|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Логотип ЗУГТ*** | **ЧАСТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ** **ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ** **«ЗАПАДНО-УРАЛЬСКИЙ ГОРНЫЙ ТЕХНИКУМ»** |  |  |

УТВЕРЖДАЮ

Директор ЧОУ ПО «ЗУГТ»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.В. Теленков

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2024 г.

**ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

*Методические рекомендации по дисциплине*

**Специальность**

**15.02.16 Технология машиностроения**

**Пермь 2024**

Методические рекомендации предназначены для студентов заочного отделения КГБ ПОУ СГПТТ по специальности 15.02.16 Технология машиностроения для выполнения домашней контрольной работы в межсессионный период и самостоятельной подготовки к лабораторно-экзаменационной сессии. Рекомендации разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ОП.04. Техническая механика

**Введение**

Структура дисциплины «Техническая механика» представлена следующи- ми разделами:

* теоретическая механика;
* сопротивление материалов;
* детали машин.

В результате освоения учебной дисциплины **студент должен:**

***уметь:***

* определять напряжения в конструкционных элементах;
* определять передаточное отношение;
* проводить расчет и проектировать детали и сборочные единицы общего назначения;
* проводить сборочно-разборочные работы в соответствии с характером соединений деталей и сборочных единиц;
* производить расчеты на сжатие, срез и смятие;
* производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость;
* собирать конструкции из деталей по чертежам и схемам;
* читать кинематические схемы.

***знать:***

* виды движений и преобразующие движения механизмы;
* виды износа и деформаций деталей и узлов;
* виды передач; их устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные обозначения на схемах;
* кинематику механизмов, соединения деталей машин, механические пере- дачи, виды и устройство передач;
* методику расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации;
* методику расчета на сжатие, срез и смятие;
* назначение и классификацию подшипников;
* характер соединения основных сборочных единиц и деталей;
* основные типы смазочных устройств;
* типы, назначение, устройство редукторов;
* трение, его виды, роль трения в технике;
* устройство и назначение инструментов и контрольно-измерительных приборов, используемых при техническом обслуживании и ремонте оборудова- ния.

Формируемые компетенции:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей про- фессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые мето- ды и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и лич- ностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в про- фессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллега- ми, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды, за результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение ква- лификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессио- нальной деятельности.

Учебная дисциплина «Техническая механика» базируется на знаниях и уме- ниях, полученных при изучении физики и математики, является базовой для дис- циплин профессионального цикла.

Программа курса рассчитана на 174 часа учебных и 70 часов практических занятий. Программа раздела «Теоретическая механика» рассчитана на 76 учебных и 28 часов практических занятий. С целью активизации процессов усвоения и за- крепления знаний студентов к каждой теме предложены вопросы для само- контроля.

Для лучшего усвоения материала рекомендуется самостоятельно решить несколько задач по темам дисциплины. Решение задач способствует лучшему по- ниманию и закреплению теоретических знаний. Задания практических работ же- лательно выполнять непосредственно после изучения соответствующей темы, та- кая последовательность будет способствовать лучшему закреплению знаний. За- ключительной формой контроля усвоения раздела является контрольная работа, дисциплины - экзамен.

## Методические рекомендации по решению задач

1. Главная цель решения задач – формировать способности к самостоя- тельному мышлению и анализу, к самостоятельной творческой работе, формиро- вать понимание физических явлений и техническое мышление.
2. Развить умение и навыки применения теоретических знаний к решению практических вопросов.
3. Закрепить и углубить знания по изучаемому предмету.
4. Развить навыки работы со справочной и технической литературой.
5. Приобрести навыки оформления технических расчетов.

## Основные положения методики решения задач

1. Записать условия задачи, составить расчетную схему (если это необхо- димо) и проанализировать физическую сущность задачи.
2. После того, как задача в общих чертах решена, перейти к её последова- тельному математическому решению:
   * вести решение по пунктам, указывая, что именно в данном пункте опре- деляется;
   * каждый пункт должен содержать расчетную формулу, записанную в общем виде;
   * после вывода окончательной формулы необходимо перейти к численно- му решению;
   * перед подстановкой числовых данных необходимо все исходные вели- чины привести к единым согласованным единицам измерения.
3. Анализ результата решения заключается в следующем:
   * попытке оценить правильность решения по правдоподобию числового результата;
   * в разборе возможных методов контроля решения;
   * в анализе решения с точки зрения подтверждения определенных теоре- тических положений и технических приложений и практических выводов;
   * в необходимости приведения результата к ГОСТам.

**СТАТИКА**

**Практическая работа№1**

**Тема: «Плоская система сходящихся сил»**

Цель: провести графическое и аналитическое определение равнодействую- щей плоской системы сходящихся сил.

Время выполнения: 90 минут.

Для выполнения работы необходимо знать:

Плоская система сходящихся сил– это силы, лежащие водной плоскости, линии действия которых пересекаются водной точке. Равнодействующую силу для этой системы определяют по формуле:

*F*  ,

*F* 2  *F* 2

*x* *x*

где

*F**x*  *Fix*

* сумма проекций всех сил на ось «Х»,

*F**у*  *Fiу*

* сумма проекций всех сил на ось «Y».

Для равновесия данной системы сил необходимо и достаточно, чтобы рав- нялись нулю суммы проекций всех сил на две перпендикулярных оси.

Уравнения равновесия:

*Fix*  0

*Fiу*  0

## Примеры решения задач:

**Пример 1**

Определить равнодействующую силу графическим и аналитическим спосо-

бами.

F2



y

F1

30°

45°

x

F3

Дано:

*F*1  44*кН* ,

*F*2  22*кН* ,

*F*3  11*кН* . Определить *F*

Решение:

* 1. Аналитический способ.

Равнодействующая системы сходящихся сил определяется по формуле:

*F* 

*X* 2  *Y* 2

где Х – сумма проекций всех сил на ось х,

Y – сумма проекций всех сил на ось у. Тогда

*X*  *F*1  cos 45  *F*2  cos30  44  0,707  22  0,866  12,06*кН* ;

*Y*  *F*1  sin 45  *F*2  sin 30  *F*3  44  0,707  22  0,5 11  31,11*кН* ;

*F* 

* 1. Графический способ. Выбирается масштаб сил

*F*3  1*см* .

 33,36*кН*

*МF*  11*кН* / *см* , тогда длина сил

12,062  31,112

*F*1  4*см* ,

*F*2  2*см* ,

Строим силовой многоугольник:



F3

F2

FΣ

F1

*F*  3,3*см*  33*кН*

Ответ: 33кН.

## Пример 2

Определить силу F1 графическим и аналитическим способами.

y

F2

30°

30°

x

F3

FΣ

Дано:

*F*  60*кН* ,

*F*2  15*кН* ,

*F*3  30*кН* . Определить *F*1

Решение:

1. Аналитический способ.

Определим проекции равнодействующей на оси х, у:

*X*  *F*  cos 30 , *Y*  *F*  sin 30 ,

но

Отсюда

*X*  *F*2  cos 30  *F*1*x* , *Y*  *F*2  sin 30  *F*1 *y*  *F*3 .

*F*1*x*  *F*  cos 30  *F*2  cos 30  60  0,866  15  0,866  64,95*кН*

*F*1 *y*  *F*  sin 30  *F*2  sin 30  *F*3  60  0,5 15  0,5  30  7,5*кН*

64,952  7,52

*F*1

Угол наклона силы



*F*1 к оси х:

*F*  *F*

2

2

1*x* 2 *x*



 65,38*кН*

cos  *F*1*x*

*F*1

 64,95  0,993

65,38

  7

1. Графический способ

Выбирается масштаб построения сил

*МF*  10*кН* / *см* , тогда длина сил

*F*  6*см*  60*кН* ,

*F*2  1,5*см*  15*кН* ,

*F*3  3*см*  30*кН*

Строим силовой многоугольник:

F3

FΣ

F2

F1

Ответ:

*F*1  65,38*кН*

ли.

## Практическаяработа№2

**Тема: «Плоская система произвольно расположенных сил»**

Цель: провести расчет реакций опор заданной двухопорной балки и консо- Время выполнения: 180 минут.

Для выполнения работы необходимо знать:

Плоская система произвольно расположенных сил– это силы лежащие в од- ной плоскости, линии действия которых не пересекаются водной точке.

Данную систему можно преобразовать в систему сходящихся сил, которая харак- теризуется главным вектором ( *FГЛ* ), и системой моментов, которая характеризу- ется главным моментом ( *М ГЛ* ).

*X* 2

 *Y*

2

*ГЛ ГЛ*

где

*FГЛ* 

*X ГЛ*

*n*

  *Fix* - сумма проекций всех сил на ось «х»;

*i*1

*YГЛ*

*n*

  *Fiy* - сумма проекций всех сил на ось «y»;

*i*1

*M ГЛ*

*n*

 

*i*1

*M* *F*  - cумма моментов всех сил относительно любой точки.

Для равновесия этой системы сил необходимо и достаточно, чтобы равня-

*i*

0

лись нулю

*FГЛ*

и *М ГЛ* .

