

**ОПД.Ф.02.03 ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**  
Методические указания и задания к контрольной работе

В соответствии с программой изучения курса теории механизмов и машин (ТММ) студенты заочного обучения выполняют контрольную работу или курсовой проект, сдают экзамен или зачет.

В настоящих методических указаниях даны основные вопросы программы курса ТММ и задания к контрольной работе.

### ВОПРОСЫ ПО ПРОГРАММЕ

1. Понятие о машинах и механизмах. Виды машин и механизмов.
2. Кинематические пары, их классификация.
3. Кинематические цепи. Подвижность пространственных и плоских цепей.
4. Подвижность механизмов. Структурные группы, их классификация.
5. Основные задачи и методы кинематического исследования механизмов. Построение планов положений (кинематической схемы) механизмов.
6. Кинематическое исследование механизмов методом построения графиков.
7. Определение скоростей точек механизма методом построения планов скоростей.
8. Определение ускорений точек механизма методом построения планов ускорений.
9. Кинематическое исследование механизмов аналитическим методом.
10. Задачи силового исследования механизмов. Определение сил инерции звеньев.
11. Кинетостатический расчет рычажных механизмов. Определение реакций в кинематических парах плоских рычажных механизмов и уравновешивающей силы.
12. Теорема Н.Е. Жуковского. Определение уравновешивающей силы методом Жуковского.
13. Проектирование кинематических схем шарнирного четырехзвенника, кривошипно-ползунного и кулисного механизмов.
14. Приведение сил и масс к входному звену.
15. Режимы и уравнения движения машины.
16. Периодическая неравномерность хода машины и ее регулирование.
17. Определение момента инерции маховика по методу профессора И.И. Мерцалова.
18. Определение основных размеров маховика.
19. Непериодическая неравномерность хода машины и ее регулирование.
20. Зубчатые механизмы, их преимущества и недостатки. Виды зубчатых механизмов.
21. Основная теорема зацепления.
22. Профильные кривые зубьев. Свойства эвольвентного, циклоидального зацепления и зацепления Новикова.

23. Основные геометрические параметры эвольвентного зацепления.
24. Методы изготовления зубчатых колес. Условия неподрезания ножки зуба.
25. Зубчатые колеса с положительным и отрицательным смещениями. Геометрические параметры их соединений.
26. Дуга зацепления и коэффициент перекрытия.
27. Основные параметры косозубых цилиндрических, конических и червячных зубчатых механизмов.
28. Кинематическое исследование зубчатых механизмов с неподвижными геометрическими осями.
29. Аналитический метод кинематического расчета эпициклических механизмов.
30. Графический метод кинематического расчета эпициклических механизмов.
31. Виды кулачковых механизмов. Основные параметры кулачков.
32. Законы движения ведомых звеньев кулачковых механизмов.
33. Зависимость угла давления от геометрических и кинематических параметров кулачковых механизмов.
34. Построение профиля кулачка с поступательным роликовым толкателем.
35. Построение профиля кулачка с качающимся толкателем.
36. Построение профиля кулачка с поступательным плоским (тарельчатым) толкателем.
37. Виды трения. Законы сухого трения скольжения.
38. Трение в поступательных кинематических парах. Трение ползуна по наклонной плоскости.
39. Трение в винтовых кинематических парах.
40. Трение во вращательной кинематической паре.
41. Трение в паре пято-подпятник.
42. Трение в передачах с гибкими звеньями. Формула Эйлера.
43. Основные законы трения качения. Трение в высших кинематических парах. Перемещение тел на колесах и катках.
44. Механический коэффициент полезного действия.

## ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. К решениям контрольных задач должны быть даны краткие пояснения.
2. Все численные величины должны быть представлены и вычислены с точностью до третьей значащей цифры, что обеспечивает необходи-

мую точность технических расчетов.

3. Контрольные работы должны быть оформлены согласно требованиям СТО 01.04 – 2005. Работы студентов. Общие требования и правила оформления. Они должны быть написаны чернилами, синей или черной пастой. Условие задачи должно быть переписано полностью.

4. Чертежи надо выполнять карандашом четко и аккуратно, используя линейку, согласно требованиям единой системы конструкторской документации (ЕСКД), и если необходимо, схемы и чертежи должны быть выполнены в масштабе. На чертежах необходимо показывать все заданные и искомые силы, скорости и ускорения. Схемы и чертежи могут быть выполнены на отдельных листах ватмана, которые вклеиваются в работу. План механизма, план скоростей и план ускорений должны быть выполнены на одном листе.

5. При отправке на рецензию выполненной контрольной работы следует указать номер выполняемого варианта и свой личный шифр.

6. Контрольные работы должны быть представлены в деканат в установленные сроки. Зачтенные работы остаются на кафедре, а незачтенные работы высылают студентам на доработку. Невыполнение какого-либо из приведенных выше требований является достаточным основанием для того, чтобы работа не была зачтена.

7. Если студент небрежно выполнил рисунки и не дал пояснений к решению задач, то работа будет отправлена обратно без рассмотрения.

Номер задания выбирают до последней цифры шифра зачетной книжки студента, а номер варианта задания – по предпоследней.

## ЗАДАЧА 1

Определить скорости и ускорения всех подвижных шарнирных точек шестизвенного рычажного механизма, а также величины и направления угловых скоростей и ускорений звеньев в заданном положении входного звена  $\theta_1 A$ , построив план скоростей и план ускорений. Схемы рычажных механизмов для различных заданий приведены на рис.1, данные заданий – в табл.1...10.

### П о р я д о к   в ы п о л н е н и я

Для решения данной задачи необходимо построить механизм в заданном положении входного звена методом засечек в выбранном масштабе.

