



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный  
технический университет

---

---

Кафедра «Теория механизмов и машин»

П. П. Анципорович  
В. К. Акулич  
Е. М. Дубовская

# ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ, МАШИН И МАНИПУЛЯТОРОВ

*Пособие*

Минск  
БНТУ  
2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

---

Кафедра «Теория механизмов и машин»

П. П. Анципорович  
В. К. Акулич  
Е. М. Дубовская

# ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ, МАШИН И МАНИПУЛЯТОРОВ

Пособие для студентов специальностей  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»  
и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного  
производства»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области машиностроительного оборудования и технологий*

Минск  
БНТУ  
2015

УДК 621.01:531.3:681.3.06

ББК 34.41 я 7

А74

Рецензенты:

*А. Н. Орда, А. М. Тареев*

**Анципорович, П.П.**

А74 Теория механизмов, машин и манипуляторов : пособие для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / П. П. Анципорович, В. К. Акулич, Е. М. Дубовская. – Минск : БНТУ, 2015. – 56 с.  
ISBN 978-985-550-571-7.

Методическое пособие содержит программу курса «Теория механизмов, машин и манипуляторов», список рекомендуемой литературы, задания на курсовое проектирование, особенности выбора контрольных работ и тем курсовых проектов.

Предназначены для студентов механических специальностей.

**УДК 621.01:531.3:681.3.06**

**ББК 34.41я7**

**ISBN 978-985-550-571-7**

© Анципорович П. П., Акулич В. К.,  
Дубовская Е. М., 2015

© Белорусский национальный  
технический университет, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА.....	4
1. Общие сведения по теории технологических машин и машин-автоматов.....	5
2. Общие методы определения кинематических и динамических характеристик механизмов и машин. Математическое моделирование движения звеньев машин....	5
3. Проектирование схем основных видов механизмов.....	8
ЛИТЕРАТУРА.....	9
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА.....	11
КУРСОВОЙ ПРОЕКТ.....	11
ЗАДАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ.....	12

## **ВВЕДЕНИЕ**

Теория механизмов, машин и манипуляторов (ТМММ) – отрасль науки, занимающаяся теоретическими и экспериментальными исследованиями геометрии, движения, динамики и управления системами машин, отдельных машин и механизмов, их составных частей с учетом технологических вопросов, передачи энергии, а в отдельных случаях передачи и переработки информации. Данный курс входит в общетехнический цикл дисциплин, формирующих знания инженеров по проектированию, конструированию, изготовлению и эксплуатации машин. Курс основывается на высшей математике, физике, теоретической механике.

Курс ТМММ изучается студентами-заочниками в течение двух семестров и включает самостоятельную проработку теоретического материала, решение типовых задач, выполнение контрольных и лабораторных работ, экзамен (1-й семестр изучения), а также выполнение курсового проекта (2-й семестр изучения).

К экзамену допускаются студенты, представившие зачетные контрольные работы, успешно выполнившие лабораторные работы.

Предлагаемое пособие содержит программу и перечень учебной литературы по теории механизмов, машин и манипуляторов. В нем даны методические указания по выбору задач, входящих в контрольную работу, рекомендации по их решению, задания на курсовое проектирование.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

ТМММ – научная основа создания новых механизмов и машин, автоматизации и механизации производственных процессов. Содержание дисциплины ТМММ и ее значение для инженерного образования. История развития науки о механизмах и машинах. Связь ТМММ с другими областями знаний.

Основные этапы проектирования машин. Учет многих критериев и факторов при создании новых машин (производительность, быстродействие, энергопотребление, материалоемкость, точность, надежность и т. п.). Многовариантность решения и применение ЭВМ при оптимизационном проектировании машин и механизмов. Ключевая роль ЭВМ в создании и управлении машин-автоматов. Перспективы развития теории механизмов, машин и манипуляторов.

## **1. Общие сведения по теории технологических машин и машин-автоматов**

### ***Тема 1. Рабочие процессы и машины***

Технологические, транспортные, энергетические, информационные рабочие процессы. Машины как системы, осуществляющие механические движения для выполнения механической работы, связанной с реализацией рабочего процесса. Структура машин и машин-автоматов.

### ***Тема 2. Системы управления машин-автоматов***

Цикловая, технологическая и фактическая производительность машин. Системы управления автоматическим циклом. Согласование движения исполнительных органов машин и механизмов, объединенных в автоматическую систему. Циклограммы и тактограммы. Моделирование согласованности движений механизмов машины с использованием операций алгебры логики. Техническая реализация операций алгебры логики. Синтез логических систем управления машин-автоматов по пути.

## **2. Общие методы определения кинематических и динамических характеристик механизмов и машин. Математическое моделирование движения звеньев машин**

### ***Тема 3. Основы строения механизмов***

Основные понятия: механизм, звено, кинематическая пара. Основные виды механизмов, используемых в машиностроении. Классификация кинематических пар. Кинематические цепи. Обобщенные координаты и число степеней свободы механизма. Структурные и параметрические степени свободы. Структурный синтез и анализ механизмов. Избыточные связи и местные подвижности в механизмах.

#### ***Тема 4. Моделирование геометрических и кинематических связей в механизмах***

Кинематические передаточные функции и их производные (аналоги скоростей и ускорений). Определение кинематических характеристик плоских рычажных механизмов аналитическим методом (методом замкнутых векторных контуров). Кинематический анализ плоских рычажных механизмов графическим методом (построение планов положений, скоростей и ускорений). Особенности кинематики рычажных механизмов с заданным относительным движением звеньев. Определение передаточных отношений фрикционных и зубчатых механизмов с неподвижными осями вращения. Кинематический анализ зубчатых механизмов с подвижными осями вращения (дифференциальных, планетарных, замкнутых дифференциальных). Использование численных методов и применение ЭВМ для расчетов кинематических характеристик механизмов.

#### ***Тема 5. Математическое моделирование и исследование движения машин и механизмов с жесткими звеньями***

Силы, действующие в машинах, приборах и других устройствах, и их характеристики. Динамическая и математическая модели машины с одной степенью свободы. Уравнение движения модели в энергетической и дифференциальной формах (приведение сил и масс). Определение динамических характеристик модели. Режимы движения машин. Определение закона движения звена приведения при установившемся и неустойчивом режиме для различных случаев задания внешних сил. Быстродействие механизмов машин и приборов при неустойчивом режиме работы. Использование численных методов и ЭВМ для решения уравнения движения. Учет статической и динамической характеристик электродвигателя при определении закона движения. Задача ограничения периодических колебаний скорости звена приведения при установившемся движении. Определение постоянной составляющей приведенного момента инерции машин по заданному коэффициенту неравномерности движения. Особенности решения задачи об ограничении периодических колебаний скорости для машин с электроприводом.

## ***Тема 6. Силовой анализ, трение и изнашивание в механизмах***

Действие сил в кинематических парах. Метод кинетостатики. Силы инерции звеньев. Условие статической определенности кинематических цепей. Силовой анализ плоских рычажных механизмов аналитическим и графическим методами. Силовой анализ зубчатых и планетарных передач. Трение скольжения в поступательной и вращательной кинематических парах. Трение качения в высших кинематических парах. Трение в подшипниках и роликовых направляющих качения. Приведенные коэффициенты трения. Силовой анализ рычажных механизмов с учетом трения. Использование ЭВМ для моделирования трения и износа.

## ***Тема 7. Оценка энергопотребления и динамической нагруженности машин и механизмов. Критерии качественной оценки работоспособности машин, механизмов, кинематических пар***

Цикловой механический коэффициент полезного действия (КПД) и коэффициент потерь. КПД при последовательном и параллельном соединении механизмов. Определение КПД механизмов. Самоторможение в механизмах.

## ***Тема 8. Исследование движения машин и механизмов с упругими звеньями***

Приведение жесткостей упругих звеньев. Учет диссипативных сил. Приведенный коэффициент сопротивления. Двухмассовая динамическая модель с двумя степенями свободы. Составление системы дифференциальных уравнений движения динамической модели и их решение с применением ЭВМ.

## ***Тема 9. Использование вибраций. Защита от вибраций. Уравновешивание масс механизмов***

Основные положения теории вибрационных машин. Дебалансные вибровозбудители. Динамическая модель вибрационной машины. Дифференциальное уравнение колебаний и его решение. Особенности виброударных машин, использование машин вибрационного и виброударного действия. Основные методы защиты от

вибраций. Источники колебаний и объекты виброзащиты. Виброизоляция. Виброгашение. Статическое и динамическое уравнивание вращающихся звеньев. Различные виды неуравновешенности роторов и ее устранение. Статическая и динамическая балансировка. Определение главного вектора и главного момента сил инерции механизма. Статическое уравнивание масс плоских рычажных механизмов.

### ***Тема 10. Моделирование геометрических и кинематических связей и динамики манипуляторов***

Области применения манипуляторов. Структура манипуляторов. Метод преобразования координат точек и векторов в матричной форме. Составление матриц перехода. Определение положений, скоростей и ускорений звеньев манипуляторов и их центров масс по известным обобщенным координатам и их производным. Определение обобщенных координат, скоростей и ускорений манипулятора для отработки заданной траектории схвата и закона его движения вдоль траектории. Характеристика законов движения схвата. Главный вектор и главный момент сил инерции звеньев манипулятора. Определение реактивных и движущих сил и моментов в кинематических парах манипуляторов кинетостатическим методом.

## **3. Проектирование схем основных видов механизмов**

### ***Тема 11. Синтез зубчатых механизмов***

Виды зубчатых механизмов и области их применения. Относительное движение звеньев, находящихся в зацеплении, и аксоидные поверхности при передаче вращательного движения. Основная теорема зацепления. Эвольвента окружности, ее уравнения и свойства. Основные геометрические характеристики зубчатых колес. Основные свойства и характеристики эвольвентного зацепления цилиндрических зубчатых колес. Интерференция зубьев. Качественные показатели зацепления: коэффициент перекрытия, удельные скольжения зубьев, приведенный радиус кривизны профилей в полюсе зацепления. Исходный производящий контур цилиндрических эвольвентных колес. Колеса без смещения и со смещением исходного контура. Станочное зацепление нарезаемого колеса с реечным

инструментом. Подрезание зубьев и условия его отсутствия. Определение основных геометрических параметров цилиндрической эвольвентной передачи. Станочное зацепление нарезаемого колеса с долбяком. Особенности внутреннего зацепления цилиндрических эвольвентных колес. Особенности косозубых цилиндрических эвольвентных колес. Неэвольвентные зацепления цилиндрических колес. Конические передачи. Передачи со скрещивающимися осями вращения колес: винтовая зубчатая, червячная и гипоидная передачи. Геометрический синтез планетарных передач по условиям соосности, соседства и сборки сателлитов.

### ***Тема 12. Синтез кулачковых механизмов***

Виды и назначение кулачковых механизмов. Этапы синтеза механизмов. Основные параметры кулачковых механизмов. Законы движения выходного звена. Угол давления и его влияние на передачу сил, на размеры и надежность механизмов. Определение основных параметров плоских кулачковых механизмов из условия ограничения угла давления или из условия выпуклости профиля кулачка. Определение координат профиля кулачка по заданному закону движения толкателя. Выбор радиуса ролика. Качественные критерии кулачковых механизмов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Анципорович, П. П. Балансировка вращающихся масс : учебно-методическое пособие к лабораторным работам / П. П. Анципорович, В. В. Кудин, Е. М. Дубовская. – Минск : БНТУ, 2013. – 27 с.
2. Анципорович, П. П. Динамика машинного агрегата : методическое пособие для студентов-заочников машиностроительных специальностей / П. П. Анципорович, В. К. Акулич, Е. М. Дубовская. – Минск : БНТУ, 2012. – 33 с.
3. Анципорович, П. П. Динамический анализ механизмов : пособие для студентов машиностроительных специальностей / П. П. Анципорович, В. К. Акулич, Е. М. Дубовская. – Минск : БНТУ, 2013. – 31 с.
4. Анципорович, П. П. Кинематика зубчатых механизмов : учебно-методическое пособие к лабораторным работам / П. П. Анципорович, А. М. Авсиевич, В. А. Николаев. – Минск : БНТУ, 2013. – 26 с.

