4A160S8Y3	7,5	730	0,1375	4A355S8Y3	132	740	9,05
4A160M8Y3	11	730	0,18	4A355M8Y3	160	740	10,2

Захищені

Тип двигуна	N , кВт	n_n , об/хв	I_p , кг·м ²	Тип двигуна	N , кВт	n_n , об/хв	I_p , кг·м ²
$n_c = 3000$ об/хв				$n_c = 1500$ об/хв			
4AH160S2Y3	22	2915	0,0425	4AH160S4Y3	18,5	1450	0,0925
4AH168M2Y3	30	2915	0,055	4AH160M4Y3	22	1458	0,11725
4AH180S2Y3	37	2945	0,08	4AH180S4Y3	30	1465	0,1775
4AH180M2Y3	45	2945	0,0925	4AH180M4Y3	37	1470	0,2175
4AH200M2Y3	55	2940	0,16	4AH200M4Y3	45	1475	0,345
4AH200L2Y3	75	2940	0,19	4AH200L4Y3	55	1475	0,425
4AH225M2Y3	90	2945	0,2375	4AH225M4Y3	75	1475	0,6025
4AH225S2Y3	110	2945	0,04425	4AH250S4Y3	90	1480	0,8825
4AH250M2Y3	132	2950	0,495	4AH250M4Y3	110	1475	0,9575
4AH280S2Y3	160	2960	0,775	4AH280S4Y3	132	1470	1,825
4AH280M2Y3	200	2960	1,025	4AH280M4Y3	160	1470	2,125
4AH315M2Y3	250	2970	1,7	4AH315S4Y3	200	1475	3,15
4AH355S2Y3	315	2970	2,375	4AH315M4Y3	250	1475	3,7
4AH355M2Y3	400	2970	2,85	4AH355S4Y3	315	1485	5,75
				4AH355M4Y3	400	1485	7
$n_c = 1000$ об/хв				$n_c = 750$ об/хв			
4AH180S6Y3	18,5	975	0,1875	4AH180S8Y3	15	730	0,235
4AH180M6Y3	22	975	0,235	4AH180M8Y3	18,5	730	0,2975
4AH200M6Y3	30	975	0,3775	4AH200M8Y3	22	730	0,49
4AH200L6Y3	37	980	0,73	4AH200L8Y3	30	730	0,5825
4AH225M6Y3	45	980	0,7025	4AH225M8Y3	37	735	0,825
4AH250S6Y3	55	985	1,09	4AH250S8Y3	45	730	1,1925
4AH250M6Y3	75	985	1,4	4AH250M8Y3	55	735	1,4
4AH280S6Y3	90	980	2,5	4AH280S8Y3	75	735	3
4AH280M6Y3	110	980	2,875	4AH280M8Y3	90	735	3,375
4AH315S6Y3	132	985	4,45	4AH315S8Y3	110	735	6,075
4AH315M6Y3	160	985	5,125	4AH315M8Y3	132	735	7
4AH355S6Y3	200	985	7,8	4AH355S8Y3	160	740	9,75
4AH355M6Y3	250	985	9,25	4AH355M8Y3	200	740	11,875
$n_c = 600$ об/хв				$n_c = 500$ об/хв			
4AH280S10Y3	45	585	3,225	4AH315S10Y3	55	490	5,625
4AH280M10Y3	55	585	3,75	4AH315M10Y3	75	490	5,625
4AH315S10Y3	75	590	5,625	4AH355S10Y3	90	490	9,675
4AH315M10Y3	90	590	6,625	4AH355M10Y3	110	490	11
4AH355S10Y3	110	590	9,675				
4AH355M10Y3	132	590	11				

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ІЗ ПИТАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ
(на алгоритмічній мові Паскаль)

```

unit proekt;
  INTERFACE
type array6 = array[1..6] of real;
   array3 = array[1..3] of real;
function sign(x: real)      : integer;
function tet(var x,y: real) : real;
  { Вычисление угловой полярной координаты по декартовым
    координатам x,y точки }
procedure prjam( u,v,fe : real; var u1,v1 : real);
  { Прямое преобразование поворота декартовых координат
    u,v }
procedure obrat( u1,v1,fe : real; var u,v : real);
  { Обратное преобразование поворота декартовых координат
    u1,v1}
procedure asur11 (xo,yo,l,fi,om,us : real;
                 var axy      : array6);
procedure asur21 (axy,cxy,par : array6;
                 k : integer;
                 var bxy,dxy,exy,ugol :array6;
                 var g : integer);
procedure asur22 (a,par : array6;
                 kc : integer;
                 var b,c,ugl :array6;
                 var g : integer);
procedure asur23 (a,c,par3 : array6;
                 kc : integer;
                 var d,e,ugl3 :array6;
                 var g : integer);
procedure asur24 (a3 : array6;
                 al3,al2,om :real;
                 var a2 :array6;
                 var g : integer);
procedure asur25 (a1 : array6;
                 al2,al21 :real;
                 var a2 :array6;
                 var g : integer);
procedure sras11 (x0,y0,fi,om,eps : real;
                 par      : array6;
                 ms1,is1   : real;
                 ra       : array3;
                 rtro     : real;
                 var ro   : array3;
                 var mur,pur,ipr,
                 mpr,rx,ry,rpg : real);
procedure sras21 (a,b,c,sl,s2,d : array6;
                 kz : integer;

```

```

        par1,ug11 : array6;
        msl,ms2,isl,is2 : real;
        rd :array3;
    om,omka,omkc,rtra,rtrb,rtrc: real;
        var ra,rb,rc :array3;
        var ipr,mpr,rx,ry,mpg : real);
procedure sras22 (b,s1,d, par, ug12 : array6;
    msl,ms2,isi : real;
    rd : array3 ;
    om,omka,rtra,rtrb,ftr,p : real;
    var ra,rb,r20 :array3;
    var ipr,mpr,rx,ry,mpg : real);
procedure sras23 (a,c,s1,s2,de :array6;
    kde :integer;
    ugl :array6;
    h,msl,ms2,isl,is2 :real;
    rde :array3;
    om, omka, omkc, rtra, rtrc, ftr :real;
    var ra,rc,rn :array3;
    var ipr,mpr,rx,ry,mpg :real);
procedure sras24(a1,a2 :array6;
    a12,a13,om,om3,eps :real;
    msl,ms2,isl :real;
    rtra,ftr1,ftr2,p :real;
    var r21,r13,r20 :array3;
    var ipr,mpr,rx,ry,mpg : real);
procedure sras25(a1,a2,s2 :array6;
    a12,a121 :real;
    msl,ms2,om,omka :real;
    rtra,ftr1,ftr2,p :real;
    var r13,r12,r20 :array3;
    var ipr,mpr,rx,ry,mpg :real);
procedure swawe(i,jf : integer; k,h,fazu :real;
    var s,s1,s2: real);
    { Определение значений функций положения, аналога скорости
    и аналога ускорения s,s1,s2 выходного звена кулачкового
    механизма по безразмерной координате k, максимальному
    перемещению (углу поворота) h и величине фазы удаления
    (сближения) fazu ; i-номер закона s2, jf=1 для фазы
    удаления, jf=2 для сближения}
procedure prflkr( fi, psi,a,l : real;
    var xc,yc : real);
    { Определение декартовых координат xc, yc точек центрального
    профиля кулачка и для КМ с коромыслом и роликом при
    заданных угле поворота fi кулачка, значениях psi, psi1,
    psi2 функций положения, аналога скорости и аналога ускорения
    коромысла, расстоянии a между центрами вращения кулачка
    и коромысла и длине коромысла l }