При построении плана скоростей и плана ускорения сначала составляют уравнения, выбирают масштабы  $\mu_v$  и  $\mu_a$ , а затем находят соответствующие точки.

При построении планов скоростей и ускорений определяют линейные скорости, ускорения всех точек механизма, угловые скорости, ускорения звеньев и оформляют в табличном виде.

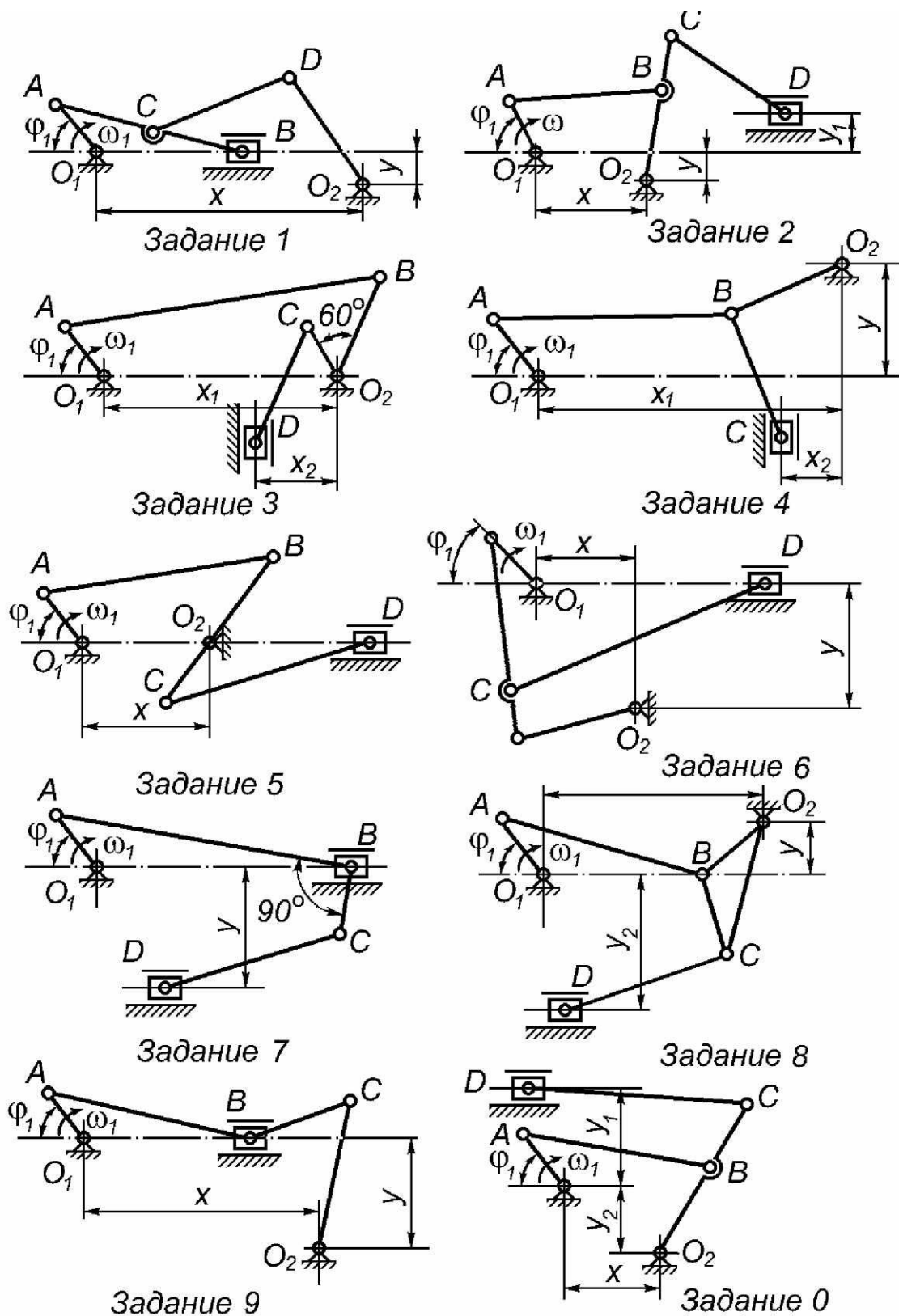


Рис.1. Схемы рычажных механизмов к задаче 1

Таблица 1

Данные к задаче 1, заданию 1

| Обозначения<br>данных     | Номер варианта |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           | 0              | I   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $\varphi_1$ , град        | 20             | 60  | 100 | 140 | 180 | 220 | 260 | 300 | 340 | 360 |
| $OA$ , мм                 | 50             | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
| $AB$ , мм                 | 200            | 220 | 240 | 260 | 280 | 300 | 320 | 340 | 360 | 380 |
| $AC$ , мм                 | 100            | 115 | 130 | 145 | 160 | 175 | 190 | 205 | 220 | 235 |
| $CD$ , мм                 | 250            | 275 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 |
| $O_2D$ , мм               | 300            | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 |
| $y$ , мм                  | 30             | 40  | 60  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 |
| $x$ , мм                  | 325            | 350 | 376 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 |
| $n_1$ , мин <sup>-1</sup> | 1000           | 950 | 900 | 850 | 800 | 750 | 700 | 650 | 600 | 550 |