5. Анципорович, П. П. Нарезание цилиндрических эвольвентных зубчатых колес и построение схемы зубчатого зацепления : учебно-методическое пособие к лабораторным работам / П. П. Анципорович, В. К. Акулич, Е. М. Дубовская. – Минск : БНТУ, 2013. – 46 с.

6. Анципорович, П. П. Синтез кривошипно-ползунных механизмов / П. П. Анципорович, В. К. Акулич, Е. М. Дубовская. – Минск : БНТУ, 2006. – 22 с.

7. Анципорович, П. П. Синтез кулачковых механизмов : учебно-методическое пособие по курсовому проектированию / П. П. Анципорович, В. К. Акулич, Е. М. Дубовская. – Минск : БНТУ, 2013. – 80 с.

8. Анципорович, П. П. Структура механизмов : учебно-методическое пособие к лабораторным работам / П. П. Анципорович, В. К. Акулич, Е. М. Дубовская. – Минск : БНТУ, 2013. – 33 с.

9. Анципорович, П. П. Экспериментальные методы исследования движения механизмов : методическое пособие к лабораторным работам / П. П. Анципорович, В. К. Акулич, Е. М. Дубовская. – Минск : БНТУ, 2012. – 28 с.

10. Артоболевский, И. И. Сборник задач по теории механизмов и машин / И. И. Артоболевский, Б. В. Эдельштейн. – М. : Наука, 1975. – 256 с.

11. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1988. – 640 с.

12. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / В. К. Акулич [и др.] ; под общ. ред. Г. Н. Девойно. – Минск : Вышэйшая школа, 1986. – 286 с.

13. Левитская, О. Н. Курс теории механизмов и машин / О. Н. Левитская. – М. : Высшая школа, 1985. – 279 с.

14. Методические указания к контрольным работам по курсу «Теория механизмов и машин» для студентов-заочников механических специальностей / под ред. Э. И. Астахова. – Минск : БПИ, 1991. – 72 с.

15. Теория механизмов и машин : методические указания и контрольные задания для студентов-заочников инженерно-технических специальностей вузов / Н. И. Левитский [и др.]. – М. : Высшая школа, 1989. – 127 с.

16. Теория механизмов и машин: методическое пособие по курсовому проектированию для студентов инженерно-технических специальностей / П. П. Анципорович [и др.]. – Минск : БНТУ, 2013. – 59 с.

17. Теория механизмов и механика машин / К. В. Фролов [и др.] ; под ред. К. В. Фролова. – М. : Высшая школа, 2005. – 496 с.

18. Теория механизмов, машин и манипуляторов. Курсовое проектирование : учебно-методическое пособие для студентов-заочников машиностроительных специальностей / П. П. Анципорович [и др.]. – Минск : БНТУ, 2011. – 68 с.

19. Филонов, И. П. Теория механизмов, машин и манипуляторов / И. П. Филонов, П. П. Анципорович, В. К. Акулич. – Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 656 с.

## **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**

Контрольная работа состоит из трех задач, которые берутся из методических указаний [15].

В первой задаче необходимо выполнить структурный анализ схемы пространственного манипулятора (задача 1 из контрольной работы № 1).

Во второй задаче требуется выполнить кинематический анализ сложного зубчатого механизма (задача 2 из контрольной работы № 1).

В третьей задаче необходимо выполнить исследование динамики машинного агрегата (задача 2 из контрольной работы № 2).

Номера вариантов задач и исходных данных сообщаются лектором при проведении установочных занятий.

Для облегчения решения задач рекомендуется использовать методические указания к контрольным работам [14].

## **КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

Курсовой проект предусматривает решение следующих задач:

- 1) динамическое исследование машинного агрегата;
- 2) динамический анализ рычажного механизма (кинематический и силовой расчет);
- 3) проектирование кулачкового механизма;
- 4) синтез логической системы управления машины-автомата.

Номер задания и вариант исходных данных сообщается студенту на установочных занятиях после сдачи экзамена.

При выполнении курсового проекта рекомендуется использовать учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта [18].

# ЗАДАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

## Проект 1.

### ШТАМПОВОЧНЫЙ ПРЕСС

Движение от электродвигателя через планетарный редуктор  $z_1 - z_2 - z_3 - H$  и зубчатую передачу  $z_4 - z_5$  (рис. 1, б) передается кривошину 1 шестизвенного рычажного механизма, который осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна 5 с пуансоном, выполняющим деформацию заготовки (рис. 1, а).

График изменения усилия сопротивления штамповки  $F_5$  показан на рис. 1, в.

Готовое изделие выталкивается из матрицы выталкивателем, движение которого обеспечивается кулачковым механизмом через систему рычагов (рис. 1, г). Закон движения толкателя кулачкового механизма показан на рис. 1, д.

Исходные данные приведены в табл. 1.

Для всех вариантов:

1.  $l_{BD} = l_{BC}$ ;  $l_{BS_4} = l_{DS_4}$ ;

2. Массы звеньев:  $m_4 = ql_{BD}$ , где  $q = 60$  кг/м;  $m_5 = 3m_4$ ;

$m_1 = 0,5m_5$ . Массы  $m_2$  и  $m_3$  не учитывать;

3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,3m_1l_{OA}^2$ ;  $I_{S_4} = 0,1m_4l_{BD}^2$ ;

4. Момент инерции ротора электродвигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,1$  кг·м<sup>2</sup>;

5. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,1$ ;

6. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{\max} = 30^\circ$ .

Таблица 1

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,07
	$I_{AB}$	м	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,18	0,17	0,18	0,24	0,24	0,24
	$I_{BC}$	м	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,18	0,2	0,23	0,23	0,23	0,28
	$a$	м	0,255	0,28	0,305	0,33	0,355	0,245	0,235	0,26	0,325	0,325	0,335
	$b$	м	0,18	0,2	0,22	0,23	0,25	0,16	0,18	0,21	0,21	0,21	0,26
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/ мин	160	150	140	130	120	120	130	140	150	160	160
Частота вращения электродвигателя	$n_d$	об/ мин	970	960	950	940	930	950	930	940	970	960	960
Максимальное усилие штамповки	$F_{5 \max}$	кН	22	24	26	28	30	25	28	30	32	35	35
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_{\omega} = \varphi_{\nu}$	град	80	90	100	110	120	130	120	110	100	90	90
	$\varphi_{\Delta C}$	град	60	50	40	40	50	40	50	60	70	80	80

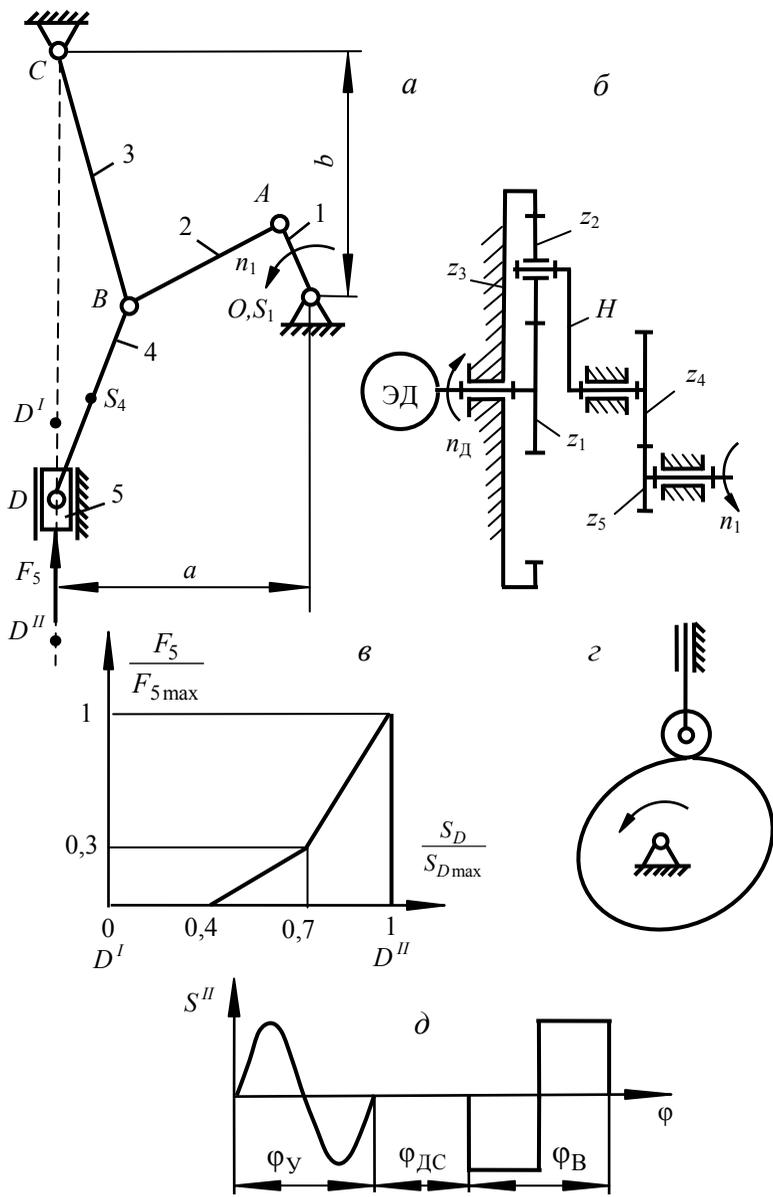


Рис. 1

## Проект 2.

### ШТАМПОВОЧНЫЙ ПРЕСС

Движение от электродвигателя через планетарный редуктор  $z_1 - z_2 - z_3 - H$  и зубчатую передачу  $z_4 - z_5$  (рис. 2, б) передается кривошипу 1 шестизвенного рычажного механизма, который осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна 5 с пуансоном, выполняющим деформацию заготовки (рис. 2, а).

График изменения усилия сопротивления штамповки  $F_5$  показан на рис. 2, в.

Готовое изделие выталкивается из матрицы выталкивателем, движение которого обеспечивается кулачковым механизмом через систему рычагов (рис. 2, г). Закон движения толкателя кулачкового механизма показан на рис. 2, д.

Исходные данные приведены в табл. 2.

Для всех вариантов:

1.  $l_{CD} = l_{DE} = 1,5l_{BC}$ ;  $l_{DS_4} = l_{ES_4}$ ;
2. Массы звеньев:  $m_4 = ql_{DE}$ , где  $q = 80$  кг/м;  $m_5 = 3m_4$ ;  $m_1 = 0,5m_5$ . Массы  $m_2$  и  $m_3$  не учитывать;
3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,3m_1l_{OA}^2$ ;  $I_{S_4} = 0,1m_4l_{DE}^2$ ;
4. Момент инерции ротора электродвигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,03$  кг·м<sup>2</sup>;
5. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,1$ ;
6. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{\max} = 30^\circ$ .