```

```

procedure psikr(nz : integer; fi,fiu,fid,fis,psi0, psim :
    real;
    var psi,psil,psi2 : real);
{ Определение положения psi и аналогов скорости и уско-
рения psil и psi2 коромысла для КМ с коромыслом и роли-
ком при заданных угле поворота fi кулачка, значениях
концов фазовых углов fiu, fid, fis, начальном угле пово-
рота коромысла psi0 и размахе коромысла psim. Эта же
процедура применяется для определения s,sl,s2 КМ с роли-
ком и толкателем и для КМ с плоским толкателем при за-
данных s0 и h вместо psi0 и psim }
procedure prflrt( fi,s,sl,s2,e: real);
    var xc,yc : real;
{ Определение декартовых координат xc, yc точек центро-
вого профиля кулачка и для КМ с толкателем и роликом
при заданных угле поворота fi кулачка, значениях s, si,
s2 функций положения, аналога скорости и аналога уско-
рения толкателя и значении эксцентриситета e }
procedure prflpt( fi,s,sl,s2 : real;
    var xc,yc : real);
{ Определение декартовых координат xc, yc точек центро-
вого профиля кулачка и для КМ с плоским толкателем и
роликом при заданных угле поворота fi кулачка, значени-
ях s, s1, s2 функций положения, аналога скорости и
аналога ускорения толкателя }
function rokrl(ch : string; ax,ly,s,sl,s2 :
    real) : real;
{ Определение радиуса кривизны центрального профиля кулач-
ка КМ с роликом или рабочего профиля кулачка КМ с пло-
ским толкателем.
Аргументы: ch - наименование типа КМ : ch='rt' для типа
РТ, ch='kr' для типа КР и ch='pt' - для ПТ; ax - значе-
ние эксцентриситета для КМ с роликом и толкателем или
расстояние между центрами вращения кулачка и коромысла
для КМ с коромыслом и роликом ( в случае КМ с плоским
толкателем ax=0); lx - длина коромысла для КМ с коромыс-
лом и роликом ( для других КМ lx=0 );
s, s1, s2 - значения функций положения, аналога скорости
и аналога ускорения толкателя ( коромысла) . }
procedure kmrt(h,s0,e,fiu,fid,fis : real;
    nz :integer; var fn :text);
procedure kmkr(a,l,psi0,psim,fiu,fid,fis : real; nz:integer;
    var fn:text);
procedure kmpt(h,s0,fiu,fid,fis : real; nz:integer;
    var fl:text);
procedure vivod (n : integer;
    f1,a1,a2,a3,a4,a5,a6 : real; var fn:text);
implementation
var axу,сху,par,bху,dху,eху,ugol : array6;

```

```

    xo, yo, l, fi, om, us : real;
    k, g                    : integer;
function sign;  {(x: real) : integer;} {ф-ция возвращает
    знак x }
begin
    if (x=0) then sign :=0;
    if (x >= 0) then sign := 1;
    if (x < 0 ) then sign := -1; end; {sign}
function tet;
var b,t:real; v:boolean; begin b:=0;
    v:=(abs(x)>0.Q00001*abs(y)); if v then t:=arctan(y/x);
    if (x<0) then b:=pi;
    if (x>0) and (y<0) then b:=2*pi;
    t:=t+b;
    if (not v) and (y>0) then t:=pi/2;
    if (not v) and (y<0) then t:=3*pi/2;
    tet:=t;
end; {tet}
procedure prjam;
begin
    ul:=u*cos(fe)+v*sin(fe); vl:=-u*sin(fe)+v*cos(fe); end; {
prjam }
procedure obrat;
begin
    u:=ul*cos(fe)-vl*sin(fe); v:=ul*s in(fe)+vl*cos(fe); end;
    { obrat }
procedure asur11;
var    cf, sf :real;
begin
    cf := cos(fi)*l;
    sf := sin(fi)*l;
    axy[1] = cf+xo;
    axy[2] = sf+yo;
    axy[3] = -om*sf;
    axy[4] = om*cf;
    axy[5] = -sgr(om)*cf-us*sf;
    axy[6]= us*cf-sqr(om)*sf;
end; {asur11}
procedure asur21;
var ac, fia, arg, argl, garni, a, cosl, sinl :real;
    s21, e1, e2                                :real;
    cl, sl, c2, s2, xac, yac, x2, y2, all, al2, sin2, cos2 : real;
begin
    g := 1;
    ac := sqrt(sqr(cxy[1]-axy[1])+sqr(cxy[2]-axy[2]));
    if (ac < (par[1]+par[2]-0.00001)) and
        (ac > abs(par[1]-par[2]))
    then
        begin

```



```

arg:=(sqr(par[1])-sqr(par[2])+sqr(ac))/(2*ac*par[1]);
fia:= k*(pi/2- arctan(arg/sqrt(1-sqr(arg))));
      { arctan(sqrt((1-sqr(arg)))/arg);}
      if (axy[1]=cxy[1])
      then
        garni := pi/2*sign(cxy[2]-axy[2])
      else
gam1 := arctan((cxy[2]-axy[2])/(cxy[1]-axy[1]));
      if (cxy[1] < axy[1])
      then
        gam1 := gam1+pi;
        ugol[1] := fia+gam1;
argl := (sqr(par[2])-sqr(par[1])+sqr(ac))/(2*ac*par[2]);
      a := pi-(pi/2-arctan(argl/sqrt(1-sqr(argl))));
        { arctan(sqrt(1-sqr(argl))/argl);}
        ugol[4] := gam1+k*a;
        c1 := cos(ugol[1]);
        s1 := sin(ugol[1]);
        c2 := cos(ugol[4]);
        s2 := sin(ugol[4]);
        bxy[1] := axy[1]+par[1]*c1;
        bxy[2] := axy[2]+par[1]*s1;
        {определение скоростей т.Б}
        e1 := axy[3]*c1+axy[4]*s1;
        e2 := cxy[3]*c2+cxy[4]*s2;
        s21 := sin(ugol[4]-ugol[1]);
        bxy[3] := (e1*s2-e2*s1)/s21;
        bxy[4] := (e2*c1-e1*c2)/s21;
        if (par[3]>0) then
          begin
dxy[1] := axy[1]+par[3]*cos(ugol[1]+par[5]);
dxy[2] := axy[2]+par[3]*sin(ugol[1]+par[5])
          end;
        if (par[4]>0)
        then
          begin
exy[1] := cxy[1]+par[4]*cos(ugol[4]+par[6]);
exy[2] := cxy[2] + fpar[4]*sin(ugol[4]+par[6])
          end;
        { определение угловых скоростей }
        хас := axy[3]-cxy[3];
        уас := axy[4]-cxy[4];
        ugol[2]:= (хас*c2+уас*s2)/(par[1]*(s1*c2-cl*s2));
        ugol[5]:= (хас*c1+уас*s1)/(par[2]*(s1*c2-cl*s2));
        {определение ускорений т.б }
e1 := ugol[2]*((bxy[3]-axy[3])*s1-(bxy[4]-axy[4])*c1)
      +axy[5]*c1+axy[6]*s1;
e2 := ugol[5]*((bxy[3]-cxy[3])*s2-(bxy[4]-cxy[4])*c2)
      +cxy[5]*c2+cxy[6]*s2;

```

```

bxy[5] := (e1*s2-e2*s1)/s21;
bxy[6] := (e2*c1-e1*c2)/s21;
      { определение угловых ускорений }
x2 := axy[5]-cxy[5];
y2 := axy[6]-cxy[6];
ac := c1*c2+s1*s2;
al2 := par[2]*(c2*s1-s2*c1);
al1 := par[1]*(c1*s2-s1*c2);
ugol[3]:=-(x2*c2+y2*s2+par[2]*sqr(ugol[5])-par[1]*ac*
      sqr(ugol[2]))/al1;
ugol[6]:=(x2*cH-y2*s1-par[1]*sqr(ugol[2])+par[2]*ac*
      sqr(ugol[5]))/al2;

if (par[3]>0)
then
begin
sinl := sin(ugol[1]+par[5])*par[3];
cosl := cos(ugol[1]+par[5])*par[3];
dxy[3] := axy[3]-sinl*ugol[2];
dxy[4] := axy[4]+cosl*ugol[2];
dxy[5] := axy[5]-sinl*ugol[3]-cosl*sqr(ugol[2]);
dxy[6] := axy[6]+cosl*ugol[3]-sinl*sqr(ugol[2])
end;
if (par[4]>0)
then
begin
sin2 := sin(ugol[4]+par[6])*par[4];
cos2 := cos(ugol[4]+par[6])*par[4];
exy[3] := cxy[3]-sin2*ugol[5];
exy[4] := cxy[4]+cos2*ugol[5];
exy[5] := cxy[5]-sin2*ugol[6]-cos2*sqr(ugol[5]);
exy[6] := cxy[6]+cos2*ugol[6]-sin2*sqr(ugol[5])
end
end { begin (if g=1 then) }
else
begin
g := -1;
writeln('группа 21 не собирается')
end
end; { procedure asur21 }
procedure asur22;
label 1,2;
var ah, al : array6; cog,sig,s,s1,s2,ome,ep : real;
var i,j : integer; begin
g:=1;
for i:=1 to 6 do ah[1]:=a[1];
ah[1] :=ah[1]-par[3]; ah[2] :=ah[2]-par[4];
for i:=0 to 2 do begin j:=2*i+1;
prjam(ah[j],ah[j+1],par[6],al[j],al[j+1]); end;