Таблица 2

Данные к задаче 1, задание 2

| Обозначения<br>данных     | Номер варианта |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           | 0              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $\varphi_1$ , град        | 0              | 30  | 60  | 90  | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 |
| $O_1A$ , мм               | 70             | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 |
| $AB$ , мм                 | 210            | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 | 390 | 420 | 450 | 480 |
| $O_2B$ , мм               | 220            | 250 | 280 | 310 | 340 | 370 | 400 | 410 | 460 | 490 |
| $O_2C$ , мм               | 270            | 300 | 330 | 360 | 390 | 420 | 450 | 480 | 510 | 540 |
| $CD$ , мм                 | 425            | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 | 625 | 650 |
| $x$ , мм                  | 210            | 230 | 250 | 270 | 290 | 310 | 340 | 370 | 400 | 435 |
| $y$ , мм                  | 150            | 170 | 190 | 210 | 230 | 250 | 270 | 290 | 310 | 330 |
| $y_1$ , мм                | 20             | 30  | 40  | 50  | 60  | 65  | 70  | 75  | 80  | 85  |
| $n_1$ , мин <sup>-1</sup> | 600            | 550 | 500 | 450 | 400 | 350 | 300 | 250 | 200 | 150 |

Таблица 3

Данные к задаче 1, заданию 3

| Обозначения<br>данных     | Номер варианта |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           | 0              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $\varphi_1$ , град        | 10             | 40  | 70  | 100 | 130 | 160 | 190 | 220 | 260 | 280 |
| $O_1A$ , мм               | 70             | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 160 | 160 |
| $AB$ , мм                 | 300            | 320 | 340 | 360 | 380 | 400 | 420 | 440 | 460 | 480 |
| $BO_2$ , мм               | 175            | 200 | 226 | 250 | 276 | 300 | 326 | 360 | 375 | 400 |
| $CO_2$ , мм               | 86             | 106 | 115 | 126 | 135 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 |
| $CD$ , мм                 | 250            | 300 | 350 | 400 | 450 | 600 | 560 | 600 | 650 | 700 |
| $x$ , мм                  | 325            | 350 | 375 | 400 | 425 | 460 | 476 | 500 | 525 | 550 |
| $x_1$ , мм                | 10             | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 |
| $n_1$ , мин <sup>-1</sup> | 360            | 330 | 300 | 270 | 240 | 210 | 160 | 160 | 130 | 120 |

Таблица 4

Данные к задаче 1, заданию 4

| Обозначения<br>данных     | Номер варианта |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
|---------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                           | 0              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    |
| $\varphi_1$ , град        | 20             | 60  | 80  | 110 | 140 | 170 | 200  | 230  | 270  | 300  |
| $x_1$ , мм                | 700            | 750 | 800 | 820 | 900 | 980 | 1070 | 1150 | 1200 | 1250 |
| $O_1A$ , мм               | 70             | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 | 130  | 140  | 150  | 160  |
| $AB$ , мм                 | 500            | 570 | 620 | 680 | 730 | 800 | 870  | 930  | 1000 | 1100 |
| $BO_2$ , мм               | 400            | 460 | 500 | 540 | 600 | 650 | 700  | 770  | 850  | 900  |
| $BC$ , мм                 | 400            | 450 | 500 | 540 | 600 | 650 | 700  | 770  | 850  | 900  |
| $y$ , мм                  | 500            | 550 | 600 | 640 | 700 | 750 | 800  | 870  | 950  | 1000 |
| $x$ , мм                  | 0              | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60   | 70   | 80   | 100  |
| $n_1$ , мин <sup>-1</sup> | 200            | 190 | 180 | 170 | 160 | 150 | 140  | 130  | 120  | 110  |

Таблица 5

Данные к задаче 1, заданию 5

| Обозначения<br>данных     | Номер варианта |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|---------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
|                           | 0              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7    | 8    | 9    |
| $\varphi_1$ , град        | 0              | 40  | 80  | 120 | 160 | 200 | 240 | 230  | 320  | 330  |
| $O_1A$ , мм               | 50             | 75  | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225  | 250  | 275  |
| $AB$ , мм                 | 175            | 200 | 300 | 350 | 375 | 500 | 650 | 700  | 800  | 800  |
| $BO_2$ , мм               | 100            | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450  | 500  | 550  |
| $BC$ , мм                 | 200            | 300 | 450 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
| $CD$ , мм                 | 200            | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 600 | 900  | 1000 | 1100 |
| $x$ , мм                  | 200            | 200 | 240 | 250 | 270 | 350 | 500 | 510  | 600  | 560  |
| $n_1$ , мин <sup>-1</sup> | 400            | 380 | 360 | 340 | 320 | 300 | 280 | 260  | 240  | 220  |

Таблица 6

Данные к задаче 1, заданию 6

| Обозначения<br>данных     | Номер варианта |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           | 0              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $\varphi_1$ , град        | 0              | 30  | 60  | 90  | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 |
| $O_1A$ , мм               | 100            | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 160 | 200 |
| $AB$ , мм                 | 350            | 375 | 400 | 425 | 450 | 4/5 | 500 | 525 | 550 | 575 |
| $BO_2$ , мм               | 200            | 220 | 240 | 260 | 280 | 300 | 320 | 340 | 360 | 400 |
| $AC$ , мм                 | 200            | 215 | 230 | 245 | 260 | 275 | 290 | 305 | 320 | 335 |
| $CD$ , мм                 | 625            | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 |
| $x$ , мм                  | 125            | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 | 300 | 325 | 350 |
| $y$ , мм                  | 300            | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 |
| $n_1$ , мин <sup>-1</sup> | 200            | 180 | 160 | 140 | 120 | 100 | 100 | 90  | 80  | 70  |



Таблица 7

Данные к задаче 1, заданию 7

| Обозначения<br>данных     | Номер варианта |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           | 0              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $\varphi_1$ , град        | 0              | 40  | 60  | 120 | 160 | 200 | 240 | 280 | 320 | 360 |
| $O_1A$ , мм               | 100            | 100 | 100 | 100 | 100 | 80  | 80  | 80  | 80  | 80  |
| $AB$ , мм                 | 300            | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 |
| $BC$ , мм                 | 100            | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 |
| $CD$ , мм                 | 275            | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 |
| $y$ , мм                  | 100            | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 |
| $n_1$ , мин <sup>-1</sup> | 1000           | 950 | 900 | 850 | 800 | 750 | 700 | 650 | 600 | 550 |