Таблица 2

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,045	0,05	0,055	0,06	0,065	0,06	0,065	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08
	$I_{AB}$	м	0,19	0,22	0,24	0,26	0,29	0,26	0,29	0,25	0,29	0,31	0,32	0,36
	$I_{BC}$	м	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,17	0,19	0,2
	$a$	м	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
	$b$	м	0,035	0,045	0,05	0,055	0,06	0,055	0,06	0,045	0,06	0,065	0,07	0,075
	$c$	м	0,21	0,23	0,26	0,28	0,3	0,28	0,3	0,28	0,3	0,33	0,35	0,37
Частота вращения кривошипа 1	$n_1$	об/мин	220	200	180	160	150	160	150	150	160	180	200	200
Частота вращения электродвигателя	$n_d$	об/мин	1 450	1 440	1 420	1 410	1 400	1 420	1 400	1 420	1 440	1 400	1 450	1 410
Максимальное усилие штамповки	$F_{5 \max}$	кН	25	27	30	32	35	32	35	30	32	35	38	40
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_{\text{У}} = \varphi_{\text{В}}$	град	80	90	100	80	90	80	90	70	80	90	100	110
	$\varphi_{\text{ДС}}$	град	70	60	50	60	50	60	50	100	90	80	70	60

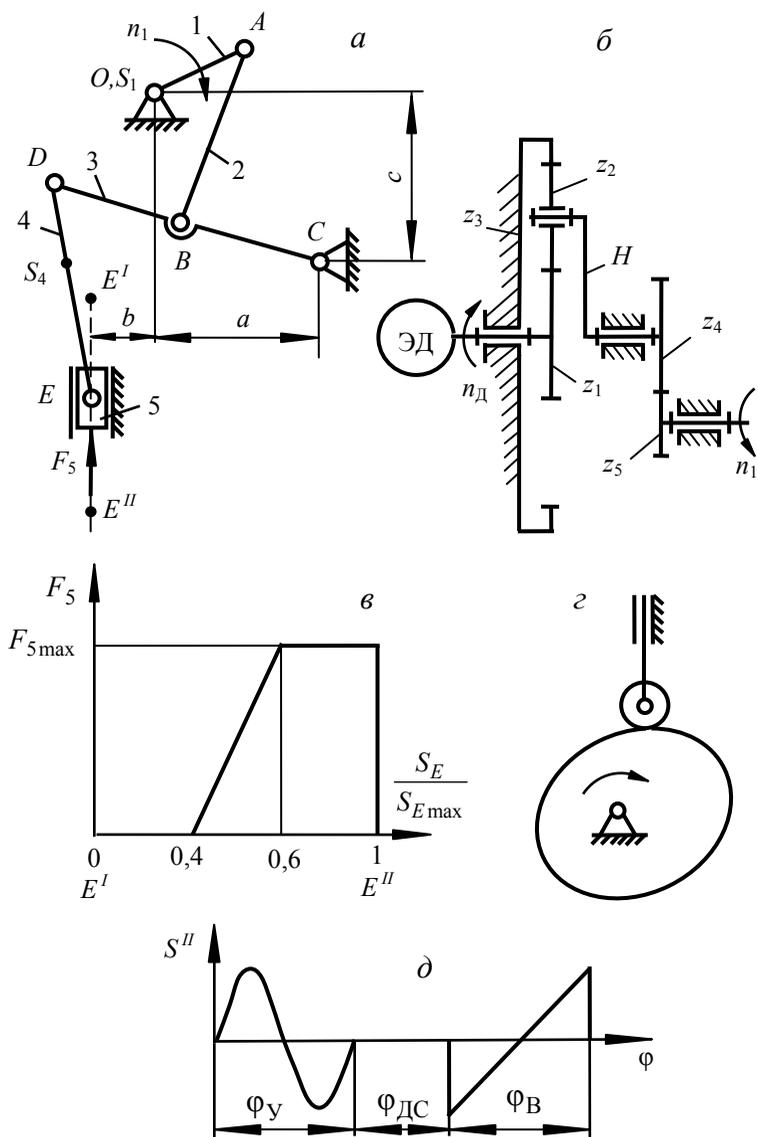


Рис. 2

## Проект 3.

### ВЫТЯЖНОЙ ПРЕСС

Движение от электродвигателя через планетарный редуктор  $z_1 - z_2 - z_{2'} - z_3 - H$  и зубчатую передачу  $z_4 - z_5$  (рис. 3, б) передается кривошпиту 1 шестизвенного рычажного механизма, который осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна 5 с пуансоном, выполняющим деформацию заготовки (рис. 3, а). График изменения усилия сопротивления штамповки  $F_5$  показан на рис. 3, в.

Готовое изделие выталкивается из матрицы выталкивателем, движение которого обеспечивается кулачковым механизмом через систему рычагов (рис. 3, г). Закон движения толкателя кулачкового механизма показан на рис. 3, д.

Исходные данные приведены в табл. 3.

Для всех вариантов:

1.  $l_{CD} = 1,4 l_{BC}$ ;  $l_{DE} = 1,2 l_{OA}$ ;  $b = 0,95 l_{CD}$ ;

2. Массы звеньев:  $m_3 = ql_{CD}$ , где  $q = 30$  кг/м;  $m_1 = m_5 = 3m_3$ .

Массы  $m_2$  и  $m_4$  не учитывать;

3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,3m_1l_{OA}^2$ ;  $I_{S_3} = 0,1m_3l_{CD}^2$ ;

4. Момент инерции ротора электродвигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,03$  кг · м<sup>2</sup>;

5. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,1$ ;

6. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{\max} = 45^\circ$ .

Таблица 3

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,1	0,09	0,09	0,09	0,08	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07
	$I_{AB}$	м	0,32	0,38	0,29	0,4	0,26	0,16	0,23	0,19	0,29	0,23
	$I_{BC}$	м	0,3	0,26	0,27	0,28	0,24	0,15	0,16	0,18	0,2	0,21
	$a$	м	0,16	0,13	0,14	0,14	0,13	0,08	0,08	0,095	0,01	0,115
	$c$	м	0,29	0,37	0,26	0,39	0,23	0,14	0,23	0,17	0,28	0,02
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/ мин	80	90	100	110	120	120	110	100	90	80
Частота вращения электродвигателя	$n_d$	об/ мин	1 400	1 410	1 410	1 420	1 420	1 400	1 410	1 430	1 420	1 430
Максимальное усилие штамповки	$F_{5 \max}$	кН	50	60	70	80	90	40	45	50	55	60
Длина коромысла кулачкового механизма	$l_K$	м	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
Угол качания коромысла	$\psi_{\max}$	град	20	25	20	25	20	25	20	25	20	25
	$\varphi_U = \varphi_V$	град	50	60	70	80	80	80	70	60	50	50
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_{ДС}$	град	100	90	80	70	60	50	60	70	80	90

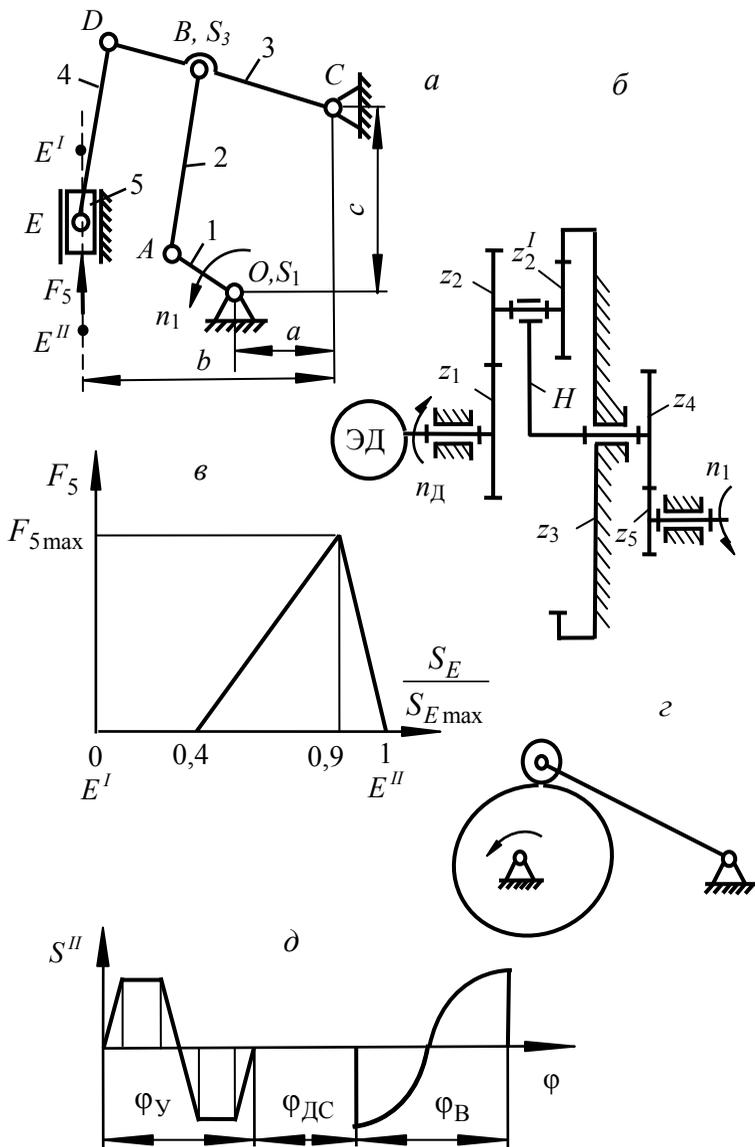


Рис. 3

## Проект 4.

### ШТАМПОВОЧНЫЙ ПРЕСС

Движение от электродвигателя через планетарный редуктор  $z_1 - z_2 - z_{2'} - z_3 - H$  и зубчатую передачу  $z_4 - z_5$  (рис. 4, б) передается кривоштану 1 шестизвенного рычажного механизма, который осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна 5 с пуансоном, выполняющим деформацию заготовки (рис. 4, а). График изменения усилия сопротивления штамповки  $F_5$  показан на рис. 4, в.

Готовое изделие выталкивается из матрицы выталкивателем, движение которого обеспечивается кулачковым механизмом через систему рычагов (рис. 4, г). Закон движения толкателя кулачкового механизма показан на рис. 4, д.

Исходные данные приведены в табл. 4.

Для всех вариантов:

1.  $a = l_{AB} - l_{OA}$ ;  $b = l_{BC}$ ;  $l_{BS_4} = l_{DS_4}$ ;
2. Массы звеньев:  $m_4 = ql_{BD}$ , где  $q = 60$  кг/м;  $m_5 = 3m_4$ ;  $m_1 = 0,5m_5$ . Массы  $m_2$  и  $m_3$  не учитывать;
3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,3m_1l_{OA}^2$ ;  $I_{S_4} = 0,1m_4l_{BD}^2$ ;
4. Момент инерции ротора электродвигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,05$  кг·м<sup>2</sup>;
5. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,1$ .