```

```

if par[1]>abs(a1[2]) then
begin
s:=kc*sqrt(par[1]*par[1]-a1[2]*a1[2]);
s1:=-a1[2]*a1[4]/s;
s2:=- (a1[4]*a1[4]+a1[6]*a1[2]+s1*s1)/s;
a1[1]:=a1[1]+s; a1[3] :=a1[3]+s1; a1[5] :a1[5]+s2;
for i:=0 to 2 do begin j:=2*i+1;
obrat(a1[j],0,par[6],b[6],b[j+1]); end;
b[1]:=b[1]+par[3]; b[2] :=b[2]+par[4] ;
cog:=b[1]-a[1]; sig:=b[2]-a[2] ;
ugl[1] :=tet(cog,sig);
if ugl[1]>pi then ugl[1] :=ugl[1]-2*pi;
if abs(ugl[1])>=0.0001 then begin
ome:=(-b[3]+a[3])/par[1]/sin(ugl[1]);
ep:=(-b[5]+a[5]-par[1]*ome*ome*cos(ugl[1] ) ) /
par[1]/sin(ugl[1]);
end
else begin
ome:=(b[4]-a[4])/par[1]/cos(ugl[1]);
ep:=(b[6]-a[6]+par[1]*ome*ome*sin(ugl[1]))/par[1]/
cos(ugl[1]);
end;
ugl [ 2 ] :=ome ; ugl [ 3 ] :=ep ;
ugl[4]:=a1[1]; ugl[5]:=a1[3];
ugl[6]:=a1[5];
cog:=cos(ugl[1]+par[5])*par[2];
sig:=sin(ugl[1]+par[5] ) *par[23];
c[1]:=a[1]+cog; c[2]:=a[2]+sig;
c[3]:=a[3]-ome*sig; c[4]:=a[4]+ome*cog;
c[5]:=a[5]-ome*ome*cog-ep*sig;
c[6]:=a[6]-ome*ome*sig+ep*cog;
end
else
begin g := -1; writeln('Группа 22 не собирается') end
end; { pr. asur22 }
procedure asur23;
var x,y,xt,yt,xtt,ytt,b,bt,btt :real;
arg1,arg2,sin1,cos1,ee :real;
begin
g := 1;
x := a[1]-c[1];
y := a[2]-c[2];
xt := a[3]-c[3];
yt := a[4]-c[4];
xtt := a[5]-c[5];
ytt := a[6]-c[6];
b := sqrt(x*x+y*y);
ugl3[4] := sqrt(b*b-par3[1]*par3[1]);
if (ugl3[4] < 0.00001)

```

```

then
  begin
    g := -1;
    writeln('Группа 23 не собирается')
  end
else
  begin
    bt := (x*xt+y*yt)/b;
    btt := (xt*xt+x*xtt+yt*yt+y*ytt-bt*bt)/b;
    ugl3[5] := b*bt/ugl3[4];
    ugl3[6] := ((sqr(bt)+b*btt)*ugl3[4]-b*bt*ugl3[5])/
      ugl3[4]/ugl3[4];
      { определение угла fil }
    { arg1 := y/b; }
    arg2 := par3[1]/b;      ee:= tet(x,y);
    { if x<0 then ee:=pi-ee; }
    ugl3[1] := ee-kc*arctan(arg2/sqrt(1-arg2*arg2));
      { определение угловой скорости и угл.ускорения}
    if (abs(x) < 0.00001)
      then
        begin
          ugl3[2] :=(-(xt*b-x*bt)/y+kc*par3[1]*bt/ugl3[4])/b;
          ugl3[3] :=(-((xtt*b-x*btt)*y-(xt*b-x*bt)*yt)/y/y+
            kc*par3[1]*(btt*ugl3[4]-bt*ugl3[5])/ugl3[4]/ugl3[4] -
            ugl3[2]*bt)/b
        end
      else
        begin
          ugl3[2] :=((yt*b-y*bt)/x+kc*par3[1]*bt/ugl3[4])/b;
          ugl3[3] :=(((ytt*b-y*btt)*x-(yt*b-y*bt)*xt)/x/x+kc*
            par3[1]*(btt*ugl3[4]-bt*ugl3[5])/ugl3[4]/ugl3[4]-
            ugl3[2]*bt)/b;
        end;
    {определение координат скоростей и ускорений точек D,E}
    if (par3[2] > 0.00001)
      then
        begin
          sinl :=sin(ugl3[1]+par3[4])*par3E2];
          cosl:=cas(ugl3[13-fpar3[4])*par3[2];
          d[1] :=c[1]+cosl;
          d[2] := c[2]+sinl;
          d[3] := c[3]-sinl*ugl3[2];
          d[4] := c[4]+cosl*ugl3[2];
          d[5] := c [ 5]-sinl*ugl3[3]-cosl*sqr(ugl3[2]);
          d[6] := c[6]+cosl*ugl3E3]-sinl*sqr(ugl3[2])
        end;
    if (par3[3] > 0.00001)
      then
        begin

```

```

sin1 := sin(ug13[1]+par3[5])*par3[3];
cos1 := cos(ug13[1] +par3[5])*par3[3];
e[1] := a[1]+sin1;
e[2] := a[2]-cos1;
e[4] := a[4]+sin1*ug13[2];
e[3] := a[3]+cos1*ug13[2];
e[6] := a[6]+sin1*ug13[3]+cos1*sqr(ug13[2]
e[5] := a[5]>cos1*ug13[3]-sin1*sqr(ug13[2])
  end { *****elseend; }
end { procedure asur23  }
procedure asur24;
var s3,c3,ta2,c2,s23    :real;
begin
g := 1;
a2[1] := a3[1];
a2[2] := a3[2];
s3 := sin(a13);
c3 := cos{a13);
c2 := cos(a12);
s23 := sin(a12-a13);
  if (abs(s23) < 0,00001)
  then
    begin
      g := -1;
      writeln('Группа 24 не собирается')
    end
  else
    begin
      ta2:=-a3[3]*s3+a3[4]*c3;
      a2[3] := ta2*c2/s23; a2[4]:=ta2*sin(a12)/s23;
      ta2:=-a3[5]*s3+a3[6]*c3+2*om*(-a3[3]*sin{a12)+
        a3[4]*c2)/s23;
      a2[5] :=ta2*c2/s23;
      a2[6] :=ta2*sin(a12)/s23;
    end
  end;
  { procedure asur24 1
procedure asur25; var S2,c2,s21,c21,v2,w2    :real; begin
g := 1;
a2[1] := a1[1];
a2[2] := a1[2]
s2 := sin(a12);
c2 := cos(a12);
s21 := sin(a121-a12);
c21 := cos(a121-a12);
if (abs(sin(a121)) < 0.00001 )
then
  begin
    g := -1;
    writeln('группа 25 не собирается'); end