Существуют следующие формы равновесия:

 *n*



 *i*1

 *n*

1 форма : 

 *i*1

*n*

*Fix*

*Fiy M*

 0

 0

*F*   0

- сумма проекций всех сил на две перпендикулярных сил и

 *i*1 0 *i*

сумма моментов всех сил относительно любой точки;

2 форма:

 *n*

 *i*1



 *n*



 *i*1

*M* *F*   0

*M* *F*   0

*i*

*i*

*A*

*B*

- сумма моментов всех сил относительно двух любых то-

 *n*



 *i*1

*Fiy*  0

чек и сумма проекций всех сил на ось;

3 форма:

 *n*

 *i*1



 *n*



 *i*1

 *n*



 *i*1

*M* *F*   0

*M* *F*   0 - сумма моментов всех сил относительно трех любых то-

*i*

*i*

*A*

*B*

*M* *F*   0

*i*

*C*

чек, не лежащих на одной прямой.

## Пример решения задач.

**Пример 1**

Определить реакции опор балки, на которую действуют нагрузки

*P*1  2*кН* ,

*P*2  4*кН*

и момент

*М* 16*кН*  *м* .



Р2

М

А

60°

В

Р1

3м

2м

2м

Дано:

*P*1  2*кН* ,

*P*2  4*кН*

, *М* 16*кН*  *м* . Определить:

*RА* , *RB*

Решение:

1. Составляем расчетную схему балки:



RAy

Р2

RBy

М

RAx

А

60°

В

Р1

3м

2м

2м

1. Для определения реакций опор А и В составляем уравнения равновесия

второй формы (2.3):

 *n*



 *i*1

*i*

*A*

*M* *F*   0

 *P*  sin 60  3  *P*

 5  *R*

 7  *M*  0

 *n*   

1

2 *By*

 *M B Fi*

 *i*1

 0 ;

 *RAy*  7  *P*1  sin 60  4  *P*2  2  *M*



 0 .

 *n*



 *i*1

*Fiy*  0

*RAx*  *P*1  cos60  0

Из системы уравнений:

*RBy*

*RAy*

 *P*1  sin 60  3  *P*2  5  *M*

7

 *P*1  sin 60  4  *P*2  2  *M*

7

 2  0,866  3  4  5  16  1,31*кН* ;

7

 2  0,866  4  4  2  16  4,42*кН* ;

7

*RAx*  *P*1  cos 60  2  0,5  1,00*кН* ;

12  4,422

*RА* 

*R*2

 *R*

2

*Ax Ay*



 4,53*кН* ;

Ответ:

*RА*  4,53*кН* ,

*RB*  1,31*кН* .

## Пример 2

Определить реакцию консольной балки, нагруженной распределенной

нагрузкой

*q*  4 *кН*

*м*

и сосредоточенными силами

*P*1  24*кН* ,

*P*2  16*кН* .

q

60°

Р2

2м

Р1

4м

1. Составляем расчетную схему нагружения балки:

RAy

RAx

q

А

60°

М

2м

Р2

2м

Q

4м

Р1

1. Для определения реакций консольной балки составляем следующие уравнения равновесия:

 *n*



 *i*1

 *n*

*Fix*  0

 *R*

 *Ax*

 *P*2

 cos60  0

 *Fiy*  0

 *i*1

; *RAy*  *P*2  sin 60  *Q*  *P*1  0



*n M*

*F*   0

 *M*

 *P*2  sin 60  2  *Q*  4  *P*1  6

 *i*1 0 *i*

*Q*  4  *q*  4  4 16*кН*

Из системы уравнений:

*RAx*  *P*2  cos 60  16  0,5  8*кН*

*RAy*  *P*2  sin 60  *Q*  *P*1  16  0,866  16  24  21,86*кН*

*RA* 

*R*2

 *R*

2

*Ax Ay*



 23,28*кН*

*M*  *P*2  sin 60  2  *Q*  4  *P*1  6  16  0,866  2  16  4  24  6  107,71*кН*  *м*

82  21,862

Ответ:

*RA*  23,28*кН* ,

*M* 107,71*кН*  *м* .

## Практическая работа №3

**Тема: «Центр тяжести плоских сечений»**

Цель: Определение центра тяжести плоских сечений, составленных из про- катного профиля.

Время выполнения: 180 минут. Последовательность решения задачи:

1. начертить заданное сложное сечение (фигуру), выбрать оси координат.
2. разбить сложное сечение на простые, для которых центры тяжести и си- лы тяжести известны;
3. определить необходимые данные для простых сечений:

148,2

а) выписать из таблиц ГОСТа для каждого стандартного профиля необхо- димые справочные данные (h; b; d; A; для швеллера z0) или определить площадь простого сечения;

б) определить координаты центров тяжести простых сечений относительно выбранных осей координат;

в) определить статические моменты площади простых сечений;

1. определить положение центра тяжести сложного сечения.

## Пример решения задач.

**Пример 1.**

Для заданного плоского симметричного сечения, составленного из профи- лей стандартного проката, определить положение центра тяжести.

У

Х

5

70

Дано: полоса 12010 (ГОСТ 103-76); двутавр № 12 (ГОСТ 8239-89); швел- лер № 14 (ГОСТ 8240-89).

Найти: *J*x; *J*у. Решение:

1. Разбиваем сложное сечение на три простых сечения: 1 – полоса; 2 – дву-

тавр; 3 – швеллер.

1. Выписываем из таблиц ГОСТа и определяем необходимые данные для простых сечений:

- Полоса 12010; *А*1 =120·10=1200 мм 2 =12 см 2; *С*1 (0;0,5)

- Двутавр № 12; *А*2 =14,7 см 2 ; *С*2 (0; 7)

- Швеллер № 14; *А*3 =15,6 см 2 ; *С*3 (0; 14,6)

1. Находим статические моменты площади относительно оси 0*х*:

*S*  *A*  *y* 12  0,5  6*см*3

*Sx* 2

*x*1

 *A*2

1

 *y*2

1

# 14,7  7 102,9*см*3

*Sx*3

 *A*3

 *y*3

# 15,6 14,82  231,19*см*3

1. Определяем сумму площадей простых сечений:

 *A*  *A*1

 *A*2

 *A*3

# 12 14,7 15,6  42,3*см*2

1. Определяем положение центра тяжести сложного сечения:

*х*   *Sy*  0  0*см*

*C*  *A*

42,3

*y*   *Sх*  6  102,9  231,19  8,04*см*

Ответ: С (0;8,04)

*C*  *A*

42,3

## КИНЕМАТИКА

**Практическая работа№4 Тема: «Параметры движения точки»**

Цель: Определение параметров движения точки по заданному закону движе- ния и построение кинематических графиков движения.

Время выполнения: 180 минут.

Для выполнения работы необходимо знать:

Кинематика – раздел механики, изучающий параметры движения тела без учета

действующих на него сил.

Параметры движения точки:

1. Закон движения – это зависимость расстояния от времени

*S*  *f* *t* 

1. Скорость точки – это векторная величина, характеризующая быстроту пе- ремещения точки (тела). Скорость всегда направлена по касательной к траектории движения и определяется:

*V*  *S*'*t* 

1. Ускорение точки – это векторная величина, характеризующая быстроту изменения скорости точки (тела). Ускорение раскладывается на две перпендику- лярных величины: касательное (тангенциальное) и нормальное (центростреми- тельное) ускорения.

Касательное ускорение направлено по касательной к траектории движения,

характеризует изменение величины скорости и определяется:

*a*  *V* '*t*   *S*"*t* 

*t*

Нормальное ускорение направлено по радиусу к центру траектории движе- ния, характеризует изменение направления скорости и определяется:

*V* 2

*an*  *r*

1. Траектория движения – это геометрическое место положений тела в каж- дый момент времени.

## Пример решения задач:

**Пример 1:**

Автомобиль движется по круглому арочному мосту радиуса *r*=50 м соглас-

но уравнению

*S*  0,2*t* 3  *t* 2  0,6*t* ( *S*  *м*, *t*  *c*).



V

r

Построить графики перемещения, скорости и касательного ускорения для первых пяти секунд движения. На основании анализа построенных графиков ука- зать: участки ускоренного и замедленного движения. Определить полное ускоре- ние автомобиля в момент времени 2 секунды.

Дано:

Закон движения автомобиля

*S*  0,2*t* 3  *t* 2  0,6*t* ; *t*  5 с.

Найти:  , Решение:

0

*t* 0

*a* ; *t* при   0,

*at*  0; *а* при *t*  2 с.

1. Находим уравнения скорости:



при *t*  0мин   0,6 м\с; при   0 0,6*t*2-2*t*+0,6=0 отсюда

0

 *dS*  0,2*t* 3  *t* 2  0,6*t* ' 0,6*t* 2  2*t*  0,6

*dt*

*t*  2  4  4  0,6  0,6  2  1,6

1, 2

2  0,6

*t*1  3с; *t*2  0,33 с.

1,2

1. Находим уравнение ускорения

при *t*  0мин

*a*  2 м\с2;

*t*

*a*  *d*

*t dt*

 0,6*t* 2  2*t*  0,6' 1,2*t*  2

при

*at*  0

1,2*t*  2  0

отсюда

*t* 1,7

1. Для построения графиков составляем сводную таблицу численных значе- ний параметров движения автомобиля.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Значения t; с | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *S*  0,2*t* 3  *t* 2  0,6*t* ; м | 0 | -0,2 | -1,2 | -1,8 | -0,8 | 3 |
|   0,6*t* 2  2*t*  0,6; м\с | 0,6 | -0,8 | -1 | 0 | 2,2 | 5,6 |
| *at*  1,2*t*  2 ; м\с2 | -2 | -0,8 | 0,4 | 1,6 | 2,8 | 4 |

1. Определяем полное ускорение автомобиля в момент времени 2 секунды

*a* 

*a*  *a*

2 2

*t*

*n*

Отсюда

  

*at* 2

 0,4 м\с2;

*an* 2

2

*t* 2

*r*

12 50

 0,02 м\с2;

*a*   0,4м\с2.