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07
	$I_{AB}$	м	0,15	0,16	0,18	0,19	0,2	0,16	0,18	0,2	0,21	0,23
	$I_{BC} = I_{BD}$	м	0,2	0,22	0,23	0,25	0,27	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28
Частота вращения кривошипа 1	$n_1$	об/ мин	100	100	95	95	90	130	120	110	100	90
Частота вращения электродвигателя	$n_D$	об/ мин	1 480	1 480	1 465	1 465	1 450	1 420	1 430	1 440	1 450	1 460
Максимальное усилие штамповки	$F_{5 \max}$	кН	24	26	28	30	32	25	28	30	32	35
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_{\gamma} = \varphi_{\beta}$	град	80	90	100	110	120	90	100	110	120	120
	$\varphi_{\delta c}$	град	120	110	100	90	80	120	110	100	90	80

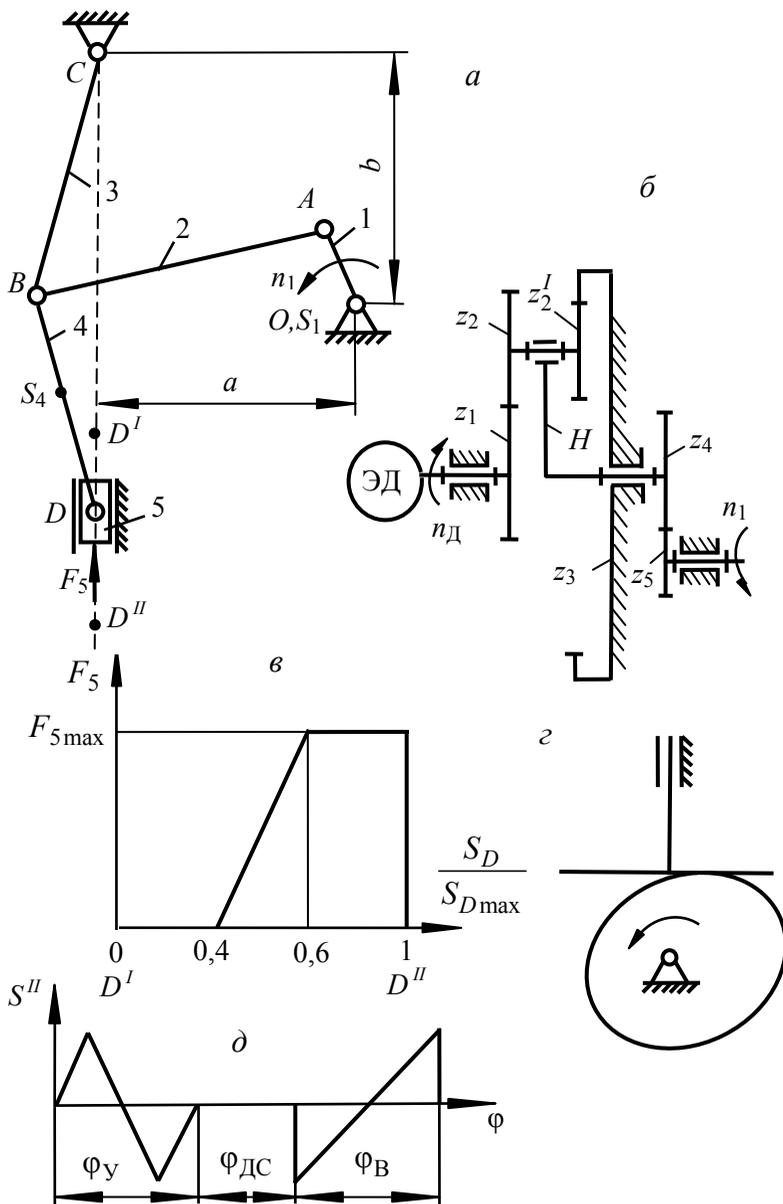


Рис. 4

## Проект 5.

### ПОПЕРЕЧНО-СТРОГАЛЬНЫЙ СТАНОК

Движение от электродвигателя через планетарный редуктор  $z_1 - z_2 - z_3 - H$  и зубчатую передачу  $z_4 - z_5$  (рис. 5, б) передается кривошипу  $l$  шестизвенного рычажного механизма, который осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна 5 с режцовой головкой (рис. 5, а). Стругание металла выполняется закрепленным в режцовой головке резцом. График изменения силы резания  $F_{рез}$  показан на рис. 5, в.

Кулачковый механизм через систему рычагов обеспечивает подачу стола с заготовкой (рис. 5, з). Закон движения толкателя кулачкового механизма показан на рис. 5, д.

Исходные данные приведены в табл. 5.

Для всех вариантов:

1.  $l_{BS_3} = l_{CS_3}$ ;  $l_p = 0,3l_{OA}$ ;

2. Массы звеньев:  $m_3 = ql_{BC}$ , где  $q = 30$  кг/м;  $m_5 = 4m_3$ ;  
 $m_1 = m_3$ . Массы  $m_2$  и  $m_4$  не учитывать;

3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,3m_1l_{OA}^2$ ;  $I_{S_3} = 0,1m_3l_{BC}^2$ ;

4. Момент инерции ротора электродвигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,03$  кг·м<sup>2</sup>;

5. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,03$ ;

6. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{max} = 30^\circ$ .

Таблица 5

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075	
	$I_{BC}$	м	0,25	0,29	0,32	0,35	0,38	0,21	0,23	0,26	0,27	0,31	
	$I_{CD}$	м	0,065	0,075	0,085	0,095	0,1	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	
	$a$	м	0,16	0,18	0,2	0,21	0,22	0,12	0,12	0,14	0,16	0,15	0,2
	$b$	м	0,08	0,095	0,11	0,125	0,14	0,08	0,085	0,09	0,1	0,1	
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/ мин	100	95	90	85	80	125	120	115	110	105	
Частота вращения электродвигателя	$n_d$	об/ мин	980	970	960	955	950	950	950	960	960	970	
Сила резания	$F_{рез}$	кН	20	22	25	28	30	20	22	25	28	30	
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_{\omega} = \varphi_{\nu}$	град	80	90	100	110	120	70	80	90	100	110	
	$\varphi_{\Delta c}$	град	50	40	30	50	40	90	80	70	60	50	

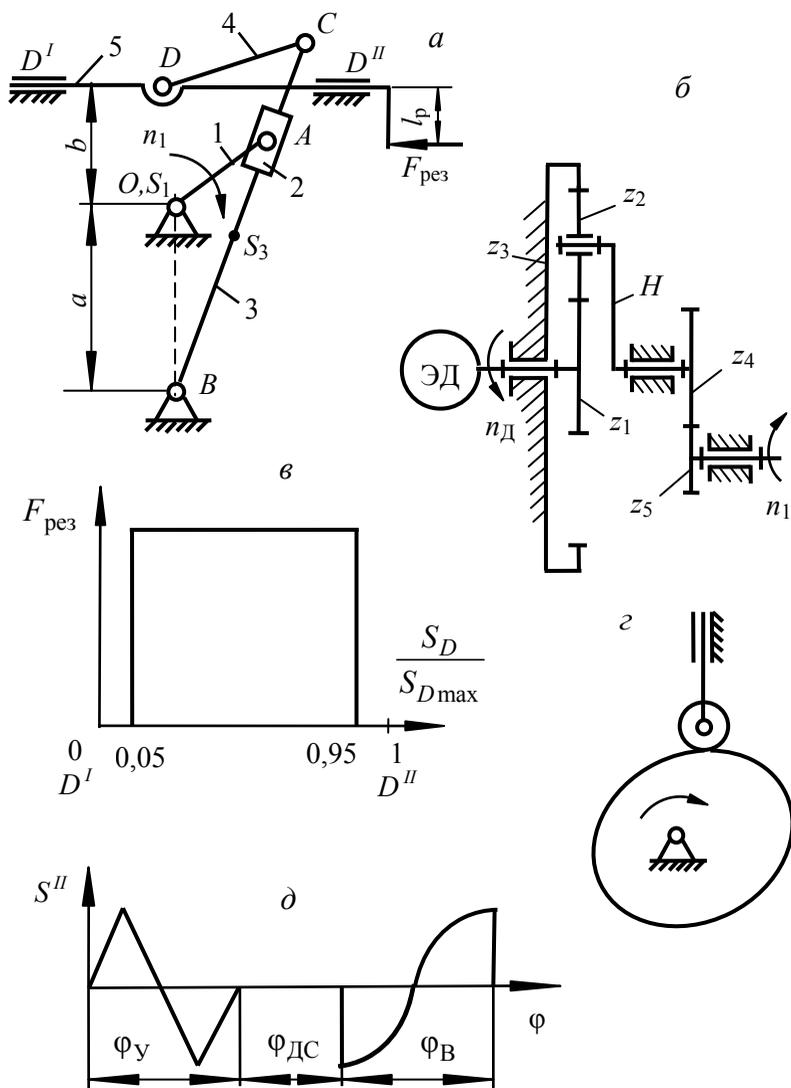


Рис. 5

## Проект 6.

### ПОПЕРЕЧНО-СТРОГАЛЬНЫЙ СТАНОК

Движение от электродвигателя через планетарный редуктор  $z_1 - z_2 - z_3 - H$  и зубчатую передачу  $z_4 - z_5$  (рис. 6, б) передается кривошипу 1 шестизвенного рычажного механизма, который осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна 5 с режущей головкой (рис. 6, а). Строгание металла выполняется закрепленным в режущей головке резцом. График изменения силы резания  $F_{рез}$  показан на рис. 6, в.

Кулачковый механизм через систему рычагов обеспечивает подачу стола с заготовкой (рис. 6, з). Закон движения толкателя кулачкового механизма показан на рис. 6, д.

Исходные данные приведены в табл. 6.

Для всех вариантов:

1.  $l_{BS_3} = l_{CS_3}$ ;  $l_p = 0,3l_{OA}$ ;

2. Массы звеньев:  $m_3 = ql_{BC}$ , где  $q = 30$  кг/м;  $m_5 = 4m_3$ ;  
 $m_1 = m_3$ . Массы  $m_2$  и  $m_4$  не учитывать;

3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,3m_1l_{OA}^2$ ;  $I_{S_3} = 0,1m_3l_{BC}^2$ ;

4. Момент инерции ротора электродвигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,05$  кг·м<sup>2</sup>;

5. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,03$ ;

6. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{max} = 30^\circ$ .

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	$I_{BC}$	м	0,2	0,24	0,28	0,31	0,34	0,19	0,23	0,26	0,32	0,36
	$a$	м	0,13	0,15	0,17	0,18	0,19	0,11	0,13	0,15	0,2	0,23
	$b$	м	0,065	0,08	0,95	0,115	0,13	0,07	0,085	0,1	0,105	0,12
Частота вращения кривошипа 1	$n_1$	об/ мин	160	150	140	130	120	120	130	150	140	160
Частота вращения электродвигателя	$n_{д}$	об/ мин	1 460	1 450	1 440	1 430	1 420	1 460	1 450	1 440	1 430	1 420
Сила резания	$F_{рез}$	кН	22	25	28	30	32	20	22	25	28	30
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_{у} = \varphi_{в}$	град	80	90	100	110	120	130	120	110	100	90
	$\varphi_{дс}$	град	50	40	50	40	50	30	40	50	60	70