Таблица 8

Данные к задаче 1, заданию 8

| Обозначения<br>данных     | Номер варианта |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           | 0              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $\varphi_1$ , град        | 30             | 60  | 90  | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| $O_1A$ , мм               | 100            | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 |
| $AB$ , мм                 | 400            | 480 | 400 | 210 | 220 | 220 | 350 | 520 | 670 | 800 |
| $BO_2$ , мм               | 200            | 240 | 280 | 260 | 240 | 220 | 200 | 180 | 160 | 160 |
| $BC$ , мм                 | 200            | 240 | 280 | 320 | 360 | 400 | 440 | 480 | 520 | 560 |
| $O_2C$ , мм               | 350            | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 700 | 750 | 800 | 850 |
| $CD$ , мм                 | 250            | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 |
| $x$ , мм                  | 460            | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 | 520 | 530 | 540 | 550 |
| $y$ , мм                  | 160            | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 |
| $y_1$ , мм                | 250            | 300 | 350 | 400 | 400 | 450 | 550 | 600 | 660 | 700 |
| $n_1$ , мин <sup>-1</sup> | 250            | 220 | 190 | 160 | 130 | 170 | 210 | 250 | 290 | 330 |

Таблица 9

Данные к задаче 1, заданию 9

| Обозначения<br>данных     | Номер варианта |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           | 0              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $\varphi_1$ , град        | 20             | 60  | 100 | 140 | 180 | 220 | 260 | 300 | 330 | 360 |
| $O_1A$ , мм               | 100            | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 |
| $AB$ , мм                 | 350            | 380 | 410 | 440 | 470 | 500 | 530 | 560 | 590 | 620 |
| $BC$ , мм                 | 200            | 230 | 260 | 290 | 320 | 350 | 380 | 410 | 440 | 470 |
| $CD$ , мм                 | 350            | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 | 800 |
| $x$ , мм                  | 300            | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 800 | 700 | 600 |
| $y$ , мм                  | 200            | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
| $n_1$ , мин <sup>-1</sup> | 280            | 260 | 240 | 220 | 200 | 160 | 160 | 140 | 120 | 100 |

Таблица 10

Данные к задаче 1, заданию 0

| Обозначение<br>данных     | Номер варианта |     |     |     |     |     |      |      |     |     |
|---------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
|                           | 0              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6    | 7    | 8   | 9   |
| $\varphi_1$ , град        | 0              | 40  | 80  | 120 | 160 | 180 | 250  | 300  | 330 | 350 |
| $O_1A$ , мм               | 90             | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150  | 160  | 170 | 180 |
| $AB$ , мм                 | 250            | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550  | 600  | 650 | 700 |
| $BO_2$ , мм               | 200            | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800  | 700  | 600 | 500 |
| $BC$ , мм                 | 100            | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400  | 450  | 500 | 550 |
| $CD$ , мм                 | 400            | 600 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 900  | 800 | 700 |
| $y_1$ , мм                | 100            | 150 | 200 | 260 | 300 | 350 | 400  | 450  | 500 | 550 |
| $y_2$ , мм                | 250            | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900  | 1000 | 550 | 400 |
| $x$ , мм                  | 130            | 150 | 300 | 460 | 550 | 650 | 700  | 750  | 800 | 900 |
| $n_1$ , мин <sup>-1</sup> | 340            | 320 | 300 | 280 | 260 | 240 | 220  | 200  | 180 | 160 |

## ЗАДАЧА 2

Для зубчатого механизма, включающего планетарный или дифференциальный механизм и пару зубчатых колес с внешним зацеплением, определить передаточное число и незадаанные угловые скорости или частоты вращения колес и водила. Расчеты произвести аналитическим методом, Неизвестное число зубьев одного из колес эпициклического механизма найти из условия соосности его центральных колес. Схемы механизмов для различных заданий приведены на рис. 2, данные заданий указаны в табл. 11- 20.

Таблица 11

Данные к задаче 2, заданию 1

| Вариант | Число зубьев |       |       |       |       |       | Частота вращения, мин <sup>-1</sup> |       |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|
|         | $z_1$        | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $n_1$                               | $n_H$ | $n_6$ |
| 0       | 18           | 26    | 20    | 84    | 20    | —     | 1050                                | 240   | —     |
| 1       | 19           | 25    | 19    | 85    | —     | 42    | 1100                                | 250   | —     |
| 2       | 20           | 30    | 22    | 88    | —     | 44    | 1140                                | 260   | —     |
| 3       | 21           | 28    | 19    | 87    | 22    | —     | 1060                                | 250   | —     |
| 4       | 22           | 30    | 24    | 88    | 20    | —     | 1070                                | 260   | —     |
| 5       | 23           | 34    | 25    | 90    | 25    | —     | 1120                                | 240   | —     |
| 6       | 24           | 35    | 23    | 87    | 22    | —     | 1200                                | 270   | —     |
| 7       | 25           | 37    | 22    | 89    | —     | 48    | 1130                                | 250   | —     |
| 8       | 26           | 38    | 24    | 84    | —     | 40    | 1050                                | 250   | —     |
| 9       | 27           | 40    | 26    | 66    | —     | 38    | 1150                                | 260   | —     |