0,42  0,02

Ответ:   0,6 м\с;   0, *t*  3с, *t*  0,3 с; *a*

0 1 2

*t*

 0, *t* 1,7с;

*a*  0,4 м/с2

1. По результатам расчета из сводной таблицы строятся графики:

**исимость пути от вре**



**Зависимость скорости от времени**

6

5

4

3

2

1

0

-1 0

-2

υ, м/с

1

2

3

4

5

6

**t, c**

**v, м/с**

2



**t, c**

-2

-3

6

5

4

3

2

1

0

-1

S, м

4

3

2

1

0

**мени**

**Зав**

**а, м/с2**

## Практическая работа № 5.



**Зависимость ускорения от времени**

5

4

3

2

1

0

-1 0

-2

-3

а, м/с2

1

2

3

4

5

6

**t, c**

**Тема: «Движение тела вокруг неподвижной оси».**

Цель: Определение параметров движения тела вокруг неподвижной оси. Время выполнения: 90 минут.

Для выполнения работы необходимо знать:

Для всех вариантов применяется понятие средней скорости, которая (неза- висимо от вида движения) определяется как результат деления пути, пройденного точкой (или телом) по всей траектории движения, на все затраченное время. Ре- шая задачу, рекомендуется разбить весь пройденный путь при движении точки (или тела) на участки равномерного, равноускоренного или равнозамедленного движения в зависимости от условия данной задачи.

При вращательном движении тела необходимо уметь переходить от числа оборотов к радианному измерению угла поворота и наоборот:

  2 *об* ,

*об*  2 ,



где  – угол поворота тела;

*об* – число оборотов.

Переход от одних единиц угловой скорости к другим:

    *n рад* / *с*

30

*n*  30   *об* / *мин*

*n*

При вращательном движении тела все его точки движутся по окружностям, центры которых расположены на оси вращения тела.

D



φ

А1

an

А2

aτ

Ɛ, ω



K

C

B

ρ

r=200м

A

*S*  *r* 

  *r* 

*at*  *r*  

*an*   2  *r* ,

где s – расстояние, пройденное точкой по дуге окружности (  *А*1 *А*2  *S* );

 – угол поворота тела, рад;

*r* – расстояние точки до оси вращения тела;

 – угловая скорость;

 – угловое ускорение;

 – окружная скорость точки в данный момент времени;

*at* – касательное ускорение точки;

*an* – нормальное ускорение точки.

При равнопеременном вращении тела (ε > 0 – равноускоренное вращение; ε

< 0 – равнозамедленное вращение):

  0

 0

    *t* 2

2 ;

*t*

  0    *t*

Для удобства решения задач из уравнений преобразуем

  0

   0  *t*

2 ;

 2   2

  0

 0

2 .

Для случая равнопеременного вращения, начавшегося из состояния покоя

(при 0  0

и 0  0 ), выражения будут иметь вид:

    *t* 2

2 ;

   2

2 .

## Пример решения задач:

**Пример 1**

Дано: Тело начало вращаться из состояния покоя и через 15 с его угловая скорость достигла 30 рад/с. С этой угловой скоростью тело вращалось 10 с равно- мерно, а затем стало вращаться равнозамедленно в течение 5 с до полной оста- новки.

Найти: число оборотов и среднюю угловую скорость тела за все время вра-

щения; окружную скорость точек тела, расположенных на расстоянии оси вращения тела через 5 с после начала движения.

Решение:

*r*  0,5

м от

1. Разграничиваем вращательное движение данного тела на участки равно- ускоренного, равномерного и равнозамедленного движения. Определяем пара- метры вращательного движения тела на этих участках.

- Равноускоренное вращение (участок 1):

  1

1

*t*1

 30  2 *рад* / *с*2

15 ;

1  1

*t* 2

 1

2

  152

2

2

 225 *рад*

;

*об*1

 1

2

 225

6,28

 35,8*об*

- Равномерное вращение (участок 2):

   *t*



2

2  1

 30 10  300 *рад*

2 2

*об* 2

 2

2

 300

6,28

 47,7*об*

- Равнозамедленное вращение (участок 3):

3  2  1

   3

3

*t*3

  30  6 *рад* / *с*2

5

   

   *t* 2 

  6  25 

3 3 *t*3

3 3

2

30 5

2

75 *рад*

*об*3

 3

2

 75

6,28

 11,9*об*

1. Определяем полное число оборотов тела за все время вращения:

*об*  *об*1  *об*2  *об*3  35,8  47,7 11,9  95,4*об*

1. Определяем среднюю угловую скорость тела за все время вращения:

  1  2  3  225  300  75  20 *рад*/ *с*

*ср*  *t*

*t*

1

2

 *t*3

15  10  5

1. Определяем окружную скорость точек тела, расположенных на расстоянии

*r*  0,5 м от оси вращения через 5 с после начала движения тела:

  

5 1

    *t*  2  5  10 *рад* / *с* ;

5 1 5

    *r*  10  0,5  5*м* / *с* .

5 5

**ДИНАМИКА**

**Практическая работа № 6**

**Тема: «Основной закон динамики и принцип Даламбера».**

Цель: Определение параметров движения тела с помощью основного закона динамики и методом кинетостатики.

Время выполнения: 180 минут.

Для выполнения работы необходимо знать:

Основной закон динамики: «Ускорение, приобретенное телом под действи-

ем некоторой силы, пропорционально величине этой силы и направлено в ту же сторону».

где

*F*  *m*  *a* ,

*F*  – равнодействующая сила, равная сумме квадратов проек-

*F*  *F*

2

2

*x* *y*

ций равнодействующей на две перпендикулярных оси;

*m* – масса тела;

*n*

*a*   *a*1 – ускорение, приобретенное телом под действием нескольких сил

*i*1

(аксиома о независимости действия сил).

Принцип Даламбера:

Активные силы, реакции связей (опор) и сила инерции образуют уравнове- шенную систему сил, т.е. если к силам, действующим на тело, движущееся с ускорением, добавить силу инерции, то их можно представить в равновесии

*n n*

 *Fi*   *Ri*  *Fин*  0

*i*1 *i*1

*n*

где  *Fi* – геометрическая сумма внешних сил;

*i* 1

*n*

 *Ri*

*i* 1

– геометрическая сумма реакций связей(опор);

*Fi* – сила инерции, которая определяется:

## Пример решения задач.

**Пример1.**

Тело массой

*m*  60 кг перемещается по наклонной поверхности с ускорени-

ем *а*  4*м* / *с*2 с помощью силы *F* . Определить силу тяги *F* , если коэффициент

трения

*fmp*  0,2 .

Дано:

*m*  60 кг,

*а*  4*м* / *с*2 ,

*fmp*  0,2

Определить: *F*

Решение:

1. С применением основного закона динамики.

у



х

R

F

a

Fmp

30°

30°

G

где

*F* 

*F*  *m*  *a*,

*F**y*  *R*  *G*  cos30  0,

*F*  *F*

2

2

*x* *y*

так как

*ay*  0

(тело движется по оси х);

*R*  *G*  cos30  *mg*  cos30  60  9,81 0,866  510*H*

*F**x*  *F*  *Fmp*  *G*  sin 30  *m*  *a* ;

*Fmp* 

*f*  *R*  0,2  510 102*H* ;

*a*  *ax*  *a* ;

*F*  *Fmp*  *G*  sin 30  *m*  *a* 102  60  9,81 0,5  60  4  636,3*Н* ;

Ответ:

*F*  636,3*Н*

1. С применением принципа Даламбера (рис.6.1 б).

у



х

R

F

a

Fmp

Fин

30°

30°

G

Так как тело движется вдоль оси Х, то

*ах*  0,

следовательно

*Fyии*  0;

*n n*

 *Fi*   *Ri*  *Fин*  0

*i*1 *i*1

*F*  *Fmp*  *Fxии*  *G*  sin 30  0;

*F*  *f*

 *R*  *m*  *ax*  *mg*  sin 30  0;

*F*  *f*

 *mg*  cos 30  *m*  *ax*  *mg*  sin 30

*a*  *a*  4*м* / *с*2

*x*

# *F*  0,2  60  9,81 0,866  60  4  60  9,81 0,5  636,3*H*

Ответ: F = 636,3 H

## Пример 2.

Дано:V=7,5мс, m=200кг, l=4м Определить реакцию нити.

Решение:



V

1. С применением основного закона динамики.



y

an

R

V

G

*F*  *m*  *a* ,

*F*  *F**y*  *R*  *G*,

*V* 2

*R*  *F**y*  *G*

*a*  *an* 

, *r*  *l*

*r*

  

    

  7,52   

*R m a*

*mg m an g*

20 

 4

9,81



477,5*H*

1. С применением принципа Даламбера.

l

l

*R*  *G*  *Fин*  0;



y

an

R

V

G

Fин

 *V* 2 

*R*  *G*  *Fин*  *mg*  *nan*  *m* *g*  ;

 *l* 

*R*  20  9,81  

7,5 

2



 477,4*H*

Ответ:

*R*  477,4*H*.