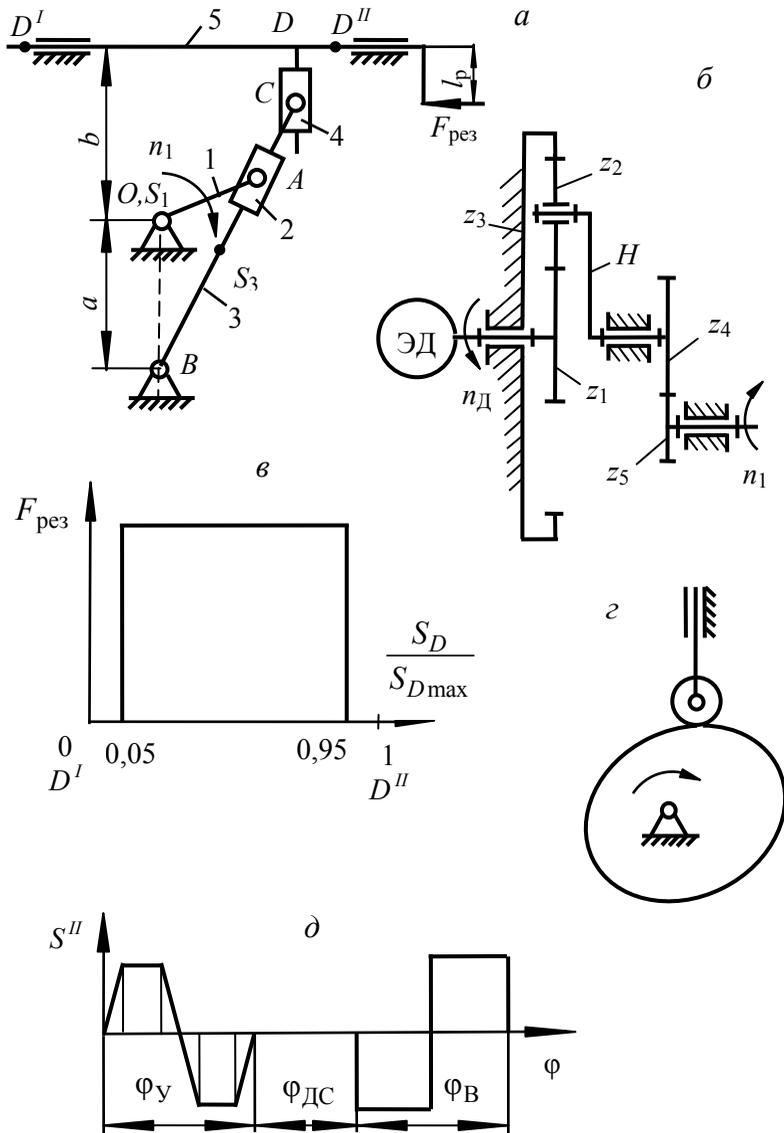


Рис. 6

## Проект 7.

### ДОЛБЕЖНЫЙ СТАНОК

Движение от электродвигателя через планетарный редуктор  $z_1 - z_2 - z_3 - H$  и зубчатую передачу  $z_4 - z_5$  (рис. 7, б) передается кривошипу 1 шестизвенного рычажного механизма, который осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна 5 с установленным на нем инструментом – долбяком (рис. 7, а). Долбяк выполняет нарезание цилиндрических зубчатых колес по методу обкатки. График изменения силы резания  $F_{рез}$  показан на рис. 7, в.

Кулачковый механизм через систему рычагов обеспечивает подачу стола с заготовкой (рис. 7, з). Закон движения толкателя кулачкового механизма показан на рис. 7, д.

Исходные данные приведены в табл. 7.

Для всех вариантов:

1.  $c = 1,4l_{BC}$ ;
2. Массы звеньев:  $m_3 = ql_{BC}$ , где  $q = 50 \text{ кг/м}$ ;  $m_5 = 3m_3$ ;  $m_1 = m_5$ . Массы  $m_2$  и  $m_4$  не учитывать;
3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,3m_1l_{OA}^2$ ;  $I_{S_3} = 0,4m_3l_{BC}^2$ ;
4. Момент инерции ротора электродвигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;
5. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,03$ .

Таблица 7

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
	$I_{AB}$	м	0,37	0,42	0,46	0,51	0,56	0,28	0,33	0,37	0,41	0,46
	$I_{BC}$	м	0,24	0,27	0,3	0,33	0,36	0,18	0,21	0,24	0,27	0,3
	$a$	м	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,19	0,19	0,21	0,23	0,26
	$b$	м	0,32	0,36	0,4	0,44	0,48	0,24	0,28	0,32	0,36	0,4
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/ мин	90	100	110	120	130	130	130	120	110	100
Частота вращения электродвигателя	$n_d$	об/ мин	860	860	880	880	900	860	870	880	890	900
Сила резания	$F_{рез}$	кН	25	30	35	40	45	22	25	28	30	32
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_{\omega} = \varphi_{\nu}$	град	70	80	90	100	110	80	90	100	110	100
	$\varphi_{\Delta c}$	град	120	110	100	90	80	100	90	80	70	60

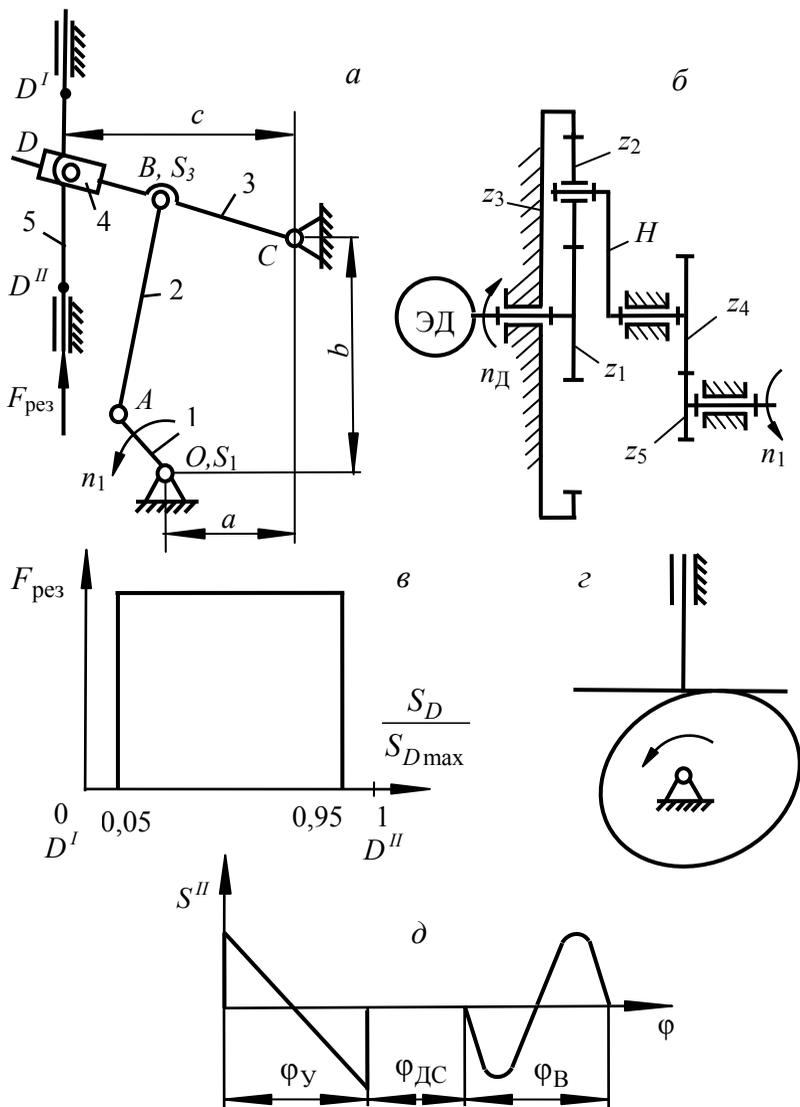


Рис. 7

## Проект 8.

### ДОЛБЕЖНЫЙ СТАНОК

Движение от электродвигателя через планетарный редуктор  $z_1 - z_2 - z_{2'} - z_3 - H$  и зубчатую передачу  $z_4 - z_5$  (рис. 8, б) передается кривошипу 1 шестизвенного рычажного механизма, который осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна 5 с установленным на нем инструментом – долбяком (рис. 8, а). Долбяк выполняет нарезание цилиндрических зубчатых колес по методу обкатки. График изменения силы резания  $F_{рез}$  показан на рис. 8, в.

Кулачковый механизм через систему рычагов обеспечивает подачу стола с заготовкой (рис. 8, з). Закон движения толкателя кулачкового механизма показан на рис. 8, д.

Исходные данные приведены в табл. 8.

Для всех вариантов:

1.  $l_{BS_3} = l_{CS_3}$ ;
2. Массы звеньев:  $m_3 = ql_{BC}$ , где  $q = 30$  кг/м;  $m_5 = 4m_3$ ;  $m_1 = m_3$ . Массы  $m_2$  и  $m_4$  не учитывать;
3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,3m_1l_{OA}^2$ ;  $I_{S_3} = 0,1m_3l_{BC}^2$ .
4. Момент инерции ротора электродвигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,05$  кг·м<sup>2</sup>;
5. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,03$ ;
6. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{max} = 45^\circ$ .

Таблица 8

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075
	$I_{BC}$	м	0,2	0,23	0,26	0,3	0,33	0,2	0,22	0,24	0,27	0,3
	$a$	м	0,12	0,13	0,14	0,17	0,18	0,11	0,13	0,13	0,15	0,18
	$b$	м	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/мин	140	130	120	110	100	100	110	120	130	140
Частота вращения электродвигателя	$n_d$	об/мин	960	950	940	930	920	960	950	950	940	930
Сила резания	$F_{рез}$	кН	18	20	22	25	28	20	22	25	28	30
Длина коромысла кулачкового механизма	$l_K$	м	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
Угол качания коромысла	$\psi_{max}$	град	25	20	25	20	25	20	25	20	25	20
	$\varphi_{\Sigma} = \varphi_{\psi}$	град	60	50	70	80	70	60	50	70	80	70
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_{ДС}$	град	100	110	90	80	80	80	90	70	60	100

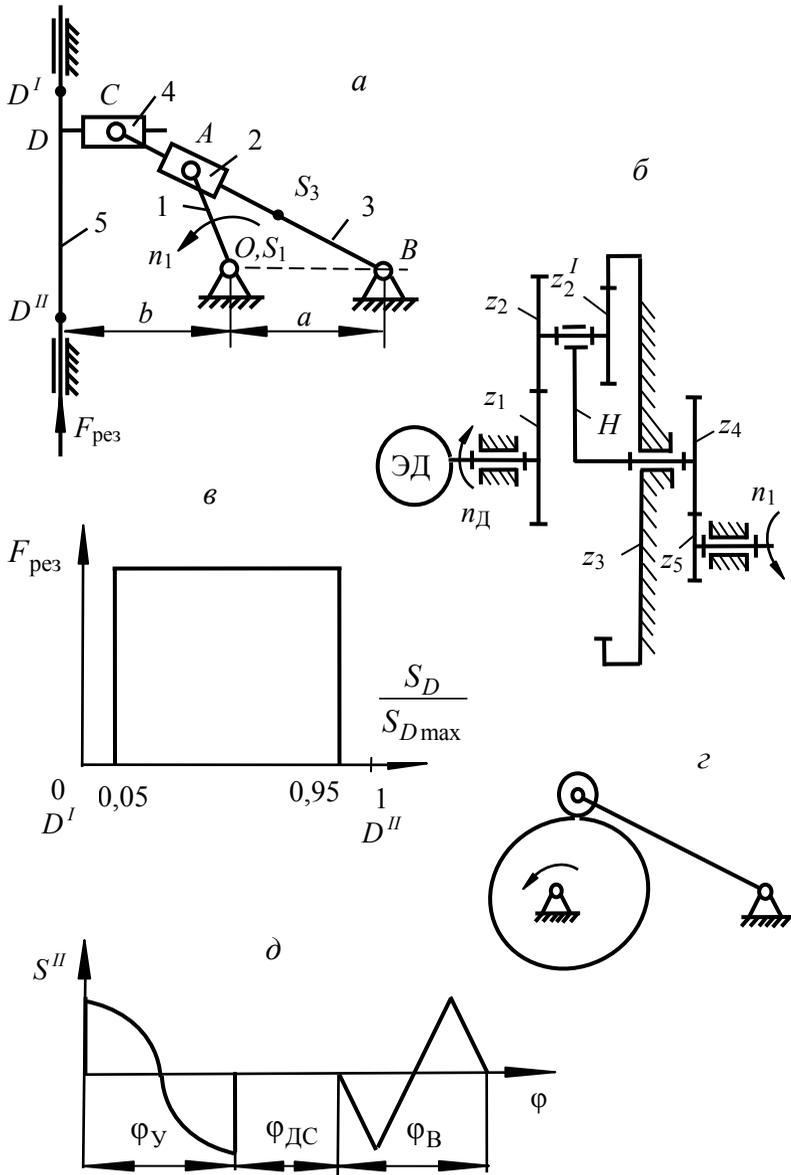


Рис. 8

## Проект 9.

### ИНЕРЦИОННЫЙ КОНВЕЙЕР

Инерционный конвейер предназначен для перемещения сыпучих материалов в горизонтальном направлении. Движение от электродвигателя через планетарный редуктор  $z_1 - z_2 - z_3 - H$  и зубчатую передачу  $z_4 - z_5$  (рис. 9, б) передается кривошипу 1 шестизвенного рычажного механизма, который осуществляет возвратно-поступательное движение транспортирующего желоба 5 с насыпанным на него материалом (рис. 9, а).