```

```

else
  begin
    v2 := (a1[3]*s21+a1[4]*c21)/sin(a121);
    a2[3] := v2*c2; a2[4] := v2*s2;
    w2 := (a1[5]*s21+a1[6]*c21)/sin(a121);
    a2[5] := w2*c2;
    a2[6] := w2*s2;
  end
end;      { procedure asur25  }
procedure srasl1;
var a1,figa,xs1,ysl,xslt,yslt,xsltt,ysltt :real;
    flx,fly,fml,r10,ur                    :real;
    istr,i                                 : integer;
begin
  AL:=1/9*pi;
  FIGA:=FI+PAR[3];
  XS1:=PAR[2]*COS(FIGA);
  YS1:=PAR[2]*SIN(FIGA);
  XS1T:=-PAR[2]*OM*SIN(FIGA);
  YS1T:=PAR[2]*OM*COS(FIGA);
  XS1TT:=-PAR[2]*(OM*OM*COS(FIGA)+EPS*SIN(FIGA));
  YS1TT:=-PAR[2]*(OM*OM*SIN(FIGA)-EPS*COS(FIGA));
  F1X:=-MS1*XS1TT;
  F1Y:=-MS1*YS1TT;
  FM1:=-IS1*EPS;
  PUR:=0; mur:=0;
  ISTR:=0;
  ro[1]:=0; ro[2]:=0;
  r10 := 0;
  while istr<5 do begin
r10:=sqrt(ro[1]*ro[1]+ro[2]*ro[2]);
R0[3]:=-sign(OM)*RTRO*R10;
ur := -R0[3]-FM1+RA[3]-(F1Y-MS1*9.81)*(XS1-XO)+F1X*
      (YS1-YO);
MUR:=ur+PAR[1]*(RA[2]*COS(FI)-RA[1]*SIN(FI));
  if par[4]=2
  then
    begin
      pur := abs(mur)/par[5]/cos(al);
      if (mur<0)
      then
        begin
          RO[1]:=PUR*SIN(-PAR[6]+AL)+ra[1]-F1X;
          RO[2]:=PUR*COS(-PAR[6]+AL)+ra[2]-F1Y+9.81*MS1;
        end
      else
        begin
          RO[1]:=PUR*SIN(PAR[6]+AL)+ra[1]-F1X;
          RO[2]:=-PUR*COS(PAR[6]+AL)+ra[2]-F1Y+9.81*MS1;
        end
      end
    end
  end
end;

```

```

    end;
  end
else
  begin
    ro[1] := ra[1]-flx;
    ro[2] := ra[2]-fly+9.81*msl;
  end;
if (rtro = 0)
  then istr := 5
  else istr := istr+1;
  end; {***** while *****}
IPR:=IPR+MS1*(XS1T*XS1T+YS1T*YS1T)/OM/OM+IS1; MPR:=MPR-
IS1*EPS-F1X*YS1+F1Y*XS1;
RX:=RX+F1X; RY:=RY+F1Y;
prjam(rx,ry,fi,xsl,ysl); rx:=xsl; ry:=ysl;
MPG:=MPG-MS1*YS1T*9.81/abs(om);
end; { proc sras1l*****}
procedure sras21;
var ul,u2,u3,u4,rat,rct,sil,si2,col,co2 :real;
af1,af2,rcn,ran,ral,rbl,rcl :real;
istr,k : integer;
fml,fm2 : array3;
begin
  for k :=1 to 3 do
    begin
      fm2[k] := 0; fml[k] := 0;
    end; {for}
  if (kz = 1)
  then
    begin
      for k :=1 to 3 do
        begin
          fml[k3] := rd[k];
        end; {for}
      fml[3]:=-fml[3]-rd[2]*(d[1]-s1[1])+(d[2]-s1[2])*rd[1];
    end
    else
      begin
        for k :=1 to 3 do
          begin
            fm2[k] := rd[k];
          end; {for}
        fm2[33]:=-fm2[33-(d[1]-s2[1])*rd[2]+(d[2]-s2[2])*rd[1];
      end;
      for k :=1 to 3 do
        begin
          RA[K]:=0;
          RB[K]:=0;
          RC[K]:=0

```

```

end;
istr := -1;
u2 := fml[2]-ms1*(9.81-sl[6]);
u1 := fml[1]+ms1*s1[5];
u4 := fm2[2]+ms2*(9.81+s2[63]);
u3 := fm2[1]+ms2*s2[5];
SI1:=SIN(UGL1[13]);
SI2:=SIN(UGL1[4]);
C01:=COS(UGL1[1]);
C02:=COS(UGL1[4]);
while istr<3 do
begin
RAT:=(-U1*(B[2]-S1[2])+U2*(B[13]-S1[13]+FM1[33+RA[3]
IS1*OGL1[3])/PAR1[1];
RCT:=(-U3*(B[2]-S2[2])+U4*(B[1]-S2[13]+FM2[33+RCT33
-RB[3]-IS2*UGL1[6])/PAR1[2];
AF1 :=RAT+U1*SI1-02*C01 ; AF2:=RCT+U3*SI2-U4*C02;
RB[1] :=(AF1*C02+AF2*C01)/SIN(UGL1t13-UGL1[43]);
RB[2] :=(AF1*SI2+AF2*SI1)/SIN(UGL1[13-UGL1[43]);
RAN:= (U1-RB[1])*C01-(U2-RB[2])*SI1;
RCN:=(U3+RB[1])*C02+(U4+RB[2])*SI2;
RA[1] :=RAN*C01-RAT*SI1;
RA[2] :=RAN*SI1+RAT*C01 ;
RC[1] :=RCN*C02-RCT*SI2;
RC[2] :=RCN*SI24-RCT*C02;
if ((rtra+rtrb+rtrc)>0)
then
begin
RA1:=SQRT(sqr(RA[1])+sqr(RA[2]));
RB1:=SQRT(sqr(RB[1])+sqr(RB[2]));
RC1:=SQRT(sqr(RC[1])+sqr(RC[2]));
RA[3] :=-RA1*RTRA*SIGN(UGL1[2]-OMKA);
RB[3] :=-RB1*RTRB*SIGN(UGL1[2]-UGL1[53]);
RC[3] :=-RC1*RTRC*SIGN(OGL1[5]-OMKC);
istr := istr+1;
end
else
istr := 3;
end; { while *****}
IPR:=IPR+(MS1*(sqr(S1[3])+sqr(S1[4]))+MS2*(sqr(S2[3]
+sqr(S2[4]))+
IS1*sqr(UGL1[2])+IS2*sqr(OGL1[5]))/OM/OM;
MPR:=MPR-IS1*UGL1[3]-IS2*UGL1[63+MS1*S1[53]*S1[23+MS2
*S2[5]*S2[2]-MS1*S1[6]*S1[1]-MS2*S2[6]*S2[1]; RX:=RX-
MS1*S1[5]-MS2*S2[5];
RY:=RY-MS1*S1[6]-MS2*S2[6];
MPG:=MPG-(MS1*S1[4]+MS2*S2[4])*9.81/abs(om);
end; { proc sras21*****}
procedure sras22;