 4 

## Практическая работа № 7 Тема: «Общие теоремы динамики».

Цель: Определение параметров движения тела с помощью общих теорем динамики.

Время выполнения: 90 минут.

Для выполнения работы необходимо знать:

- Работа постоянной силы F на прямолинейном участке пути S определяется

по формуле ния);

*W*  *F*  *S*

(направление силы совпадает с направлением перемеще-

- Мощность – это работа, совершённая в единицу времени

l

*P*  *W*

*t*

 *F*  *S* ,

*t*

откуда часто применяемая для расчёта формула определения мощности

*P*  *F* *V*

- КПД – это отношение полезной мощности ко всей затраченной

  *Pпол*

*Pзат*

При решении некоторых задач учитываются силы трения скольжения, при определении которых следует знать, что

*Fmp*  *f*  *Rn* ,

где

*Rn* − сила нормального давления; *f* − коэффициент трения (приведенный ко-

эффициент сопротивления движению).

Основными элементами динамики при решении 3-й задачи являются: тео- рема об изменении количества движения, теорема об изменении кинетической энергии при поступательном движении тела и теорема об изменении кинетиче- ской энергии при вращательном движении твёрдого тела.

Если точка массой *m* , находясь под действием постоянной силы *F* в тече- нии времени *t* , двигается прямолинейно, то теорема об изменении количества движения выражается формулой

*mV*  *mV*0  *F*  *t* ,

где

*mV*  *mV*0

* величина изменения проекции количества движения на ось,

совпадающую с направлением движения;

*F*  *t*

* проекция импульса силы на ту же ось.

Если, рассматривая действие силы *F* на материальную точку массой *m* , учитывать непродолжительность её действия, а протяжённость, то есть то рассто- яние, на котором действует сила, то получим теорему об изменении кинетической энергии точки

*mV* 2  *mV* 

0

*W* ,

2 2

где *W* – работа всех сил, приложенных к точке;

*mV* 2 *mV*

*и*  0

− кинетическая энергия точки в начале и конце действия сил.

2 2

Изменение кинетической энергии при вращательном движении тела также равно работе, но при вращении. Здесь работа производится не силой, а моментом силы при повороте твёрдого тела на некоторый угол ϕ , т.е. *W*  *M*   и тогда за-

*вр*

кон изменения кинетической энергии твёрдого тела при вращении

*I*   2 *I*   2

*М*     *z*   *z* 0 ,

*вр* 2 2

где

*I z* – момент инерции твёрдого тела относительно оси Z;

 ,

0

* угловые скорости соответственно в начале и конце вращения.

При решении задач рекомендуется такая последовательность:

* 1. Выделить точку, движение которой рассматривается в данной задаче.
  2. Выяснить, какие активные силы действуют на точку, и изобразить их на рисунке.
  3. Освободить точку от связей, заменив их реакциями.
  4. Выбрать расположение осей координат и, применив необходимый закон или теорему, решить задачу.

## Пример решения задачи.

Для остановки поезда, движущегося по прямолинейному участку пути со

скоростью

*V* 10 м/с, производится торможение. Через сколько секунд оста-

новится поезд, если при торможении развивается постоянная сила сопротивления, равная 0,02 силы тяжести поезда? Какой путь поезд пройдёт до остановки?

## Решение:

Поезд совершает поступательное движение. Рассматривая его как матери-

альную точку *M* , движущуюся в направлении оси 0*x* , укажем действующие си-

лы: *G* – сила тяжести поезда,

*Rn* – нормальная реакция рельсов,

*F* – сила сопро-

тивления, направленная противоположно вектору скорости. Силы *G* и новешиваются согласно аксиоме действия и противодействия.

*Rn* урав-

*а* 0

R



Fῖ

G

S

По теореме об изменении количества движения материальной точки в про-

екции на ось 0*x*

*mV*  *mV*0  *F*  *t*

Так как

*F*  0,02*G*  0,02*mg* , *t*0  0 , *V*0  10 *м* / *с* , *V*  0, получим

 *mV*0  0,02*mg**t*

Откуда

*t*  *V*0

0,02*g*

 10

0,02  9,81

 51*c*

Для определения пройденного пути поездом до его остановки воспользуем- ся теоремой об изменении кинетической энергии:

2

*mV* 2  *mV*    

0

*F*

*S*

cos

,

2 2

Работа сил торможения отрицательна   *FV* 180,cos  1, поэтому

и путь, пройденный поездом:

 *mV* 2

2

0

 0,02*mgS*

2

*V*

*S*  0 

2  0,02  *g*

102

2  0,02  9,81

 225 м

Ответ: *S*  225 м.

## Приложения

Индивидуальные задания для выполнения практической работы

№1приведены в таблицах 1 и 2. Работа состоит из двух задач.

## Задача 1

Определить неизвестную силу согласно исходным данным (табл.1).

Таблица 1 – Исходные данные к задаче 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Схема | P1,H | P2,H | P3,H | F∑ | α1,град | α2,град | α3,град |
| 1 |  | 10 | 10 | 10 | ? | 15 | 15 | 15 |
| 2 | 10 | 15 | 20 | 45 | 80 | 60 |
| 3 | 20 | 15 | 10 | 45 | 45 | 90 |
| 4 | 34 | 80 | 20 | 60 | 120 | 270 |
| 5 | 16 | 32 | 48 | 20 | 60 | 30 |
| 6 | 8 | 12 | 24 | 30 | 90 | 45 |
| 7 | 15 | 30 | 15 | 25 | 120 | 120 |
| 8 | 25 | 20 | 10 | 70 | 270 | 180 |
| 9 | 40 | 60 | 60 | 90 | 35 | 210 |
| 10 | 20 | 20 | 40 | 180 | 40 | 150 |
| 11 |  | 100 | 50 | ? | 250 | 45 | 30 | 20 |
| 12 | 180 | 60 | 240 | 60 | 45 | 40 |
| 13 | 120 | 40 | 100 | 90 | 60 | 60 |
| 14 | 240 | 80 | 160 | 120 | 15 | 80 |
| 15 | 200 | 100 | 300 | 150 | 90 | 100 |
| 16 | 360 | 90 | 270 | 180 | 100 | 120 |
| 17 | 400 | 200 | 300 | 210 | 120 | 140 |
| 18 | 250 | 150 | 200 | 240 | 140 | 160 |
| 19 | 300 | 200 | 400 | 270 | 160 | 180 |
| 20 | 320 | 160 | 400 | 300 | 180 | 200 |
| 21 |  | 24 | ? | 12 | 6 | 15 | 15 | 15 |
| 22 | 32 | 24 | 12 | 30 | 30 | 30 |
| 23 | 16 | 16 | 8 | 45 | 45 | 45 |
| 24 | 9 | 18 | 27 | 60 | 60 | 60 |
| 25 | 18 | 27 | 36 | 90 | 60 | 45 |
| 26 | 12 | 11 | 33 | 25 | 90 | 120 |
| 27 | 28 | 14 | 14 | 120 | 75 | 180 |
| 28 | 250 | 50 | 100 | 30 | 45 | 180 |
| 29 | 300 | 100 | 400 | 60 | 30 | 270 |
| 30 | 100 | 200 | 340 | 45 | 90 | 360 |
| 31 | 120 | 180 | 200 | 70 | 120 | 320 |
| 32 | 180 | 90 | 270 | 90 | 180 | 210 |

## Задача 2

К шарниру В прикреплен трос, перекинутый через блок, несущий груз Р. Определить усилия в стержнях АВ, ВС. Данные приведены втаблице.1.2.

Таблица 2 – Исходные данные к задаче 2.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вари-  ант | Схема | P,кH | α,град | ,град | Y,град |
| 1 |  | 10 | 90 | 40 | 105 |
| 2 | 90 | 75 | 30 | 30 |
| 3 | 40 | 120 | 15 | 135 |
| 4 | 20 | 150 | 15 | 40 |
| 5 | 60 | 45 | 90 | 50 |
| 6 | 35 | 60 | 105 | 60 |
| 7 | 55 | 120 | 30 | 75 |
| 8 | 50 | 45 | 125 | 90 |
| 9 | 75 | 30 | 60 | 60 |
| 10 | 30 | 45 | 75 | 45 |
| 11 |  | 300 | 30 | 30 | 45 |
| 12 | 400 | 45 | 60 | 90 |
| 13 | 200 | 60 | 45 | 120 |
| 14 | 500 | 90 | 15 | 150 |
| 15 | 600 | 15 | 40 | 30 |
| 16 | 250 | 30 | 60 | 60 |
| 17 | 350 | 60 | 75 | 90 |
| 18 | 240 | 45 | 90 | 120 |
| 19 | 320 | 90 | 30 | 45 |
| 20 | 440 | 30 | 45 | 60 |
| 21 |  | 15 | 20 | 30 | - |
| 22 | 35 | 30 | 120 | - |
| 23 | 40 | 45 | 90 | - |
| 24 | 60 | 60 | 45 | - |
| 25 | 80 | 75 | 150 | - |
| 26 | 180 | 90 | 180 | - |
| 27 | 240 | 25 | 60 | - |
| 28 | 150 | 40 | 90 | - |
| 29 | 190 | 60 | 45 | - |
| 30 | 200 | 90 | 120 | - |
| 31 | 25 | 120 | 90 | - |
| 32 | 35 | 30 | 60 | - |

Индивидуальные задания для выполнения практической работы №2 приве- дены в таблицах 3 и 4. Работа состоит из двух задач.