Подача материала на желоб из бункера обеспечивается кулачковым механизмом (рис. 9, в). Закон движения толкателя кулачкового механизма показан на рис. 9, г.

Исходные данные приведены в табл. 9.

Для всех вариантов:

1.  $l_{CD} = 1,7l_{CB}$ ;  $c = 2,1l_{BC}$ ;
2. Массы звеньев:  $m_3 = ql_{CD}$ , где  $q = 60$  кг/м;  $m_5 = 20m_3$ . Масса перемещаемого материала  $m_m = 2m_5$  (учитывается при движении желоба слева направо). Массы  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_4$  не учитывать;
3. Моменты инерции звена 3:  $I_{S_3} = 0,1m_3l_{CD}^2$ ;
4. Момент инерции ротора электродвигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,05$  кг · м<sup>2</sup>;
5. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,1$ .

Таблица 9

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11
	$I_{AB}$	м	0,19	0,24	0,24	0,3	0,37	0,26	0,27	0,27	0,34	0,35
	$I_{BC}$	м	0,11	0,13	0,14	0,17	0,19	0,13	0,15	0,16	0,19	0,2
	$a$	м	0,18	0,19	0,22	0,27	0,32	0,22	0,22	0,24	0,25	0,33
	$b$	м	0,03	0,02	0,04	0,025	0,03	0,02	0,02	0,02	0,045	0,03
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/ мин	60	65	70	75	80	60	65	70	75	80
Частота вращения электродвигателя	$n_d$	об/ мин	860	870	880	890	900	900	890	880	870	860
Сила сопротивления при движении желоба слева направо	$F_{C1}$	кН	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
	$F_{C2}$	кН	3	3,2	3,5	3,8	4	3	3,2	3,5	3,8	4
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_{\text{у}} = \varphi_{\text{в}}$	град	80	90	100	110	120	100	110	120	90	130
	$\varphi_{\text{ДС}}$	град	30	40	50	40	50	60	50	40	70	30

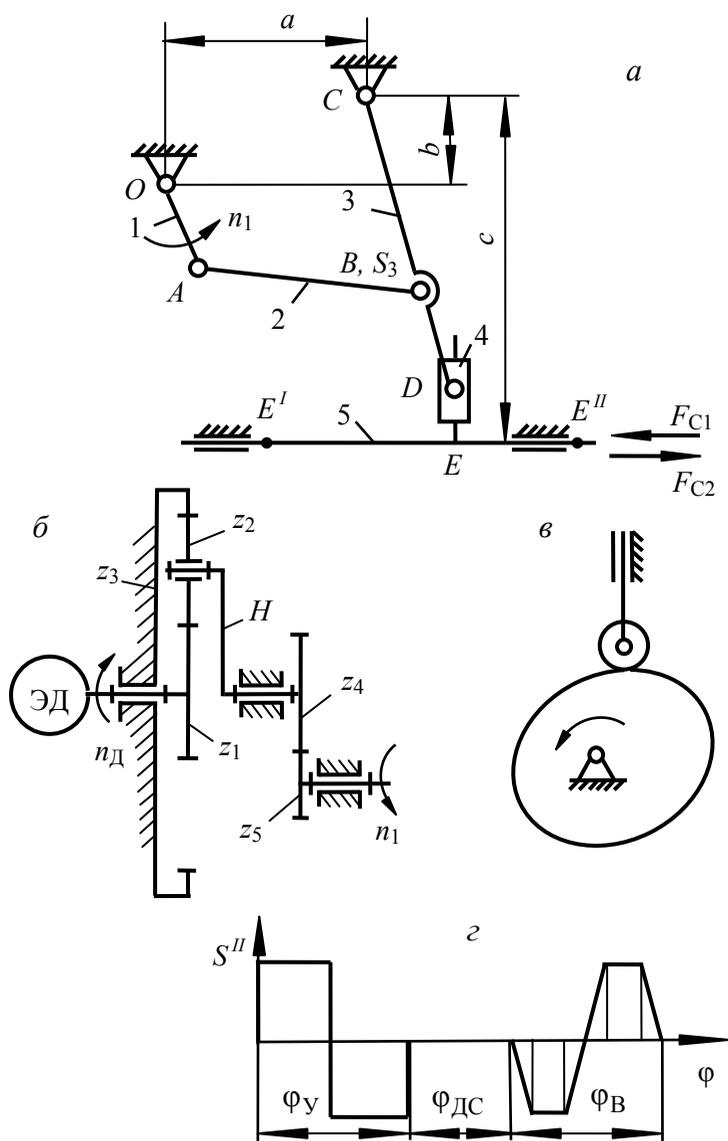


Рис. 9

## Проект 10.

### ПРЕСС-АВТОМАТ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Пресс-автомат предназначен для получения изделий методом выдавливания. Деформация заготовки осуществляется пуансоном, установленным на ползуне 5 кривошипно-коленного механизма (рис. 10, а). Кривошип 1 приводится во вращение электродвигателем ЭД через планетарную передачу  $z_1 - z_2 - z_3 - H$  и зубчатые колеса  $z_4, z_5$  (рис. 10, б).

Готовое изделие выталкивается из матрицы выталкивателем, движение которого обеспечивается кулачковым механизмом (рис. 10, в). Закон движения толкателя кулачкового механизма показан на рис. 10, г.

График изменения усилий полезного сопротивления  $F_{ПС}$  показан на рис. 10, д.

Исходные данные приведены в табл. 10.

Для всех вариантов:

1. Массы звеньев:  $m_4 = ql_{BD}$ , где  $q = 60$  кг/м;  $m_5 = 3m_4$ ;  $m_1 = 0,5m_5$ . Массы  $m_2$  и  $m_3$  не учитывать;
2. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,25m_1l_{OA}^2$ ;  $I_{S_4} = 0,12m_4l_{BD}^2$ ;
3. Момент инерции ротора электродвигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,05$  кг·м<sup>2</sup>;
4. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,05$ ;
5. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{\max} = 30^\circ$ ;
6.  $l_{BS_4} = l_{S_4D}$ .

Таблица 10

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,209	0,147	0,195	0,274	0,242	0,361	0,228	0,242	0,429	0,401
	$I_{AB}$	м	0,328	0,362	0,717	1,149	1,173	0,444	0,577	0,652	0,939	0,92
	$I_{BC}$	м	0,11	0,13	0,14	0,17	0,19	0,13	0,15	0,16	0,19	0,2
	$I_{BD}$	м	1,099	0,498	0,724	1,193	0,829	1,495	0,896	0,933	2,266	2,321
	$a$	м	0,119	0,215	0,522	0,875	0,931	0,084	0,348	0,41	0,51	0,519
	$b$	м	1,099	0,498	0,724	1,193	0,829	1,425	0,896	0,933	2,266	2,321
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/мин	300	130	140	110	120	60	220	100	60	80
Частота вращения электродвигателя	$n_d$	об/мин	2 900	960	1 420	860	870	1 440	2 940	1 410	940	940
Сила сопротивления при движении желоба слева направо	$F_{ГПС\max}$	кН	30	75	40	60	50	80	50	100	80	70
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
	$\varphi_u$	град	120	80	90	70	100	110	80	90	70	100
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_{ДС}$	град	60	70	60	70	60	60	70	60	70	80
	$\varphi_V$	град	60	70	60	70	60	80	80	70	80	70

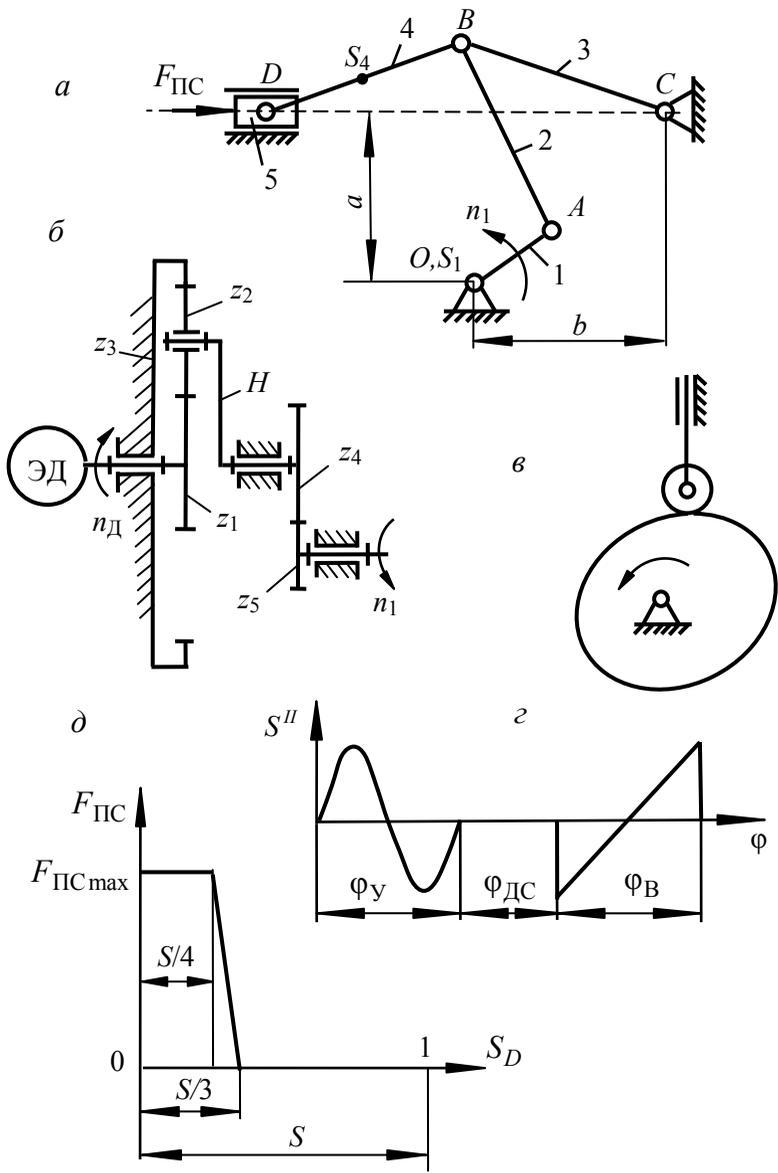


Рис. 10

## Проект 11.

### СТРОГАЛЬНЫЙ СТАНОК

Движение от электродвигателя через зубчатый редуктор передается кривошипу  $I$  шестизвенного рычажного механизма с вращающейся кулисой  $3$  (рис. 11,  $a$ ). Рычажный механизм осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна  $5$  с резцовой головкой. Стругание металла выполняется закрепленным в резцовой головке резцом. Рабочий ход происходит при движении ползуна слева направо. График изменения силы резания  $F_{\text{рез}}$  показан на рис. 11,  $в$ .