```



```

var gm, flx, fly, gl, g2, f2x, f2y, raxl, rayl, rbxl, rbyl, kc
    :real;
mp, mpl, gll, gl2, g21, g22, fl1, fl2, f21, f22, xt, yt    :real;
xld, yld, xla, yla, xlb, ylb, xls, yls, rdx, rdy, r1, r2    :real;
    istr, k
                                : integer;
begin
    gm:=par[6];
    ISTR:=-1;
    for k :=1 to 3 do
        begin ra[k]:=0; rb[k]:=0; r20[k]:=0 end;
    gl:=-9.81*ms1; g2:=-9.81*ms2; flx:=-ms1*s1[5];
    fly:=-ms1*s1[6]; rdx:=-rd[1]; rdy:=-rd[2];
    f2x:=-ms2*b[5]; f2y:=-ms2*b[6];
        prjam(0, gl, gm, gll, gl2); prjam(0, g2, gm, g21, g22);
    prjam(flx, fly, gm, fl1, fl2); prjam(f2x, f2y, gm, f21, f22);
    prjam(rdx, rdy, gm, r1, r2);
    prjam(s1[1], s1[2], gm, xls, yls);
    prjam(b[1], b[2], gm, xlb, ylb);
    prjam(d[1], d[2], gm, xld, yld);
    prjam(par[3], par[4], gm, xt, yt);
        xlb:=xlb-xt; ylb:=ylb-yt;
        xla:=xlb-par[1]*cos(-ugl2[1]+gm);
        yla:=-par[1]*sin(ugl2[1]-gm);
        xld:=xld-xt; yld:=yld-yt; xls:=xls-xt; yls:=yls-yt;
        prjam(b[3], b[4], gm, xt, yt);
    while istr<3 do begin
        raxl:=-p-gll-g21-fl1-f21-r1-r20C2];
        rayl:=(-yla*raxl-(xlb-xls)*(fl2+gl2)-yls*(fl1+gll)-(xlb-
        xld)*r2-yld*r1-is1*ugl2[33-rd[3]+ra[3]+rb[3])/(xlb-xla);
        rbyl:=-rayl-fl2-gl2-r2;
        r20[1] :=rbyl-g22; rbxl:=-raxl-fl1-gll-r1;
        obrat(raxl, rayl, gm, ra[1], ra[2]);
        obrat(rbxl, rbyl, gm, rb[1], rb[2]);
        if r20[1]<>0 Then
            r20[3]:=rb[3]/r20[1]; if ((rtra+rtrb+ftr)>0) then
                begin
                    ra[3] :=-sqrt(sqr(raxl)+sqr(rayl))*rtra*sign(ugl2[2]
                    -omka);
                    rb[3]:=-sqrt(sqr(rbxl)+sqr(rbyl))*rtrb*sign(ugl2[2]);
                    r20[2]:=-ftr*abs(r20[1])*sign(xt);
                    istr := istr+1; end
                else
                    istr := 3;
            end;
        { while *****}
        ipr:= ipr+(ms1*(s1[3]*s1[3]+s1[4]*s1[4])
        +ms2*(b[3]*b[3]+b[4]*b[4])+is1*sqr(ugl2[2]))/om/om; mpr:=
        mpr-is1*ugl2[3]+ms1*s1[5]*s1[2]+ms2*b[5]*b[2]-
        ms1*s1[6]*s1[1]-ms2*b[6]*b[1];
        rx = rx-ms1*s1[5]-ms2*b[5];
        ry = ry-ms1*s1[6]-ms2*b[6];

```

```

mpg = mpg - ((ms1*s1[4]+ms2*b[4])*9.81-p*xt)/abs(om); end;
{ proc sras22*****}
      var ugl,de : array6; h      : real; kde : in-
      teger; rde :array3;
procedure sras23;
var flx,fly,em1,f2x,f2y,em2,ral,rcl      :real;
    istr,k                                : integer;
    rd,re                                  :array3;
    d,e                                    : array6;
begin
  if (kde = 1)
  then
    for k := 1 to 3 do
    begin E[K]:=0;
          E[3+K]:=0;
          RE[K]:=0;
          D[K]:=DE[K];
          RD[K]:=RDE[K];
          D[3+K]:=DE[3+K]
    end {for}
  ELSE
    for k := 1 to 3 do
    begin
      D[K]:=0;
      D[3+K]:=0;
      RD[K]:=0;
      E[K]:=DE[K];
      RE[K]:=RDE[K];
      E[3+K]:=DE[3+K];
    end; {for}
    for k := 1 to 3 do
    begin
      RA[K]:=0;
      RC[K]:=0;
      RN[K]:=0
    end; {for}
    F1X:=-MS1*S1[53];
    F1Y:=-MS1*S1[63];
    EM1:=-IS1*UGL[3];
    F2X:=-MS2*S2[5];
    F2Y:=-MS2*S2[6];
    EM2:=-IS2*UGL[3];
    ISTR:=-1;
    while istr<3 do begin
      RAL:=SQRT(sqr(RA[1])+sqr(RA[2]));
      RC1:=SQRT(sqr(RC[1])+sqr(RC[2]));
      RA[3]:=-sign(UGL[2]-OMKA)*RTRA*RAL;
      RC[3]:=-sign(UGL[2]-OMKC)*RTRC*RC1;
      RN[2]:=SIGN(UGL[5])*FTR*abs(RN[1]);

```

```

RN[1]: = (RC[3]+RA[3]-RD[3]-RE[3]+EMH-EM2-RD[2]*(D[1]-
C[1])+RD[1]*(D[2]-C[2])-RE[2]*(E[1]-A[1])+ RE[1]*(E[2]-
A[2])-b(F1Y-MS1*9.81)*(S1[1]-C[1])-F1X*(S1[2]-C[2])+(F2Y-
MS2*9.81)*(S2[1]-A[1])-F2X*(S2[2]-A[2])-RN[2]*H)/UGL[4];
RC[1]:=RD[1]-F1X-RN[2]*COS(UGL[1])-RN[1]*SIN(UGL[1]);
RC[2]:=RD[2]-F1Y-I-MS1*9.81-RN[2]*SIN(UGL[1])+RNC1}
      *COS(UGL[1]);
RA[1]:=RE[1]-F2X+RN[2]*COS(UGL[1])+RN[1]*SIN(UGL[1]);
RA[2]:=RE[2]-F2Y+MS2*9.8H-RN[2]*SIN(UGL[1])-RN[1]
      *COS(UGL[1]); RN[3]:=(-RA[3]-(F2Y-MS2*9.81)*(S2[1]-
      A[1])+F2X*(S2[2]
RE[3]+RE[2]*(E[1]-A[1])-RE[1]*(E[2]-At23)+RN[2]*H-EM2)
  IF (RTRA+RTRC+FTR)>0
    then
      istr := istr+1
    else
      istr := 3;
end; { ***** while *****}
IPR:=IPR+(MS1*(sqr(S1[3]) + sqr(S1[4]))+MS2*(sqr(S2[3])
      +sqr(S2[4]))+(IS1+IS2)*sqr(UGL[2]))/OM/OM;
MPR:=MPR-(IS1+IS2)*UGL[3]+MS1*S1[5]*S1[2]+MS2*S2[5]
      *S2[2]-MS1*S1[6]*S1[1]-MS2*S2[6]*S2C1];
RX:=RX-MS1*S1[5]-MS2*S2[5];
RY:=-RY-MS1*S1[6]-MS2*S2[6];
MPG: =MPG- (MS1*S1 [ 4 ] +MS2*S2 [ 4 ] ) *9 . 81/abs ( OM)
;
end; {proc sras23}
      var om3          :real;
      ftrl,ftr2      : real;
      r21,r13,r20    : array3 ;
procedure sras24;
  var gl,g2,f1x,fly,f2x,f2y,g11,g12,g21,g22,v20,vp,
      vl3x,vl3y:real;
  v13,az,f20,£21,t22,f11,f12,f13,m12,m21,e11,ra1,
      rayl,istr:real;
begin
  gl:=-9.81*ms1; g2:=-9.81*ms2; f1x:=-ms1*a2[5];
  fly:=-ms1*a2[6];
  f2x:=-ms2*a2[5]; f2y:=-ms2*a2[6]; e11:=-is1*eps;
  prjam(0,g1,a12,g11,g12); prjam(0,g2,a!2,g21,g22);
  prjam(f1x,fly,a12,f11,f12);
  prjam(f2x,f2y,a12,f21,f22);
  prjam(a2[3],a2[4],a12,v20,vp);
  vl3x:=a2[3]-a1[3]; vl3y:=a2[4]-a1[4];
  if abs(cos(a13))>0.00001 then vl3:=vl3x/cos(a13)
      else vl3:=vl3y/sin(a13);
  az:=a13-a12; f20:=0; f13:=0; m12:=0; m21:=0;
  e11:=-is1*eps;;      istr:=-1;
  while istr<4 do begin