**Задача 3.** Определить реакции опор балки.

Таблица 3 – Исходные данные для задачи 3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Схема | P1,  кH | P2,кH | M,кH·м | α,  град | a, м | b, м | c, м |
| 1 |  | 2 | 16 | 10 | 30 | 3 | 2 | 2 |
| 2 | 4 | 2 | 15 | 60 | 3 | 3 | 1 |
| 3 | 6 | 14 | 20 | 45 | 2 | 3 | 2 |
| 4 | 8 | 6 | 25 | 30 | 4 | 3 | 2 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 5 |  | 10 | 12 | 30 | 60 | 4 | 4 | 4 |
| 6 | 12 | 8 | 35 | 45 | 3 | 3 | 3 |
| 7 | 14 | 10 | 40 | 30 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | 16 | 12 | 45 | 90 | 3 | 4 | 3 |
| 9 |  | 2 | 7 | 5 | 60 | 3 | 2 | 2 |
| 10 | 4 | 10 | 8 | 30 | 3 | 3 | 1 |
| 11 | 6 | 14 | 12 | 45 | 2 | 3 | 2 |
| 12 | 8 | 4 | 15 | 30 | 4 | 3 | 2 |
| 13 | 10 | 8 | 18 | 60 | 4 | 4 | 4 |
| 14 | 12 | 7 | 20 | 45 | 3 | 3 | 3 |
| 15 | 14 | 12 | 24 | 60 | 2 | 2 | 2 |
| 16 | 16 | 6 | 30 | 90 | 3 | 4 | 3 |
| 17 |  | 2 | 7 | 5 | 60 | 3 | 2 | 2 |
| 18 | 4 | 10 | 10 | 30 | 3 | 3 | 1 |
| 19 | 6 | 14 | 15 | 45 | 2 | 3 | 2 |
| 20 | 8 | 4 | 20 | 30 | 4 | 3 | 2 |
| 21 | 10 | 8 | 25 | 60 | 4 | 4 | 4 |
| 22 | 12 | 7 | 30 | 45 | 3 | 3 | 3 |
| 23 | 14 | 12 | 35 | 60 | 2 | 2 | 2 |
| 24 | 16 | 6 | 40 | 90 | 3 | 4 | 3 |
| 25 |  | 2 | 7 | 5 | 60 | 3 | 2 | 2 |
| 26 | 4 | 10 | 10 | 30 | 3 | 3 | 1 |
| 27 | 6 | 14 | 15 | 45 | 2 | 3 | 2 |
| 28 | 8 | 4 | 20 | 30 | 4 | 3 | 2 |
| 29 | 10 | 8 | 25 | 60 | 4 | 4 | 4 |
| 30 | 12 | 7 | 30 | 45 | 3 | 3 | 3 |
| 31 | 14 | 12 | 35 | 60 | 2 | 2 | 2 |
| 32 | 16 | 6 | 40 | 90 | 3 | 4 | 3 |

**Задача 4.** Определить реакцию и реактивный момент консольной балки.

Таблица 4 – Исходные данные для задачи 4.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Схема | q, н/м | P1, Н | P2, Н | M,  Н∙м | α, град | а, м | b, м |
| 1 |  | 1 | 4 | 12 | - | 30 | 2 | 4 |
| 2 | 2 | 6 | 8 | 45 | 4 | 4 |
| 3 | 3 | 8 | 6 | 60 | 3 | 6 |
| 4 | 4 | 2 | 10 | 30 | 2 | 6 |
| 5 | 1 | 10 | 2 | 60 | 4 | 6 |
| 6 | 2 | 12 | 12 | 45 | 3 | 5 |
| 7 | 3 | 14 | 8 | 90 | 2 | 5 |
| 8 | 4 | 16 | 6 | 0 | 4 | 5 |
| 9 |  | 3 | 2 | - | 15 | 30 | 2 | 4 |
| 10 | 4 | 8 | 20 | 45 | 4 | 4 |
| 11 | 5 | 10 | 25 | 60 | 3 | 6 |
| 12 | 6 | 12 | 30 | 30 | 2 | 6 |
| 13 | 7 | 18 | 36 | 45 | 4 | 6 |
| 14 | 8 | 20 | 40 | 60 | 3 | 5 |
| 15 | 9 | 24 | 16 | 30 | 2 | 5 |
| 16 | 10 | 30 | 22 | 0 | 4 | 5 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17 |  | 1 | 2 | 12 | - | 30 | 2 | 4 |
| 18 | 2 | 8 | 8 | 45 | 4 | 4 |
| 19 | 3 | 10 | 6 | 60 | 3 | 6 |
| 20 | 4 | 12 | 10 | 30 | 2 | 6 |
| 21 | 5 | 18 | 2 | 45 | 4 | 6 |
| 22 | 6 | 20 | 12 | 60 | 3 | 5 |
| 23 | 7 | 24 | 8 | 90 | 2 | 5 |
| 24 | 8 | 30 | 6 | 0 | 4 | 5 |
| 25 |  | 1 | 2 | 12 | - | 30 | 2 | 4 |
| 26 | 2 | 8 | 8 | 45 | 4 | 4 |
| 27 | 3 | 10 | 6 | 60 | 3 | 6 |
| 28 | 4 | 12 | 10 | 30 | 2 | 6 |
| 29 | 5 | 18 | 2 | 45 | 4 | 6 |
| 30 | 6 | 20 | 12 | 60 | 3 | 5 |
| 31 | 7 | 24 | 8 | 90 | 2 | 5 |
| 32 | 8 | 30 | 6 | 0 | 4 | 5 |

Индивидуальные задания для выполнения практической работы №3 приве- дены на схемах 1, 2 и в таблице 5. Работа состоит из одной задачи.

## Задача 5.

Для заданных плоских симметричных сечений, составленных из профилей стандартного проката определить положение центра тяжести сечения.

Данные своего варианта взять из таблицы данных к задаче.

Схема 1

Схема 2

Таблица 5 – Данные к задаче 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № двутавра | 30 | 20 | 18 | 22 | 27 | № швеллера | Полоса,  h×b, мм | Расчетная  схема (рис.3.1) |
| № варианта  и данные к задаче | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 12 | 14010 | а |
| 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 14 | 15012 | б |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 20 | 16012 | а |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 22 | 16010 | б |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 24 | 15010 | а |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 30 | 30016 | б |
| 31 | 32 |  |  |  | 16 | 42020 | а |

**Обратите внимание**, что, все геометрические параметры швеллера даны в ГОСТ при вертикальном положении его стенки. При повороте швеллера на угол 900, все его геометрические параметры заданные относительно оси *Х* меняются на параметры заданные относительно оси *У.*

Индивидуальные задания для выполнения практической работы №4 приве- дены на рисунке в таблице 6. Работа состоит из одной задачи.

## Задача 6.

Автомобиль движется по круглому арочному мосту радиуса *r* согласно уравнению *S*=А*t*3+В*t*2+С*t*+D (*S*–[м], *t*–[с]).



V

r

Построить графики перемещения, скорости и касательного ускорения для первых пяти секунд движения. На основании анализа построенных графиков ука- зать: участки ускоренного и замедленного движения. Определить полное ускоре- ние автомобиля в момент времени две секунды.

Данные своего варианта взять из табл. 6 Таблица 6. –Данные к задаче 6

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **А** | **0,2** | **0,5** | **0,3** | **0,1** | **0,4** | **В** | **D** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **C** | | **3** | **-1** | **2** | **-4** | **5** |  |  |
| ***r*** | **м** | **30** | **20** | **60** | **40** | **10** |
| **№ варианта и задачи** | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 |  |  |
| 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | **2** | **12** |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | **-8** | **14** |
| 16 | 17 | 23 | 24 | 20 | **-6** | **16** |
| 21 | 22 | 18 | 19 | 25 | **2** | **-5** |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | **3** | **-1** |
| 31 | 32 |  |  |  | **-1** | **8** |

Индивидуальные задания для выполнения практической работы №5 приведе- ны в таблице 7. Работа состоит из двух задач.

Таблица 7. Данные к задаче 7, 8

|  |  |
| --- | --- |
| **Вариант** | Задача |
| **1** | 1, 9 |
| **2** | 2, 10 |
| **3** | 3, 11 |
| **4** | 4, 12 |
| **5** | 5, 13 |
| **6** | 6, 14 |
| **7** | 7, 15 |
| **8** | 8, 16 |
| **9** | 9, 17 |
| **10** | 10, 1 |
| **11** | 11, 2 |
| **12** | 12, 3 |
| **13** | 13 ,4 |
| **14** | 14, 5 |
| **15** | 15, 6 |
| **16** | 16, 7 |
| **17** | 17,8 |

## Задачи 7, 8

1. Шкив диаметром *d*  400 мм в течение 10 с вращался с постоянной угло-

вой скоростью

0  8 рад/с. Затем стал вращаться равноускоренно и через 12 с

равноускоренного вращения его угловая скорость достигла

1  14 рад/с. Опреде-

лить: 1) число оборотов и среднюю угловую скорость за всё время вращения; 2) окружную скорость точек, расположенных на ободе шкива, через 6 с после начала равноускоренного движения.