Таблица 12

Данные к задаче 2, заданию 2

| Вариант | Число зубьев |       |       |       |       |       | Частота вращения, мин <sup>-1</sup> |       |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|
|         | $z_1$        | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $n_1$                               | $n_H$ | $n_6$ |
| 0       | 17           | 34    | 26    | 120   | 28    | —     | 950                                 | —     | 0     |
| 1       | 18           | 36    | 26    | 124   | 27    | —     | 975                                 | —     | 0     |
| 2       | 19           | 38    | 27    | 130   | 26    | —     | 1000                                | —     | 0     |
| 3       | 20           | 40    | 26    | 122   | 25    | —     | 1025                                | —     | 0     |
| 4       | 21           | 42    | 25    | 124   | 24    | —     | 1050                                | —     | 0     |
| 5       | 22           | 44    | 23    | 130   | 22    | —     | 1100                                | —     | 0     |
| 6       | 23           | 46    | 23    | 130   | 22    | —     | 1100                                | —     | 0     |
| 7       | 24           | 48    | 22    | 133   | 21    | —     | 1135                                | —     | 0     |
| 8       | 25           | 50    | 21    | 136   | 20    | —     | 1150                                | —     | 0     |
| 9       | 26           | 52    | 20    | 140   | 18    | —     | 1175                                | —     | 0     |

Т а б л и ц а 13

Данные к задаче 2, заданию 3

| Вариант | Число зубьев |       |       |       |       |       | Частота вращения,<br>мин <sup>-1</sup> |          |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------------|----------|-------|
|         | $z_1$        | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $n_1$                                  | $n_{II}$ | $n_6$ |
| 0       | 18           | 26    | 22    | —     | 19    | 30    | -400                                   | 200      | —     |
| 1       | 20           | 30    | 20    | —     | 20    | 32    | -450                                   | 220      | —     |
| 2       | 22           | 32    | 26    | —     | 21    | 33    | -350                                   | 210      | —     |
| 3       | 24           | 34    | 28    | —     | 22    | 34    | -300                                   | 220      | —     |
| 4       | 26           | 36    | 22    | —     | 23    | 35    | -425                                   | 210      | —     |
| 5       | 28           | 36    | 18    | —     | 24    | 36    | -500                                   | 150      | —     |
| 6       | 30           | 38    | 22    | —     | 25    | 37    | -435                                   | 200      | —     |
| 7       | 24           | 34    | 18    | —     | 26    | 38    | -525                                   | 175      | —     |
| 8       | 26           | 36    | 30    | —     | 27    | 39    | -300                                   | 240      | —     |
| 9       | 28           | 38    | 27    | —     | 28    | 40    | -325                                   | 230      | —     |

Таблица 14

Данные к задаче 2 заданию 4

| Вариант | Число зубьев |       |       |       |       |       | Частота вращения,<br>мин <sup>-1</sup> |          |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------------|----------|-------|
|         | $z_1$        | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $n_1$                                  | $n_{II}$ | $n_6$ |
| 0       | 19           | 36    | —     | 84    | 17    | 34    | 0                                      | 475      | —     |
| 1       | 20           | 35    | —     | 82    | 18    | 32    | 0                                      | 500      | —     |
| 2       | 21           | 34    | —     | 81    | 19    | 32    | 0                                      | 525      | —     |
| 3       | 22           | 33    | —     | 79    | 20    | 31    | 0                                      | 550      | —     |
| 4       | 23           | 32    | —     | 78    | 21    | 31    | 0                                      | 555      | —     |
| 5       | 24           | 31    | —     | 77    | 22    | 30    | 0                                      | 600      | —     |
| 6       | 25           | 30    | —     | 76    | 23    | 30    | 0                                      | 625      | —     |
| 7       | 24           | 30    | —     | 74    | 24    | 28    | 0                                      | 650      | —     |
| 8       | 23           | 33    | —     | 74    | 25    | 28    | 0                                      | 675      | —     |
| 9       | 22           | 34    | —     | 73    | 26    | 28    | 0                                      | 700      | —     |

Таблица 15

Данные к задаче 2, заданию 5

| Вариант | Число зубьев |       |       |       |       |       | Частота вращения,<br>мин <sup>-1</sup> |       |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------------|-------|-------|
|         | $z_1$        | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $n_1$                                  | $n_H$ | $n_6$ |
| 0       | 18           | 30    | 82    | 17    | 26    | —     | 500                                    | 240   | —     |
| 1       | 19           | 32    | 84    | 18    | 25    | —     | 475                                    | 230   | —     |
| 2       | 20           | 34    | 86    | 19    | 24    | —     | 450                                    | 220   | —     |
| 3       | 21           | 36    | 88    | 20    | 23    | —     | 425                                    | 210   | —     |
| 4       | 22           | 38    | 90    | 21    | 22    | —     | 400                                    | 200   | —     |
| 5       | 24           | 40    | 92    | 22    | 21    | —     | 375                                    | 210   | —     |
| 6       | 25           | 42    | 94    | 23    | 20    | —     | 350                                    | 220   | —     |
| 7       | 26           | 44    | 96    | 24    | 19    | —     | 325                                    | 230   | —     |
| 8       | 27           | 46    | 98    | 25    | 18    | —     | 300                                    | 240   | —     |
| 9       | 28           | 48    | 100   | 26    | 17    | —     | 275                                    | 250   | —     |

Таблица 16

Данные к задаче 2, заданию 6

| Вариант | Число зубьев |       |       |       |       |       | Частота вращения,<br>мин <sup>-1</sup> |       |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------------|-------|-------|
|         | $z_1$        | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $n_1$                                  | $n_H$ | $n_6$ |
| 0       | 17           | 25    | 18    | 36    | 34    | —     | 540                                    | 360   | —     |
| 1       | 18           | 27    | 20    | 34    | 33    | —     | 530                                    | 350   | —     |
| 2       | 19           | 29    | 22    | 32    | 32    | —     | 510                                    | 340   | —     |
| 3       | 20           | 30    | 24    | 30    | 31    | —     | 40                                     | 330   | —     |
| 4       | 21           | 32    | 26    | 28    | 30    | —     | 500                                    | 320   | —     |
| 5       | 22           | 33    | 28    | 26    | 29    | —     | 490                                    | 310   | —     |
| 6       | 23           | 35    | 30    | 24    | 28    | —     | 480                                    | 300   | —     |
| 7       | 24           | 36    | 32    | 22    | 24    | —     | 470                                    | 290   | —     |
| 8       | 25           | 37    | 34    | 20    | 22    | —     | 460                                    | 280   | —     |
| 9       | 26           | 39    | 36    | 18    | 20    | —     | 460                                    | 270   | —     |