```

```

r13[1]:=(p+f21+f20-bf11+f13*cos(az)+g21+g11)/sin(az);
r20[1]:=(g22+g12+f12+f22+r13[i]*cos(az)+f13*sin(az));
ray1:=-r20[1]+g22+f22; rax1:=-p+f20+f21+g21;
if r13[1]=0 then r13[3]:=0 else
    r13[3]:=-m12+em1/r13[1];
if r20[1]=0 then r20[3]:=0 else r20[3]:=-m21/r20[1]; if
((rtra+ftrl-fftr2)>0) then begin
    f20:=-abs(r20[1])*ftr2*sign(v20);
    f13:=-abs(r13[1])*ftrl*sign(v13);
    m12:=-sqrt(rax1*rax14-ray1*ray1)*rtra*sign(om3);
m21:=-m12; istr:=istr+1; end else istr:=4;
end; {while}
    r13[2]:=f13; r20[2]:=f20; r21[3]:=m21;
    Obrat(rax1,ray1,a12,r21[1],r21[2]);
    IPR:=IPR+(MS1*(sqr(A2[3])+sqr(A2[4]))+MS2
        *(sqr(A2[3])+sqr(A2[4]))+IS1*OM3*OM3)/OM/OM;
MPR :=MPR-IS1*EPS+MS1*A2 [ 5 ] *A1 [ 2 ] +MS2*A2 [ 5 ]
*A2 [ 2 ] -MS1*A2[6]*A1[1]-MS2*A2[6]*A2[1];
RX :=RX-MS1*A2 [ 5 ] -MS2*A2 [ 5 ] ;
RY :=RY-MS1*A2 [ 6 ] -MS2*A2 [ 6 ] ;
MPG :=MPG- ( MS1+ms2 ) *A2 [ 4 ] *9 . 81/abs ( OM ) +
p*v20/abs(om);
END; {**** proc sras24}
procedure sras25;
    var g1,g2,flx,fly,f2x,f2y :real;
    v20,v12,vp,v12x,v12y,az,m13,x,y:real
    istr: integer;
begin
IF (ABS(AL21)>= 0.0001)
THEN
    begin
        g1:=9.81*ms1; g2 :=9.81*ms2; flx:=-ms1*a1[5] ; fly:=-
            ms1*a1[6];
        f2x:=-ms2*s2[5]; f2y :=-ms2*s2[6] ; az :=a12-a121;
        prjam(a2[3],a2[4],a12,v20,vp);
        v12x:=a1[3]-a2[3]; v12y :=a1[4]-a2[4] ;
        prjam(v12x, v12y,az,v12,vp);
        r20[2]:=0; r12[2]:=0; m13:=0;
        istr:=-1;
    while istr<4 do begin
        r12[1] :=(p+(f2y-g2)*sin(a12)+f2x*cos(a12)+r20[2] -
            r12[2]*cos(a121))/sin(a121);
        r20[1] :=r12[1]*cos(a121)-r12[2]*sin(a121)+f2x
            *sin(a12)-(f2y-g2)*cos(a12);
        r13[1]:=r12[1]*sin(az)-flx-r12[2]*cos(az);
        r13[2]:=r12[1]*cos(az)-fly+g1-r12[2]*sin(az); if
            r20[1]=0 then r20[3]:=0 else

```

```

r20[3] :=(m13-(f2y-g2+
(p+r20[2])*sin(a12))* (a1[1]-s2[1]))+
(p+r20[2]*cos(a12)+f2x)*(a1[2]-s2[2])/r20[1];
if r12[1]=0 then r12[3]:=0 else
r12[3]:=-m13/r12[1];
if ((rtra+ftrl+ftr2)>0) then begin
r20[2]:=-abs(r20[1])*ftr2*sign(v20);
r12[2]:=-abs(r12[1])*ftrl*sign(v12); m13 : =-sqrt (
r13 [ 1 ] *r13 [ 1 ] +r13 [ 2 ] *r13 [ 2 ] ) *rtra
*sign(-omka) ;
istr :=istr+1; end else istr:=4;end; {while}
r13[3]:=m13;
IPR:=IPR+(MS1*(sqr(A1[3])+sqr(A1[4]))+MS2
*(sqr(S2[3])+sqr(S2[4]))) /OM/OM;
MPR:=MPR+MS1*A1[5]*A1[2]+MS2*S2[5]*S2[2]-MS1*A1[6]
*A1[1]-MS2*S2[6]*S2[1]; RX:=RX-MS1*A1[5]-MS2*S2[5];
RY:=RY-MS1*A1[6]-MS2*S2[6];
MPG:=MPG-(mS1*A1[4]+MS2*S2[4])*9.81/abs(OM)
+p*v20/abs(om);
end { then }
else
writeln('Оси направляющих ползунов');
writeln('не должны совпадать');
END; { sras25 }
procedure swawe; begin
case i of
1:begin s:=(2.*pi*k-sin(2.*pi*k))/(2.*pi);
s1:=1.-cos(2.*pi*k); s2:=2.*pi*sin(2.*pi*k);
end;
2:begin s:=(1-cos(pi*k))/2; s1:=pi*sin(pi*k)/2;
s2:=pi*pi*cos(pi*k)/2; end;
3:begin s:=k*k*(3-2*k); s1:=6*k*(1-k); s2:=6*(1-2*k);
end;
4:begin if k<=0.5 then begin s:=2*k*k; s1:=4*k;
s2:=4; end;
if k>0.5 then begin s:=1-2*(1-k)*(1-k);
s1:=4*(1-k);
s2:=-4; end end;
5:begin if k<=0.5 then begin s:=8*k*k*k*(1-k);
s1:=8*k*k*(3-4*k); s2:=48*k*(1-2*k); end
else begin s:=1-8*(1-k)*(1-k)*(1-k)*k; s1:=8*(1-k)*(1-
k)*(3-4*(1-k));
s2:=-48*(1-k)*(1-2*(1-k));
end end;
end; s:=h*s; s1:=h*s1/fazu; s2:=h*s2/(fazu*fazu);
if jf=2 then begin s:=h-s; s1:=-s1; s2:=-s2; end
end; {swawe}
procedure prflkr;
{ a-расстояние между центрами, l -длина коромысла }

```

```

begin
  xc:=a*cos(fi)-l*cos(fi+psi);
  yc:=-a*sin(fi)+l*sin(fi+psi);
  end; {prflkr}
procedure psikr;
  var k,s,sl,s2,h,s0 : real; i : integer;
  begin
    s:=psi; sl:=psil; s2:=psi2; h:=psim; s0:=psi0;
    if fi <= fiu then begin i:=1; k:=fi/fiu;
      swawe(nz,i,k,h,fiu,s,sl,s2); s:=s+s0; end;
    if (fi < fid) and (fi > fiu) then
      begin s:=s0+h; sl:=0; s2:=0; end;
    if (fi <= fis) and (fi >= fid) then
      begin i:=2; k:=(fi-fid)/(fis-fid);
        swawe(nz,i,k,h,fis-fid,s,sl,s2); s:=s+s0;
      end;
    if fi > fis then begin s:=s0; sl:=0; s2:=0; end;
    psi:=s; psil:=sl; psi2:=s2;
    end; {psikr} { end;}
procedure prflrt;
  { e - эксцентриситет }
  var c,si : real;
  begin c:=cos(fi); si:=sin(fi);
    xc:=e*c+s*si; yc:=-e*si+s*c; end; {prfprt}
procedure prflpt;
  var ro : real; { радиус кривизны }
  begin xc:=s*sin(fi)+sl*cos(fi);
    yc:=s*cos(fi)-sl*sin(fi);
  end;
function rokrl;
  label 1,2,3;
  var a,l,b,c: real;
  begin
    if (ch='rt') or (ch='pf') then goto 1;
  a:=ax; l:=ly;
  c:=l+sl; c:=c*c; b:= a*a+l*l*c*(l+sl);
  c:=a*a+l*l*c-2*a*l*(l+sl)*cos(s);
  c:=sqrt(c);c:=c*c*c;
  b:=-b+a*l*((l+sl)*(l+sl)+l+sl)*cos(s)+ s2*sin(s));
  rokrl :=c/b; goto 2; 1;; if ch='pt' then goto 3;
  c:=(sl-a)*(sl-a)+s*s; c:=sqrt(c);c:=c*c*c;
  b:=- (sl-a)*(2*sl-a)+(s2-s)*s; rokrl:=c/b; goto 2;
  3;; rokrl:=s+s2; 2;; end;
procedure kmrt;
  var      s,sl,s2,x,y      : real;
          dfi,fi,df,ro,dl,fbw : real;
          fu,fd,fs,fb,z     : real;
          i,ki,fe           : integer;
          ch                 : string;