1. Вал диаметром

*d*  500

мм в течение 5с вращался с постоянной угловой

скоростью

0  20

рад/с, после чего стал замедлять своё вращение с постоянным

угловым ускорением. Через 10 с после начала равнозамедленного вращения угло-

вая скорость вала стала

1  10 рад/с. Определить: 1) число оборотов и среднюю

угловую скорость вала завсё время вращения; 2) окружную скорость точек, рас- положенных на поверхности вала, через 4 с после начала равнозамедленного вращения.

1. Тело, замедляя вращение с постоянным угловым ускорением   2 рад/с2

через 14 c снизило свою угловую скорость до величины

  12

рад/с, после чего

вращалось равномерно с этой угловой скоростью в течение 10 с. Определить: 1) число оборотов и среднюю угловую скорость за всё время вращения; 2) окруж-

ную скорость точек тела, расположенных на расстоянии ния за 4с до начала равномерного вращения.

*r*  1

м от его оси враще-

1. Ротор диаметром

*d*  200

мм начал вращение из состояния покоя с посто-

янным угловым ускорением

  4

рад/с2 и через некоторое время достиг угловой

скорости   40 рад/с, после чего с этой угловой скоростью сделал 510 оборотов.

Определить: 1) число оборотов и среднюю угловую скорость за всё время враще- ния; 2) окружную скорость точек, расположенных на поверхности ротора, через 8 с после начала вращения.

1. Двигатель, ротор которого вращался с частотой 430 об/мин, был отклю- чён от источника питания и через 40 с снова подключён к источнику тока. За вре- мя при равнозамедленном вращении ротора его угловая скорость снизилась до 5 рад/с. После подачи электроэнергии ротор двигателя, вращаясь равноускоренно, через 10 с снова приобрёл частоту вращения 430 об/мин. Определить: 1) число оборотов и среднюю угловую скорость за всё время равнозамедленного и равно- ускоренного вращения ротора двигателя; 2) окружную скорость точек, располо- женных на поверхности ротора, через 30 с после отключения источника тока, если

диаметр ротора

*d*  200

мм.

1. Рукоять для вращения барабана длиной

*l*  0,5

м, оказавшись свободной

начинает вращаться под действием груза с постоянным угловым ускорением

  12

рад/с2 и через определённое время приобретает частоту вращения

*n*  600

об/мин. За это время груз проходит расстояние

*S*  5

м. Определить время враще-

ния барабана, его диаметр и нормальное ускорение конца рукоятки.

d



ω

l

1. Дисковая пила имеет диаметр

s

*d*3  0,45

м. на вал пилы насажен шкив 2

диаметром

*d*2  0,36

м, приводимый в движение бесконечным ремнём от электро-

двигателя со шкивом 1, частота вращения которого

*n*1  1500

об/мин, линейная

скорость зубьев пилы

*v*  30

м/с. Определить нормальное ускорение *an*

на зубьях

пилы и диаметр шкива 1.

y

2

3

1

1. Дисковая пила имеет диаметр

*d*3  0,4

м. на вал пилы насажен шкив 2

диаметром

*d*2  0,3

м, приводимый в движение бесконечным ремнём от электро-

двигателя со шкивом 1, частота вращения которого

*n*1  3000

об/мин, линейная

скорость зубьев пилы

*v*  38

м/с. Определить нормальное ускорение *an* на

зубьях пилы и диаметр шкива 1.

y

2

3

1

1. Грузы А и В связаны нерастяжимым тросом, намотанным на ступенчатый

барабан. Груз А поднимается с постоянным ускорение

*aА*  2 м/с2. Определить уг-

ловые скорость и ускорение барабана в момент, когда груз В имеет скорость

*vВ*  6

м/с. Определить так же путь, пройденный грузом В из состояния покоя до

достижения этой скорости, если

*dB*  0,3 м,

*d A*  0,5 м.

dB

dA

B

A

1. Рукоять для вращения барабана диаметром

*d*  0,2

м, оказавшись сво-

бодной начинает вращаться с постоянным угловым ускорением под действием

груза, который проходит расстояние

*S*  16

м за время

*t*  4 c. Нормальное ускоре-

ние конца рукоятки

*an*  120

м/с2. Определить длину рукоятки *l* , и её угловое

ускорение  и частоту вращения *n* .

d



ω

l

1. Рукоять для вращения барабана длиной

s

*l*  0,6

м, а диаметр барабана

*d*  0,36 м. Барабан под действием груза начинает вращаться с постоянным угло-

вым ускорением  12

рад/с2 и через время

*t*  6

с приобретает частоту вращения

*n* . Определить частоту вращения барабана и нормальное ускорение конца руко- ятки, а также путь, пройденный грузом за это время.

d



ω

l

1. Дисковая пила имеет диаметр

s

*d*  400

мм. На вал пилы насажен шкив 2

диаметром

*d*2  300

мм, приводимый в движение бесконечным ремнём от элек-

тродвигателя со шкивом 1, диаметром

*d*1  120

мм. Шкив 1 делает

*n*1  3000

об/мин. Определить линейную скорость зубьев пилы и их нормальное ускорение. Скольжением ремня пренебречь.

y

2

3

1

1. Колесо автомобиля вращается на стенде равноускоренно в течение вре-

мени

*t*  5

с. Окружная скорость при этом составила

*v* 100

км/ч. Определить ка-

сательное ускорение во время разгона и нормальное ускорение в конце разгона

балансировочного грузика А, укреплённого на диске, если

*dK*  550

мм,

*d D*  400

мм.



dK

A

ɛ

dd

1. Маховик диаметром

*d* 1,3

м, начав равноускоренное вращение из со-

стояния покоя, за время

*t*  6

сек. Приобрёл частоту вращения

*n*  380

об/мин.

Определить окружную скорость, касательное и нормальное ускорение точек на ободе маховика в конце разгона.

1. На обод колеса диаметром

*d*  0,7

м намотана нить, на которой

подвешен груз. В некоторый момент груз начинает падать с постоянным ускоре-

нием

*a*  0,6

м/с2. Угловая скорость колеса при этом достигает

  9

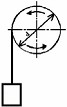
рад/с.

Определить путь *S* , пройденный грузом, и время *t* , в течении которого переме-

щался груз, его конечную скорость *v* и нормальное ускорение *an*

колеса.

точки на ободе



1. Дисковая пила имеет диаметр

*d*3  0,4

м. На вал пилы насажен шкив 2

диаметром

*d*2  0,56

м, приводимый в движение ремнём от электродвигателя со

шкивом 1, частота вращения которого

*n*1  1900 об/мин, линейная скорость

зубьев пилы

*v*  35

м/с. Определить нормальное ускорение *an*

на зубьях пилы и

диаметр шкива 1.

y

2

3

1

1. Рукоять для вращения барабана длиной *l*  0,5 м, оказавшись свободной,

начинает вращаться с постоянным угловым ускорением

 12

рад/с2 и через

определённое время приобретает частоту вращения

*n*  600

об/мин. За это же

время груз проходит расстояние

*S*  4

м. Определить время вращения барабана,

его диаметр и нормальное ускорение конца рукоятки.

d



ω

l

Индивидуальные задания для выполнения практической работы №6 приве- дены в таблице 8. Работа состоит из одной задачи.

s

## Задача 9.

Определить параметры движения тела с применением основного закона ди- намики и принципа Даламбера.

Таблица 8 – Расчетные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар. | Схема | β° | m, кг | F, H | a, м̷̷̷̷с2 | fтр | V,  м/с | l, м |
| 1 |  | 20 | 20 | 800 | ? | 0,2 | - | - |
| 2 | 25 | 30 | 90 | 0,18 | - | - |
| 3 | 40 | 70 | 1000 | 0,16 | - | - |
| 4 | 45 | 80 | 1200 | 0,2 | - | - |
| 5 | 50 | 90 | 1400 | 0,2 | - | - |
| 6 | 60 | 100 | 850 | 0,18 | - | - |
| 7 | 15 | 60 | 950 | 0,16 | - | - |
| 8 | 65 | 70 | 1100 | 0,2 | - | - |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 9 |  | 15 | 80 | 600 | 1 | ? | - | - |
| 10 | 35 | 90 | 500 | 3 | - | - |
| 11 | 45 | 100 | 700 | 4 | - | - |
| 12 | 60 | 50 | 820 | 2 | - | - |
| 13 | 35 | 40 | 920 | 6 | - | - |
| 14 | 40 | 45 | 750 | 3 | - | - |
| 15 | 25 | 55 | 630 | 5 | - | - |
| 16 | 55 | 65 | 970 | 7 | - | - |
| 17 |  | - | 20 | 800 | - | - | ? | 1,8 |
| 18 | - | 30 | 900 | - | - | 1,6 |
| 19 | - | 70 | 1000 | - | - | 1,5 |
| 20 | - | 80 | 1200 | - | - | 2 |
| 21 | - | 90 | 1400 | - | - | 2,5 |
| 22 | - | 100 | 850 | - | - | 3 |
| 23 | - | 60 | 950 | - | - | 3,5 |
| 24 | - | 70 | 1100 | - | - | 4 |
| 25 |  | - | 80 | 900 | - | - | 1,7 | ? |
| 26 | - | 90 | 1100 | - | - | 1,5 |
| 27 | - | 100 | 1400 | - | - | 1,6 |
| 28 | - | 50 | 820 | - | - | 1,8 |
| 29 | - | 40 | 920 | - | - | 2 |
| 30 | - | 45 | 750 | - | - | 2,2 |
| 31 | - | 55 | 630 | - | - | 2,6 |
| 32 | - | 65 | 970 | - | - | 3,2 |

Индивидуальные задания для выполнения практической работы №7 приве- дены в таблице 9. Работа состоит из 2-х задач.