Подача стола с заготовкой осуществляется с помощью кулачкового механизма через систему рычагов (рис. 11,  $б$ ).

Исходные данные приведены в табл. 11.

$\varphi_{\text{У}} = \varphi_{\text{В}}$ ;  $\varphi_{\text{ДС}} = 0,3\varphi_{\text{У}}$  – фазовые углы поворота кулачка.

Для всех вариантов:

1.  $l_{CS_4} = l_{DS_4}$ ;

2. Массы звеньев:  $m_4 = q \cdot l_{CD}$ , где  $q = 50$  кг/м;  $m_5 = 3m_4$ ;  
 $m_1 = 0,5m_4$ . Массы  $m_2$  и  $m_3$  не учитывать;

3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $I_{S_4} = 0,1m_4 l_{CD}^2$ ;

4. Момент инерции ротора двигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;

5. Частота вращения двигателя  $n_{\text{Д}} = 950$  об/мин;

6. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,05$ ;

7. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{\text{max}} = 30^\circ$ ;

8. Законы движения толкателя: при удалении – синусоидальный, при возвращении – косинусоидальный.

Таблица 11

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
	$L_{OB}$	м	0,035	0,04	0,045	0,05	0,055	0,045	0,05	0,055	0,065	0,07
	$I_{BC}$	м	0,2	0,235	0,28	0,33	0,39	0,31	0,355	0,41	0,465	0,535
	$I_{CD}$	м	0,475	0,58	0,705	0,84	1,01	0,815	0,96	1,13	1,31	1,52
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/ мин	150	140	130	12	110	110	12	130	140	150
Максимальное усилие резания	$F_{рез}$	кН	7,5	8	8,5	9	9,5	10	7,5	8	8,5	9
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,06	0,07	0,08	0,09	0,05
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_u$	град	90	100	110	120	130	90	100	110	120	130

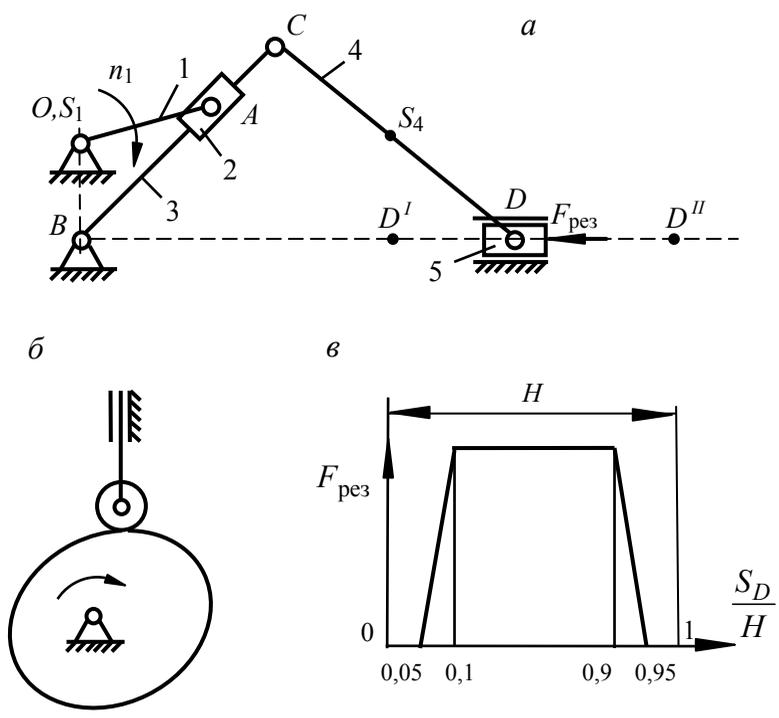


Рис. 11

## Проект 12.

### СТРОГАЛЬНЫЙ СТАНОК

Движение от электродвигателя через зубчатый редуктор передается кривошипу  $I$  шестизвенного рычажного механизма с вращающейся кулисой  $3$  (рис. 12, *a*). Рычажный механизм осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна  $5$  с резцовой головкой. Стругание металла выполняется закрепленным в резцовой головке резцом. Рабочий ход происходит при движении ползуна слева направо. График изменения силы резания  $F_{рез}$  показан на рис. 12, *б*.

Подача стола с заготовкой осуществляется с помощью кулачкового механизма через систему рычагов (рис. 12, *в*).

Исходные данные приведены в табл. 12.

$\varphi_{У} = \varphi_{В}$ ;  $\varphi_{ДС} = 0,8\varphi_{У}$  – фазовые углы поворота кулачка.

Для всех вариантов:

1.  $l_{CS_4} = l_{DS_4}$ ;

2. Массы звеньев:  $m_4 = ql_{CD}$ , где  $q = 50$  кг/м;  $m_5 = 3m_4$ ;  $m_1 = 0,5m_4$ . Массы  $m_2$  и  $m_3$  не учитывать;

3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $I_{S_4} = 0,1m_4l_{CD}^2$ ;

4. Момент инерции ротора двигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;

5. Частота вращения двигателя  $n_D = 950$  об/мин;

6. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,05$ ;

7. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{\max} = 40^\circ$ ;

8. Законы движения толкателя: при удалении – трапецеидальный, при возвращении – линейно убывающий закон изменения ускорения.

Таблица 12

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
	$I_{OB}$	м	0,045	0,055	0,06	0,065	0,075	0,055	0,065	0,07	0,08	0,085
	$I_{BC}$	м	0,09	0,11	0,125	0,145	0,165	0,13	0,15	0,165	0,185	0,215
	$I_{CD}$	м	0,26	0,315	0,37	0,43	0,505	0,395	0,47	0,525	0,61	0,715
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/ мин	150	140	130	120	110	110	120	130	140	150
Максимальное усиление резания	$F_{рез}$	кН	7,5	8	8,5	9	9,5	10	7,5	8	8,5	9
Длина коромысла кулачкового механизма	$l_K$	м	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
Угол качания коромысла	$\psi_{max}$	град	20	25	20	25	20	25	20	25	20	25
Фазовые углы поворота кулачка	$\phi_U$	град	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60

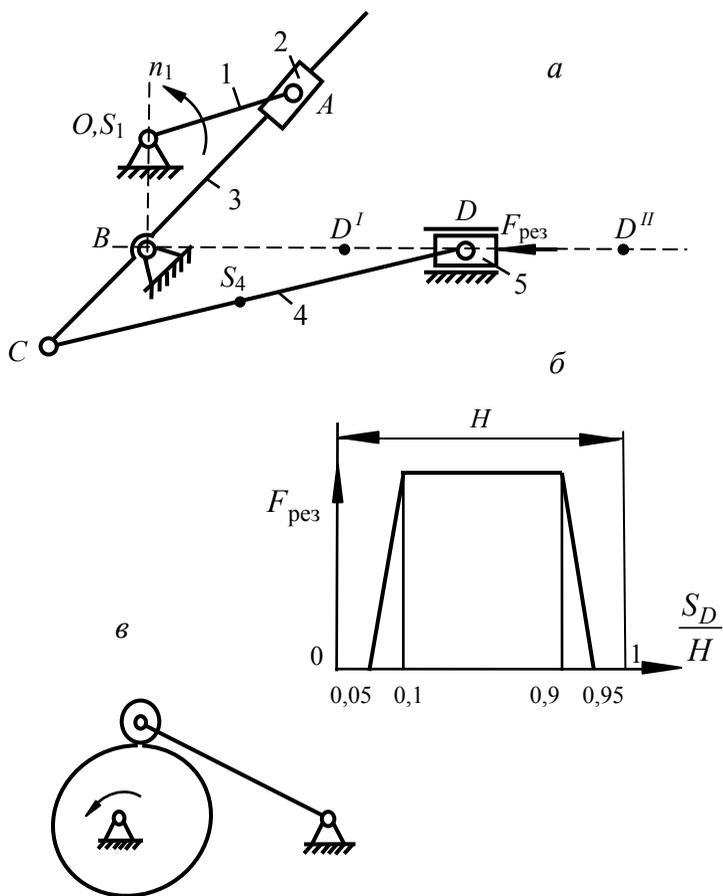


Рис. 12

## Проект 13.

### СТРОГАЛЬНЫЙ СТАНОК

Движение от электродвигателя через зубчатый редуктор передается кривошипу  $I$  шестизвенного рычажного механизма с вращающейся кулисой  $3$  (рис. 13, *a*). Рычажный механизм осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна  $5$  с резцовой головкой. Стругание металла выполняется закрепленным в резцовой головке резцом. Рабочий ход происходит при движении ползуна слева направо. График изменения силы резания  $F_{рез}$  показан на рис. 13, *в*.

Подача стола с заготовкой осуществляется с помощью кулачкового механизма через систему рычагов (рис. 13, *б*).

Исходные данные приведены в табл. 13.

$\varphi_{У} = \varphi_{В} = \varphi_{ДС}$  – фазовые углы поворота кулачка.

Для всех вариантов:

1.  $l_{CS_4} = l_{DS_4}$ ;

2. Массы звеньев:  $m_4 = ql_{CD}$ , где  $q = 50$  кг/м;  $m_5 = 3m_4$ ;  
 $m_1 = 0,5m_4$ . Массы  $m_2$  и  $m_3$  не учитывать;

3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $I_{S_4} = 0,1m_4l_{CD}^2$ ;

4. Момент инерции ротора двигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;

5. Частота вращения двигателя  $n_D = 950$  об/мин;

6. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,05$ ;

7. Законы движения толкателя: при удалении – линейно убывающий закон изменения ускорения, при возвращении – треугольный.