```

```

begin
  h:=h/1000; s0:=s0/1000; e:=e/1000;
  fiu:=fiu*pi/180; fid:=fid*pi/180; fis:=fis*pi/180;
  fu:=fiu; fd:=fu+fid; fs:=fd+fis;
  fbw:=2*pi-fiu-fid-fis; ki:=12;
  writeln(fn,' N fi(град) xc(мм) yc(мм) dl',
    '(град) Rкр(мм) ds(мм)');
  WRITELN(FN,' ');
  WRITELN(FN,' ФАЗА УДАЛЕНИЯ');
  writeln(fn,' ');
  ch:='rt'; dfi:=fiu/ki; fi:=0; fe:=1; df:=pi/180;
for i:=1 to ki+1 do begin if i=ki+1 then fi:=fu;
  psikr(nz,fi,fu,fd,fs,s0,h,s,sl,s2);
  prflrt(fi,s,sl,s2,e,x,y);
  ro:=rokrl(ch,e,0,s,sl,s2);
  dl:=arctan((sl-e)/s)*180/pi;
  if ro>10000 then ro:=9999;
  if ro<-10000 then ro:=-9999;
  writeln(fn,fe:3,' ',fi/df:5:1,' ',x*1000:6:1,
    ',y*1000:6:1,' ',dl:5:1,' ',ro*1000:6:0,
    ',(s-s0)*1000:5:1); fi:=fi+dfi; fe:=fe+1; end;
  writeln(fn,' ');
  writeln(fn,' Фаза сближения'); writeln(fn,' ');
  fi:=fiu+fid; dfi:=fis/ki; {fe:=fe+fid;}
for i:=1 to ki+1 do begin if i=ki+1 then fi:=fs;
  psikr(nz,fi,fu,fd,fs,s0,h,s,sl,s2);
  prflrt(fi,s,sl,s2,e,x,y);
  ro:=rokrl(ch,e,0,s,sl,s2);
  z:=sl-e; dl:=arctan(z/s)/df;
  if ro>10000 then ro:=9999;
  if ro<-10000 then ro:=-9999;
  writeln(fn,fe:3,' ',fi/df:5:1,' ',x*1000:6:1,
    ',y*1000:6:1,' ',dl:5:1,' ',
    ',ro*1000:6:0,
    ',(s-s0)*1000:5:1);
  fi:=fi+dfi;
  fe:=fe+1; end;
  end;{kmrt}
procedure kmkr;
var s,sl,s2,x,y : real;
    dfi,fi,df,ro,dl,fbw : real;
    fu,fd,fs,fb,z : real;
    i,ki,fe : integer;
    ch : string;
begin
  fiu:=fiu*pi/180; fid:=fid*pi/180; fis:=fis*pi/180;
  fu:=fiu; fd:=fu+fid; fs:=fd+fis;
  fbw:=2*pi-fiu-fid-fis; ki:=12; a:=a/1000;
  l:=1/1000;

```

```

psi0:=psi0*pi/180; psim:=psim*pi/180;
writeln(fn,' N f1(град) xc(мм) yc(мм) dl',
        '(град) Rкр(мм) dpsi(рад) ');
writeln(fn,' ');
writeln(fn,' Фаза удалення');
writeln(fn,' ');
ch:='kr'; dfi:=fiu/ki; fi:=0; fe:=1; df:=pi/180;
for i:=1 to ki+1 do begin if i=ki+1 then fi:=fu;
psikr(nz,fi,fu,fd,fs,psi0,psim,s,sl,s2);
prflkr (fi, s,a,l,x,y); ro:=rokrl (ch, a, l, s, si, s2) ;
dl:=arctan((1*(sl+1)-a*cos(s))/a/s in(s))*180/pi;
ro:=1000*ro;
if ro>10000 then ro:=9999;
if ro<-10000 then ro:=-9999;
writeln(fn,fe:3,' ',fi/df:5:1,' ',x*1000:6:1,
        ',y*1000:6:1,' ',dl:5:1,' ',ro:6:0,' ',(s-
psi0):5:3);
fi:=fi+dfi;
fe:=fe+1; end; writeln(fn,' ');
writeln(fn,' Фаза сближення');
writeln(fn,' ');
fi:=fiu+fid; dfi:=fis/ki; {fe:=fe+fid;}
for i:=1 to ki+1 do begin if i=ki+1 then fi:=fs;
psikr(nz,fi,fu,fd,fs,psi0,psim,s,sl,s2);
prflkr(fi,s,a,l,x,y); ro:=rokrl(ch,a,l,s,sl,s2);
ro:=1000*ro;
dl:=arctan((1*(1-sl)-a*cos(s))/a/sin(s))*180/pi;
if ro>10000 then ro:=9999;
if ro<-10000 then ro:=-9999;
writeln(fn,fe:3,' ',fi/df:5:1,' ',x*1000:6:1,
        ',y*1000:6:1,' ',dl:5:1,' ',ro:6:0,' ',(s-
psi0):5:3);
fi:=fi+dfi;
fe:=fe+1; end;
end; {kmpk}
procedure kmpk;
var s,sl,s2,x,y : real;
dfi,fi,df,ro,dl,fbw : real;
fu,fd,fs,fb : real;
i,ki,fe : integer;
ch : string;
begin
fiu:=fiu*pi/180; fid:=fid*pi/180; fis:=fis*pi/180;
fu:=fiu; fd:=fu+fid; fs:=fd+fis;
fbw:=2*pi-fiu-fid-fis; ki:=12; h:=h/1000;
s0:=s0/1000;
writeln(fl,' N f1(град) xc(мм) yc(мм) ', ' Rкр(мм)
ds(мм) ');
writeln(fl,' ');

```



```

writeln(fl, '          Фаза      удалення');
writeln(fl, ' ');
ch:='pt'; dfi:=fiu/ki; fi:=0; fe:=1; df:=pi/180;
for i:=1 to ki+1 do begin if i=ki+1 then fi:=fu;
psikr(nz,fi,fu,fd,fs,s0,h,s,sl,s2);
prflpt(fi,s,sl,s2,x,y); ro:=rokrl(ch,0,0,s,sl,s2);
if ro>10000 then ro:=9999;
if ro<-10000 then ro:=-9999;
writeln(fl,fe:3,'      ',fi/df:5:1,'      ',x*1000:6:1,'
      ',y*1000:6:1,'      ',ro*1000 : 6 : 0 , '      ',(s-
      s0)*1000:5:1);
fi:=fi+dfi; fe:=fe+1; end;
writeln(fl, ' ');
writeln(fl, '          Фаза      сближения');
writeln(fl, ' ');
fi:=fiu+fid; dfi:=fis/ki; {fe:=fe+fid;}
for i:=1 to ki+1 do begin
if i=ki+1 then fi:=fs;
psikr(nz,fi,fu,fd,fs,s0,h,s,sl,s2);
prflpt(fi,s,sl,s2,x,y); ro:=rokrl(ch,0,0,s,sl,s2);
if ro>10000 then ro:=9999;
if ro<-10000 then ro:=-9999;
writeln(fl,fe:3,'      ',fi/df:5:1,'      ',x*1000:6:1,
      '      ',y*1000:6:1,'      ',ro*1000:6:0,
      '      ',(s-s0)*1000:5:1);
fi:=fi+dfi; fe:=fe+1;
end; end; {kmpt}
procedure vivod;
var a : array6;
      i,nfi      : integer;
begin
nfi := round(fi*180/pi);
a[1] := a1;
a[2] := a2;
a[3] := a3;
a[4] := a4;
a[5] := a5;
a[6] := a6;
for i := 1 to 6 do
if abs(a[i])<1e-08 then a[i] := 0;
write(nfi:3,' '); write(fn,nfi:3,' ');
for i := 1 to n do BEGIN
write(a[i]:11);
write(fn,a[i]:11);
END;
writeln('');
writeln(fn,''); end; {vivod}
END.