Таблица 9. Таблица вариантов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Задача | | Контрольный вопрос | | |
| 1 | 1 | 10 | 1 | 11 | 4 |
| 2 | 2 | 11 | 2 | 12 | 5 |
| 3 | 3 | 12 | 3 | 13 | 6 |
| 4 | 4 | 13 | 4 | 14 | 11 |
| 5 | 5 | 14 | 5 | 15 | 12 |
| 6 | 6 | 15 | 6 | 1 | 13 |
| 7 | 7 | 16 | 7 | 2 | 14 |
| 8 | 8 | 17 | 8 | 3 | 15 |
| 9 | 9 | 18 | 9 | 4 | 16 |
| 10 | 10 | 19 | 10 | 5 | 8 |

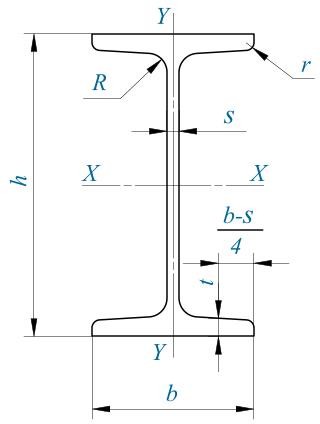
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 11 | 11 | 20 | 11 | 6 | 9 |
| 12 | 12 | 21 | 12 | 7 | 10 |
| 13 | 13 | 22 | 13 | 8 | 1 |
| 14 | 14 | 23 | 14 | 9 | 2 |
| 15 | 15 | 1 | 15 | 10 | 3 |
| 16 | 16 | 2 | 16 | 11 | 4 |
| 17 | 17 | 3 | 1 | 12 | 5 |
| 18 | 18 | 4 | 2 | 13 | 6 |
| 19 | 19 | 5 | 3 | 14 | 7 |
| 20 | 20 | 6 | 4 | 15 | 8 |
| 21 | 21 | 7 | 5 | 16 | 9 |
| 22 | 22 | 8 | 6 | 1 | 10 |
| 23 | 23 | 9 | 7 | 2 | 11 |
| 24 | 1 | 16 | 8 | 3 | 12 |
| 25 | 2 | 17 | 9 | 4 | 13 |
| 26 | 3 | 18 | 10 | 5 | 14 |
| 27 | 4 | 19 | 11 | 6 | 15 |
| 28 | 5 | 20 | 12 | 7 | 16 |
| 29 | 6 | 21 | 13 | 8 | 1 |
| 30 | 7 | 22 | 14 | 9 | 2 |
| 31 | 8 | 23 | 15 | 10 | 3 |
| 32 | 9 | 1 | 16 | 11 | 4 |

## Задача 10

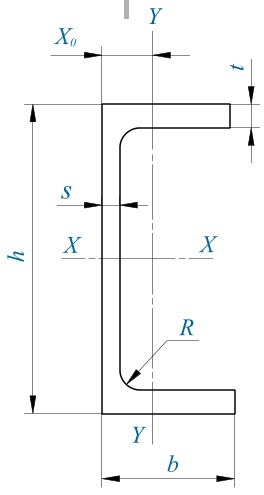
1. Для подъёма 5000 м3 воды на высоту 3 м поставлен насос с двигателем мощ- ностью 2 кВт. Сколько времени потребуется для перекачки воды, если КПД насоса ра- вен 0,8?
2. Транспортёр поднимает груз массой 200 кг за время, равное одной секунде. Длина ленты транспортёра 3 м, а угол наклона α=300. КПД транспортёра составляет 85%. Определить мощность, развиваемую электродвигателем транспортёра.
3. Точильный камень диаметром d = 0,5 м делает 120 об/мин. Обрабатываемая деталь прижимается к камню с силой F=10 H. Какая мощность затрачивается на шли- фовку, если коэффициент трения камня о деталь f = 0,2.
4. Определить работу силы трения скольжения при торможении вращающегося диска диаметром d= 200 мм, сделавшего до остановки два оборота, если тормозная ко- лодка прижимается к диску с силой F=400H. Коэффициент трения скольжения тормоз- ной колодки по диску f = 0,35.
5. Скорость самолёта при отрыве от взлётной полосы должна быть 360 км/ч. Определить минимальную длину взлётной полосы, необходимую для того, чтобы лёт- чик при разгоне испытывал перегрузку, не превышающую его утроенный вес. Движе- ние считать равноускоренным.
6. Вертолёт, масса которого с грузом 6 т, за 2,5 мин. набрал высоту 2250 м. Определить мощность двигателя вертолёта.
7. Транспортёр поднимает груз массой 200 кг за время, равное одной секунде.
8. Длина ленты транспортёра 3 м, а угол наклона α=300. КПД транспортёра со- ставляет 85%. Определить мощность, развиваемую электродвигателем транспортёра.
9. Поезд идет со скоростью 36 км/ч. Мощность тепловоза 300 кВт. Сила трения составляет 0,005 веса поезда. Определить вес всего состава.
10. Для подъёма 5000 м3 воды на высоту 3 м поставлен насос с двигателем мощностью 2 кВт. Сколько времени потребуется для перекачки воды, если КПД насоса равен 0,8?
11. Динамометр, установленный между теплоходом и баржей, показывает силу тяги 30 кН, скорость буксировки 18 км/ч, мощность двигателя 550 кВт. Определить си- лу сопротивления воды корпусу буксира, если КПД силовой установки и винта равен 0,4.
12. Транспортёр поднимает груз массой 200 кг на автомашину за время t=1 c. Длина ленты транспортёра 3 м, а угол наклона α=300. Коэффициент полезного действия транспортёра η=85%. Определить мощность, развиваемую его электродвигателем.
13. Транспортёр поднимает груз массой 200 кг на автомашину за время t=1 c. Длина ленты транспортёра 3 м, а угол наклона α=300. Коэффициент полезного действия транспортёра η=85%. Определить мощность, развиваемую его электродвигателем.
14. Точильный камень диаметром d = 0,5 м делает 120 об/мин. Обрабатываемая деталь прижимается к камню с силой F=10 H. Какая мощность затрачивается на шли- фовку, если коэффициент трения камня о деталь f = 0,2.
15. Определить работу силы трения скольжения при торможении вращающегося диска диаметром d= 200 мм, сделавшего до остановки два оборота, если тормозная ко-

лодка прижимается к диску с силой F= 400H. Коэффициент трения скольжения тор- мозной колодки по диску f = 0,35.

1. Колесо зубчатой передачи, передающей мощность Р=12кВт, вращается с угловой скоростью ω=20 рад/с. Определить окружную силу, действующую на зуб ко- леса, если диаметр колеса d=360 мм.
2. Маховик вращается вместе с горизонтальным валом, цапфы (участки, опи- рающиеся на подшипники) которого имеют диаметр d=100мм. Нагрузка на каждый из двух подшипников F=4 кН. Приведенный коэффициент трения скольжения в подшип- никах f=0,05. Определить работу, затрачиваемую на преодоление трения за два оборота маховика.
3. Начав двигаться из состояния покоя, автомобиль развил скорость 40км/ч за время 7 с. Определить величину силы тяги, считая её постоянной, если сила сопротив- ления движению составляет 0,1 от веса автомобиля, а масса автомобиля 1200 кг.
4. Автомобиль двигался вниз по уклону с углом α=15о, осуществил экстренное торможение, и пройдя путь 55 м остановился. Сила сопротивления движению состав- ляет 0,5 от веса автомобиля. Определить, с какой скоростью двигался автомобиль в начале торможения.
5. Автомобиль двигался вниз по уклону с углом α=15о, осуществил экстренное торможение, и пройдя путь 90 м остановился. Сила сопротивления движению состав- ляет 0,5 от веса автомобиля. Определить, с какой скоростью двигался автомобиль в начале торможения.
6. При резком торможении колёса автомобиля заклинились и он через 6 с оста- новился. С какой скоростью двигался автомобиль в начале торможения, если коэффи- циент трения между поверхностью дороги м колесами автомобиля f=0,6? Поверхность горизонтальная.
7. Тягач развивал мощность 120 кВт, тянет сани вверх по уклону, угол которого 10осо скоростью v=10 км/ч, масса саней с грузом m=16 т. Определить коэффициент трения между санями и полотном дороги. Какую работу совершает тягач на одном километре пути?
8. Автомобиль двигался вниз по уклону, угол которого α=10о, со скоростью 75 км/ч. Водитель начинает экстренно тормозить, отключив двигатель. Определитьвремя движения автомобиля до полной остановки и его тормозной путь, если коэффициент трения заторможенных колес о дорогу 0,3.