Таблица 13

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$l_{OA}$	м	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
	$l_{OB}$	м	0,05	0,06	0,065	0,07	0,08	0,06	0,07	0,075	0,085	0,09
	$l_{BC}$	м	0,2	0,235	0,25	0,265	0,295	0,22	0,25	0,265	0,295	0,3
	$l_{CD}$	м	0,6	0,715	0,775	0,835	0,945	0,715	0,825	0,89	1	1,05
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/ мин	150	140	130	120	110	110	120	130	140	150
Максимальное усиление резания	$F_{рез}$	кН	7,5	8	8,5	9	9,5	10	7,5	8	8,5	9
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,01	0,012	0,014	0,016	0,018	0,01	0,012	0,014	0,016	0,018
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_u$	град	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60

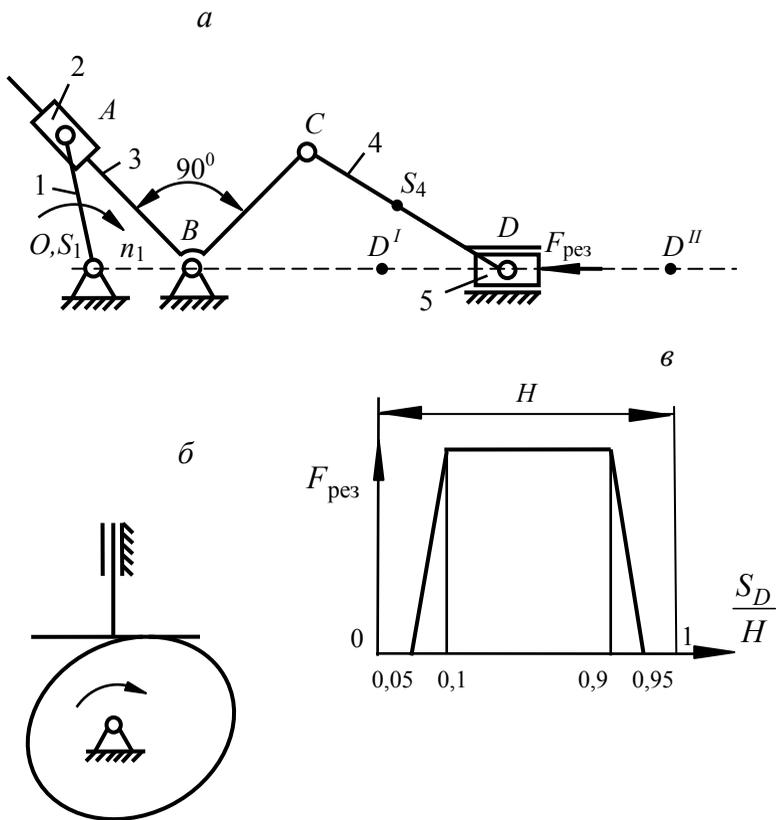


Рис. 13

## Проект 14.

### ДОЛБЕЖНЫЙ СТАНОК

Движение от электродвигателя через зубчатый редуктор передается кривошипу 1 шестизвенного рычажного механизма с вращающейся кулисой 3 (рис. 14, а). Рычажный механизм осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна 5 с установленным на нем инструментом – долбяком. Долбяк выполняет нарезание цилиндрических зубчатых колес по методу обкатки. Рабочий ход происходит при движении ползуна сверху вниз. График изменения силы резания  $F_{рез}$  показан на рис. 14, в.

Подача стола с заготовкой осуществляется с помощью кулачкового механизма через систему рычагов (рис. 14, б).

Исходные данные приведены в табл. 14.

$\varphi_Y = \varphi_B$ ;  $\varphi_{ДС} = 0,8\varphi_Y$  – фазовые углы поворота кулачка.

Для всех вариантов:

1.  $l_{CS_4} = l_{DS_4}$ ;

2. Массы звеньев:  $m_4 = ql_{CD}$ , где  $q = 50$  кг/м;  $m_5 = 3m_4$ ;  $m_1 = 0,5m_4$ . Массы  $m_2$  и  $m_3$  не учитывать;

3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $I_{S_4} = 0,1m_4l_{CD}^2$ .

4. Момент инерции ротора двигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

5. Частота вращения двигателя  $n_D = 950$  об/мин.

6. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,05$ .

7. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{max} = 40^\circ$ .

8. Законы движения толкателя: при удалении – треугольный, при возвращении – косинусоидальный.

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры звеньев рычажного механизма	$I_{OA}$	м	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
	$I_{OB}$	м	0,065	0,07	0,07	0,075	0,075	0,055	0,055	0,055	0,06	0,06
	$I_{BC}$	м	0,16	0,165	0,17	0,17	0,17	0,12	0,12	0,125	0,125	0,125
	$I_{CD}$	м	0,53	0,535	0,54	0,54	0,535	0,365	0,365	0,365	0,36	0,35
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/ мин	150	140	130	120	110	110	120	130	140	150
Максимальное усиление резания	$F_{рез}$	кН	7,5	8	8,5	9	9,5	10	7,5	8	8,5	9
Длина коромысла кулачкового механизма	$l_K$	м	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
Угол качания коромысла	$\psi_{max}$	град	20	25	20	25	20	25	20	25	20	25
Фазовые углы поворота кулачка	$\phi_u$	град	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60

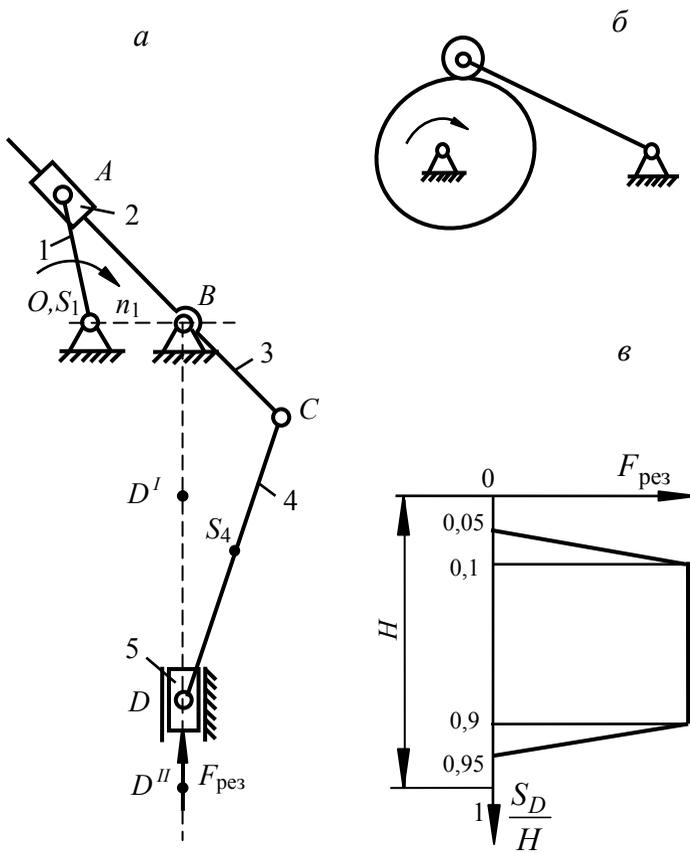


Рис. 14

## Проект 15.

### ДОЛБЕЖНЫЙ СТАНОК

Движение от электродвигателя через зубчатый редуктор передается кривошпиту  $I$  шестизвенного рычажного кулисного механизма (рис. 15, б). Рычажный механизм осуществляет возвратно-поступательное перемещение ползуна 5 с установленным на нем инструментом – долбяком. Долбяк выполняет нарезание цилиндрических зубчатых колес по методу обкатки. Рабочий ход происходит при движении ползуна сверху вниз. График изменения силы резания  $F_{рез}$  показан на рис. 15, а.

Подача стола с заготовкой осуществляется с помощью кулачкового механизма через систему рычагов (рис. 15, в).

Исходные данные приведены в табл. 15.

$\varphi_{У} = \varphi_{В}$ ;  $\varphi_{ДС} = 0,3\varphi_{У}$  – фазовые углы поворота кулачка.

Для всех вариантов:

1.  $l_{CS_4} = l_{DS_4}$ ;  $a = 1,1l_{BC}$ ;

2. Массы звеньев:  $m_4 = ql_{CD}$ , где  $q = 80$  кг/м;  $m_5 = 5m_4$ ;  
 $m_1 = m_4$ . Массы  $m_2$  и  $m_3$  не учитывать;

3. Моменты инерции звеньев:  $I_{S_1} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $I_{S_4} = 0,1m_4l_{CD}^2$ ;

4. Момент инерции ротора двигателя и всех зубчатых колес, приведенный к валу двигателя,  $I_p = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;

5. Частота вращения двигателя  $n_D = 950$  об/мин;

6. Коэффициент неравномерности движения  $\delta = 0,05$ ;

7. Максимально допустимый угол давления в кулачковом механизме  $\theta_{\max} = 30^\circ$ ;

8. Законы движения толкателя: при удалении – косинусоидальный, при возвращении – трапецеидальный.

Таблица 15

Параметры	Обозн.	Ед. изм	Вариант														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Размеры звеньев рычажного механизма	$l_{OA}$	м	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
	$l_{OB}$	м	0,345	0,355	0,37	0,39	0,395	0,275	0,285	0,295	0,305	0,32	0,345	0,355	0,37	0,39	0,395
	$l_{BC}$	м	0,17	0,185	0,2	0,22	0,23	0,165	0,175	0,19	0,2	0,215	0,17	0,185	0,2	0,22	0,23
	$l_{CD}$	м	0,105	0,115	0,13	0,145	0,155	0,115	0,125	0,14	0,155	0,17	0,105	0,115	0,13	0,145	0,155
Частота вращения кривошипа I	$n_1$	об/ мин	150	140	130	120	110	110	120	130	140	150	150	140	130	120	110
Максимальное усиление резания	$F_{рез}$	кН	7,5	8	8,5	9	9,5	10	7,5	8	8,5	9	7,5	8	8,5	9	9
Ход толкателя кулачкового механизма	$h$	м	0,07	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,05	0,06
Фазовые углы поворота кулачка	$\varphi_u$	град	90	100	110	120	130	1000	110	120	130	90	110	120	130	90	90

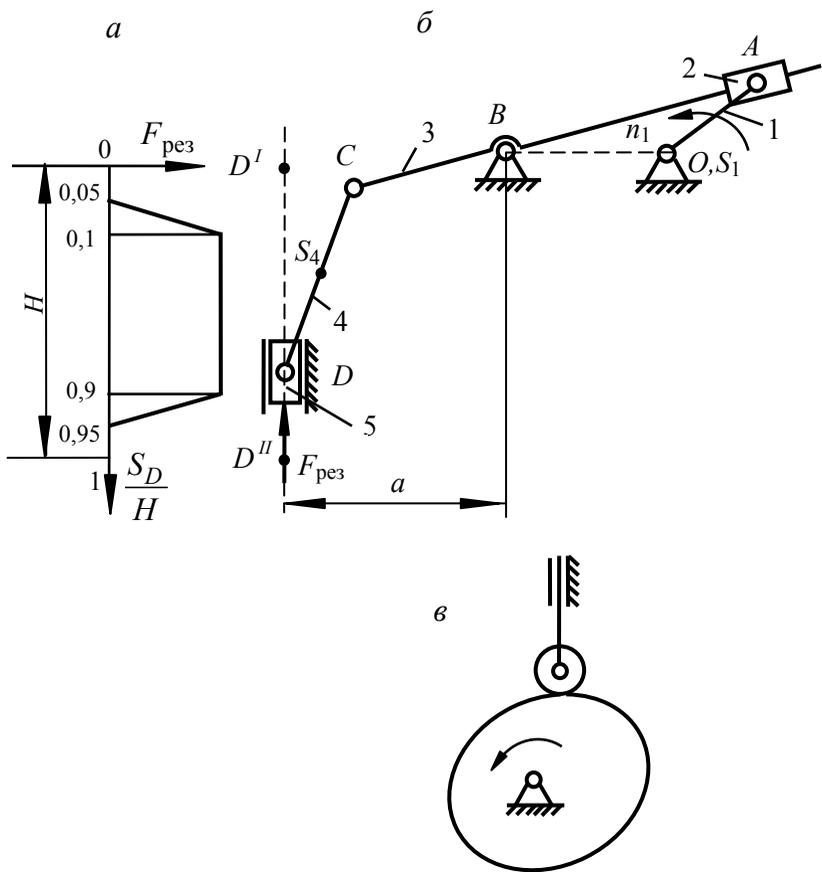


Рис. 15

Учебное издание

**АНЦИПОРОВИЧ** Петр Петрович  
**АКУЛИЧ** Валерий Константинович  
**ДУБОВСКАЯ** Елена Михайловна

## **ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ, МАШИН И МАНИПУЛЯТОРОВ**

Пособие для студентов специальностей  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»  
и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»

Редактор *О. В. Ткачук*  
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 31.08.2015. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 3,31. Уч.-изд. л. 2,59. Тираж 300. Заказ 688.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.