Таблица 17

Данные к задаче 2, заданию 7

| Вариант | Число зубьев |       |       |       |       |       | Частота вращения,<br>мин <sup>-1</sup> |       |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------------|-------|-------|
|         | $z_1$        | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $n_1$                                  | $n_H$ | $n_6$ |
| 0       | 18           | 27    | 35    | 25    | 27    | —     | 600                                    | —     | 0     |
| 1       | 20           | 30    | 37    | 27    | 29    | —     | 625                                    | —     | 0     |
| 2       | 22           | 31    | 38    | 28    | 30    | —     | 650                                    | —     | 0     |
| 3       | 24           | 32    | 28    | 36    | 34    | —     | 675                                    | —     | 0     |
| 4       | 26           | 33    | 26    | 34    | 36    | —     | 700                                    | —     | 0     |
| 5       | 24           | 34    | 24    | 36    | 32    | —     | 675                                    | —     | 0     |
| 6       | 22           | 31    | 34    | 26    | 24    | —     | 650                                    | —     | 0     |
| 7       | 20           | 30    | 36    | 24    | 26    | —     | 625                                    | —     | 0     |
| 8       | 18           | 27    | 38    | 22    | 24    | —     | 600                                    | —     | 0     |
| 9       | 17           | 25    | 40    | 20    | 22    | —     | 575                                    | —     | 0     |

Таблица 18

Данные к задаче 2, заданию 8

| Вариант | Число зубьев |       |       |       |       |       | Частота вращения,<br>мин <sup>-1</sup> |       |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------------|-------|-------|
|         | $z_1$        | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $n_1$                                  | $n_H$ | $n_6$ |
| 0       | 19           | 30    | 22    | —     | 18    | 27    | 420                                    | -200  | —     |
| 1       | 20           | 32    | 24    | —     | 19    | 29    | 430                                    | -190  | —     |
| 2       | 21           | 34    | 26    | —     | 20    | 30    | 440                                    | -180  | —     |
| 3       | 22           | 36    | 28    | —     | 21    | 30    | 450                                    | -170  | —     |
| 4       | 23           | 38    | 30    | —     | 22    | 31    | 460                                    | -160  | —     |
| 5       | 24           | 40    | 32    | —     | 23    | 33    | 470                                    | -150  | —     |
| 6       | 25           | 42    | 34    | —     | 24    | 34    | 480                                    | -140  | —     |
| 7       | 26           | 44    | 36    | —     | 25    | 37    | 490                                    | -130  | —     |
| 8       | 27           | 46    | 38    | —     | 26    | 39    | 500                                    | -120  | —     |
| 9       | 28           | 48    | 40    | —     | 27    | 41    | 510                                    | -110  | —     |

Таблица 19

Данные к задаче 2, заданию 9

| Вариант | Число зубьев |       |       |       |       |       | Частота вращения,<br>мин <sup>-1</sup> |          |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------------|----------|-------|
|         | $z_1$        | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $n_1$                                  | $n_{II}$ | $n_6$ |
| 0       | 18           | 29    | 24    | —     | 20    | 30    | 0                                      | 340      | —     |
| 1       | 19           | 29    | 25    | —     | 21    | 31    | 0                                      | 330      | —     |
| 2       | 20           | 30    | 26    | —     | 22    | 33    | 0                                      | 300      | —     |
| 3       | 21           | 32    | 24    | —     | 23    | 35    | 0                                      | 330      | —     |
| 4       | 22           | 32    | 25    | —     | 24    | 36    | 0                                      | 340      | —     |
| 5       | 23           | 34    | 26    | —     | 25    | 37    | 0                                      | 350      | —     |
| 6       | 24           | 34    | 24    | —     | 26    | 38    | 0                                      | 360      | —     |
| 7       | 25           | 36    | 25    | —     | 27    | 39    | 0                                      | 370      | —     |
| 8       | 26           | 36    | 26    | —     | 28    | 40    | 0                                      | 380      | —     |
| 9       | 27           | 38    | 27    | —     | 29    | 41    | 0                                      | 390      | —     |

Таблица 20

Данные к задаче 2, заданию 0

| Вариант | Число зубьев |       |       |       |       |       | Частота вращения,<br>мин <sup>-1</sup> |          |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------------|----------|-------|
|         | $z_1$        | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $n_1$                                  | $n_{II}$ | $n_6$ |
| 0       | 17           | 24    | 60    | 20    | —     | 65    | 650                                    | —        | 0     |
| 1       | 18           | 26    | 54    | 22    | —     | 68    | 640                                    | —        | 0     |
| 2       | 19           | 28    | 68    | 24    | —     | 71    | 630                                    | —        | 0     |
| 3       | 20           | 30    | 72    | 26    | —     | 76    | 620                                    | —        | 0     |
| 4       | 21           | 32    | 76    | 28    | —     | 77    | 610                                    | —        | 0     |
| 5       | 22           | 34    | 80    | 30    | —     | 80    | 500                                    | —        | 0     |
| 6       | 23           | 36    | 84    | 32    | —     | 83    | 490                                    | —        | 0     |
| 7       | 24           | 38    | 88    | 34    | —     | 86    | 480                                    | —        | 0     |
| 8       | 25           | 40    | 92    | 36    | —     | 89    | 470                                    | —        | 0     |
| 9       | 26           | 42    | 96    | 38    | —     | 90    | 400                                    | —        | 0     |