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Двутавры стальные горячекатаные | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Номер двутавра** | **h** | **b** | **s** | **t** | **R** | **r** | **Площадь попереч- ного сечения см2** | **Масса 1м / кг** | **Справочные значения для осей** | | | | | | |
| **X-X** | | | | **Y-Y** | | |
| **не более** | | **Ix см4** | **Wx см3** | **ix см** | **Sx см3** | **Iy см4** | **Wy см3** | **iy см** |
| **мм** | | | | | |
| 10 | 100 | 55 | 4.5 | 7.2 | 7.0 | 2.5 | 12.0 | 9.46 | 198 | 39.7 | 4.06 | 23.0 | 17.9 | 6.49 | 1.22 |
| 12 | 120 | 64 | 4.8 | 7.3 | 7.5 | 3.0 | 14.7 | 11.50 | 350 | 58.4 | 4.88 | 33.7 | 27.9 | 8.72 | 1.38 |
| 14 | 140 | 73 | 4.9 | 7.5 | 8.0 | 3.0 | 17.4 | 13.70 | 572 | 81.7 | 5.73 | 46.8 | 41.9 | 11.50 | 1.55 |
| 16 | 160 | 81 | 5.0 | 7.8 | 8.5 | 3.5 | 20.2 | 15.90 | 873 | 109.0 | 6.57 | 62.3 | 58.6 | 14.50 | 1.70 |
| 18 | 180 | 90 | 5.1 | 8.1 | 9.0 | 3.5 | 23.4 | 18.40 | 1290 | 143.0 | 7.42 | 81.4 | 82.6 | 18.40 | 1.88 |
| 20 | 200 | 100 | 5.2 | 8.4 | 9.5 | 4.0 | 26.8 | 21.00 | 1840 | 184.0 | 8.28 | 104.0 | 115.0 | 23.10 | 2.07 |
| 22 | 220 | 110 | 5.4 | 8.7 | 10.0 | 4.0 | 30.6 | 24.00 | 2550 | 232.0 | 9.13 | 131.0 | 157.0 | 28.60 | 2.27 |
| 24 | 240 | 115 | 5.6 | 9.5 | 10.5 | 4.0 | 34.8 | 27.30 | 3460 | 289.0 | 9.97 | 163.0 | 198.0 | 34.50 | 2.37 |
| 27 | 270 | 125 | 6.0 | 9.8 | 11.0 | 4.5 | 40.2 | 31.50 | 5010 | 371.0 | 11.20 | 210.0 | 260.0 | 41.50 | 2.54 |
| 30 | 300 | 135 | 6.5 | 10.2 | 12.0 | 5.0 | 46.5 | 36.50 | 7080 | 472.0 | 12.30 | 268.0 | 337.0 | 49.90 | 2.69 |
| 33 | 330 | 140 | 7.0 | 11.2 | 13.0 | 5.0 | 53.8 | 42.20 | 9840 | 597.0 | 13.50 | 339.0 | 419.0 | 59.90 | 2.79 |
| 36 | 360 | 145 | 7.5 | 12.3 | 14.0 | 6.0 | 61.9 | 48.60 | 13380 | 743.0 | 14.70 | 423.0 | 516.0 | 71.10 | 2.89 |
| 40 | 400 | 155 | 8.3 | 13.0 | 15.0 | 6.0 | 72.6 | 57.00 | 19062 | 953.0 | 16.20 | 545.0 | 667.0 | 86.10 | 3.03 |
| 45 | 450 | 160 | 9.0 | 14.2 | 16.0 | 7.0 | 84.7 | 66.50 | 27696 | 1231.0 | 18.10 | 708.0 | 808.0 | 101.00 | 3.09 |
| 50 | 500 | 170 | 10.0 | 15.2 | 17.0 | 7.0 | 100.0 | 78.50 | 39727 | 1589.0 | 19.90 | 919.0 | 1043.0 | 123.00 | 3.23 |
| 55 | 550 | 180 | 11.0 | 16.5 | 18.0 | 7.0 | 118.0 | 92.60 | 55962 | 2035.0 | 21.80 | 1181.0 | 1356.0 | 151.00 | 3.39 |
| 60 | 600 | 190 | 12.0 | 17.8 | 20.0 | 8.0 | 138.0 | 108.00 | 76806 | 2560.0 | 23.60 | 1491.0 | 1725.0 | 182.00 | 3.54 |



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Швеллеры с параллельными гранями полок | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Номер швеллера Серии П** | **h** | **b** | **s** | **t** | **R** | **r** | **Площадь попе- речного сечения F**  **см2** | **Масса 1м / кг** | **Справочные значения для осей** | | | | | | | **X0**  **см** |
| **не б олее** | | **X-X** | | | | **Y-Y** | | |
| **мм** | | | | | | **Ix**  **см4** | **Wx**  **см3** | **ix**  **см** | **Sx**  **см3** | **Iy**  **см4** | **Wy**  **см3** | **iy**  **см** |
| 5П | 50 | 32 | 4.4 | 7.0 | 6.0 | 3.5 | 6.16 | 4.84 | 22.8 | 9.1 | 1.92 | 5.61 | 5.95 | 2.99 | 0.98 | 1.21 |
| 6.5П | 65 | 36 | 4.4 | 7.2 | 6.0 | 3.5 | 7.51 | 5.90 | 48.8 | 15.0 | 2.55 | 9.02 | 9.35 | 4.06 | 1.12 | 1.29 |
| 8П | 80 | 40 | 4.5 | 7.4 | 6.5 | 3.5 | 8.98 | 7.05 | 89.8 | 22.5 | 3.16 | 13.30 | 13.90 | 5.31 | 1.24 | 1.38 |
| 10П | 100 | 46 | 4.5 | 7.6 | 7.0 | 4.0 | 10.90 | 8.59 | 175.0 | 34.9 | 3.99 | 20.50 | 22.60 | 7.37 | 1.44 | 1.53 |
| 12П | 120 | 52 | 4.8 | 7.8 | 7.5 | 4.5 | 13.30 | 10.40 | 305.0 | 50.8 | 4.79 | 29.70 | 34.90 | 9.84 | 1.62 | 1.66 |
| 14П | 140 | 58 | 4.9 | 8.1 | 8.0 | 4.5 | 15.60 | 12.30 | 493.0 | 70.4 | 5.61 | 40.90 | 51.50 | 12.90 | 1.81 | 1.82 |
| 16П | 160 | 64 | 5.0 | 8.4 | 8.5 | 5.0 | 18.10 | 14.20 | 750.0 | 93.8 | 6.44 | 54.30 | 72.80 | 16.40 | 2.00 | 1.97 |
| 16аП | 160 | 68 | 5.0 | 9.0 | 8.5 | 5.0 | 19.50 | 15.30 | 827.0 | 103.0 | 6.51 | 59.50 | 90.50 | 19.60 | 2.15 | 2.19 |
| 18П | 180 | 70 | 5.1 | 8.7 | 9.0 | 5.0 | 20.70 | 16.30 | 1090.0 | 121.0 | 7.26 | 70.00 | 100.00 | 20.60 | 2.20 | 2.14 |
| 18аП | 180 | 74 | 5.1 | 9.3 | 9.0 | 5.0 | 22.20 | 17.40 | 1200.0 | 133.0 | 7.34 | 76.30 | 123.00 | 24.30 | 2.35 | 2.36 |
| 20П | 200 | 76 | 5.2 | 9.0 | 9.5 | 5.5 | 23.40 | 18.40 | 1530.0 | 153.0 | 8.08 | 88.00 | 134.00 | 25.20 | 2.39 | 2.30 |
| 22П | 220 | 82 | 5.4 | 9.5 | 10.0 | 6.0 | 26.70 | 21.00 | 2120.0 | 193.0 | 8.90 | 111.00 | 178.00 | 31.00 | 2.58 | 2.47 |
| 24П | 240 | 90 | 5.6 | 10.0 | 10.5 | 6.0 | 30.60 | 24.00 | 2910.0 | 243.0 | 9.75 | 139.00 | 248.00 | 39.50 | 2.85 | 2.72 |
| 27П | 270 | 95 | 6.0 | 10.5 | 11.0 | 6.5 | 35.20 | 27.70 | 4180.0 | 310.0 | 10.90 | 178.00 | 314.00 | 46.70 | 2.99 | 2.78 |
| 30П | 300 | 100 | 6.5 | 11.0 | 12.0 | 7.0 | 40.50 | 31.80 | 5830.0 | 389.0 | 12.00 | 224.00 | 393.00 | 54.80 | 3.12 | 2.83 |
| 33П | 330 | 105 | 7.0 | 11.7 | 13.0 | 7.5 | 46.50 | 36.50 | 8010.0 | 486.0 | 13.10 | 281.00 | 491.00 | 64.60 | 3.25 | 2.90 |
| 36П | 360 | 110 | 7.5 | 12.6 | 14.0 | 8.5 | 53.40 | 41.90 | 10850.0 | 603.0 | 14.30 | 350.00 | 611.00 | 76.30 | 3.38 | 2.99 |
| 40П | 400 | 115 | 8.0 | 13.5 | 15.0 | 9.0 | 61.50 | 48.30 | 15260.0 | 763.0 | 15.80 | 445.00 | 760.00 | 89.90 | 3.51 | 3.05 |