```

ПРОГРАМА КІНЕМАТИЧНОГО АНАЛІЗА ТА СИЛОВОГО РОЗРАХУНКУ
ДВОЦИЛІНДРОВОГО ЧОТИРИТАКТНОГО МОТОЦИКЛЕТНОГО ДВИГУНА

```

program kinsil;
uses proektk;
type array13=array[1..13] of real
type array25=array[1..25] of real;
  const
    lab: real=0.152; lcd:real =0.152; lao:real =0.04;
    las3:real =0.046; lcs5:real =0.046; m3:real=0.35;
    m4:real =0.37; m5:real =0.35; m6:real =0.37;
    j3:real =0.002; j5:real =0.002; j1:real =0.97;
    nnl:real =4500; nnx:real =700;
    p3n1:array13=(0,20800,14400,7600,4400,3200,2800,
    0,0,0,0,0,0);
    p3n2:array13=(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1000,
    2400,4400,0);
    p5n1:array13=(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1000,
    2400,4400,0);
    p5n2:array13=(0,20800,14400,7600,4400,3200,2800,
    0,0, 0,0,0,0);
var a,b,c,d,ps,ug1,ug2,s3,s4,s5,s6,par1,par2,par:array6;
    fi,fin,fik,dfi,om,s0,Hs,s:real; g, n, i, k:integer;
    fn1,fn2,fn3:text;
var mi,rx,ry,rg,t,q21,pur,mur,mur1,mur2,smur,rtr,ptr,
fiu,p3,p5 : real;
    rp,r10,r31,r34,r40,r43,r101,r102,r51,r60,r56 : array3;
    ipr,mpg1,mpg2,mpg : array25;
Begin  assign(fn1,'kmott.txt'); rewrite(fn1);
        assign(fn2,'smott.txt'); rewrite(fn2);
        assign(fn3,'impgmt.txt'); rewrite(fn3);
        writeln(fn1,' '); writeln(fn2,' '); writeln(fn3,' ');
par1[4]:=0; par1[6]:=0; par1[5]:=0; par2[4]:=0; par2[5]:=0;
writeln(fn1,'          Кинематический анализ ');
writeln(fn2,'          Силовой расчет ');
writeln(fn3,'          Приведенные моменты инерции сил P и G');
writeln(fn1,' '); writeln(fn2,' '); writeln(fn3,' ');
        par1[1]:=lab; par1[2]:=las3; par1[3]:=lao;
        par2[1]:=lcd; par2[2]:=lcs5; par2[3]:=-lao;
        par2[6]:=pi;
        par[1]:=lao;par[5]:=0;par[2]:=0; par[3]:=0;
        par[4]:=1; par[6]:=0;
        om:=pi*nnl/30; fin:=0; { om:=pi*nnx/30;}
n:=12;
        writeln(fn1,' '); writeln(fn2,' '); writeln(fn3,' ');
writeln(fn1,'fi      S      Vb      Ab '
        fi3      Om3      Eps4 '); fi:=fin;
m6:=0; m3:=0;m4:=0;m5:=0;
dfi:=2*pi/n; ps[1]:=0; ps[2]:=0;

```

```

ps[3]:=0; ps[4]:=0; ps[5]:=0; ps[6]:=0;
rp[1]:=0; rp[2]:=0; rp[3]:=0;
for k:=1 to 2 do begin
  writeln(fn1, ' '); writeln(fn2, ' '); writeln(fn3, '')
  writeln(fn2, ' P3 p5 R10 R40 R60' , '
Mur '); rtr:=0; ftr:=0; smur:=0;
  64
  if k=2 then begin fi:=fin; rtr:=0.1; ftr:=0.005; end;
  for i:=1 to 2*n+1 do begin
    asurl1(0,0,lao,f i,om,0,a) ;
    asur22(a,par1,l,b,s3,ug1,g) ; if g<0 then exit;
    if i=1 then s0:=b[1]; s:=s0-b[1];
    if k=1 then
      vivod(6,fi,s,b[3],b[5],ug1[1],ug1[2],ug1[3],fn1);
    asurl1(0,0,lao,fi+pi,om,0,c) ;
    asur22(c,par2,l,d,s5,ug2,g) ; if g<0 then exit;
    if k=2 then
      vivod(6,fi+pi,0,d[3] ,d[5] ,0,0,0, fn1);
      p3:=-p3nl[i]; p5 :=-P5nl[i] ; if i>12 then
        begin
          p3:=-p3n2[i-12]; p5 :=-p5n2[i-12] ; end;
          { p3:=p3/(2.5); p5 :=p5/ (2 . 5 ) ; }
    ipr[i]:=0; mi:=0; rx:=0; ry:=0; mpgl[i] :=0;mpg2[i] :=0;
    mur:=0; mpg[i]:=0;
    sras22(b,s3,ps,par1,ug1,m3,m4,j3,rp,om,om,rtr,rtr,
    ftr,p3,r31,r34,r40,ipr[i],mi,rx,ry,mpgl[i] ) ;
    sras11(0,0,fi,om,0,par,0, j1/2,r31,rtr,r101,murl,pur, ipr
    [i],mi,rx,ry,mpgl[i]) ;
    sras22(d,s5,ps,par2,ug2,m5,m6, j5,rp,om,om,rtr,rtr,
    ftr,p5,r51,r56,r60,ipr[i] ,m1,rx,ry,mpg2[i] ) ;
    sras11(0,0,fi+pi, om ,0, par ,0,102, r51,rtr,r102, mur2, pur
    , ipr [ i ] , mi , rx , ry , mpg2 [ i ] ) ;
    r10[1]:=r101[1]+r102[1];
    r10[2]:=r101[2]+r102[2];
    rg:=sqrt(r10[1]*r10[1]+r10[2]*r10[2])
    mur:=murl+mur2; smur:=smur+mur; vi-
    vod(6,fi,p3,p5,rg,r40[1],r60[1],mur,fn2);
    fi:=fi+dfi;end; vi-
    vod(1,0,smur,0,0,0,0,0,fn2);
    fi:=fin;
    if k=1 then begin
      for i:=1 to 2*n+1 do begin
        vivod(4,fi,ipr[ibmpgl[i],rapg2[i],mpgl[i]+mpg2[i],0,0,fn3);
        fi:=fi+dfi;
        end; {k} end; {if} end; {i}
        close(fn1); close(fn2); close(fn3);
        end.

```

Навчальне видання
Упорядники:
Микола Анатолійович ТКАЧУК
Олександр Григорович ЯНЧИК
Володимир Борисович ЗЕЛЕНСЬКИЙ
Зінаїда Семенівна САФОНОВА

Дослідження кінематики, реакцій в кінематичних парах та нерівномірності руху машинних агрегатів.

Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційних робіт з дисципліни “Теорія механізмів і машин” за напрямком 0902 “Інженерна механіка”

Відповідальний за випуск: О. Г. Янчик

Редактор: Т. В. Філоненко

Коректор: Н. М. Дугар

Комп'ютерна обробка та верстка: І. Я. Храмцова

Формат 60×84/16.	Підписано до друку	р.	Друк – ризографія.
Друк. арк. 4,0.	Папір офсетний.		Умов. друк. арк. 3,72.
Зам. № ____.	Гарнітура Таймс.		
	Тираж ____ прим.		

Харківський гвардійський орден Червоної Зірки інститут танкових військ імені Верховної Ради України Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”

Друкарня Харківського гвардійського орден Червоної Зірки інституту танкових військ імені Верховної Ради України Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”

61034, м. Харків - 34, Полтавський шлях, № 192 тел. 772-61-67, додатковий 3-48