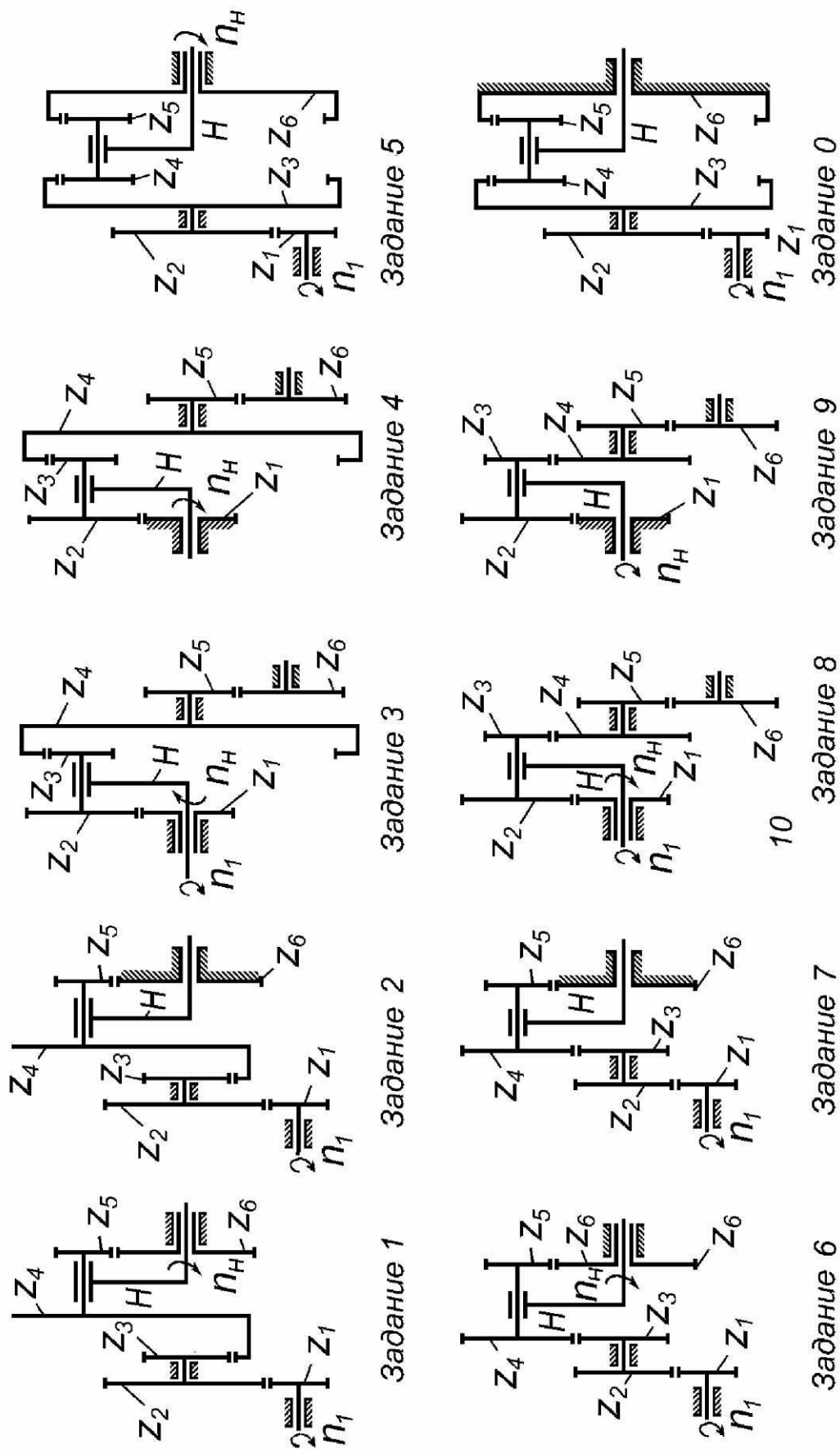


Рис.2. Схемы эпициклических механизмов к задаче 2



## Порядок решения задачи

Решение задачи следует начать с выяснения структуры механизма и определения входных и выходных звеньев. Требуется выделить внешнюю пару зубчатых колес и эпициклический механизм, в состав которого входят центральные колеса, водило и колеса-сателлиты. Определить вид эпициклического механизма (планетарный, дифференциальный) в зависимости от числа входных звеньев. У планетарного механизма одно из центральных колес закреплено (неподвижно), а у дифференциального оба центральных колеса подвижны.

Число зубьев одного из колес эпициклического механизма определяется из условия соосности центральных колес.

При решении задачи аналитическим методом необходимо определить передаточное число механизма:

$$u_{3,м} = u_{1,2} \cdot u_{э,м}$$

или

$$u_{3,м} = u_{э,м} \cdot u_{5,6}$$

где:  $u_{3,м}$  — передаточное число всего механизма;

$u_{1,2}$  — передаточное число от первого колеса ко второму;

$u_{5,6}$  — передаточное число от пятого колеса к шестому;

$u_{э,м}$  — передаточное число эпициклического механизма.

Передаточное число внешней пары зубчатых колес

$$u_{1,2} = - \frac{z_2}{z_1}$$

где  $z_1$  и  $z_2$  — число зубьев первого и второго колес. Знак "—" при внешнем зацеплении указывает, что второе колесо вращается в сторону, обратную вращению первого колеса.

Так как

$$u_{1,2} = \frac{n_1}{n_2}$$

то

$$n_2 = - \frac{n_1 z_1}{z_2}$$

Для определения передаточного числа эпициклического механизма и частоты вращения его входного звена (центрального колеса или водила) следует составить уравнение Виллиса. Общий вид уравнения:

$$u_{i,j}'' = \frac{n_i - n_H}{n_j - n_H}$$

где  $u_{ij}^H$  – передаточное число от входного центрального колеса к другому центральному при остановленном водиле;

$n_i, n_j$  – частоты вращения соответствующих колес,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_H$  – частота вращения водила,  $\text{мин}^{-1}$ .

Значение  $u_{ij}^H$  определяется как произведение отношений чисел зубьев колес, входящих в зацепление. При расчете этой величины следует внимательно отнестись к определению знаков отношений.

$$u_{ij}^H = \left( \pm \frac{z_{i+1}}{z_i} \right) \left( \pm \frac{z_j}{z_{j-1}} \right)$$

При внутреннем зацеплении пары зубчатых колес ставят знак "+", а при внешнем зацеплении – знак "-".

Уравнение Виллиса преобразуется относительно искомой величины. У планетарного механизма  $n_j = 0$ . Определению подлежат  $u_{in}$  и  $u_H$ . У дифференциального механизма известны  $n_i$  и  $n_H$ , находят  $n_j$ .

Для определения частоты вращения колес-сателлитов требуется составить уравнение Виллиса для одной из ступеней передачи механизма и решить его относительно искомой величины.

Первую задачу требуется решать методом Эйлера (построение в масштабе планов механизма, планов скоростей и ускорений и снятия с этих планов искомых размеров). Насчёт решения этих задач обращаться по телефону (8182)265634, спросить Александра Вениаминовича (или найти мой адрес на сайте [cursovoou.narod.ru](http://cursovoou.narod.ru), при этом прочитать всё, что там написано). Есть готовые файлы решений для всех вариантов (рисунков), каждый файл на все 10 вариантов (написаны на Маткаде, нужно только подставить номер варианта). Качество решения высочайшее — все задачи решены аналитически с максимальной точностью (16 знаков, но нужно округлять до разумного количества, в зависимости от точности исходных данных), а для создания видимости решения методом Эйлера вычисляются все размеры, которые нужно снять с рисунка, округляются до целого количества миллиметров и подставляются в формулы для «ручного» решения. Решение методом Эйлера очень трудоёмкое и не точное, если делать с помощью обычных инструментов, точки могут уплыть от правильного положения на несколько миллиметров. Ну не было во времена Эйлера компьютеров, поэтому он вынужден был так извращаться. Но в наше время решать задачи по ТММ методом Эйлера — это мазохизм (а заставлять студентов — садизм). В задании 8 в последних 4-х вариантах в треугольнике  $BCO_2$  одна сторона ( $CO_2$ ) больше суммы двух других ( $BC + BO_2$ ). Мне об этой ошибке известно уже



лет 15, но тупорылые преподы с кафедры теоретической механики (Морозов, Долгова, Ключев и иже с ними, которые изучали геометрию не в школе, а в ЦПШ (церковно-приходской) или в медресе) не потрудились исправить эту ошибку за более чем 20 лет (с момента выхода последней бумажной версии методички). Ещё в каком-то варианте кривошип не может совершать полный оборот. Но препы выкручиваются следующим образом: «А зачем вам, чтобы кривошип совершал полный оборот? Это же не курсовая, где нужно рассчитать механизм во всех положениях. Вам задан механизм в данном положении, задача решается (кроме упомянутых вариантов 68, 78, 88 и 98), вот это положение и рассчитывайте.» Так как все размеры (и углы поворота кривошипа) во всех вариантах всех заданий заданы произвольно, то мгновенные центры скоростей звеньев 2 и 3 (коромысла и кривошипа) в некоторых вариантах могут уходить далеко за пределы чертежа; до 20 м и более (иногда на бесконечность) (на листе А2 или 40х60 см в максимальном масштабе), поэтому часто невозможно измерить расстояния до точек  $P_2$  и  $P_3$  (чтобы аналитически вычислить угловые скорости звеньев, как это делается в методичках Тарга), приходится вычислять координаты всех точек на компьютере. Вектора, изображающие нормальные ускорения некоторых точек в некоторых вариантах получаются иногда десятые и даже сотые доли миллиметра в длину, несмотря на максимальный масштаб (до 50 см для вектора  $\underline{ra}$ ), поэтому их часто бывает невозможно изобразить (чего никогда не бывает в методичках Тарга). В бумажной версии методички зачем-то даётся формула для перевода из об/мин в об/с (но не через деление на 60, а через умножение на округлённое число, да и то с опечаткой: вместо  $1/60 \approx 0,01666667$  даётся 0,01066667 (и некоторые «деятели» использовали это число в своих вычислениях (при этом с самого начала все вычисления — на смарку (хоть с опечаткой, хоть без опечатки))). Тогда как каждый школьник знает, что переводить нужно в рад/с, а для этого умножать  $n$  на число  $\pi$  и затем делить на 30. Но преподы с кафедры теормеха этого почему-то не знают (чего уже от студентов требовать?)

Кафедра теормеха — самая тупорылая кафедра во всём АЛТИ (как бы его ни переименовывали; АГТУ или С(А)ФУ, суть этой богадельни от этого не изменяется, как был гадюшник (в котором тупые и нищие преподы никого ни чему не учат, только студентов разводят на бабло за зачёты), так гадюшник и остался. Про Ключева мне студенты говорили, что на своих лекциях он вместо теормеха рассказывает студентам, какой он крутой колдун (?!). Я бы не рискнул брать на работу выпускников АЛТИ, особенно заочников).

Вторая задача решается только при дополнительном предположении (о соотношении модулей двух (соосных) передач в планетарном механизме, например, что модули этих передач равны. Если брать разные модули, то решение задачи будет другое.